

Jahresbericht 2021

Forschen für eine
nachhaltige Zukunft

#WeKnowHow

JAHRESBERICHT 2021

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

»Wir gehen auch disruptive Ansätze an und skalieren diese mit unseren Auftraggebern für die Produktionspraxis.«

Prof. Constantin Häfner

Liebe Leserinnen und Leser,

der Weltmarkt für Photonik lag nach einer Studie des europäischen Netzwerks Photonics21 im Jahr 2019 bei 654 Milliarden Euro. Bis 2025 wird ein Wachstum von sechs Prozent auf ca. 900 Milliarden Euro erwartet, trotz aller Einschränkungen durch die Coronapandemie. Woher kommt dieser Optimismus der Branche? Sicherlich bildet die breit gefächerte Aufstellung der Photonikindustrie ein solides Fundament für Wachstum. Ob in der industriellen Produktion, der Umwelttechnik, der Telekommunikation, der Verbraucherelektronik, der Sicherheitstechnik oder der Medizintechnik, in allen Marktsegmenten sind für die Photonik deutliche Wachstumsraten zu verzeichnen.

Die Herausforderungen für unsere Gesellschaft werden heute in den strategischen Forschungsfeldern wie der Bioökonomie, der Intelligenten Medizin, der Künstlichen Intelligenz, den Quantentechnologien oder der Ressourceneffizienz durch die Fraunhofer-Gesellschaft adressiert. In diesen Feldern ist das Fraunhofer ILT mit seinen Entwicklungen engagiert. Ob satellitenbasierte Hochpräzisionslaser für die Messung von Treibhausgasen, Mikrofilter zur Wasserreinigung, EUV-kompakte Batteriepackages, additiv gefertigte Hochleistungsbeschichtungen oder individualisierte Knochenimplantate, smarte Bauteile mit integrierter Sensorik oder Lasermodule für die abhörsichere Vernetzung von Quantencomputern, in all diesen Komponenten steckt »Lasertechnik made by Fraunhofer ILT«.

In unserem erfolgreichen Jahr 2021 haben wir am Fraunhofer ILT zahlreiche Projekte und Investitionen vorangetrieben. So errichten wir neben dem Battery Lab auch ein Hydrogen Lab, in dem wir lasertechnische Fertigungsprozesse optimieren und weiterentwickeln. Hier können wir innovative Ansätze testen und im engen Zusammenspiel mit unseren industriellen Auftraggebern für die Produktionspraxis skalieren.

Ein ganz besonderes Jubiläum konnten wir ebenfalls dieses Jahr begehen: Vor 25 Jahren wurde am Fraunhofer ILT mit dem Basispatent des Selective Laser Melting bzw. des Laser Powder Bed Fusion einer der wichtigsten Grundsteine für die metallbasierte Additive Fertigung gelegt. Während in der Anfangsphase die Entwicklung des Fertigungsverfahrens im Vordergrund stand, kümmern wir uns heute um Fragen wie Produktivität von AM-Systemen, Nachhaltigkeit von Prozessketten, Voraussage von Eigenschaften oder des Versagens AM-gefertigter Bauteile sowie um die internationale Standardisierung. Im Bereich der Hochleistungs-Ultrakurzpuls-Laser haben wir erste Multi-kW-Systeme kommerzialisiert, die Strahlqualität, Leistung und parallelisierte Bearbeitungslösungen bieten. Im Fraunhofer ILT steht ein komplettes Anwendungslabor für interessierte Unternehmen zur Erprobung dieser neuen Laserstrahlquellen bereit.

Mit unseren Aerospace-Lasersystemen adressieren wir wichtige gesellschaftliche Anwendungen: Neben der LIDAR-Laserquelle zur Messung von Treibhausgasen in der europäischen MERLIN-Mission starten wir ein Laserprojekt zur satellitengestützten Erfassung von atmosphärischen Windfeldern mit der Doppler-Wind-LIDAR-Technologie.

Damit Sie einen Einblick in die zahlreichen Entwicklungen unseres Instituts erhalten, präsentieren wir Ihnen in diesem Jahresbericht eine Auswahl freigegebener Projekte unserer Auftraggeber. Wenn wir Ihr Interesse geweckt haben oder Sie neugierig auf zukünftige Entwicklungen sind, kontaktieren Sie gerne unsere Experten direkt. Wir freuen uns auf Ihre Rückmeldungen und einen inspirierenden Wissensaustausch.

Ihr



Prof. Dr. rer. nat. Constantin Häfner



6

DATEN UND FAKTEN



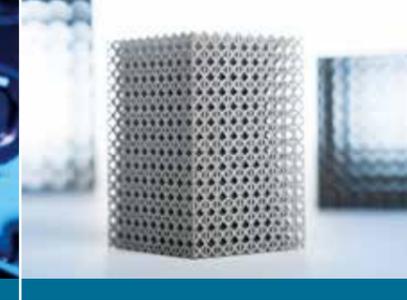
18

THEMENSCHWERPUNKTE



28

FORSCHUNGSERGEBNISSE



104

NETZWERKE UND CLUSTER



126

VERANSTALTUNGEN
UND PUBLIKATIONEN

INHALT

DATEN UND FAKTEN

- 6 Leitbild
- 8 Das Institut im Profil
- 9 Alumni-Netzwerk Aix-Laser-People
- 10 Institutsstruktur
- 12 Das Institut in Zahlen
- 14 Auszeichnungen und Preise
- 16 Nachwuchsförderung

THEMENSCHWERPUNKTE

- 18 Mobilität
- 20 Produktion
- 22 Digitalisierung
- 24 Umwelt
- 26 Quantentechnologie

FORSCHUNGSERGEBNISSE

- 28 Aus den Technologiefeldern
- 31 Zuwendungsgeber
- 32 Laser und Optik
- 44 Lasermaterialbearbeitung
- 72 Medizintechnik und Biophotonik
- 78 Lasermesstechnik und EUV-Technologie
- 88 Digitalisierung
- 98 Quantentechnologie

NETZWERKE UND CLUSTER

- 105 Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick
- 106 Fraunhofer-Verbund »Light & Surfaces«
- 107 Strategische Fraunhofer-Projekte
- 108 Leistungszentren und Leitprojekte
- 110 Fraunhofer Cluster of Excellence
- 112 Lasertechnik an der RWTH Aachen University
- 115 Digital Photonic Production DPP
- 116 Forschungscampus DPP
- 117 RWTH Aachen Campus
- 118 Reseach Center DPP
- 119 Industry Building DPP
- 120 Ausgründungen
- 122 Standortinitiativen
- 124 Kooperationen und Verbände
- 125 Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V.

VERANSTALTUNGEN UND PUBLIKATIONEN

- 127 Patente
- 129 Dissertationen
- 130 Veranstaltungen
- 132 Messen und Ausstellungen
- 135 Kundenreferenzen
- 136 Impressum

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

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.

MITARBEITENDE

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

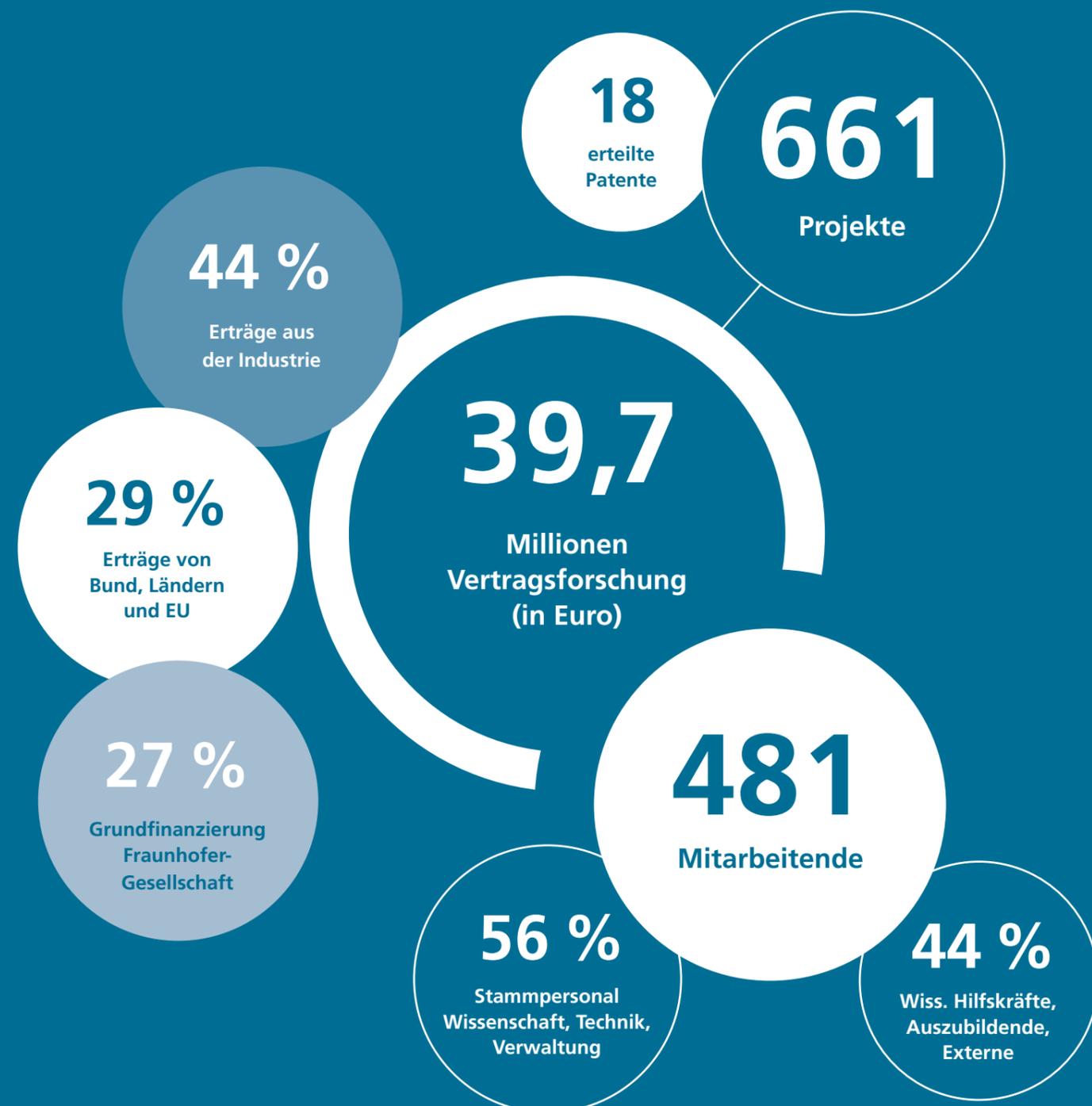
Wir haben ein breites Spektrum an Ressourcen. Wir liefern innovative und wirtschaftliche Lösungen und bieten FuE, Beratung und Integration aus einer Hand. Wir arbeiten auf der Basis eines zertifizierten Qualitätsmanagementsystems.

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

Fraunhofer 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: Das 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 Elektrotechnik, dem Flugzeugbau, der Feinmechanik, der Medizintechnik und der Optik. Mit über 480 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie mehr als 19.500 m² Nettogrundfläche zählt das Fraunhofer ILT weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten seines Fachgebiets.

Die sechs 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, Löten, 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. Im Technologiefeld »Quantentechnologie« bietet das Fraunhofer ILT ein breites Portfolio von Lösungen im Bereich photonischer Strahlquellen und Komponenten. Dazu zählen parametrische Photonenquellen und Frequenzkonverter, integrierte optische Komponenten, Packagingverfahren und anwendungsspezifische Systemtechniken. Das Technologiefeld »Digitalisierung« ist eng mit den Aktivitäten der anderen Technologiefelder verknüpft und vereint Kompetenzen der digitalen Produktion rund um Lasertechnologien wie Design-to-Production, Digitaler Zwilling, Smart Simulation, Fog- und Edge-Computing und KI.

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 im Rahmen langfristiger FuE-Partnerschaften.



DQS zertifiziert nach
DIN EN ISO 9001:2015
Reg.-Nr. 069572 QM15

UNSER ANGEBOT

Leistungsspektrum des Fraunhofer ILT

- 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
- Lösungen für die digitale Produktion
- Muster- und Testserien
- Entwicklung, Aufbau und Test von Pilotanlagen
- Entwicklung von Röntgen-, EUV- und Plasmasystemen
- Photonische Komponenten und Systeme für die Quantentechnologie

KOOPERATIONEN

Kooperationen des Fraunhofer ILT mit FuE-Partnern

- 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

ALUMNI-NETZWERK AIX-LASER-PEOPLE

Das Fraunhofer ILT und die kooperierenden 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 2021 haben 122 Studierende ihre Bachelor- oder Masterarbeit am Fraunhofer ILT durchgeführt und neun Mitarbeitende ihre Promotion abgeschlossen. Durch ihre Praxiserfahrungen und tiefgehenden Einblicke in innovative Entwicklungen warten diese Mitarbeitende 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 über 450 Ehemaligen, um den Kontakt sowohl zu ILT-Mitarbeitenden als auch untereinander zu fördern. Über 80 Prozent der Alumni arbeiten in der produzierenden Industrie, viele davon in laserrelevanten Branchen. 20 Prozent der Alumni wirken weiterhin in der Wissenschaft und über 40 Unternehmen wurden von Ehemaligen gegründet. 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

INSTITUTSSTRUKTUR



Kuratoriumssitzung 2021 im Fraunhofer ILT.

INSTITUTSLEITUNG



Prof. Constantin Häfner
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



Dipl.-Ing. Gerd Bongard
IT-Management

KOMPETENZFELDER



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



Prof. Arnold Gillner
Abtragen und Fügen



Dr. Jochen Stollenwerk
Funktionale Schichten und Oberflächen (kommissarisch)



Dr. Achim Lenenbach
Messtechnik und EUV-Strahlquellen (kommissarisch)



Jasmin Saewe M. Sc.
Laser Powder Bed Fusion



Dr. Thomas Schopphoven
Laserauftragschweißen

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:

MITGLIEDER

- Carl F. Baasel (Vorsitzender),
- Dr. Reinhold E. Achatz, International Data Spaces Association
- Dr. Norbert Arndt, Precision Castparts Corp.
- Dipl.-Ing. Frank C. Herzog, HZG Group
- Prof. Ursula Keller, ETH Zürich
- Dipl.-Ing. Volker Krause, Laserline GmbH
- Dipl.-Ing. Michael Lebrecht, Mercedes-Benz AG
- Prof. Gerd Marowsky, Advanced Microfluidic Systems GmbH
- Manfred Nettekoven, Kanzler der RWTH Aachen University
- Dr. Joseph Pankert, TRUMPF Photonic Components GmbH
- Dr. Silke Pflueger
- Dr. Stefan Ruppik, Coherent Hamburg
- Dr. Torsten Scheller, JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH
- Dr. Ulrich Steegmüller, ALEDIA
- Prof. Christiane Vaeßen, Region Aachen-Zweckverband
- Dr. Hagen Zimer, TRUMPF Laser GmbH

Die 36. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 4. und 5. November 2021 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. C. Häfner, Prof. P. Loosen, Dr. V. Alagic-Keller, P. Abels, A. Bauer, T. Biermann, G. Bongard, Dr. A. Drenker, D. Esser, Prof. A. Gillner, H.-D. Hoffmann, Prof. C. Holly (ab 31.5.2021), Dr. A. Lenenbach (ab 3.5.2021), Prof. R. Noll (bis 26.4.2021), Dr. D. Petring, J. Saewe (ab 31.5.2021), Dr. T. Schopphoven (ab 31.5.2021), Prof. W. Schulz, 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. C. Häfner, Prof. P. Loosen, Dr. V. Alagic-Keller, A. Bauer, M. Brankers, B. Erben, W. Fiedler, R. Frömbgen, F. Fuchs, M. Giesberts, A. Hajdarovic, M. Hesker, J. Jorzig, S. Jung, T. Kaster, K. Kohlen, D. Kreutzer, D. Maischner, V. Nazery Goneghany, B. Quilitzsch, M. F. Steiner, F. Voigt, T. Westphalen, T. Yildirim, Dr. R. Keul (Betriebsarzt B.A.D.), J. Pohl (B.A.D.).

WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHER RAT DER FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT – 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. C. Häfner, D. Esser.

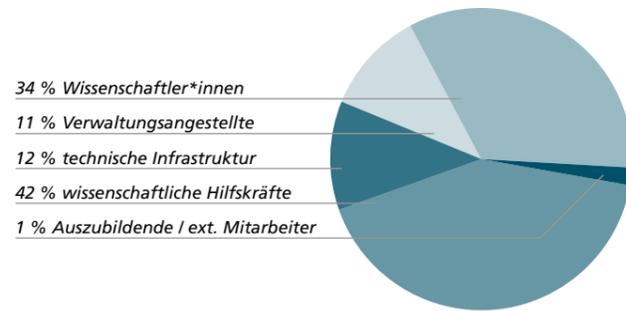
BETRIEBSRAT

Seit März 2003 gibt es am Fraunhofer ILT einen Betriebsrat.

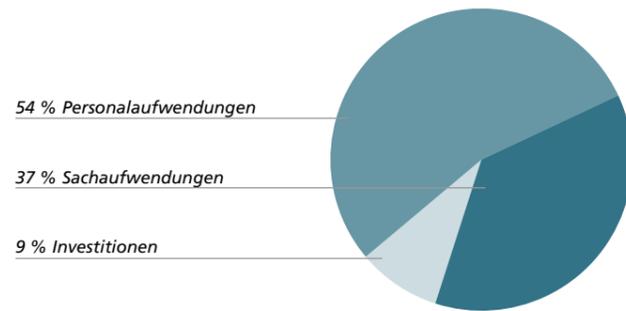
DAS INSTITUT IN ZAHLEN



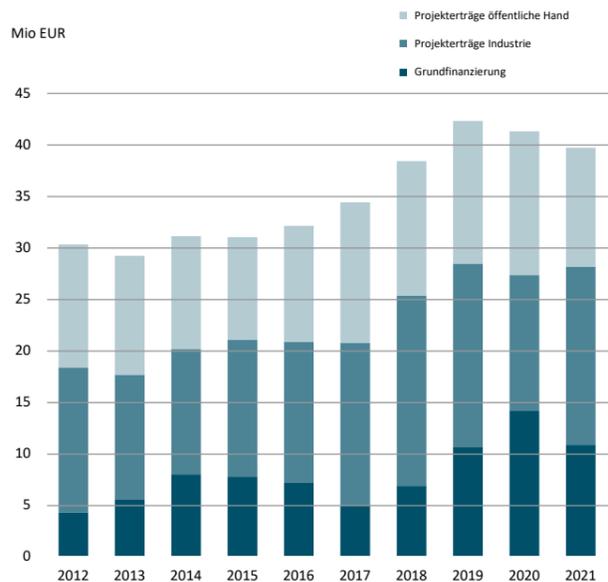
PERSONAL 2021	Anzahl
Stammpersonal	271
- Wissenschaftler*innen und Ingenieur*innen	162
- Mitarbeiter*innen der technischen Infrastruktur	56
- Verwaltungsangestellte	53
Weitere Mitarbeiter*innen	210
- wissenschaftliche Hilfskräfte	201
- externe Mitarbeiter*innen	7
- Auszubildende	2
Mitarbeiter*innen am Fraunhofer ILT, gesamt	481



AUFWENDUNGEN 2021	Mio EUR
- Personalaufwendungen	23,6
- Sachaufwendungen	16,1
Aufwendungen Betriebshaushalt	39,7
Investitionen	3,9



ERTRÄGE 2021	Mio EUR
- Erträge aus der Industrie	17,3
- Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	11,6
- Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	10,8
Erträge Betriebshaushalt	39,7
Investitionerträge aus der Industrie	0,1
Fraunhofer Industrie ρ_{Ind}	43,9%



AUSSTATTUNG

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. Die Nettogrundfläche des Fraunhofer ILT beträgt über 19.500 m².

GERÄTEAUSSTATTUNG

Die Geräteausstattung des Fraunhofer 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 bis 2 kW CW und QCW
- Faserlaser mit 1,5 µm und 2 µm Wellenlänge bis 200 W CW
- Experimentelle Laser mit 2 µm / 3 µm Wellenlänge (ns, ps)
- Single- und Multimode-Faserlaser bis 6 kW
- Diodenlaser bis 12 kW
- Multi-kW-Ultrakurzpulslaser
- Frequenzvervielfachte Laser im sichtbaren Spektralbereich
- Excimerlaser u. a. mit Linienoptik-Systemen
- Breitbandig abstimmbare Laser
- MIR-Laser (ps, ns) mit mittlerer Leistung > 10 W
- Laserplattform für satellitengestützte LIDAR-Systeme

ANLAGEN UND BEARBEITUNGSSYSTEME

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

SPEZIALLABORE

- ISO5- und ISO7-Reinräume zur Montage und Charakterisierung von Lasern und Laseroptiken
- Life Science-Labor mit S1-Klassifizierung
- Battery Lab
- Hydrogen Lab
- Applikationslabore für UKP-Anwendungen

MESSTECHNIK UND SENSORIK

- Geräte zur Verfahrens- und Prozessdiagnostik
- Systeme zur Charakterisierung von Pulverwerkstoffen
- Laser-Spektroskopiesysteme 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 UKP-Lasern
- Vibrationsprüfstand
- Klimaschränke zur Durchführung von Thermaltests bei kontinuierlichem Monitoring der optischen Eigenschaften
- Single-Photon-Detektor (APD) für NIR-Laser
- Messsysteme zur Einzelquanten-Detektion

AUSZEICHNUNGEN UND PREISE



HUGO-GEIGER-PREIS

Dr. Christian Kalupka erhält Hugo-Geiger-Preis 2021

Die Fraunhofer-Gesellschaft und der Freistaat Bayern zeichnen jährlich drei junge Forschende für hervorragende, anwendungsorientierte Promotionsarbeiten mit dem »Hugo-Geiger-Preis für wissenschaftlichen Nachwuchs« aus. Überreicht wurden die mit 5000, 3000 und 2000 Euro dotierten Preise vom stellvertretenden bayerischen Ministerpräsidenten und Staatsminister für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie Hubert Aiwanger und von Andreas Meuer, Vorstandsmitglied der Fraunhofer-Gesellschaft für den Bereich Finanzen und Digitalisierung, im Rahmen des Fraunhofer-Symposiums Netzwerk »Resilienz – Gestärkt aus der Krise«, das am 23. März 2021 als Hybrid-Veranstaltung stattfand. Mit dem 3. Platz wurde Dr. Christian Kalupka für seine Forschung über die Wechselwirkung zwischen Ultrakurzpulslaserstrahlung und Glas geehrt. Bis Ende September 2021 leitete Dr. Kalupka das Team »Glasbearbeitung« am Fraunhofer ILT und hat ein Präzisionsverfahren zur mikrometergenauen Bearbeitung von Glas und



Dr. Christian Kalupka mit Moderatorin Monika Jones bei der Preisverleihung in der Fraunhofer-Zentrale. © Marc Müller.

anderen transparenten Materialien mit einem Ultrakurzpulslaser entwickelt. In seiner Promotionsarbeit am Lehrstuhl LLT der RWTH Aachen University zum Thema »Energiedisposition von ultrakurz gepulster Laserstrahlung in Gläsern« untersuchte er zunächst, was genau passiert, wenn der Laserstrahl in Glas eindringt. Mit einem am Fraunhofer ILT entwickelten Pump- und Probe-Mikroskop konnte er das komplexe Wechselspiel zwischen Licht und Materie beobachten, das sich im Bereich von einigen hundert Femtosekunden abspielt. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird es möglich, Parameter wie Energie und Pulsdauer des Lasers so einzustellen, dass Gläser auf den Mikrometer genau bearbeitet werden können. Damit lassen sich maßgeschneiderte Prozesse für die Bearbeitung unterschiedlicher Glassorten konzipieren. Das Verfahren ist perspektivisch auch auf andere Materialien wie Silizium übertragbar. Es könnte in Zukunft zur Erzeugung von Komponenten für die 5G-Technik oder bei der Entwicklung von Quantencomputern zum Einsatz kommen.

1 Minister Hubert Aiwanger mit den Hugo-Geiger-Preisträgern Dr. Simon Fichtner, Dr. Annelie Schiller und Dr. Christian Kalupka. Zu den Gratulanten gehörten auch die Fraunhofer-Vorstandsmitglieder Andreas Meuer und Prof. Alexander Kurz (v.l.n.r.).
© Marc Müller.

Karel Urbánek Best Student Paper Award 2021 für Sophia Schröder

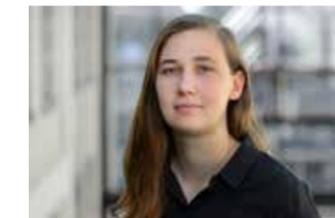
Im Rahmen der »SPIE Advanced Lithography 2021« Online-Konferenz vom 22. bis 26. Februar 2021 erhielt Sophia Schröder für ihren Beitrag »Nutzung der EUV-Spektrometrie zur Vermessung von photosensitiven Materialien nach EUV-Belichtung« den »Karel Urbánek Best Student Paper Award 2021«. Das Verfahren der EUV-Spektrometrie wurde von den Forschenden des Lehrstuhls TOS der RWTH Aachen University und des Fraunhofer ILT in einem kompakten Laboraufbau realisiert und zur industriellen Anwendung gebracht. Durch die hohe Sensitivität des Verfahrens gegenüber nanoskaligen Strukturen und optischen Materialeigenschaften wurde die Charakterisierung von sogenannten latenten Abbildern in photosensitiven Materialien vorgestellt. Diese Aufgabenstellung ist derzeit eine der größten Herausforderungen der Messtechnik in der industriellen Halbleiterfertigung.

ICEIS-»Best Student Paper Award« für Moritz Kröger

Im Rahmen der virtuellen »International Conference on Enterprise Information Systems ICEIS« vom 26. bis 28. April 2021 wurden Moritz Kröger vom Lehrstuhl LLT der RWTH Aachen University sowie Johannes Lipp, Stefan Decker und Siyabend Sakik vom Lehrstuhl für Informationssysteme der RWTH Aachen University/Fraunhofer FIT mit dem »Best Student Paper Award« ausgezeichnet. In ihrem Paper »LISSU: Integrating Semantic Web Concepts into SOA Frameworks«, das im Rahmen des Exzellenzclusters »Internet of Production« (IoP) an der RWTH Aachen University entstand, werden Potenziale für bessere Kommunikationsstandards bei Cloud-Anwendungen mit Microservice-basierten Architekturen aufgezeigt. Dadurch kann Nutzern von Laseranlagen die Arbeit erleichtert werden und fehlerhafte Konfigurationen lassen sich während der Produktion verhindern.

Springorum-Denkmünze

Die Springorum-Denkmünze verleiht proRWTH, der Förderverein der RWTH Aachen University, Studierenden, die ihre Diplom-, Master oder Masterprüfung mit Auszeichnung bestanden haben. Von den kooperierenden Lehrstühlen des Fraunhofer ILT waren 2021 Julian Krauskopf mit seiner Masterarbeit zum Thema »Multidimensionale Modellentwicklung zur standardisierten Erfolgsmessung von Innovationsökosystemen am Beispiel des Forschungscampus Digital Photonic Production« und Robert Zinke mit dem Thema »Evaluierung eines Microservice-basierten Steuerungskonzepts des Ultrakurzpulslaserprozesses im Rahmen von Industrie 4.0« unter den Ausgezeichneten.



Karel Urbánek Best Student Paper Award für Sophia Schröder.

NACHWUCHSFÖRDERUNG



Teilnehmerinnen des Girls'Day 2022.

Girls'Day 2021: Gemeinsames Digital Event der drei Aachener Fraunhofer-Institute am 22. April 2021

Unter dem Motto »Mit den Fraunhofer-Instituten in Aachen Technik und Naturwissenschaften virtuell erleben!« fand am 22. April 2021 der Girls'Day 2021 als virtuelles Event statt. Die drei Fraunhofer-Institute in Aachen IPT, IME und ILT öffneten für interessierte Mädchen von der 5. bis zur 7. Klasse virtuell ihre Türen und boten spannende Einblicke in ihre tägliche Arbeit. Per Live-Schaltung konnten die Teilnehmerinnen den Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern bei ihrer Arbeit über die Schulter schauen und Fragen stellen. Der nächste Girls'Day findet am 27. April 2023 statt.



Wissenschaft live erleben beim Girls'Day 2022.

Online-Veranstaltung #hackingforfuture – Let's Create the Production of Tomorrow vom 23. bis 25. April 2021

Der digitale Hackathon #hackingforfuture richtete sich an Studierende der Informatik, des Ingenieurwesens oder eines ähnlichen Studiengangs und wurde vom Fraunhofer ICNAP – International Center for Networked, Adaptive Production in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Project Center an der Universität von Twente organisiert. Die Teilnahme war kostenlos und es gab ein abwechslungsreiches Programm voller Herausforderungen, Networking und spannender Einblicke in die Arbeit bei Fraunhofer. Gemeinsam mit Mitarbeitenden von Fraunhofer IPT, IME und ILT sowie Industriepartnern stellten die teilnehmenden Studierenden sich in Teams den Herausforderungen der digitalen Transformation im Bereich der Produktion und nutzten ihre Programmierkenntnisse, ihr Wissen, ihr technisches Geschick sowie ihren Teamgeist, um diese zu meistern. Zum Abschluss wurden die besten Teams prämiert.

Schüleruni Maschinenbau vom 19. bis 23. Juli 2021

Auch in 2021 fand wieder die Schüleruni Maschinenbau mit Beteiligung des Exzellenzclusters Internet of Production IoP statt. Aufgrund der Coronapandemie wurde die Schüleruni zum zweiten Mal virtuell über Zoom durchgeführt. 18 Schülerinnen und Schüler verbrachten 5 Tage virtuell an der RWTH Aachen University im Bereich der Fakultät für Maschinenbau, um einen ersten Eindruck von dem Studiengang Maschinenbau und seinen vielfältigen Möglichkeiten zu erhalten. So erhielten die Teilnehmenden Einblicke in die Bereiche Produktions-, Verfahrens-, Kunststoff-, Textil- und Kraftfahrzeugtechnik sowie Optik und Lasertechnik. Am 23. Juli 2021 entdeckten sie dann die Welt der Photonik. Dieser Tag wurde vom Fraunhofer ILT und den assoziierten Lehrstühlen LLT und TOS der RWTH Aachen University gestaltet.

Führungen im Rahmen der Erstsemesterveranstaltung Maschinenbau am 7. Oktober 2021

Zum ersten Mal seit gut eineinhalb Jahren konnten wieder Institutsführungen für Studierende angeboten werden. Im Rahmen der Einführungswoche für Erstsemester im Maschinenbau und im Wirtschaftsingenieurwesen wurden über 30 Studierende in Kleingruppen unter den geltenden Coronabestimmungen durch das Institut geführt. Hierbei konnten sie an vier Stationen einen direkten Einblick in die Arbeitswelt der Lehrstühle und des Fraunhofer ILT gewinnen, die Faszination für die Lasertechnik erleben und sich mit Mitarbeitenden austauschen.

bonding Firmenkontaktmesse am 2. November 2021

Zum sechsten Mal in Folge präsentierte sich das Fraunhofer ILT in Aachen auf der größten studentisch organisierten Firmenkontaktmesse – der bonding. Neben 178 weiteren Ausstellern informierte das Fraunhofer ILT in persönlichen Gesprächen insbesondere Studierende und Absolventen aus den Ingenieur-, Wirtschafts- und Naturwissenschaften über Einstiegs- und Karrieremöglichkeiten am Institut.



Gut besucht: Fraunhofer-Stand auf der bonding 2021.

MOBILITÄT

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT

DAS FÜHLENDE BAUTEIL – INTELLIGENTE SENSORIK FÜR TRANSPORT, VERKEHR, LUFT- UND RAUMFAHRT

Sensoren im Fahrgestell oder in den Türen eines Personenzugs oder Flugzeugs sind Stand der Technik. Wenn sich aber fühlende Bauteile mit eingebauter Sensorik selbstständig kontrollieren und ihren Zustand an ein zentrales Software-System des Betreibers melden, dann liegt eine intelligente und integrierte Lösung vor, die Defekte vermeidet, bevor sie erst entstehen.

KI-gestütztes Sensorsystem für den Schienenverkehr

Mit dem Projekt SenseTrAln fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz BMWK eine Methode zur effizienten Überwachung sicherheitsrelevanter Funktionen in der Bahntechnik. Defekte Bauteile bei der Bahn können sogenannte »Verzögerungen im Betriebsablauf« erzeugen. Gleichzeitig ist der Austausch noch funktionsfähiger Komponenten in starren Wartungsintervallen ökologisch und ökonomisch nicht auf Dauer vertretbar. Seit September 2021 erarbeiten Forschende am Fraunhofer ILT zusammen mit Industriepartnern zukunftsfähige Konzepte für die Wartung und Instandhaltung bei der DB Systemtechnik GmbH. Ziel der Kooperation zwischen der ME-Meßsysteme GmbH, der vedisys AG, der DATAbility GmbH und dem Fraunhofer ILT ist die Entwicklung eines KI-gestützten Sensorsystems für den Schienenverkehr bis 2024.

Bauteilintegrierte Sensorik durch 3D-Druck

Für die Weichenstellung zur intelligenten Wartung kommt das langjährig bewährte additive Verfahren Laser Powder Bed Fusion (LPBF) zum Einsatz. Der schichtweise Aufbau eines Bauteils aus Metallpulver mit Laserstrahlung ermöglicht es, elektronische Komponenten und Sensoren während des 3D-Drucks in metallische Bauteile zu integrieren. Zur richtigen Zeit gestoppt, erlaubt das Verfahren den Einbau von Sensoren in das Werkstück, bevor der Laser seine Arbeit fortsetzt. Das fertige Bauteil mit der integrierten Sensorik erhebt im späteren Betrieb erhebliche Datenmengen, die mithilfe von Künstlicher Intelligenz (KI) ausgewertet und gefiltert werden. Dies



Fühlendes Werkzeug der Zukunft: Fräskopf mit integrierter Sensorik zur Temperatur- und Druckmessung.

ermöglicht die Selbstkontrolle des Bauteils, so dass es künftig signalisieren kann, ob, wann und wo ein Austausch oder eine Reparatur notwendig wird. Das Fraunhofer ILT verfolgt im BMWK geförderten Verbundprojekt SenseTrAln zusammen mit seinen Partnern die Entwicklung einer ganzheitlichen Lösung zur drahtlosen und kontinuierlichen Zustandsüberwachung sensorintegrierter, additiv gefertigter Bauteile von der Sensorik bis hin zur Meldung im SAP-System.

Auch im Bereich wiederverwendbare Raketen engagiert sich das Fraunhofer ILT in einem Sonderforschungsbereich. Die Forschenden arbeiten dort an Anwendungen zur Sensorintegration in LPBF-Bauteilen für den Weltraumeinsatz.

Schnelles Erkennen und Beheben von Defekten mittels KI

Für die DB Systemtechnik GmbH ist besonders die Eignung zum problemlosen Retrofit wichtig. Das beinhaltet auch eine kabellose, rückwirkungsfreie Datenübertragung, die etwa mithilfe von 5G schnell und einfach realisierbar ist. Mögliche Anwendungsfälle ergaben sich in einem Technologie-Scouting der Projektpartner. Zu den vielversprechenden Einsatzfeldern zählen Türmechanik, Primär- und Schlingerdämpfer sowie vor allem Radsatzlagerdeckel, die Radlagergehäuse abschließen.

Diese sind aus Sicht der Instandhaltung besonders relevant. Bei erhöhter Belastung steigt die Temperatur und es droht Verschleiß. In den Deckel integrierte Temperatur- und Beschleunigungssensoren könnten Heißläufer und ihre Ursachen frühzeitig erkennen.

Der Einsatz der KI in Kombination mit den Sensoren ermöglicht das schnelle Erkennen und Beheben von Defekten. KI setzt eine große valide Datenbasis voraus. Idealerweise müssten diese Daten direkt an den zu kontrollierenden Systemen im Alltagsbetrieb generiert werden. Um die neue Sensortechnik unter möglichst realistischen Bedingungen zu testen, wird im Projekt SenseTrAln das advanced TrainLab der Deutschen Bahn genutzt. Die so gewonnenen Daten dienen zunächst zum Trainieren der KI. Wenn die Technik reibungslos funktioniert, ist der Testeinsatz im Betrieb vorgesehen.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Thema Mobilität: Seite 50, 51, 56, 57, 61, 67 und 71.

Weitere Informationen im Internet unter:

www.ilt.fraunhofer.de

PRODUKTION

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT



LASER SCHNEIDEN UND SCHWEISSEN SCHNELLER UND BESSER DURCH KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

Kurze Entwicklungs-, Fertigungs- und Lieferzeiten, wachsender Kostendruck und nicht zuletzt der Wunsch nach höherer Qualitätssicherheit sowie konsequenter Ressourceneinsparung: Die Produzenten aller Industriebranchen sind stark gefordert. Dabei spielt der Einsatz moderner Automatisierungstechnik in komplexer werdenden Fertigungsprozessen eine maßgebliche Rolle.

KI in der Produktionstechnik

Die digitale Transformation schreitet in allen Lebensbereichen rasant voran und gilt auch in der industriellen Produktionstechnik als wesentlicher Schlüssel für die Erhaltung und den Ausbau der nachhaltigen Wettbewerbsfähigkeit. Im Fokus steht dort der Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI). Sie kann die Autonomie und Funktionalität von Maschinen und Ausrüstungen der Fertigungstechnik in einem bisher unerreichten Maß erhöhen. Von Experten »gut ausgebildete« KI erkennt Systemabweichungen, Fehler und Qualitätsmängel schneller und zuverlässiger als klassische Überwachungs- und Regelungssysteme. KI kann Sensorsignale auf umfangreichere und bisher von Experten unerkannte Mustereigenschaften analysieren und entsprechend intelligentere Systementscheidungen wie Warnmeldungen oder Parameteroptimierungen einleiten.

Die Potenziale der KI werden daher auch für Fertigungssysteme zunehmend erschlossen. Grundlegende Methoden und Werkzeuge der KI stehen bereit und werden kontinuierlich weiterentwickelt. Problemlösungen können nun beispielhaft implementiert und prototypisch unter realitätsnahen Bedingungen an und in Fertigungsmaschinen in den Unternehmen erprobt werden. So wird ein wesentlicher Beitrag zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit der gesamten Wertschöpfungskette geleistet. Lasermaschinen sind dafür prädestiniert, sie sind besonders schnell sowie präzise steuer- und regelbar.

DIPOOL - Lasermaschinen lernen dazu

Der Lösungsansatz des vom Fraunhofer ILT wissenschaftlich koordinierten Verbundprojekts DIPOOL zur Gewinnung von Autonomie und Agilität besteht in der Kombination der einzigartigen zeitlichen und räumlichen Programmier- und Kontrollierbarkeit von Laserwerkzeugen mit maschinellem Lernen (ML). Das Verbundprojekt DIPOOL wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Fördermaßnahme »ProLern« (Förderkennzeichen 02P20A000) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Konkretes Ziel ist die automatische und robuste Überwachung, Qualitätssicherung und Optimierung von Lasermaschinen bei wechselnden Fertigungsaufgaben. DIPOOL wird für die beiden umsatzstärksten Laserfertigungsverfahren – Schneiden und Schweißen – die Vorteile der Integration maschinellen Lernens demonstrieren – ein relevantes Thema für die Laserindustrie und die blechverarbeitenden Betriebe. Zur Zielerreichung hat das Fraunhofer ILT ein interdisziplinäres Konsortium aus Forschungsinstituten, industriellen Systemlieferanten und Anwendern ins Leben gerufen. Dieses bildet die gesamte Entwicklungskette bis zur praktischen Erprobung ab.

Smart Data statt Big Data

Die Basis für den erfolgreichen Einsatz von KI und speziell Machine Learning ist eine ausreichende Datenmenge mit bestmöglicher Qualität. Um derartige Daten zu generieren, werden am Fraunhofer ILT umfangreiche Versuchsreihen zum Schneiden und Schweißen von Blechwerkstoffen durchgeführt. Der innovative, wissenschaftliche Ansatz des Fraunhofer ILT besteht darin, dem Bearbeitungsprozess »minimalinvasive« Lasermodulationsmuster aufzuprägen. Darauf antwortet der Prozess kontinuierlich mit besonders charakteristischen, zustandsabhängigen Signalen. Diese werden sensorisch erfasst. Das Motto ist: Smart Data statt Big Data. Das Domänenwissen der Experten kann so mit künstlicher Intelligenz verknüpft werden. Erst die Verfügbarkeit derartiger Antwortsignale und ihre Fusion mit weiteren Sensordaten der Maschine erlauben hocheffizientes Trainieren von ML-Algorithmen. Dies ermöglicht zuverlässige Schlussfolgerungen und Entscheidungen des KI-Systems.

Produktivitätssteigerung im Verbund

Bei der Automatic-Systeme Dreher GmbH wird ein Demonstrator zum Laserstrahl-Hochgeschwindigkeitsschneiden von Formplatinen aufgebaut und evaluiert. Außerdem wird in einer Laserroboterzelle der LBBZ GmbH das 3D-Schweißen mit der gleichen digitalen Optimierungstechnik demonstriert. Das Institut für Industrielle Informationstechnik IIT des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) steuert die Grundlagen einer effizienten Signalanalyse für das maschinelle Lernen bei. Der Einsatz einer vollkommen neuartigen, multispektralen Sensorik der 4D Ingenieurgesellschaft für Technische Dienstleistungen mbH wird den mit ML verwertbaren Informationsgehalt der Prozesssignale für Laserstrahlschweißanwendungen

zusätzlich steigern. Die Precitec GmbH & Co. KG erarbeitet die zugehörige smarte Systemtechnik und Sensorik für Laserschneidanlagen und die Marx Automation GmbH sorgt für die Implementierung der trainierten ML-Algorithmen in Überwachungs-, Entscheidungs- und Regelungsmodulen, das sogenannte Inferenzsystem der Lasermaschinensteuerung.

Die in DIPOOL erarbeiteten Innovationen sollen die Produktivität von Laseranlagen insbesondere für das Schneiden und Schweißen von Blechwerkstoffen im Fahrzeugbau, in der Bauwirtschaft, Konsumgüterindustrie und natürlich im Maschinen- und Anlagenbau um ca. 25 Prozent erhöhen. Von Weiterentwicklungen profitieren auch additive und mikrotechnische Laseranwendungen. Inbetriebnahme-, Anlauf- und Richtzeiten werden kürzer oder entfallen ganz. Die Sicherheit, Stabilität und Zuverlässigkeit der Lasermaschinen verbessern sich. Damit erhöhen sich zudem Produktqualität und die Ressourceneffizienz.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

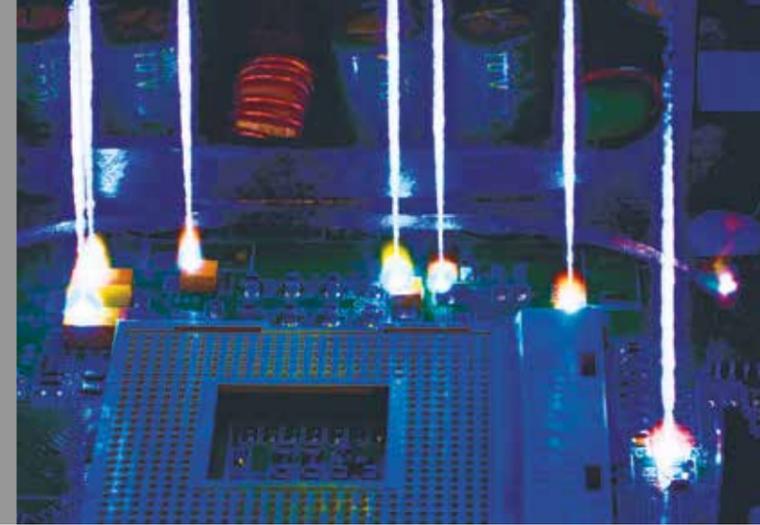
Thema Produktion: Seite 46–71, 83, 92, 93 und 94.

Weitere Informationen im Internet unter:

www.ilt.fraunhofer.de

DIGITALISIERUNG

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT



KUBERNETES STEUERT 100 LASER GLEICHZEITIG ÜBER DIE CLOUD

Im Exzellenzcluster »Internet of Production« (IoP) haben 200 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der RWTH Aachen University in Kooperation u. a. mit dem Fraunhofer ILT ein Datacenter zur Steuerung und Kontrolle industrieller Prozesse aufgebaut. Ausgangspunkt war eine Steuerung von vielen Lasersystemen, die am Fraunhofer ILT entwickelt wurde und die die Open-Source-Software Kubernetes nutzt. Mit der Software des Fraunhofer ILT können neu verbaute Laser in wenigen Minuten aus der Ferne automatisch installiert und gesteuert werden.

Komplexe Lasersysteme aus der Cloud heraus effizient installieren und betreiben

Der Ultrakurzpuls(UKP)-Laser ist ein komplexes System zum mikrometergenauen Abtragen von nahezu beliebigen Materialien. Dabei kontrollieren zahlreiche Sensoren die Maschine und den Laserprozess. Entsprechend vielfältig muss die Software sein, die die Daten der Sensoren ausliest und die Komponenten steuert. In der industriellen Fertigung werden oft zahlreiche Lasersysteme parallel betrieben. Die Forschenden am Fraunhofer ILT haben sich mit der zentralen Fragestellung der Steuerungssoftware in einem derartigen Umfeld befasst. Mit den gängigen Steuerungen lassen sich einzelne Laser gut beherrschen. Aber zur Steuerung von 50 bis 100 Lasern reichen herkömmliche Konzepte nicht aus.

Eine Lösung mit Open Software

Die Maschinensteuerung wurde am Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University in enger Kooperation mit dem Fraunhofer ILT neu entwickelt und programmiert. Die eingesetzte Open-Source-Software bietet mehr Kompatibilität und Entwicklungsmöglichkeiten für verteilte Systeme. Damit lassen sich Laserbearbeitungsprozesse, bei denen Daten der Scanner-Steuerung oder aus unterschiedlichen Sensormodulen sowie Analysedaten im laufenden Prozess berücksichtigt werden müssen, steuern und optimieren. Das Projekt startete 2018. Inzwischen läuft das Steuerungssystem am Fraunhofer ILT stabil in der Beta-Phase. Den Kern des Datacenters bildet Kubernetes, eine Open-Source-Software die automatisch Anwendungsprogramme auf verteilten Computersystemen aufspielen, skalieren und warten kann. Kubernetes wurde ursprünglich von Google entworfen und wird von führenden Cloud-Plattformen wie Microsoft Azure, IBM Cloud, Red Hat OpenShift, Amazon EKS, Google Kubernetes Engine und Oracle OCI unterstützt.

Verteilte Software für die automatisierte Fertigung der Zukunft

An der RWTH Aachen University hat man das Potenzial erkannt. Schon 2019 wurde das Konzept des Fraunhofer ILT für ein Datacenter der Universität übernommen. Im Exzellenzcluster »Internet of Production« wird übergreifend an der Digitalisierung der Fertigungstechnik gearbeitet. Ziel dabei ist eine verstärkte und vereinfachte Zusammenarbeit sowie die echtzeitfähige und sichere Bündelung aller relevanter Daten aus vielen verschiedenen Quellen. Dies geschieht vor dem Hintergrund von cyber-physischen Systemen und Industrie 4.0. Beteiligt sind mehr als 35 universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen sowie die drei Fraunhofer-Institute FIT, ILT und IPT. Im Beirat sind mehr als 50 Firmen und Verbände vertreten. Sie kommen aus der Automobil- und der Luftfahrtbranche, dem Maschinen- und Anlagenbau sowie aus der Softwarebranche.

Sowohl im Datacenter der RWTH Aachen University als auch am Fraunhofer ILT sind die Steuerungssysteme im Einsatz und werden kontinuierlich weiterentwickelt. Die automatisierte Verteilung von Software und die Analyse der Applikationen in den UKP-Laseranlagen funktioniert zuverlässig. Die Soft- und Hardwareanbindung für einen neuen Laser inklusive Einbindung in die cloudbasierte Umgebung dauert nur 5 Minuten. Geforscht wird derzeit an der automatischen Auswertung von Messdaten. Das Ziel ist es, Daten von einer möglichst großen Zahl von Systemen zusammenzuführen und für die Nutzerinnen und Nutzer grafisch aufzubereiten. Diese Daten bilden zukünftig die Basis für die Bereiche Künstliche Intelligenz (KI) und Maschinelles Lernen zur Optimierung der Laserprozesse.

Das Besondere an dem Einsatz von Kubernetes für das Management von KI liegt darin, dass die Steuerungssoftware anhand der aktuell angefallenen Daten systematisch angepasst werden kann. So können täglich die in einer Anlage gewonnenen Daten ausgewertet und zum Training eines KI-Modells eingesetzt werden. Datenanalysten können darüber hinaus auf dieser Basis Algorithmen anpassen, so dass die neuen Versionen mittels der Software Kubernetes zeitnah auf alle Anlagen überspielt werden können. Das System bildet somit eine zentrale IT-Infrastruktur und eine stabile Basis für die adaptive Produktion von morgen.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Thema Digitalisierung: Seite 43, 46, 65 und 90–97.

Weitere Informationen im Internet unter:

www.ilt.fraunhofer.de

UMWELT

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT



© Cronimet Ferroleg. GmbH, Karlsruhe.

METALLE RECYCELN STATT BODENSCHÄTZE ABBAUEN – MIT LASER- BASIERTER SENSORTECHNIK

Um die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie in puncto Rohstoffversorgung zu stärken, entwickelten das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und die CRONIMET Ferroleg. GmbH im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts PLUS gemeinsam ein laserbasiertes Sortierverfahren für Metallschrott. Ein neuer Sensor macht das Recycling metallischer Rohstoffe dabei um ein Vielfaches effizienter, als es bislang möglich war. Noch einen Schritt weiter geht das EU-Projekt REVaMP. Darin bringen die Experten des Fraunhofer ILT ihre Expertise im Bereich der Materialanalytik auch auf europäischer Ebene ein und leisten damit einen wichtigen internationalen Beitrag zur langfristigen Sicherung einer ressourceneffizienten Rohstoffversorgung.

Der Produktionsstandort Deutschland und damit auch unser gesellschaftlicher Wohlstand hängen in hohem Maß von der Verfügbarkeit metallischer Rohstoffe wie Chrom, Nickel, Kupfer oder Kobalt ab. Aufgrund der weltweit steigenden Nachfrage sind diese allerdings ein zunehmend knappes Gut. Eine entscheidende Rolle kommt deshalb dem Materialrecycling zu. Aufgrund des Mangels an Bodenschätzen handelt es sich dabei um die wichtigste Bezugsquelle für metallische Rohstoffe in Deutschland und Europa.

Bessere Bilanz – ökologisch und ökonomisch

Vorteil des Materialrecyclings: Gebrauchte, nicht mehr verwendbare Metallschrotte wie Rohre, Bleche, Werkzeuge, Altkabel, Elektro- und Elektronikschrott sowie alte Teile aus Haushalt oder Abbruch können sortenrein nahezu ohne Qualitätsverlust eingeschmolzen und wiederverwendet werden. Das Verfahren trägt sich aufgrund des hohen Wertes der Materialien im Idealfall von allein – und produziert deutlich weniger CO₂ als der Primärprozess: die teure, weil technisch aufwendige Förderung von Bodenschätzen unter teils höchst kritischen Rahmenbedingungen sowie deren Transport an Bestimmungsorte rund um den Globus entfällt.

Die Krux: Sowohl der Preis und die Verfügbarkeit von Metallschrotten als auch deren Recyclingquote ist von zahlreichen Faktoren abhängig, die sich gegenseitig bedingen. Dazu gehören schwankende Preise am Primärmarkt, der Lebenszyklus von Produkten und deren Sammelquote, Verluste im Prozess, die technische Recyclingfähigkeit sowie die Wertigkeit der jeweiligen Legierung. Entsprechend volatil sind die globalen Märkte. Steigt der Preis für Primärmetalle, sinkt die Verfügbarkeit von Schrotten und umgekehrt. Das birgt für Unternehmen hohe Risiken.

Mehr Ertrag durch Lasereinsatz

Vor diesem Hintergrund hat das Fraunhofer ILT gemeinsam mit der CRONIMET Ferroleg. GmbH aus Karlsruhe ein neuartiges laserbasiertes Sortierverfahren entwickelt. Die im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts PLUS entstandene Sensortechnik macht das Erkennen und Sortieren von Legierungen in Metallschrotten wesentlich schneller und genauer. Die Pilotanlage wurde am CRONIMET Ferroleg-Standort in Karlsruhe in Betrieb genommen – und hat sich bewährt. Sie ist unter anderem auf die Verarbeitung von Schnellarbeitsstählen, kurz HSS für High Speed Steels, ausgelegt.

Übliche Verfahren sind auf die mühsame manuelle Messung weniger Legierungen beschränkt. Mit der Laser-Emissionsspektroskopie (LIBS) hingegen nutzt das Fraunhofer ILT eine Technologie, die selbst in kleinen Schrottteilen mehr als 20 Sonderlegierungen identifizieren kann – automatisch, schnell und berührungslos.

Zukunftstechnologie für Europa

Im Rahmen des bereits 2020 gestarteten EU-Projekts »Retrofitting Equipment for Efficient Use of Variable Feedstock in Metal Making Processes« (REVaMP) bringt das Fraunhofer ILT seine Expertise im Bereich der Materialanalytik nun auch auf europäischer Ebene ein. Getragen wird das auf eine Laufzeit von dreieinhalb Jahren ausgelegte und von der Europäischen Kommission im Rahmen des Programms Horizon 2020 geförderte Vorhaben von einem internationalen Zusammenschluss von Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus Spanien, Polen und Deutschland. Ziel ist es, die im Rahmen des Projekts

PLUS gesammelten Erkenntnisse auf eine universelle Basis zu stellen, unabhängig von den jeweiligen Legierungen. Dazu wird ein Sensor gebaut, den man in bestehende Industrieanlagen integrieren kann, um den Recyclingprozess grundsätzlich effizienter zu gestalten.

Im Fokus des REVaMP-Projekts stehen folgende zentrale Fragen: Welche Zusammensetzung und Eigenschaften haben die zu recycelnden Legierungen? Wie viel Blei enthält das angelieferte Material? Wann wird ein Stoff schmelzflüssig und wie viel Energie muss zugeführt werden? Das Ziel der Bemühungen ist klar: Europa soll unabhängiger von den globalen Rohstoffmärkten werden und die Ressourceneffizienz von Unternehmen soll maßgeblich verbessert werden.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Thema Umwelt: Seite 37, 38, 48, 53, 54 und 80.

Weitere Informationen im Internet unter:

www.ilt.fraunhofer.de

QUANTENTECHNOLOGIE

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT

PHOTONISCHE QUANTENTECHNOLOGIEN FÜR EIN STARKES INNOVATIONSÖKOSYSTEM

Quantentechnologien bieten ein enormes Potenzial für die Entwicklung disruptiver Anwendungen in Bereichen wie der Bildgebung, Messtechnik, Kommunikation und beim Computing. Mit internationalen Partnern aus Forschung und Industrie entwickelt das Fraunhofer ILT laserbasierte Lösungen für die Umsetzung und Anwendung der Quantentechnologien 2.0, bei denen die Quanteneigenschaften mikroskopischer Systeme und einzelner Teilchen kontrolliert eingestellt, verändert und detektiert werden können. Durch strategische Initiativen und langfristig angelegte Kooperationen wird der Aufbau eines wachstumsstarken Innovationsökosystems für Quantentechnologien vor Ort in NRW sowie darüber hinaus in Deutschland und Europa vorangetrieben.

Der Präzisionswerkzeugkasten von Wissenschaft und Industrie kann mit dem Einsatz von Quantentechnologien der zweiten Generation um völlig neue Möglichkeiten erweitert werden. Erste Umsetzungen in der sicheren Kommunikation, der hochsensitiven Messtechnik oder bei komplexen Computing-Aufgaben verdeutlichen schon heute das disruptive Potenzial zukünftiger Anwendungen und begründen beeindruckende Marktprognosen anerkannter Wirtschaftsexperten sowie Milliarden-Investments von Tech-Konzernen und starke öffentliche Förderprogramme der führenden Volkswirtschaften, die das Technologiewettrennen in diesen und vielen verwandten Bereichen weiter beschleunigen.

Die Photonik ist ein Schlüssel für Anwendungen auf quantentechnologischer Basis. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ILT erforschen, wie sich mikroskopisch beschränkte Systeme mit dem »Werkzeug Licht« beherrschen und Quantensysteme kontrolliert zugänglich machen lassen. Es geht dabei um die praktische Nutzung der Eigenschaften einzelner Photonen, Elektronen oder Atome sowie von Quanteneffekten wie der Superposition von Zuständen und der Verschränkung für neuartige Anwendungen.

Einzelne Photonen lassen sich z. B. nutzen, um Quanteninformationen gezielt zu übertragen und Quantenprozessoren an verschiedenen Orten miteinander zu verbinden. Photonen sind im Gegensatz zu anderen Quantensystemen nicht nur bei kryogenen Umgebungsbedingungen stabil und lassen sich über größere Entfernung übertragen, ohne dass relevante Quanteninformationen verloren gehen. Laser lassen sich einsetzen, um den Zustand verschiedener Quantensysteme (z. B. Ionen oder Atome, die als Qubits in Prozessoren fungieren) zu kontrollieren oder auszulesen. Laser und Laserprozesse lassen sich darüber hinaus effektiv einsetzen, um die nötigen Komponenten der Quantentechnologie, wie beispielsweise Ionenfallen und mikrooptische Systeme, herzustellen und zu produzieren.

Mit seiner Expertise in der Lasertechnik und den optischen Technologien bringt sich das Fraunhofer ILT thematisch breit aufgestellt ein, um gemeinsam mit deutschen und internationalen Partnern eine umfassende wissenschaftliche Zusammenarbeit zu fördern, herausragende FuE-Ergebnisse zu erzielen und neue Anwendungsbereiche für Quantentechnologien zu erschließen. Im Fokus stehen der Technologie- und, in Kooperation mit der RWTH Aachen University, der Talenttransfer in Wirtschaft und Industrie. Strategische Allianzen und Forschungscluster in und außerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft werden systematisch ausgebaut.



Technologien für das Quantenimaging, -computing und -informationsnetzwerke

Mit dem im Juli 2021 erfolgreich abgeschlossenen Fraunhofer-Leitprojekt »QUILT« hoben die Fraunhofer-Institute ILT, IMS, IOF, IOSB, IPM und ITWM das Quantenimaging auf ein neues Level. Die Aachener Wissenschaftler entwickelten hier neuartige Photonenpaarquellen und Quanteninterferometer, die eine hochauflösende Bildgebung im mittleren Infrarot (MIR) erlauben – einem bislang schwer zugänglichen Spektralbereich. Dabei wird die Bildgebung mit nicht-detektierten Photonen eingesetzt, bei der die mit der Probe wechselwirkenden Photonen nicht direkt detektiert werden müssen, weil die Bilderfassung über verschränkte Partnerphotonen bei einer leichter zugänglichen Wellenlänge erfolgt. So können Analysen im MIR-»Fingerprint«-Bereich von 1,5 bis über 4,5 µm mittels hochentwickelter und kostengünstiger Kameratechnik auf Siliziumbasis im Wellenlängenbereich von 600 bis 700 nm umgesetzt werden.

Quantencomputer bauen auf sogenannten Qubits auf, bei denen die Informationen im Gegensatz zum klassischen binären Hardwarekonzept in beliebig vielen Zuständen abgelegt werden. Das Fraunhofer ILT entwickelt hierfür laser- und strahlungsbasierte Fertigungstechniken für Ionenfallen und NV-Zentren. Der Einsatz von Ultrakurzpulslasern und des selektiven laserinduzierten Ätzens erlaubt hierbei die präzise Herstellung feinsten Strukturen bis in den Sub-Mikrometerbereich mit hoher Geometrieflexibilität in Glas sowie innovative Packaging-Techniken. Mit diesen 3D-fähigen Technologien lassen sich kompakte, monolithische Ionenfallen aus Glas als zentrale Prozessorelemente in Quantencomputern herstellen. Am Fraunhofer ILT werden dazu u. a. in den Projekten »IQuAN« und »ATIQ« Technologien und prozesstechnische Ansätze zur Herstellung neuer Ionenfallendesigns mit einem hohen Potenzial zur Qubit-Skalierung für leistungsstärkere Quantencomputer entwickelt. Die verschränkungsbasierte Verbindung von Quantencomputern über große Entfernungen lässt sich mit einer Übertragung von Einzelphotonen durch Glasfasern

realisieren. Hierzu werden Quantenfrequenzkonverter (QFC) benötigt, die Photonen in ihrer Wellenlänge effizient und rauscharm konvertieren, ohne die fragilen Quantenzustände zu zerstören. Solche Konverter entwickelt das Fraunhofer ILT gemeinsam mit QuTech, einer Kollaboration der TU Delft und der TNO, im Rahmen des Fraunhofer-ICON-Projekts »QFC-4-1QID«. Im Mai 2021 demonstrierten die Experten aus Aachen am QuTech eine QFC-Architektur mit Weltrekordleistung in Bezug auf das Rauschverhalten und potenziell das Signal-Rausch-Verhältnis. Beim Konverter handelt es sich um eine Schlüsselkomponente für die Demonstration des ersten vollständig verschränkungsbasierten Quanteninternets am QuTech, für das demnächst Qubits in Delft, Leiden, Den Haag und Amsterdam mit Glasfasern verbunden werden.

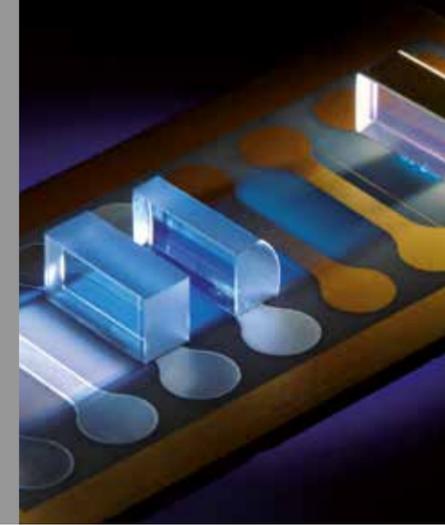
Strategische Initiativen

Gemeinsam mit dem Forschungszentrum Jülich sind die NRW-Fraunhofer-Institute FHR, IAIS, ILT, IMS, SCAI die treibende Kraft bei der Umsetzung des Center of Quantum Science and Engineering (CQSE) im Rheinischen Revier. Es geht um marktorientierte Forschung und darum, frühzeitig den Brückenschlag zwischen exzellenter Grundlagenforschung und Unternehmen herzustellen. Der Fokus liegt auf der Umsetzung und Anwendung neuer Quantentechnologien, mit Augenmerk auf den Bereichen Systemintegration, Engineering und Produktion.

Mit einem MoU zur langfristigen Zusammenarbeit schlossen sich die Fraunhofer-Gesellschaft und das QuTech im Dezember 2021 enger zusammen. Ein Ziel ist der Aufbau eines multinationalen Quantennetzwerks in der EU. Dazu werden die Partner Technologie- und Schnittstellenstandards etablieren und sich beim europäischen Agenda-Setting abgestimmt einbringen. Geplant ist zudem, den ersten deutschen Quanteninternetknoten eines länderübergreifenden und verschränkungsbasierten Netzwerks am Fraunhofer ILT zu installieren.

Weitere Informationen im Internet unter:
www.ilt.fraunhofer.de/quantentechnologie

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, der Quantentechnologie 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.

AUS DEN TECHNOLOGIEFELDERN

DIGITALISIERUNG

Das Technologiefeld Digitalisierung ist eng mit den Aktivitäten der Technologiefelder Laser- und Optik, Lasermaterialbearbeitung, Medizintechnik und Biophotonik sowie Lasermesstechnik und EUV-Technologie verknüpft. Es vereint Kompetenzen der digitalen Produktion rund um Lasertechnologien – von Design-to-Production über Digitaler Zwilling und Smart Simulation bis hin zu Fog- und Edge-Computing. Die ganzheitliche Betrachtung von Prozessen und Verfahren – von der Modellierung bis hin zur Datenintegration – ist Kernbestandteil des Technologiefelds Digitalisierung.

Im Leistungsangebot »Design to Production« werden geschlossene Arbeitsabläufe vollständig digital erfasst. Dies sorgt für eine transparente, sichere und versionierte Dokumentation und Handhabung von Daten. Das Leistungsangebot »Digitaler Zwilling« umfasst virtuelle Modelle von Prozessen, indem die Realdaten der Prozesse systematisch gesammelt und analysiert werden. Einflussfaktoren können einfach identifiziert und Wirkungszusammenhänge offengelegt werden, ohne in den realen Prozess einzugreifen.

Das »Artificial Intelligence (AI)-Lab« gibt Raum für das Experimentieren mit maschinellem Lernen und Neuronalen Netzen. Die Ergebnisse werden über Visualisierungsumgebungen für den Anwender verständlich aufbereitet. In der »Digital Light Factory« wird eine individuelle und isolierte Entwicklungs- und Produktionsumgebung bereitgestellt. Sie umfasst im Kern die Fertigungstechnologie mit allen gewünschten Steuerungs- und Automatisierungsschnittstellen.

QUANTENTECHNOLOGIE

Die moderne Kommunikation und das Internet wären ohne die erste Generation von Quantentechnologien nicht möglich. Nun steht ein Paradigmenwechsel bevor, der die Weiterentwicklung zu Quantencomputern und Quanteninternet ermöglicht. Standen bislang kollektive Teilchenphänomene im Vordergrund, ist es heute möglich, einzelne Photonen und Quantenzustände gezielt zu manipulieren und zu kontrollieren.

Gemeinsam mit internationalen Spitzenforschern entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ILT photonische Lösungen für quantentechnologische Aufgabenstellungen. Insbesondere Strahlquellen mit maßgeschneiderten Eigenschaften und präzise Aufbautechnologien für optische Komponenten und Systeme sind für die Quantentechnologie von großem Interesse. Die Aachener Ingenieurinnen und Ingenieure optimieren beispielsweise Einzelphotonenquellen mit sehr hohen Signal-zu-Rausch-Verhältnissen und realisieren Wellenleiter, Koppler und Filter in Gläsern und Kristallen für das Quantenimaging und die Fingerprint-Spektroskopie. Einen weiteren Forschungsschwerpunkt bilden Quantenfrequenzkonverter für die Anbindung von Qubits an Glasfasernetze. Damit lassen sich Quantencomputer zukünftig in Netzwerken verbinden.

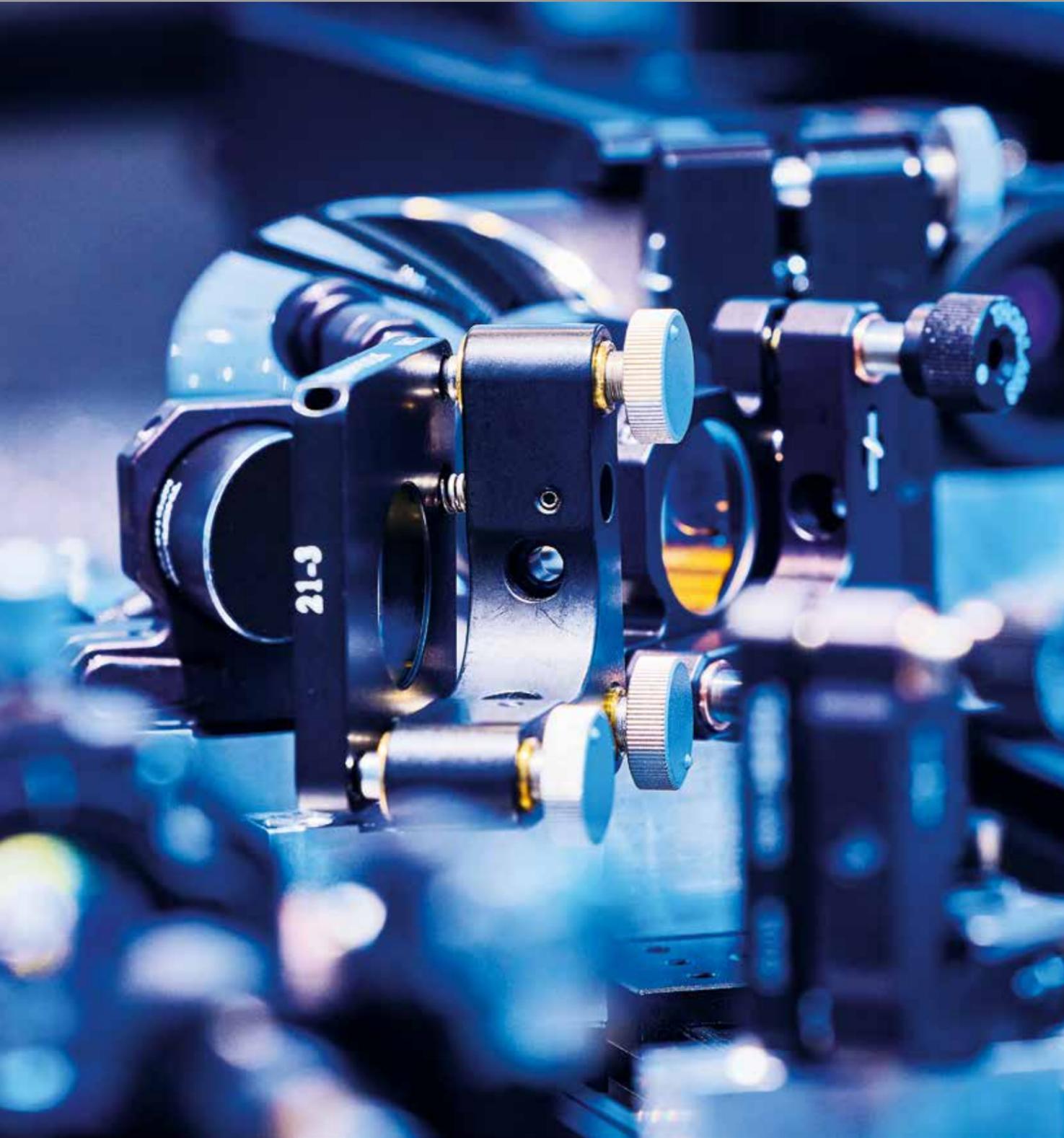
Am Standort Aachen sorgt die Nähe zwischen Fraunhofer ILT, der RWTH Aachen University und dem Forschungszentrum Jülich für einen fruchtbaren Austausch von Know-how und Technik. Regionale und internationale Kooperationen bereiten den Weg für die technische Umsetzung der Quantentechnologien 2.0.

ZUWENDUNGSGEBER

Einige der in diesem Jahresbericht vorgestellten Verbundprojekte wurden mit öffentlichen Mitteln gefördert. Wir möchten den Zuwendungsgebern an dieser Stelle für Ihre Unterstützung danken.

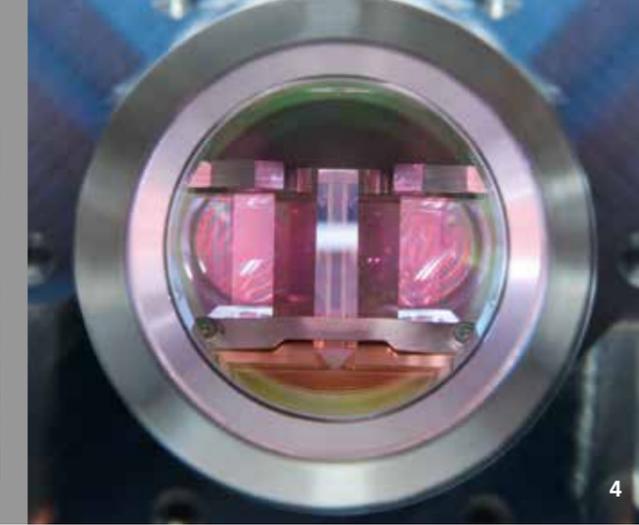
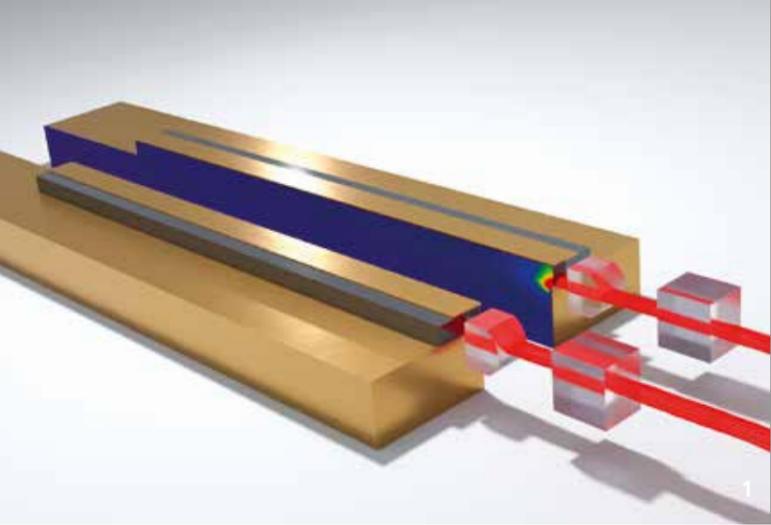


LASER UND OPTIK



INHALT

Modellierung und Simulation von Hochleistungsdiodenlasern	34
Laser-Floating-Zone-System für die Zucht von β -Ga ₂ O ₃ -Einkristallen	35
LIDT-Messplatz zur Qualifikation von Hochleistungsoptiken	36
Erste Messkampagne mit kompaktem LIDAR-System auf Basis eines Alexandritlasers	37
Laserstrahlquelle für die satellitengestützte Windmessung	38
Strahlquellen mit einer Wellenlänge von 2 μ m zur Gravitationswellendetektion	39
Hochstabile Faserverstärker für die satellitengestützte Gravitationswellendetektion	40
Frequenzkamm im Vakuum-Ultraviolett zur optischen Anregung des Kernübergangs in 229-Thorium	41
Lötprozessentwicklung zur Kontaktierung von Kristallen und Wärmesenken	42
4D-Multistrahloptik für die flexible Hochleistungs-UKP-Lasermaterialbearbeitung	43



MODELLIERUNG UND SIMULATION VON HOCHLEISTUNGSDIODENLASERN

Aufgabenstellung

Diodenlaser sind in vielfältigen Anwendungsfeldern die bevorzugte Laserstrahlquelle. Es wird zwischen kanten- (EEDL, engl.: edge-emitting diode laser) und oberflächen-emittierenden Diodenlasern (VCSEL, engl.: vertical-cavity surface-emitting laser) unterschieden. Am Fraunhofer ILT wird mithilfe von Computersimulationen an der Optimierung von EEDL und VCSEL mit Fokus auf Steigerung der Ausgangsleistung bzw. Strahldichte geforscht. EEDL sind in ihrer Ausgangsleistung gegenwärtig durch die Zerstörschwelle begrenzt (COD, engl.: catastrophic optical damage), die Limitierungen von VCSEL resultieren aus dem geringeren laseraktiven Volumen sowie der Reabsorption von Laserstrahlung in den stromleitenden, dotierten Schichten der Diode. Aktuelle Forschungsschwerpunkte sind das Verständnis des COD-Mechanismus bei EEDL sowie die Erhöhung der Lichtausbeute bei VCSEL durch Serienschaltung mehrerer Aktivschichten mittels sogenannter Tunnelioden.

Vorgehensweise

Zur Analyse und Optimierung von Hochleistungsdiodenlasern wird am Fraunhofer ILT eine Simulationssoftware (SEMSIS, engl.: semiconductor simulation software) zur multiphysikalischen Simulation von EEDL und VCSEL entwickelt. Diese umfasst unter anderem Module zur Simulation des Wärme-

und des elektrischen Transports, zur Berechnung der optischen Eigenmoden der Mikrokavitäten sowie Modelle zur Analyse der Eigenschaften der lichtverstärkenden Quantenfilme. SEMSIS wird stetig für unsere Industriepartner weiterentwickelt und in Kombination mit kommerziellen Softwaretools zur isolierten oder gekoppelten Simulation zur Identifikation verbesserter Heterostrukturdesigns, Kontaktgeometrien oder externer optischer Systeme zur partiellen Rückkopplung der emittierten Strahlung eingesetzt.

Ergebnis

Verglichen mit dem Stand der Forschung wurde ein detaillierteres Verständnis des COD-Mechanismus für freilaufende EEDL sowie ECDL (engl.: external-cavity diode laser) erarbeitet. Verbesserte Designs für EEDL mit reduzierter slow axis-Strahldivergenz und strahldichtelimitierende Faktoren von VCSEL-Einzelemittlern mit externen Resonatoren wurden identifiziert. Die aktuelle Entwicklung eines LIDAR-Systems der nächsten Generation beinhaltet den elektrischen Transport in VCSEL-Einzelemittlern mit Tunnelioden, die Simulation der thermomechanischen Eigenschaften des VCSEL-Arrays mit integriertem Siliziumtreiberchip und die Auslegung der Senderoptik.

Anwendungsfelder

EEDL mit optischem Feedback werden als Pumplichtquellen für Faser- und Festkörperlaser eingesetzt, VCSEL-Emitter unter anderem in LIDAR-Sensoren und in der direkten Materialbearbeitung.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Thomas Schwarz, DW: -565
thomas.schwarz@ilt.fraunhofer.de

Dr. Martin Traub, DW: -342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de

LASER-FLOATING-ZONE-SYSTEM FÜR DIE ZUCHT VON β - Ga_2O_3 -EINKRISTALLEN

Aufgabenstellung

Der Halbleiter β - Ga_2O_3 zeichnet sich durch eine vergleichsweise große Bandlücke von ca. 4,8 eV aus, die das Material für den Einsatz im Bereich der Hochleistungselektronik prädestiniert. Zudem lässt sich Ga_2O_3 , im Gegensatz zu den etablierten Wide-Bandgap-Halbleitern SiC und GaN, in monokristalliner Form aus der schmelzflüssigen Phase züchten. Hierbei kommt das tiegelfreie Floating-Zone-Verfahren zum Einsatz, bei dem das Material in einem definierten Bereich mit Diodenlaserstrahlung aufgeschmolzen wird (LDFZ-Verfahren). Gemeinsam mit dem japanischen National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) soll das LDFZ-Verfahren weiterentwickelt werden. Die Systemleistung soll in den Multikilowattbereich skaliert und der Kristalldurchmesser auf 1,5 bis 2 Zoll gesteigert werden.

Vorgehensweise

Auf Grundlage von Vorversuchen am AIST im Bereich der LDFZ-Kristallzucht wurde am Fraunhofer ILT ein optisches System zur Formung von Multi-kW-Diodenlaserstrahlung entwickelt, aufgebaut und in Betrieb genommen. Als Strahlquelle wird ein fasergekoppelter Diodenlaser verwendet. Zudem wurde ein Schaltschrank zur Auswertung von Temperatur-, Leckage- und Durchflusssensoren sowie zur Ansteuerung des Laser-Interlocks entwickelt, aufgebaut und getestet. Am AIST wurden der Laser, das Optiksysteem und die Auswerteelektronik in die bestehende Kristallzuchtanlage integriert und das Gesamtsystem in Betrieb genommen.

Ergebnis

Zur Erzeugung einer prozessangepassten Intensitätsverteilung wird die aus der Faser austretende Strahlung homogenisiert und auf fünf Strahlen gleicher Leistung aufgeteilt, die schließlich über Umlenkspiegel radial zur Bearbeitungsstelle geführt werden. Die Charakterisierung der Optik erfolgte mittels Messung der Intensitätsprofile für die einzelnen Teilstrahlen bei 150 W. Zudem wurde ein Belastungstest mit einer Leistung von 20 kW erfolgreich durchgeführt. Nach der Inbetriebnahme am AIST wurden erste Schmelzexperimente mit polykristallinen Ga_2O_3 -Feedrods mit einem Durchmesser von 1,5 Zoll durchgeführt.

Anwendungsfelder

Aktuell werden mit dem LDFZ-Verfahren Ga_2O_3 -Kristalle sowie weitere Metalloxide gezüchtet, deren Eignung für Anwendungen in der Hochleistungselektronik untersucht wird. Die Eignung des LDFZ-Verfahrens für andere Kristallmaterialien ist Gegenstand aktueller Forschung.

Dieses Projekt wird im Rahmen des ICON-Programms von der Fraunhofer-Gesellschaft gefördert.

Ansprechpartner

Florian Rackerseder M. Sc., DW: -8012
florian.rackerseder@ilt.rwth-aachen.de

Dr. Martin Traub, DW: -342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de

- 3 Aufbau und Inbetriebnahme des LDFZ-Optiksystems.
- 4 Blick durch das Eintrittsfenster auf die Strahlteilereinheit.



LIDT-MESSPLATZ ZUR QUALIFIKATION VON HOCHLEISTUNGSOPTIKEN

Aufgabenstellung

Die Kenntnis der laserinduzierten Zerstörschwelle (LIDT) optischer Komponenten ist wesentlich für das Design von effizienten und zugleich zuverlässigen Laserstrahlquellen, insbesondere für deren Einsatz in der Luft- und Raumfahrt. Für die deutsch-französische Satellitenmission MERLIN zur Detektion von Methan in der Erdatmosphäre werden LIDT-Messungen an repräsentativen Proben (sogenannte »witness samples«) aus jeder Herstellungscharge durchgeführt. Die Messungen dienen der Qualifikation der Optikchargen für den Einbau in den MERLIN-Laser.

Vorgehensweise

Als Laserquelle des LIDT-Messplatzes wird ein gütegeschalteter, longitudinal einmodiger Oszillator mit zwei INNOSLAB-Verstärkerstufen, die bis zu 500 mJ Pulsenergie bei 1064 nm bzw. 100 mJ bei 1645 nm aus einem nachgeschalteten Frequenzkonverter verwenden, eingesetzt. Das Online-Zerstördetektionssystem per Streulichtdetektion funktioniert wellenlängenunabhängig. Zudem gibt es eine Offline-Detektion per Differentialinterferenzkontrast-Mikroskopie. Für die mehr als 150 verschiedenen Beschichtungsproben des MERLIN-Lasers werden S-on-1-Tests nach ISO 11254-2 mit 10.000 Schüssen und ein Pass/Fail-Test mit 100.000 Schüssen mit jeweils definierten Fluenzen pro Bestrahlungsposition

durchgeführt. Für den abgestimmten Qualifikationsprozess werden die Proben je nach Probengröße an ca. 40 Positionen getestet. Der Einfallswinkel der Prüfstrahlung beträgt je nach Chargenspezifikation 0°, 45° oder 55°.

Ergebnis

Mit der Kombination von S-on-1- und Pass/Fail-Test wird untersucht, ob die laserinduzierte Zerstörschwelle langfristig über der Belastung im Laser liegt. Durch Tests an repräsentativen Proben werden Optikchargen für den Einbau in den MERLIN-Laser qualifiziert.

Anwendungsfelder

Die laserinduzierte Zerstörschwelle ist für optische Systeme relevant, die besondere Anforderungen an die Zuverlässigkeit stellen, wie zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrt. Zudem erlaubt die genaue Kenntnis der Zerstörschwelle bezüglich Kosten und Zuverlässigkeit angepasste Designs von optischen Systemen. Durch Erweiterung des Aufbaus können auch andere Prüfparameter wie z. B. andere Wellenlängen oder Pulsdauern getestet werden.

Die Arbeiten werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Kennzeichen 50EP1601 gefördert und erfolgen im Auftrag des DLR Raumfahrtmanagements im Unterauftrag von Airbus Defence and Space GmbH.

Ansprechpartner

Johannes Ebert M. Sc., DW: -427
johannes.ebert@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Marco Höfer, DW: -128
marco.hoef@ilt.fraunhofer.de



ERSTE MESSKAMPAGNE MIT KOMPAKTEM LIDAR-SYSTEM AUF BASIS EINES ALEXANDRITLASERS

Aufgabenstellung

Zur Messung von Wind- und Temperaturprofilen der Atmosphäre bis in Höhen von 110 km werden am Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik (IAP) mobile Resonanz-LIDAR-Systeme eingesetzt. Durch den Einsatz mehrerer Systeme mit überlappenden Beobachtungsbereichen erhält man ein Netzwerk mit unerreichter Auflösung und Abdeckung. Dabei werden diese Daten an entlegenen Orten unter schwierigen Umweltbedingungen, z. B. in Polar- oder Tropengebieten, über lange Zeiträume benötigt. Daher müssen die robusten LIDAR-Systeme kompakt und leicht zu transportieren sein sowie autonom und wartungsarm funktionieren. Mithilfe von neuartigen hocheffizienten Alexandritlasern und innovativer LIDAR-Technologie wurde gemeinsam mit dem Leibniz IAP ein neuartiges kompaktes LIDAR-System (~ 1m³) entwickelt, das das Potenzial hat, kostengünstig in Serie gebaut zu werden.

Vorgehensweise

Im Rahmen einer langjährigen Zusammenarbeit mit dem Leibniz IAP wurde der LIDAR-Emitter auf Basis von diodengepumpten Alexandritlasern entwickelt, zwei Prototypen aufgebaut und in ein neuartiges hochkompaktes LIDAR-System integriert. Mit dem LIDAR-System wurde im Winter eine erste zweimonatige Messkampagne durchgeführt. Dabei wurden Verfahren zur Steuerung des Emitters und Datenaufnahme mit dem LIDAR-System entwickelt und erprobt. Hierfür wurden

Windprofile mit hoher Auflösung anhand von Aerosolen bis in 30 km Höhe aufgenommen und mit Referenzdaten verglichen. Zudem wurde die Referenzwellenlänge von Kalium adressiert und die Kaliumschicht in bis zu 110 km Höhe untersucht.

Ergebnis

Der Betrieb des LIDAR-Systems unter realistischen Bedingungen konnte erfolgreich demonstriert werden. Während der über 1000 Stunden Messdauer waren keinerlei Leistungseinbußen erkennbar oder Wartungen notwendig. Die Ergebnisse der Windmessungen wurden mit Referenzdaten verglichen und die höhere Genauigkeit und Auflösung nachgewiesen. Darüber hinaus konnte erstmals die Kaliumschicht in bis zu 110 km Höhe am Tag gemessen werden. Basierend auf dem erprobten Design und einer neuen Pumpquelle konnte die Pulsenergie in Laborversuchen um den Faktor drei gesteigert werden. Zwei weitere hochkompakte Prototypen der nächsten Generation werden aktuell mit der gesteigerten Energie, jedoch unverändertem Bauraum aufgebaut.

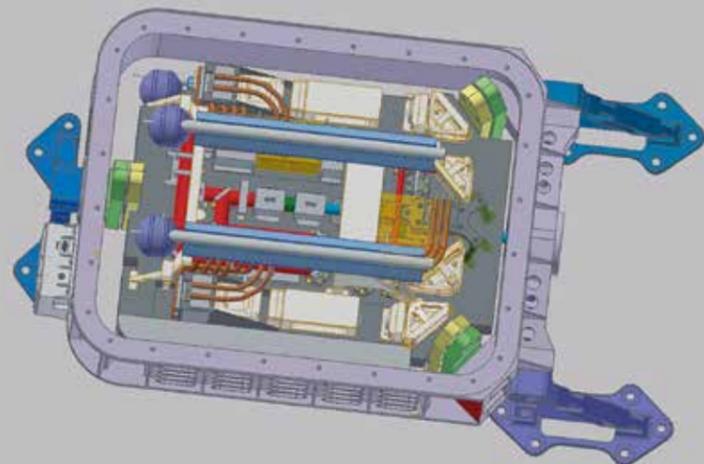
Anwendungsfelder

Das Resonanz-LIDAR soll zunächst für bodengestützte Messungen von Temperatur- und Windprofilen eingesetzt werden. Ein Array von LIDAR-Systemen ermöglicht eine große Flächenabdeckung. Das Potenzial für den satellitengestützten Einsatz wird derzeit diskutiert.

Ansprechpartner

Dr. Michael Strotkamp, DW: -132
michael.strotkamp@ilt.fraunhofer.de

Dr. Bernd Jungbluth, DW: -414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de



1

LASERSTRAHLQUELLE FÜR DIE SATELLITENGESTÜTZTE WINDMESSUNG

Aufgabenstellung

Im Rahmen der AEOLUS-Mission der Europäischen Weltraumorganisation ESA wird derzeit die globale Windverteilung in der Atmosphäre mittels eines satellitengestützten Doppler-LIDAR-Instruments gemessen. Für die von der ESA und dem Satellitenbetreiber EUMETSAT geplante Folgemission AEOLUS-Follow-On wird eine leistungsfähigere Laserstrahlquelle mit longitudinal monofrequenten Laserpulsen von 150 mJ Energie bei einer Pulswiederholrate von 50 Hz und einer Wellenlänge von 355 nm benötigt. Am Fraunhofer ILT wird derzeit ein Engineering Model (EM) der Laserstrahlquelle in Kooperation mit Airbus Defense and Space entwickelt.

Vorgehensweise

Grundlage des Laserkonzepts sind die Ergebnisse des 2016 abgeschlossenen Projekts NIRLI, in dem eine Konfiguration bestehend aus einem gütegeschalteten Oszillator und zwei nachgeschalteten INNOSLAB-Verstärkern auf Nd:YAG-Basis aufgebaut wurde. Damit wurden mehr als 500 mJ Pulsenergie bei einer Wellenlänge von 1.064 nm demonstriert. Die Frequenzkonversion auf eine Pulsenergie von 150 mJ im UV erfolgt mithilfe von zwei LBO-Kristallen. Für den Oszillator und die erste Verstärkerstufe stehen qualifizierte weltraumtaugliche Komponenten zur Verfügung. Für die zweite INNOSLAB-Verstärkerstufe und den Frequenzkonverter ist eine Skalierung der Größe der optomechanischen Komponenten erforderlich.

1 CAD-Modell des AEOLUS-Follow-On-Transmitters.

Aufbauend auf den im MERLIN-Projekt gesammelten Erfahrungen wird ein Thermalsystem für die Abfuhr der Verlustwärme in Höhe von etwa 300 W unter Weltraumbedingungen entwickelt. Die Arbeiten am EM-Design erfolgen in enger Zusammenarbeit mit den Firmen Airbus Defense and Space und SpaceTech.

Ergebnis

Ein vollständiges vorläufiges Design der Laserstrahlquelle wurde erstellt und im Rahmen eines Preliminary Design Review (PDR) von der ESA abgenommen. In dem Modell wird die Verlustwärme effizient mittels Heatpipes aus dem Gehäuse geführt, sodass nur ein geringer Anteil der Verlustleistung in die Grundplatte einkoppelt. Dies erlaubt einen stabilen Betrieb über einen großen Temperaturbereich.

Anwendungsfelder

Die in dem Projekt gewonnenen Ergebnisse sind in erster Linie für LIDAR-Laserstrahlquellen in rauer Umgebung wie Satelliten, Flugzeuge oder Hubschrauber von Interesse. Die Aufbautechnik ermöglicht einen jahrelangen stabilen und wartungsfreien Betrieb, sodass die Erkenntnisse auch in die Entwicklung von industrietauglichen Festkörperlaserern oder kleinen kompakten Strahlquellen einfließen können.

Die Arbeiten werden im Auftrag der Europäischen Weltraumorganisation ESA unter der Vertragsnummer 4000132323/20/NL/AD durchgeführt.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys., Dipl.-Volksw. Dominik Esser, DW: -437
dominik.esser@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Martin Giesberts, DW: -341
martin.giesberts@ilt.fraunhofer.de



2

STRAHLQUELLEN MIT EINER WELLENLÄNGE VON 2 μm ZUR GRAVITATIONSWELLEN-DETEKTION

Aufgabenstellung

Gravitationswellendetektoren ermöglichen einen alternativen Zugang zu interstellaren Prozessen wie z. B. der Kollision von Sternen und schwarzen Löchern, die sich durch spezifische Signaturen in Form von Gravitationswellen detektieren lassen. Sie bilden somit eine wichtige Ergänzung zu anderen etablierten Beobachtungsmethoden bei der Erforschung des Universums. Im Projekt E-TEST werden Schlüsseltechnologien für einen Gravitationswellendetektor der dritten Generation, auch bekannt als Einstein-Teleskop, entwickelt. Dazu wird am Fraunhofer ILT ein hochstabiler Laser mit einer Wellenlänge von etwa 2 μm und einer spektralen Linienbreite von weniger als 10 kHz entwickelt, welcher innerhalb eines Interferometers zur Detektion kleinster, durch Gravitationswellen induzierte Längenänderungen genutzt werden soll.

Vorgehensweise

Zur Erzeugung von Strahlung mit einer schmalen Linienbreite bei einer Wellenlänge von etwa 2090 nm werden unterschiedliche Festkörperlaserkonzepte untersucht. Als erster Ansatz wird ein unidirektionaler Ringoszillator, basierend auf Ho:YAG-Kristallen, entwickelt. Mithilfe der daraus gewonnenen Erkenntnisse soll ein nichtplanarer Ringoszillator entwickelt werden, welcher besonders zur Erzeugung von Strahlung mit niedriger Linienbreite geeignet ist. Zur Verstärkung der erzeugten Strahlung wird ein mehrstufiges Faserlaserkonzept,

basierend auf Holmium-dotierten Fasern, entwickelt. Mithilfe einer aktiven Regelung unterschiedlicher Aktuatoren sollen die extrem hohen Stabilitätsanforderungen erfüllt werden. Zum Pumpen des Faserlasers werden hochstabile Thulium-dotierte Faserlaser bei einer Wellenlänge von ca. 1950 nm entwickelt.

Ergebnis

Nach der Entwicklung des Konzepts wurde experimentell die erste Stufe des Faserlasers zur Verstärkung von Strahlung um 2090 nm realisiert. Die nächsten Schritte sind die aktive Stabilisierung der Ausgangsleistung sowie die experimentelle Untersuchung des Festkörperlaserers.

Anwendungsfelder

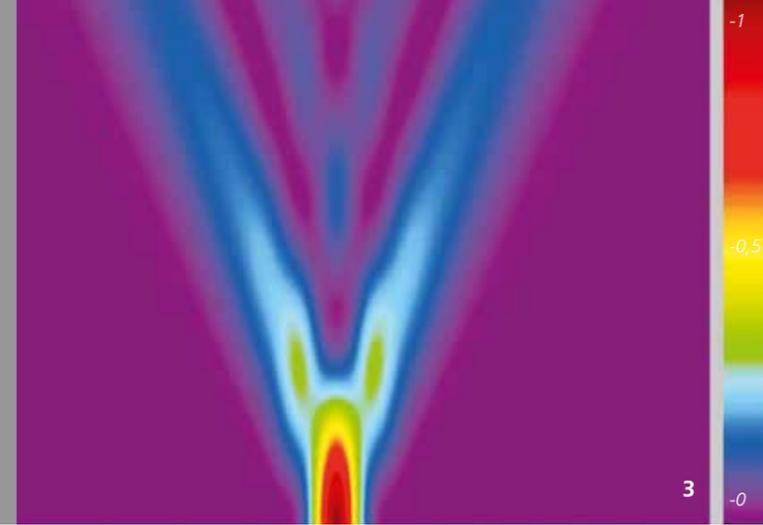
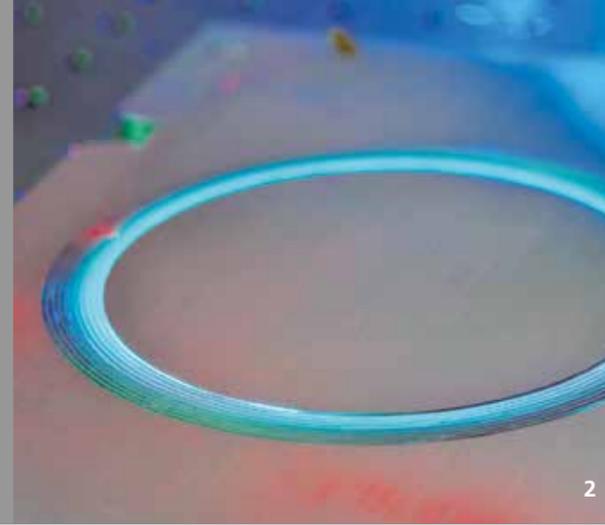
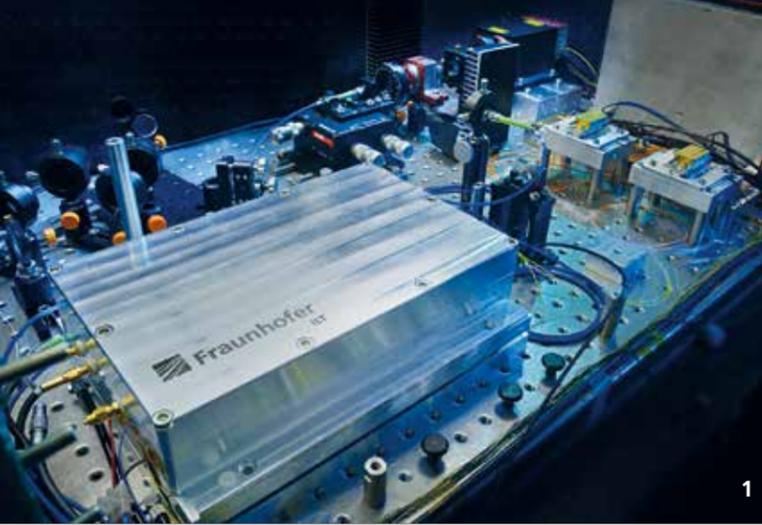
Strahlquellen mit Wellenlängen um 2 μm haben neben Gravitationswellendetektoren weitere Anwendungsbereiche, unter anderem in der Quantentechnologie, der Medizintechnik und der Materialbearbeitung. Während in der Interferometrie ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis des Gravitationswellendetektors angestrebt wird, ist in der Medizintechnik und der Materialbearbeitung die verbesserte Absorption der 2 μm Strahlung relevant.

Dieses Projekt wird durch Interreg EMR, Europäischer Fonds für regionale Entwicklung EFRE sowie vom Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert.

Ansprechpartner

Patrick Baer M. Sc., DW: -8251
patrick.baer@ilt.fraunhofer.de

2 Thulium-dotierter Faserverstärker für ETEST.



HOCHSTABILE FASERVERSTÄRKER FÜR DIE SATELLITENGESTÜTZTE GRAVITATIONSWELLENDETEKTION

Aufgabenstellung

Im Rahmen eines Projekts der Europäischen Weltraumagentur ESA als Studie für den zukünftigen weltraumbasierten Gravitationswellendetektor LISA (Laser Interferometer Space Antenna) wurde vom Fraunhofer ILT ein leistungsstabilisierter, spektral schmalbandiger Faserverstärker mit 10 W Ausgangsleistung entwickelt und aufgebaut. Aufgrund der gestiegenen Anforderungen an das Engineering Model (EM), welches bei einem Projektpartner in der aktuellen Projektphase umgesetzt wird, werden zusätzliche Entwicklungen und Untersuchungen durchgeführt, unter anderem zu den Stabilitätsanforderungen an Leistung und Phase. Außerdem soll für das EM der Technology Readiness Level (TRL) der zu verwendenden Komponenten nachgewiesen werden. Dazu sollen am Fraunhofer ILT Langzeittests der Komponenten im Vakuum durchgeführt werden.

Vorgehensweise

Um die extremen Stabilitätsanforderungen auch für das EM zu erfüllen, werden unterschiedliche Faserverstärkerkonzepte ausgelegt und experimentell verglichen. Eine Fragestellung ist hierbei, ob die besonders hohen Anforderungen technisch realisierbar sind. Zur Messung der Leistungsstabilität und des Phasenrauschens werden spezielle Messplätze verwendet.

1 Breadboard-Aufbau des hochstabilen Faserverstärkers der LISA-Vorstudie.

2 Aktive Faser des Verstärkers in Faserspirale.

Für die operationellen Thermal-Vakuum-Komponententests wird basierend auf der für den LISA-Laser am Fraunhofer ILT etablierten Technologie ein Faserverstärker entwickelt.

Ergebnis

Für die untersuchten Faserverstärker-Konzepte konnte eine Ausgangsleistung von 10 W mit einer spektralen Linienbreite von < 10 kHz bei einer Wellenlänge von 1064 nm demonstriert werden. Die hohen Anforderungen der LISA-Mission an die Leistungsstabilität konnten unseres Wissens nach weltweit erstmalig am Fraunhofer ILT im gesamten Frequenzbereich erfüllt werden, insbesondere im technisch anspruchsvollen niedrigen Frequenzbereich von 10^{-5} bis 1 Hz. Untersuchungen zur physikalischen Umsetzbarkeit der Anforderungen an das Phasenrauschen wurden durchgeführt und für 1 W Ausgangsleistung erfüllt.

Anwendungsfelder

Hochstabile schmalbandige Faserverstärker können neben dem Einsatz in Gravitationswellendetektoren z. B. für die Quantentechnologie, satellitengestützte Gravitationsfeldmessung und in Kommunikationsanwendungen verwendet werden.

Die Arbeiten wurden von der Europäischen Weltraumorganisation ESA unter dem Kennzeichen 4000119715/17/NL/BW gefördert.

Ansprechpartner

Pelin Cebeci M. Sc., DW: -8028
 pelin.cebeci@ilt.fraunhofer.de

Patrick Baer M. Sc., DW: -8251
 patrick.baer@ilt.fraunhofer.de

FREQUENZKAMM IM VAKUUM-ULTRAVIOLETT ZUR OPTISCHEN ANREGUNG DES KERNÜBERGANGS IN 229-THORIUM

Aufgabenstellung

229-Thorium besitzt als einziges Element einen Kernübergang im optischen Spektralbereich, der für den Betrieb einer Kernuhr geeignet ist. Um diesen Übergang optisch zu treiben, soll ein abstimmbarer Frequenzkamm im Vakuum-Ultraviolett (VUV) aufgebaut werden, der eine große Leistung pro Kammmode (nW/Mode) und extrem kleine Linienbreite (kHz) vereint und dessen Spektrum den Bereich um 150 nm abdeckt, der sich aus der aktuellen Kenntnis der Wellenlänge des Übergangs ergibt.

Vorgehensweise

Der Prozess der Erzeugung hoher Harmonischer (HHG) hat eine sehr kleine Konversionseffizienz, erlaubt aber eine kohärente Konversion, die die Kammmoden erhält und Wellenlängen im Bereich 10–200 nm ermöglicht. Für die Erzeugung der 7. Harmonischen eines Frequenzkamms im Infraroten (IR) stehen Laserverstärker mit großer Leistung zur Verfügung. Um die geforderte VUV-Leistung zu erreichen, wird ein Laser mit bis zu 400 W mittlerer Leistung, eine nichtlineare Pulskompression auf ca. 50 fs zur Steigerung der HHG-Effizienz und ein Überhöhungsresonator mit einer zirkulierenden Leistung von 10 kW eingesetzt. Eine Herausforderung dabei ist die Auskopplung der Harmonischen aus dem Resonator, die hier geometrisch erfolgt.

Ergebnis

Das beschriebene Konzept des VUV-Frequenzkamms mit den relevanten Spezifikationen ist ausgearbeitet und im Detail ausgelegt. Mit der Realisierung des Aufbaus wurde begonnen und erste Komponenten sind fertiggestellt.

Anwendungsfelder

Das Lasersystem wird ein essenzieller Baustein für eine Thorium-Kernuhr sein, die perspektivisch eine sehr viel höhere Genauigkeit erreichen kann als bisherige Atomuhren. Ein Frequenzkamm im VUV oder EUV ermöglicht weitere Anwendungen in der Spektroskopie. Daneben bieten räumlich kohärente Quellen im VUV- bis in den XUV-Bereich, die durch HHG realisierbar sind, zahlreiche Anwendungen in Wissenschaft und Industrie, beispielsweise Elektronenemissionsspektroskopie, Mikroskopie, Lithographie und Metrologie.

Die Entwicklung des VUV-Frequenzkamms wird durch den ERC Synergy Grant ThoriumNuclearClock im Rahmen eines Unterauftrags durch die Ludwig-Maximilians-Universität München gefördert.

Ansprechpartner

Dr. Johannes Weitenberg, Tel.: +49 241 80-40427
 johannes.weitenberg@ilt.rwth-aachen.de

Dr. Peter Rußbüldt, DW: -303
 peter.russbuedt@ilt.fraunhofer.de

3 Simulation der spektralen Intensität (Abzisse) über den Umläufen in der MPC (Ordinate) bei der nichtlinearen spektralen Verbreiterung zur Pulskompression.



LÖTPROZESSENTWICKLUNG ZUR KONTAKTIERUNG VON KRISTALLEN UND WÄRMESENKEN

Aufgabenstellung

Ytterbium-INNOSLAB-Kristalle müssen aufgrund der thermischen Belastung in Verstärkerstufen von Ultrakurzpulsstrahlquellen gekühlt werden. Diese Kühlung erfolgt über die Kontaktierung des Kristalls mit aktiven Wärmesenken. Hier ist eine homogene und porenfreie Anbindung mit hoher Wärmeleitung für den Einsatz eines Slab-Kristall-Packages in Hochleistungslasern essenziell. Der bisherige Reflow-Lötprozess soll zunächst analysiert und hinsichtlich Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit sowie einem optimierten Interface zwischen Kristall und Wärmesenke weiterentwickelt werden. Dabei soll die Skalierung der Querabmessungen berücksichtigt werden.

Vorgehensweise

Zunächst wird die mechanische Kontaktierung zwischen Kristall und Wärmesenke nach einem Reflow-Lötprozess mittels Computertomographie untersucht. Weiterhin wird die Änderung der optischen Eigenschaften des Kristalls durch den Reflow-Lötprozess mittels Messungen in einem Polarimeter ausgewertet. Dazu zählen insbesondere die Depolarisation und der Gangunterschied. Die erzielten Ergebnisse können mit Parametern des Reflow-Lötprozesses sowie den Spezifikationen der Wärmesenken und des Kristalls gefaltet werden.

1 Slab-Kristall-Package.

Ergebnis

Die Kontaktierungen, die mit bisherigen Reflow-Lötprozessen erzielt wurden, weisen einzelne im Verhältnis zur Lötfläche große Poren auf. Diese Fehlstellen lassen sich auch mittels Polarimeter-Messungen nachweisen. Darüber hinaus können auch hunderte im Verhältnis zur Lotfläche kleine Poren in der Lötverbindung auftreten. Diese kleinen Fehlstellen lassen sich nicht mittels Polarimeter erfassen. Durch eine Anpassung der Parameter des Reflow-Lötprozesses sowie den Spezifikationen der Wärmesenken und des Kristalls konnte die Homogenität der Anbindung deutlich gesteigert werden. Die Lötstufen weisen im Auflösungsbereich des verwendeten CT-Geräts reproduzierbar wenige oder keine Poren auf. Die Voraussetzungen zur Fertigung optimierter Slab-Kristall-Packages für Hochleistungslaser wurden damit demonstriert.

Anwendungsfelder

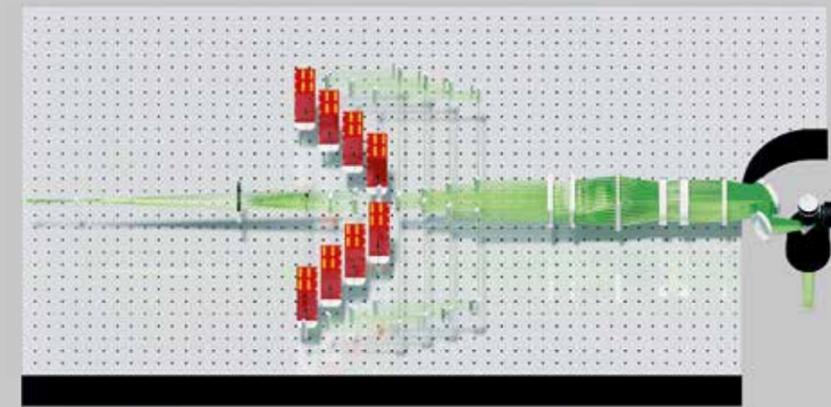
Auf Grundlage des weiterentwickelten Lötprozesses wurden Slab-Kristall-Packages zum Einsatz in Verstärkerstufen mit etwa 5 kW Pumpleistung aufgebaut und experimentell untersucht.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wird im Rahmen des Fraunhofer Cluster of Excellence Advanced Photon Sources (CAPS) gefördert.

Ansprechpartner

Jared-Ephraim Jorzig M. Sc., DW: -8232
jared-ephrain.jorzig@ilt.fraunhofer.de

Dr. Heinrich Faidel, DW: -592
heinrich.faidel@ilt.fraunhofer.de



4D-MULTISTRASHOPTIK FÜR DIE FLEXIBLE HOCHLEISTUNGS-UKP-LASER-MATERIALBEARBEITUNG

Aufgabenstellung

Thermische Akkumulation und Plasmabildung durch hohe Pulsenergie limitieren die nutzbare Leistung ultrakurzgepulster Laserstrahlquellen in industriellen Anwendungen und verhindern so oftmals den wirtschaftlichen Einsatz. Deshalb wird der Ansatz eines Punkt-Matrix-Druckers verfolgt. Dabei wird die Laserleistung in 8x8 Strahlen aufgeteilt, eine Strahlformung mit wenigen optischen Elementen realisiert sowie das zeitliche Schalten jedes individuellen Strahls ermöglicht.

Vorgehensweise

Der Rohstrahl einer ultrakurzgepulsten Hochleistungs-Laserstrahlquelle wird mit einem diffraktiven optischen Element in eine symmetrische 8x8-Strahlmatrix aufgeteilt. Ein aus mehreren Prismen zu einer Komponente gefügter Prismenstapel parallelisiert die unter diskretem Winkel austretenden Einzelstrahlen, die spaltenweise (1x8) in acht akusto-optische Modulatoren eingekoppelt werden. Diese schalten jeden Teilstrahl individuell durch Ablenkung ein oder aus. Alle eingeschalteten Strahlen werden mithilfe einer Kombination aus einem zweiten Prismenstapel sowie einem Teleskop so abgelenkt und aufgeweitet, dass der Spotabstand sowie der Spotdurchmesser auf dem Werkstück eingestellt werden können. Zur Reduzierung von Komplexität und Kosten formen einzelne Linsen, oder aus acht gleichen Linsenstreifen

zu einer Komponente verklebte Linsenstapel, alle Strahlen gleichzeitig. Die Spotmatrix wird schließlich mit einem Galvanometerscanner und einer Planfeldoptik auf dem Werkstück positioniert und fokussiert.

Ergebnis

Der neuartige auf Prismen- und Linsenstapeln basierende Ansatz erlaubt die Herstellung kompakter und modularer Multistrahl-optiken. Diese skalierbaren 4D-Optiken überwinden die Limitationen üblicher Relay-Optiken und kompensieren vollständig die durch den Scanner verursachte Verzeichnung der Spotmatrix für die Nullstellung. Neben der Strahlformung in drei Dimensionen ermöglicht die individuelle zeitliche Modulation jedes Teilstrahls die beliebige Strukturierung von Bauteilen.

Anwendungsfelder

Das Hauptanwendungsfeld liegt in der Herstellung von funktionalen Oberflächenstrukturen für Industrie, Medizin und Luftfahrt sowie von Form-, Präge- und Druckwerkzeugen.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU-Projekts MultiFlex im Rahmen des European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme unter dem Förderkennzeichen 825201 durchgeführt.

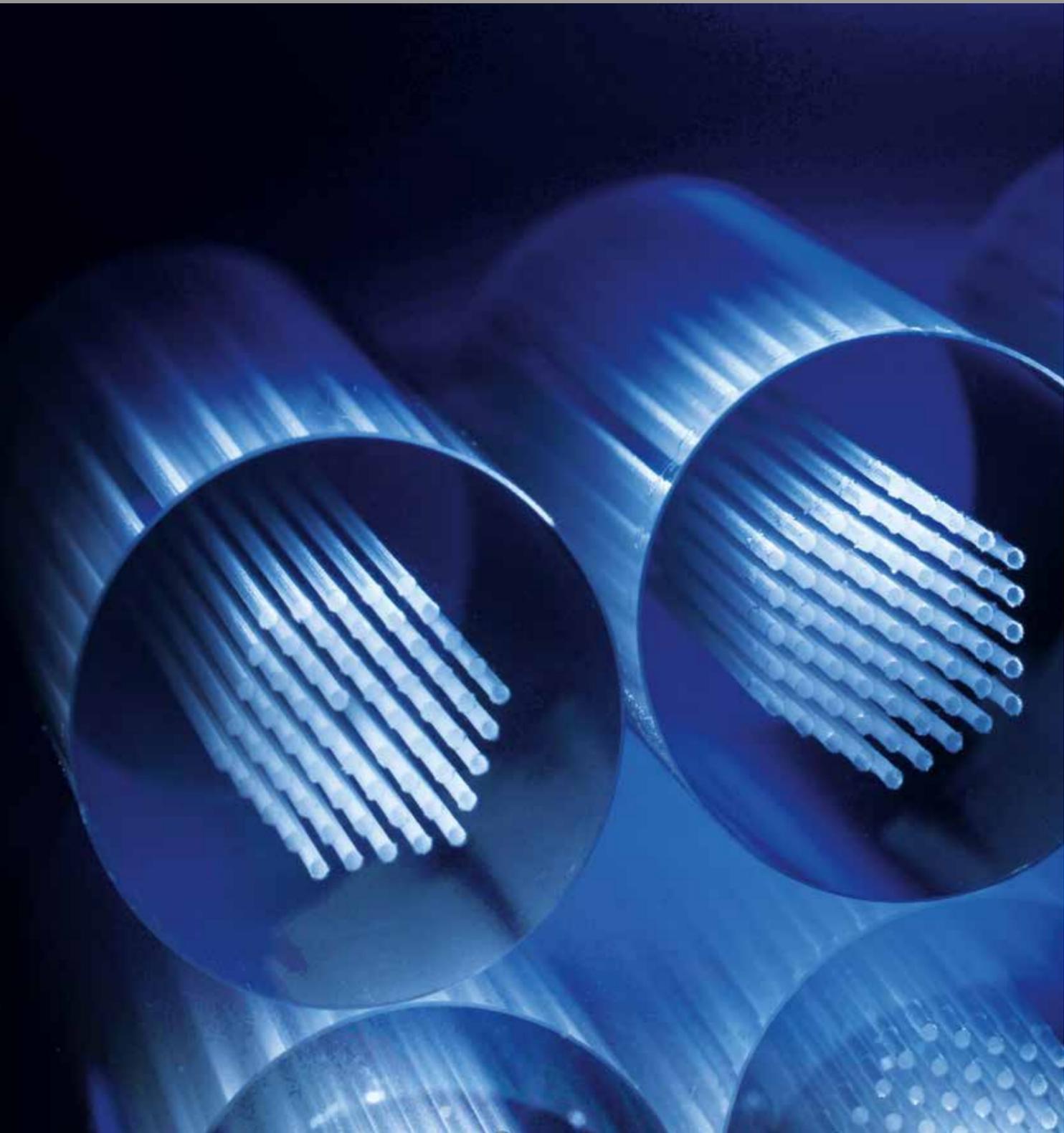
Ansprechpartner

Mario Hesker M. Sc., DW: -617
mario.hesker@tos.rwth-aachen.de

Dr. Marcel Prochnau, DW: -8220
marcel.prochnau@tos.rwth-aachen.de

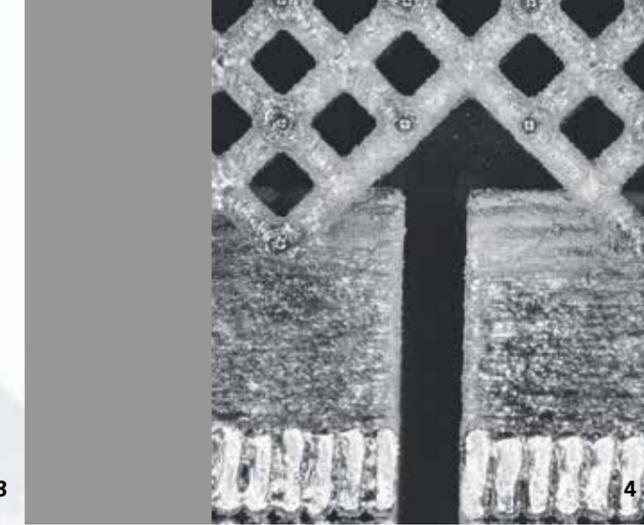
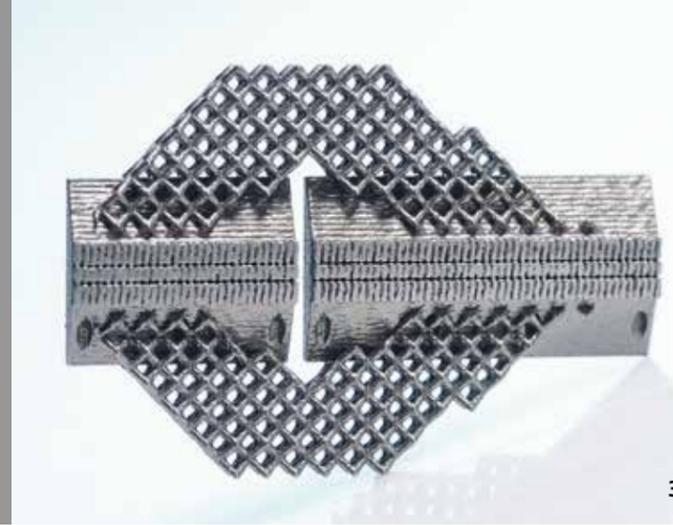
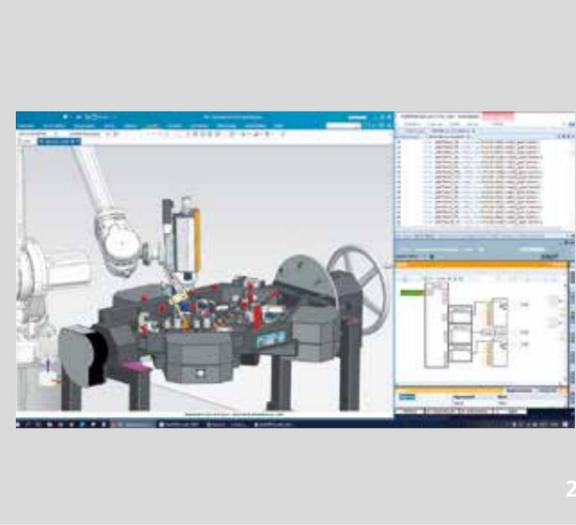
2 Ausgelegtes optisches System.

LASERMATERIALBEARBEITUNG



INHALT

Multifunktionale Laserroboterzelle mit Digitalem Zwilling		Erhöhung der Formtreue der Laserpolitur von Glasoptiken	58
Additiv gefertigte Wärmesenke für Anwendungen aus der Quantentechnologie	46	Waveshape-Verfahren für Lichtleiterwerkzeuge	59
Life Cycle Assessment (LCA) für die LPBF-Prozess- und Systemtechnik		Selektives Polieren mittels ultrakurz gepulster Laserstrahlung	60
Zeitliche und örtliche Laserstrahlmodulation für das Laser Powder Bed Fusion (LPBF)	47	Roboterbasierte UKP-Strukturierung auf Freiformflächen	61
In-situ-Integration von Sensoren durch den Einsatz von AM zur Identifikation von Bauteilen		Hochraten-UKP-Oberflächenstrukturierung im Rolle-zu-Rolle-Prozess	62
Hybrid-additive Fertigung von Schmiedebauteilen durch hochproduktives Laserauftragschweißen	48	Flexible Multistrahlbearbeitung beim selektiven laserinduzierten Ätzen	63
Inline-Sensorik für das ausschussfreie Laserauftragschweißen	49	Sub-Mikrometer-Bohrungen in Kunststoffen	64
Entwicklung einer hybriden Reparatur-Prozesskette für die Kreislaufwirtschaft		KI-basierte Prozessanalyse beim absorberfreien Laserdurchstrahlschweißen	65
Umweltschonende Herstellung von tribologisch hoch beanspruchten Gleitlagern mittels EHLA	50	Laserbasierte Herstellung von Druckglasdurchführungen für Mehrlagenkeramikelemente	66
EHLA 3D für die Additive Fertigung von Leichtbaukomponenten aus Aluminium		Maßgeschneiderte Verbindungen für Kunststoff-Metall-Hybridbauteile	67
Laserbasierte Herstellung polymerer Multifunktionsschichten für den Leichtbau	51	Neuartige örtliche Leistungsmodulation für das Lasermikroschweißen	68
Lasersintern gedruckter keramischer Festkörperbatterieschichten für die Elektromobilität	52	Neues Potenzial zur Optimierung des Laserstrahlschneidens durch Strahlfaltung	69
		Nutzung akustischer Resonanzen beim Laserstrahlschneiden – die »Schneidpfeife«	70
		Laser trifft Wasserstoff – Das Wasserstofflabor am Fraunhofer ILT	71



MULTIFUNKTIONALE LASERROBOTERZELLE MIT DIGITALEM ZWILLING

Aufgabenstellung

Multifunktionale Lasertechnik integriert unterschiedliche Laserprozesse in einer Fertigungszelle, um den zunehmenden Bedarf nach agiler Produktionstechnik zu erfüllen. Dazu wird erstmalig ein Bearbeitungskopf entwickelt, der trennende, fügende und auftragende Fertigungsschritte in einer Roboterzelle ohne Werkzeugwechsel beherrscht. Durch die parallele Entwicklung eines Digitalen Zwillings des Gesamtsystems wird das Engineering der Roboterzelle bis zu ihrer virtuellen Inbetriebnahme beschleunigt und optimiert.

Vorgehensweise

Die Multifunktionalität des Laserkopfs wird durch eine prozessvariable Laserstrahlformungsoptik, eine »Autonome Düse« und die Integration einer Drahtzufuhr realisiert. Der Digitale Zwilling erfordert umfangreiche Lernprozesse zusammen mit Projektpartnern sowie den Systemlieferanten Siemens und ABB: Modellierung der 3D-Mechaniken in NX-MCD, Verhaltensmodell in SIMIT, SPS-Programmierung im TIA-Portal, virtuelle Steuerung mit PLCSIM Advanced, virtueller Roboter Controller mit Robotstudio.

1 Paralleler Ablauf des realen und virtuellen Prozesses.

2 Virtuelle Roboterzelle im Digitalen Zwilling.

Ergebnis

Die geschilderte Vorgehensweise hat die erstmalige Realisierung einer multifunktionalen Laserroboterzelle und ihres Digitalen Zwillings ermöglicht. Ihre virtuelle Inbetriebnahme hat die Auslegung und Optimierung von Mechanik und Steuerung sowie die Programmierung des Gesamtsystems beschleunigt. Die Kommunikation zwischen Steuerung und Komponenten erfolgt in einer praxisnahen Kombination aus PROFINET und hartverdrahteten I/Os.

Anwendungsfelder

Mit dieser Entwicklung wird erstmals der Aufbau einer multifunktionalen Laserroboterzelle auf Basis eines Digitalen Zwillings realisiert. Die Virtualisierung ermöglicht eine beschleunigte Inbetriebnahme des Gesamtsystems, eine erheblich verminderte Fehleranfälligkeit in der Fertigungsvorbereitung sowie eine effizientere Fertigungsplanung. Anwendungen sind überall dort zu finden, wo es auf hohe Variantenvielfalt, schnelle Produktwechsel und System-Rekonfigurierbarkeit ankommt. Die Entwicklung zielt auf die Fertigung von Elektrofahrzeugen und eröffnet viele Anwendungen darüber hinaus.

Das Vorhaben MultiPROmobil wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes NRW unter dem Förderkennzeichen EFRE-0801253 in Kooperation mit den Partnern Bergmann & Steffen, CAE Innovative Engineering und LBBZ gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Martin Dahmen, DW: -307
martin.dahmen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring, DW: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de

ADDITIV GEFERTIGTE WÄRMESENKE FÜR ANWENDUNGEN AUS DER QUANTENTECHNOLOGIE

Aufgabenstellung

In Quantentechnologienanwendungen werden optische Komponenten hochgenau auf individuelle Betriebstemperaturen geregelt, um einen effizienten Betrieb zu gewährleisten. Die thermische Regelung erfolgt dabei über Wärmesenken, die im Gegensatz zu den optischen Komponenten meist aus metallischen Werkstoffen gefertigt sind. Im Betrieb ergeben sich dabei thermisch induzierte mechanische Spannungen zwischen Wärmesenke und optischer Komponente, weil die kombinierten Materialien unterschiedliche thermische Ausdehnungen zeigen. Weiterhin besteht die Herausforderung, die Temperaturen in optischen Komponenten lokal und trennscharf einstellen zu können mit minimal ausgedehnten thermischen Übergangsbereichen zwischen verschiedenen Temperaturfeldern.

Vorgehensweise

Die Designfreiheit der Additiven Fertigung wurde eingesetzt, um eine multifunktionale Wärmesenke zu entwickeln. Dabei wurden auf Basis thermischer Simulationen innovative Design Features wie Gitterstrukturen eingesetzt und neuartige Strukturelemente entwickelt, die eine lokale Einstellung des mechanischen Verhaltens erlauben. Die Wärmesenke wurde additiv mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF) aus der Titanlegierung TiAl6V4 hergestellt und im Anschluss spannungsarm geglüht, um LPBF-prozessinduzierte Verformungen zu vermeiden.

Ergebnis

Die Kompensation thermisch induzierter Spannungen im Übergangsbereich zwischen optischer Komponente und Wärmesenke wurde durch ein innovatives Designprinzip erreicht. Konkret wurde durch eine maßgeschneiderte mechanische Steifigkeit eine definierte Verformung im Betrieb eingestellt. Die Minimierung thermischer Übergangsbereiche wurde durch die Verwendung von Gitterstrukturen sichergestellt, die die zwei unterschiedlich temperierten Bereiche der Wärmesenke verbinden. Die Kombination aus notwendiger mechanischer Stabilität bei maximaler thermischer Isolation ermöglicht eine Minimierung des thermischen Übergangsbereichs.

Anwendungsfelder

Das Konzept der Wärmesenke kann insbesondere auf dem Gebiet der Quantentechnologie angewendet werden. Außerdem bietet das Konzept Potenzial im Bereich von Laseranwendungen im Weltall, wo die Ausfallsicherheit der optischen Komponente höchste Priorität hat. Darüber hinaus können im Allgemeinen Verbesserungen in technischen Systemen erreicht werden, die aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen und in denen eine genaue Temperierung erforderlich ist.

Ansprechpartner

Juri Munk M. Eng., DW: -8111
juri.munk@ilt.fraunhofer.de

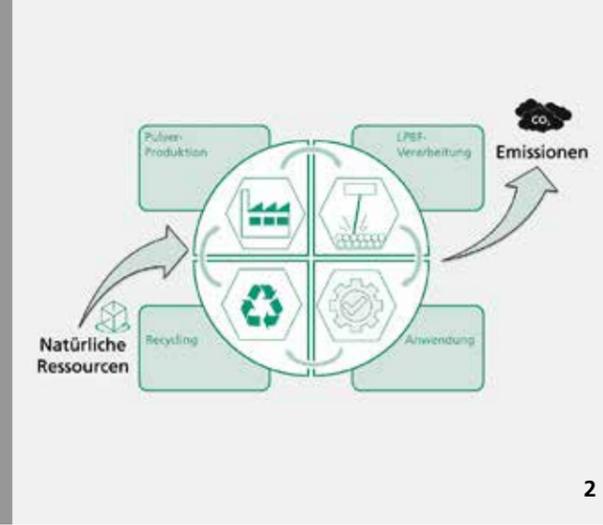
Jasmin Saewe M. Sc., DW: -135
jasmin.saewe@ilt.fraunhofer.de

3 Additiv gefertigte Wärmesenke.

4 Funktionale Strukturen zur thermischen Kompensation.



1



2



3

LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) FÜR DIE LPBF-PROZESS- UND SYSTEMTECHNIK

Aufgabenstellung

Additive Fertigungsverfahren wie das Laser Powder Bed Fusion (LPBF) erlauben eine endkonturnahe Fertigung von Bauteilen mit erhöhter Funktionsintegration und reduziertem Materialeinsatz. Der Additiven Fertigung wird daher in Bezug auf die Steigerung der Nachhaltigkeit von zukünftigen Produktentwicklungen sowie Fertigungsketten eine zentrale Bedeutung zugeschrieben. Die Fertigung von Bauteilen mittels LPBF geht zwar häufig mit einem reduzierten Materialverbrauch einher, führt jedoch im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren zu einer Verschiebung der Energie- und Ressourcenverbräuche innerhalb der Fertigungsprozesskette, beispielsweise durch die Herstellung des erforderlichen Metallpulvers. Ein ganzheitliches Life Cycle Assessment (LCA) des LPBF-Prozesses im Kontext der finalen Anwendung und unter Berücksichtigung der Einflussgrößen der vor- und nachgelagerten Prozessschritte ist daher für eine Bewertung der Nachhaltigkeit notwendig.

Vorgehensweise

Zur ganzheitlichen Betrachtung des Lebenszyklus eines LPBF-gefertigten Bauteils müssen die wesentlichen Prozessschritte wie die Pulverherstellung, die LPBF-Fertigung und Nachbearbeitung sowie die Applikation und das Recycling untersucht werden.

- 1 Vorteile des additiven Verfahrens am Beispiel eines MAN-Leitschaufelclusters.
- 2 LCA-Modell für die LPBF-Prozesskette.

Die Prozesskette wird in einem digitalen Modell zusammen mit ihren Input- und Outputgrößen abgebildet. Speziell für das LPBF-Verfahren stehen jedoch noch kaum belastbare Informationen zur Verfügung, sodass diese mittels experimenteller Messungen an den Systemen ermittelt werden müssen.

Ergebnis

Ein Prozesskettenmodell für die Fertigung von LPBF-Bauteilen wurde erfolgreich abgeleitet. Darüber hinaus wurden für erste Bauteile der Luft- und Raumfahrtbranche belastbare Energie- und Massenströme im Rahmen des EU-Forschungsprogramms CleanSky2 erfasst und in das Modell implementiert. Weitere Untersuchungen zum Einfluss prozessseitiger Parameter und Stellgrößen sollen das Modell in näherer Zukunft ergänzen.

Anwendungsfelder

Neben der hohen Nachfrage nach LCA-Daten in der Luft- und Raumfahrt achten immer mehr Branchen auf die Nachhaltigkeit ihrer Prozesse und Produkte, beispielsweise die Automobilbranche. Außerdem beteiligt sich das Fraunhofer ILT als Mitglied der »Additive Manufacturing Green Trade Association« an Untersuchungen zur Nachhaltigkeit des LPBF-Verfahrens.

Ansprechpartner

Christian Weiß M. Sc., DW: -608
christian.weiss@ilt.fraunhofer.de

Daniel Heußen M. Sc., DW: -8360
daniel.heußen@ilt.fraunhofer.de

ZEITLICHE UND ÖRTLICHE LASERSTRAHLMODULATION FÜR DAS LASER POWDER BED FUSION (LPBF)

Aufgabenstellung

Die Additive Fertigung mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF) ermöglicht die Fertigung von Funktionsbauteilen mit nahezu uneingeschränkter geometrischer Komplexität. Jedoch hemmt die vergleichsweise geringe Verfahrensproduktivität einen breiten industriellen Einsatz des LPBF in der Produktion. Insbesondere die Nutzung kleiner Laserstrahldurchmesser bei gleichzeitigem Einsatz großer Laserleistungen von bis zu 1000 W führt beim LPBF zu großen Maximalintensitäten und somit zu einem größeren Risiko von Bauteildefekten und Prozessinstabilitäten. Aus diesem Grund wird in der Praxis häufig auf die kostenintensive Multiplikation von Laser-Scanner-Systemen zur Vergrößerung der Produktivität von LPBF-Maschinen zurückgegriffen. Um die daraus resultierenden Restriktionen des LPBF zu überwinden, entwickelt das Fraunhofer ILT im Rahmen des Forschungscampus Digital Photonic Production DPP gemeinsam mit Forschungs- und Industriepartnern alternative Ansätze der zeitlichen und örtlichen Laserstrahlmodulation für das LPBF.

Vorgehensweise

Ein möglicher Lösungsansatz ist das LPBF mittels Dual-Faserlaser-Array. Im Vergleich zum konventionellen LPBF werden dabei zwei individuell adressierbare Singlemode-Faserlaser über einen einzelnen Galvanometerscanner abgelenkt. Durch eine am Fraunhofer ILT entwickelte Multistrahloptik können

die Laserspots hinsichtlich ihrer relativen Orientierung flexibel und dynamisch angepasst werden. Hieraus ergeben sich zusätzliche Freiheitsgrade, die zur Vergrößerung der Verfahrensproduktivität beim LPBF genutzt werden können.

Ergebnis

Die grundsätzliche Machbarkeit und das Potenzial des LPBF mittels Dual-Faserlaser-Array für die Verarbeitung des Edelstahls AISI 316L konnte demonstriert und anhand von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen des LPBF-Prozesses analysiert werden. Dabei werden relative Bauteildichten oberhalb von 99,9 Prozent erreicht. Gleichzeitig wird eine Verdopplung der Aufbaurate im Vergleich zum LPBF mit einer einzelnen Laserstrahlquelle erreicht.

Anwendungsfelder

Im Rahmen des Forschungscampus DPP wird der Ansatz für das LPBF gemeinsam mit Industriepartnern aus dem Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus sowie Anwendern aus dem Bereich des Turbomaschinenbaus erforscht.

Die Arbeiten werden im Rahmen der Forschungsförderinitiative »Forschungscampus öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF durch den Forschungscampus Digital Photonic Production DPP unterstützt.

Ansprechpartner

Tim Lantzsch M. Sc., DW: -193
tim.lantzsch@ilt.fraunhofer.de

Jasmin Saewe M. Sc., DW: -135
jasmin.saewe@ilt.fraunhofer.de

- 3 Multistrahloptik für das LPBF mittels Dual-Faserlaser-Array.



IN-SITU-INTEGRATION VON SENSOREN DURCH DEN EINSATZ VON AM ZUR IDENTI- FIKATION VON BAUTEILEN

Aufgabenstellung

RFID-Chips stellen ein wirksames Mittel zum Schutz gegen Fälschungen dar und vereinfachen die digitale Nachverfolgung und Zuordnung von Flugzeugbauteilen von deren Produktion bis zur Montage. Durch den Einsatz additiver Fertigungsverfahren werden Arbeitsschritte reduziert und der RFID-Chip irreversibel in das Bauteil integriert. Um eine In-situ-Integration zu realisieren, muss eine geeignete Modifikation des Lasersinterprozesses entwickelt werden.

Vorgehensweise

Um eine möglichst platzsparende, robuste und sichere Integration von RFID-Chips in additiv gefertigte Flugzeugbauteile zu ermöglichen, ist die Entwicklung von Designrichtlinien im Hinblick auf die Auslesewahrscheinlichkeit und die Untersuchung des Einflusses auf die mechanischen Eigenschaften der Bauteile erforderlich. Für die Verfahrensentwicklung werden die geometrischen Randbedingungen wie maximale Wandstärke und Größe des notwendigen Hohlraums ermittelt. Neben der Sensorintegration durch geometrische Lösungen werden die Machbarkeit der In-situ-Integration in Kunststoffbauteile erarbeitet sowie die Auswirkung der erforderlichen Prozessunterbrechung auf das Bauteil untersucht.

- 1 Shuttle-Receiver-Ansatz als geometrische Integrationslösung.
2 Bauteil nach In-situ-Chipintegration mit AM-gefertigter Saugspitze.

Ergebnis

RFID-Chips können in Bauteile aus PA 12 sowohl durch eine geometrische Lösung nach dem Bauprozess als auch in situ integriert werden. Die bündige und irreversible Integration des als geometrische Lösung verwendeten Shuttle-Receiver-Ansatzes erfolgt über Widerhaken. Die darüber hinaus erarbeitete In-situ-Integration erfordert eine Prozessunterbrechung. Während dieser wird das Pulver aus einer in das Bauteil eingefügten Kavität abgesaugt und der RFID-Chip in die Kavität eingesetzt. Anschließend wird der Bauprozess fortgesetzt. Die benötigte Kavitätsgröße ist die Chipgröße +1 mm. Eine Prozessunterbrechung von weniger als 5 min beeinflusst die mechanischen Bauteileigenschaften nicht. Die maximale Wandstärke für das sichere Auslesen des RFID-Chips für Bauteile aus PA 12 beträgt 10 mm.

Anwendungsfelder

Die Integration von RFID-Chips und weiteren Sensoren in additiv gefertigte Bauteile ermöglicht eine digitale Bauteilnachverfolgung, welche die Logistik vereinfacht und Raubkopien erschwert. Darüber hinaus können integrierte Sensoren zur Messung von Umgebungsparametern wie Temperatur oder Druck z. B. in der Medizintechnik und Automobilindustrie genutzt werden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben Print&Track wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Förderkennzeichen 20X1726D durchgeführt.

Ansprechpartner

Daniel Flachsenberg M. Sc., DW: -270
daniel.flachsenberg@ilt.fraunhofer.de

HYBRID-ADDITIVE FERTIGUNG VON SCHMIEDEBAUTEILEN DURCH HOCHPRODUKTIVES LASERAUFTRAGSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Die Kombination von konventionellen Verfahren, wie z. B. Gießen oder Schmieden und Additive Fertigung durch Laserauftragschweißen, bietet neuartige fertigungstechnische Möglichkeiten zur Herstellung innovativer Bauteile. Mit additiv aufgetragenen Strukturelementen auf herkömmlich produzierten Rohteilen können so komplexere Bauteile und Varianten in kürzerer Zeit hergestellt werden.

Im Rahmen des LuFo-Programms erforscht das Fraunhofer ILT zusammen mit den Partnern OTTO FUCHS, ACCESS und BTU Cottbus die hybrid-additive Fertigung von TiAl6V4-Schmiedebauteilen für eine Luftfahrtanwendung. Zentrale Herausforderungen in diesem Zusammenhang bestehen darin, dass das additiv aufgetragene Material vergleichbare Eigenschaften wie das geschmiedete Grundmaterial aufweisen und gleichzeitig Aufbauraten im Bereich einiger Kilogramm pro Stunde erreicht werden sollen.

Vorgehensweise

Zur Steigerung der Aufbauraten wurden die Verfahrensparameter für den Laserauftragschweißprozess und Aufbaustrategien für Laserleistungen von mehreren Kilowatt entwickelt. Um den Sauerstoffeintrag in das aufgetragene Volumina zu minimieren, wird der Prozess in einer Inertgaskammer durchgeführt. Zur Einstellung der gewünschten Materialeigenschaften erfolgt eine anschließende Wärmebehandlung.

Ergebnis

Demonstratoren aus TiAl6V4 können mit Aufbauraten von bis zu 4 kg/h durch die gezielte Auslegung der Prozessführung erfolgreich hergestellt werden. Die mechanischen Eigenschaften erfüllen dabei die strengen Anforderungen der Luftfahrtindustrie. Zusätzliche Musterteile für weitere Anwendungsbereiche wurden bereits hergestellt und endbearbeitet.

Anwendungsfelder

Neben Titanlegierungen können alle technischen Schmiedelegerungen verarbeitet werden. Anwendungen finden sich überwiegend dort, wo hochwertige größere Bauteile in kleinen oder mittleren Stückzahlen gefertigt werden müssen, also z. B. in der Luftfahrtindustrie, der Energietechnik oder auch im allgemeinen Maschinenbau. Neben der Additiven Fertigung eignen sich die entwickelten Prozesse auch für die Reparatur und Instandsetzung von Bauteilen, wodurch teure Werkstoffe eingespart werden können.

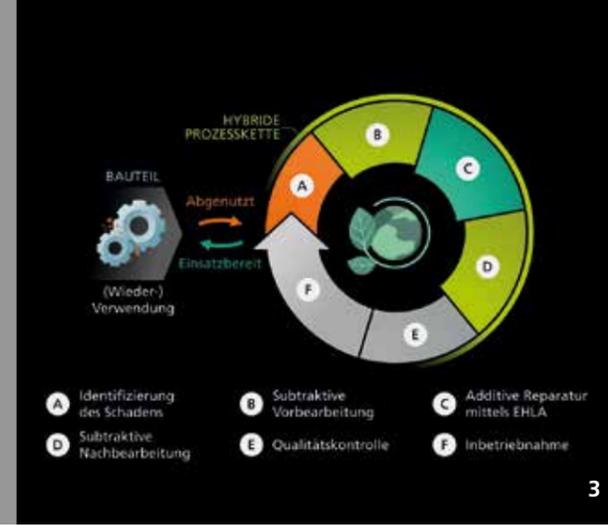
Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Förderkennzeichen 20W1719A durchgeführt.

Ansprechpartner

Rebar Hama-Saleh M. Sc., DW: -626
rebar.hama-saleh@ilt.fraunhofer.de

Dr. Andreas Weisheit, DW: -403
andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de

- 3 Additiv aufgetragene Kontur auf einem Schmiedebauteil.
4 Endbearbeitetes Hybridbauteil.



INLINE-SENSORIK FÜR DAS AUSSCHUSSFREIE LASERAUFTRAGSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Das Laserauftragschweißen (LA) ermöglicht die Fertigung metallischer Funktionsbauteile vom Einzelstück bis hin zur Serienproduktion. Abweichungen der aufgetragenen LA-Spuren gegenüber den Planungsdaten können sich dabei Lage für Lage so aufsummieren, dass die erzielte Bauteilgeometrie außerhalb der Toleranz liegt. Um den entstehenden Ausschuss zu minimieren oder sogar ausschussfrei zu produzieren, wird eine Regelung des LA-Prozesses basierend auf einer interferometrischen Sensorik zur Inline-Erfassung der Auftragsgeometrie angestrebt.

Vorgehensweise

Die Messstrahlung der interferometrischen Sensorik ist der Bearbeitungsstrahlung koaxial überlagert und beschreibt eine Kreisbahn um den Auftragsort. Dabei erfolgt unabhängig von der Vorschubrichtung eine vorlaufende und nachlaufende Erfassung der Bauteilgeometrie. Die darin enthaltene Höheninformation wird mit den von der LA-Anlage bereitgestellten Positionsdaten für den jeweiligen Auftragsort synchronisiert und zu 3D-Datensätzen zusammengefasst.

- 1 Pulverfokus mit umlaufendem Messstrahl.
- 2 Robotergeführte Laserauftragschweißoptik mit integrierter koaxialer Messstrahlführung.

Ergebnis

Aus diesen zeitaufgelösten 3D-Datensätzen kann die Oberflächenkontur bestimmt werden. Im nächsten Schritt soll eine modellbasierte Bestimmung von Topographieelementen erfolgen, um einen Abgleich mit den CAD-Solldaten in der Datenverarbeitungskette zu implementieren. Darauf aufbauend werden Regelungseingriffe zur Stabilisierung des Laserauftragschweißprozesses etabliert. Diese Echtzeitregelung auf Basis der inline gemessenen Geometriedaten soll zur Umsetzung einer selbstparametrierenden LA-Anlage für die schnelle Entwicklung neuartiger LA-Bauteile eingesetzt werden.

Anwendungsfelder

Der neuartige Ansatz für eine geregelte Laserauftragschweißanlage ermöglicht insbesondere die Fertigung komplexer Systemkomponenten, wie z. B. bionisch optimierte Funktionsbauteile im Fahrzeugbau.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wird im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Förderkennzeichen ZF4328109FH9 durchgeführt.

Ansprechpartner

Fabian Wendt M. Sc., DW: -312
fabian.wendt@ilt.fraunhofer.de

Dr. Stefan Hölters, DW: -436
stefan.hoelters@ilt.fraunhofer.de

ENTWICKLUNG EINER HYBRIDEN REPARATUR-PROZESSKETTE FÜR DIE KREISLAUFWIRTSCHAFT

Aufgabenstellung

Hochbeanspruchte Bauteile fallen häufig aufgrund lokaler Beschädigungen der Randzone infolge von Verschleiß oder Korrosion aus. Dabei sind die beschädigten Bereiche im Vergleich zur Gesamtgröße des Bauteils klein. Defekte Komponenten werden derzeit in der Regel ressourcenintensiv durch neue Bauteile ausgetauscht. Auch beim Recycling von metallischen Präzisionsbauteilen wird die Umwelt trotz gewisser Ressourcen- und Energieersparnisse gegenüber der Primärgewinnung durch energieintensive Schmelzverfahren weiterhin stark belastet. Die steigende Nachfrage nach immer knapper werdenden Rohstoffen führt neben der wirtschaftlichen Abhängigkeit von importierenden Ländern auch zu einer erheblichen Umweltbelastung durch den mit der Wertschöpfung verbundenen CO₂-Ausstoß. Deutlich nachhaltiger ist in diesem Zusammenhang die Reparatur von Bauteilen, bei der die Schadstellen lokal bearbeitet und beschädigte Bauteile wieder instand gesetzt werden.

Vorgehensweise

Die Instandsetzung erfolgt mittels einer automatisierten, hybriden Prozesskette: Zunächst werden die Schadstellen am Bauteil detektiert, durch einen Drehprozess abgetragen und in eine definierte Nutgeometrie überführt, welche anschließend durch Laserauftragschweißen wieder additiv aufgefüllt wird. Durch eine spanende Nach- bzw. Fertigbearbeitung der Reparaturstelle wird das Anforderungsprofil wiederhergestellt und das Bauteil kann erneut in Betrieb genommen werden.

Ergebnis

Die einzelnen Fertigungsschritte werden durch eine Softwarelösung unterstützt, welche eine maschinenintegrierte Geometrieerfassung, die automatisierte Bahnplanung und die Programmerstellung vereint. Durch eine maschinenoffene Auslegung kann das System auf unterschiedlichen industriellen Maschinenkonzepten eingesetzt werden. Durch die Entwicklung und Qualifizierung der hybriden Prozesskette für die Reparatur von metallischen Präzisionsbauteilen wird die Ressourcen- und Energieeffizienz im Sinne einer Kreislaufwirtschaft deutlich gesteigert und die Umwelt maßgeblich entlastet. Die Reparatur reduziert den Rohstoffbedarf sowie die Abhängigkeit von Zulieferern und steigert damit die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen.

Anwendungsfelder

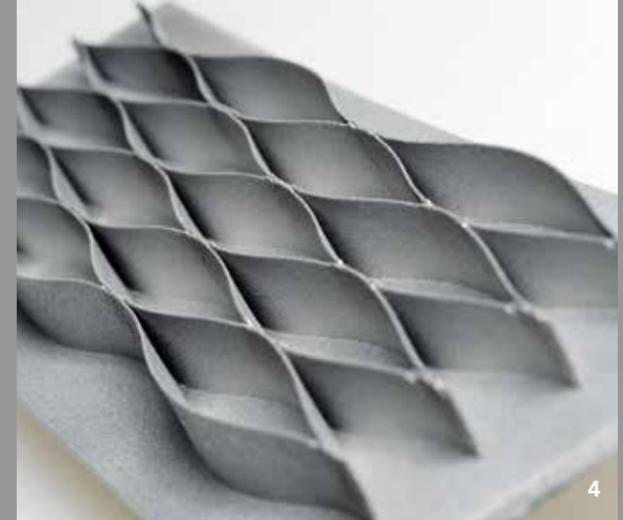
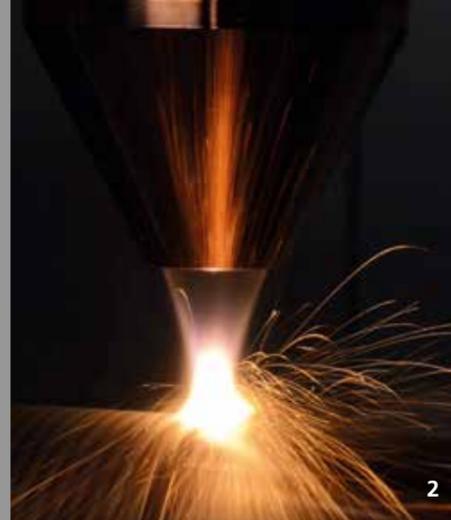
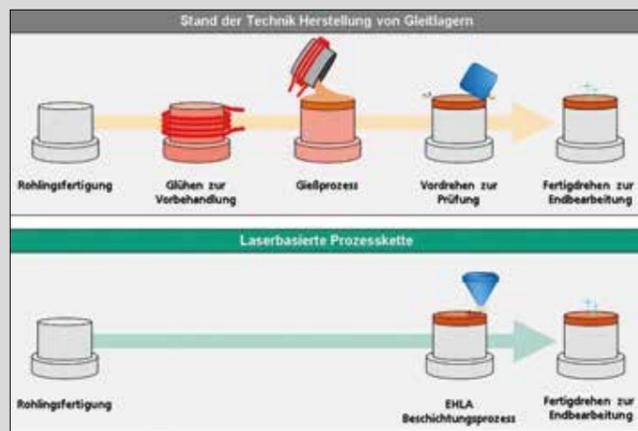
Die hybride Prozesskette kann für die Reparatur von rotations-symmetrischen Bauteilen aus Metall angewendet werden. Neben Rohbauteilen können auch beschichtete Bauteile mit artgleichen oder artfremden Werkstoffen instand gesetzt werden. Besondere Ressourcen- und Energieeinsparungen sind bei der Reparatur von großvolumigen Bauteilen zu erwarten.

Ansprechpartner

Matthias Brucki M. Sc., DW: -314
matthias.brucki@ilt.fraunhofer.de

Dr. Thomas Schopphoven, DW: -8107
thomas.schopphoven@ilt.fraunhofer.de

- 3 Prinzip hybride Prozesskette für die Kreislaufwirtschaft.
- 4 Additive Reparatur mittels EHLA.



UMWELTSCHONENDE HERSTELLUNG VON TRIBOLOGISCH HOCH BEANSPRUCHTEN GLEITLAGERN MITTELS EHLA

Aufgabenstellung

Das Gleitlager ist neben dem Wälzlager die im Maschinen- und Gerätebau am häufigsten gebrauchte Lagerbauart. Jährlich werden ca. 10 Milliarden Lager (Wälz- und Gleitlager) weltweit hergestellt. Bei Fahrzeugen werden 5 Prozent des Kraftstoffverbrauchs durch mechanische Verluste verursacht, ein Fünftel aufgrund von Widerständen in den Lagern. Im Gleitlager stehen die beiden sich relativ zueinander bewegenden Teile im direkten Kontakt und gleiten aufeinander gegen den durch Gleitreibung verursachten Widerstand. Für die Beschichtung werden selbstschmierende Blei-Bronze-Legierungen als Gleitwerkstoff verwendet, um den Reibwiderstand zu reduzieren. Für die bisher alternativlose Verwendung von bleihaltigen Beschichtungen sind aufgrund auferlegter Restriktionen wie EU-Verordnungen (z. B. VERORDNUNG (EU) 2015/ 628 und REACH-Liste [4-6]) langfristig bleifreie Gleitwerkstoffe zum Schutz von Mensch und Umwelt erforderlich. Weitere Einsparungspotenziale bietet der Ersatz des energie- und ressourcenintensiven Verbundgussverfahrens, welches für die Verarbeitung der Bleischichten eingesetzt wird.

1 Prozesskettenvergleich.

2 Beschichtungsprozess der Gegenauflfläche eines Gleitlagers mittels EHLA.

Vorgehensweise

Zur wirtschaftlichen Herstellung von Gleitlagern aus bleifreien Gleitwerkstoffen werden für das Extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (EHLA) geeignete Verfahrensparameter entwickelt und qualifiziert. Neben einer metallografischen Auswertung werden die tribologischen Eigenschaften analysiert.

Ergebnis

Das laserbasierte Herstellungsverfahren beinhaltet deutlich weniger Prozessschritte als bisherige Prozessketten. Der erforderliche Energie- und Ressourceneinsatz kann drastisch reduziert und damit entscheidende ökologische sowie ökonomische Vorteile erzielt werden. Weiterhin kann mit EHLA gegenüber dem Verbundgussverfahren eine wesentlich höhere Prozessstabilität erreicht werden. Die aufgetragenen Gleitwerkstoffe, wie z. B. Kupfer-Aluminium-Bronzen, verfügen über eine schweißmetallurgische Anbindung zum Grundkörper und eine Wärmeinflusszone von nur wenigen Mikrometern.

Anwendungsfelder

Die demonstrierte EHLA-Prozesskette eignet sich für zahlreiche weitere Anwendungen, bei denen hochbeanspruchte Oberflächen geschützt werden müssen, wie z. B. in Lagerkomponenten in den Sektoren Automobil, Windkraftanlagen, Luft- und Rauffahrt, Landwirtschaft, Bergbau, Eisenbahn, Marine- und Offshore-Anwendungen, hydraulische Motoren und insbesondere Axialkolbenpumpen.

Ansprechpartner

Matthias Brucki M. Sc., DW: -314
matthias.brucki@ilt.fraunhofer.de

Min-Uh Ko M. Sc., DW: -8441
min-uh.ko@ilt.fraunhofer.de

EHLA 3D FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG VON LEICHTBAUKOMPONENTEN AUS ALUMINIUM

Aufgabenstellung

Die Additive Fertigung durch Extremes Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (EHLA 3D) bietet zahlreiche technologische Alleinstellungsmerkmale und Vorteile gegenüber der konventionellen Verfahrensführung beim Laserauftragschweißen, wie etwa eine deutlich größere Präzision und Auflösung der hergestellten Strukturen und Volumina bei gleichzeitig hohen Aufbauraten. Daraus leitet sich ein großes Potenzial zur Erschließung neuartiger Leichtbauanwendungen mit Aluminiumwerkstoffen ab. Die Verarbeitung von Aluminiumlegierungen mit laserbasierten Verfahren ist jedoch aufgrund des geringen Absorptionsgrads und der hohen Wärmeleitfähigkeit herausfordernd. Somit spielt die werkstoffspezifische Anpassung der Prozessführung eine entscheidende Rolle.

Vorgehensweise

Um die erforderlichen großen Vorschubgeschwindigkeiten in allen Raumrichtungen bei der Herstellung komplexer Strukturen umzusetzen, wird eine hochdynamische Tripod-Kinematik für Vorschubgeschwindigkeiten von bis zu 200 m/min und große Beschleunigungen bis zu 50 m/s² genutzt, die am Fraunhofer ILT in Kooperation mit der Ponticon GmbH entwickelt und aufgebaut wurde. Basierend auf Untersuchungen und Erkenntnissen zum EHLA 3D für Eisen- und Nickelbasiswerkstoffe werden die Verfahrensparameter für die Werkstoffe AlSi12 und AlSi7Mg0,6 experimentell ermittelt. Neben einer metallografischen Auswertung werden die mechanischen Eigenschaften additiv gefertigter Volumina bestimmt.

Ergebnis

Die Additive Fertigung von Aluminiumvolumina gelingt mit Prozesspulverwirkungsgraden von über 95 Prozent und einer relativen Dichte von über 99 Prozent. Anhand von Zugversuchen kann nachgewiesen werden, dass die mechanischen Eigenschaften auf dem Niveau nicht-additiver Materialproben liegen. Daneben können dünnwandige Strukturen mit Stegbreiten unter 1 mm für Aluminiumleichtbauteile, z. B. für Verrippungsstrukturen von Sandwichbauteilen, additiv auf Aluminiumbauteile aufgebracht werden. Ohne ein seitliches Anstellen von Bauteil zu Pulverdüse gelingt es zudem, Überhänge von bis zu ca. 40° herzustellen.

Anwendungsfelder

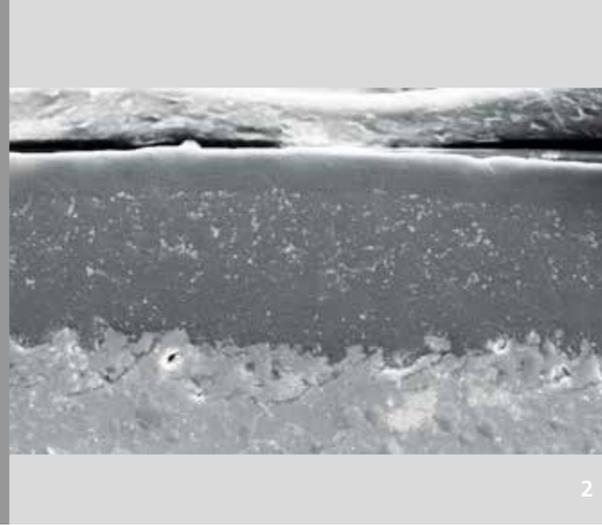
Die Ermittlung geeigneter Verfahrensparameter und Aufbaustrategien für geometrische Grundelemente stellt die Voraussetzung für die Übertragung der Ergebnisse auf komplexe, industriell einsetzbare Aluminiumbauteile dar. Durch die Option, auch schwer schweißbare Materialien zu kombinieren, eröffnen sich mit EHLA 3D vielfältige Möglichkeiten. Die ersten industriellen Anwendungen werden für hochfeste, korrosionsbeständige Bauteilbeschichtungen wie z. B. im Werkzeugbau oder in der Luftfahrt erwartet. Die Arbeiten wurden teilweise finanziell durch die Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen des Vorhabens »HIGHLIGHT – Light Materials 4 Mobility« unterstützt.

Ansprechpartner

Dr. Thomas Schopphoven, DW: -8107
thomas.schopphoven@ilt.fraunhofer.de

3 EHLA 3D-Prozess mit stationärer Pulverzufuhrdüse und bewegtem Bauteil.

4 Mittels EHLA 3D gefertigte Leichtbau-Wabenstruktur zur Herstellung von Aluminium-Sandwichkomponenten.



LASERBASIERTE HERSTELLUNG POLYMERER MULTIFUNKTIONSSCHICHTEN FÜR DEN LEICHTBAU

Aufgabenstellung

Der Ersatz herkömmlicher Werkstoffe durch Leichtbaulegerungen ist nach wie vor ein zunehmender Trend in der Automobil- und Luftfahrtindustrie. Die Anforderungen an den Korrosions-, Reibungs- und Verschleißschutz übersteigen oft die Leistungsfähigkeit dieser Leichtbauwerkstoffe und können durch Oberflächenmodifikationen erreicht werden. Beschichtungen auf Basis von Hochleistungspolymeren wie Polyetheretherketon (PEEK) haben aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften in Bezug auf Temperaturbeständigkeit sowie Korrosions- und Verschleißschutz ein großes Potenzial, die notwendigen Anforderungen zu erfüllen. Die herkömmliche ofenbasierte Verarbeitung von mikropartikulären PEEK-Schichten bei Temperaturen über 340 °C ist für viele temperaturempfindliche Substratmaterialien nicht geeignet, da sowohl die Schicht als auch das Substrat auf die gleiche Temperatur aufgeheizt werden.

Vorgehensweise

Das Fraunhofer ILT hat ein laserbasiertes Schmelzverfahren inklusive Anlagentechnik entwickelt, welches die Herstellung von haftfesten und dichten PEEK-Beschichtungen auf Leichtbaukomponenten ermöglicht. Durch die Additivierung

1 PEEK-Schicht auf einem Aluminium-Motorkolbenhemd.

2 Multischichtsystem aus Korrosionsschutz, Verschleißschutz- und Opferschicht auf einer laservorbehandelten Metalloberfläche.

des Pulvers ist es möglich, die Performance der Beschichtung hinsichtlich Korrosionsschutzwirkung, Verschleißschutz und Schmierfilmbildung zu steigern. Die einzelnen Schichten lassen sich mittels Druck- bzw. Sprühverfahren und Lasernachbehandlung übereinander aufbringen, wodurch sich diskrete Multischichtsysteme mit anwendungsangepassten Eigenschaften herstellen lassen.

Ergebnis

Mittels des vorgestellten laserbasierten Verfahrens können haftfeste und dichte PEEK-Multischichtsysteme auf Aluminium und Magnesium, aber auch auf gehärtetem Stahl hergestellt werden. Das in Abbildung 2 dargestellte System, bestehend aus einer Korrosionsschutz-, Verschleißschutz- und Opferschicht, weist keine Durchmischung der einzelnen Schichten auf. Untersuchungen des Schichtsystems mittels eines Pin-on-Disc-Tribometers zeigen signifikant längere Lebensdauern als herkömmliche Gleitlacke.

Anwendungsfelder

Die Technologie kann für sämtliche Komponenten im allgemeinen Maschinenbau eingesetzt werden, die im ständigen Reibkontakt zu anderen Komponenten stehen. Besondere Relevanz haben die hergestellten Schichten für Leichtbaukomponenten aus z. B. Automobil- und Luftfahrtindustrie. Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben ATSM mit ELB Eloxalwerk Ludwigsburg und Pulsar Photonics wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 01LY1824 durchgeführt.

Ansprechpartner

Marius Dahmen M. Sc., DW: -361
marius.dahmen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Christian Vedder, DW: -378
christian.vedder@ilt.fraunhofer.de

LASERSINTERN GEDRUCKTER KERAMISCHER FESTKÖRPER-BATTERIESCHICHTEN FÜR DIE ELEKTROMOBILITÄT

Aufgabenstellung

Die Elektromobilität gilt als ein klimafreundliches und zukunftsfähiges Mobilitätskonzept. Anforderungen an entsprechende Batteriesysteme sind beispielsweise große Energiedichten zur Erreichung großer Reichweiten bei hohen Sicherheitsstandards. Im Vergleich zu konventionellen Lithium-Ionen-Batterien (LIB) haben keramische Festkörperbatterien eine höhere theoretische Energiedichte und verwenden keine organischen Flüssigelektrolyte. Somit haben sie eine hohe Relevanz und Potenzial für die zukünftige Elektromobilität. Mögliche keramische Materialien sind beispielsweise Lithium-Kobalt-Oxid (LCO) als Kathodenmaterial und Lithium-Lanthan-Zirkonat (LLZ) als Elektrolytmaterial. Dünnschichtbatteriezellen basierend auf diesen Materialien können aufgrund von langen Wechselwirkungszeiten und resultierenden Diffusionseffekten sowie Temperaturinkompatibilitäten der Materialien nicht ausreichend im Ofen funktionalisiert werden.

Vorgehensweise

Das Fraunhofer ILT entwickelt ein laserbasiertes Verfahren für die Sinterung partikulärer keramischer Dünnschichten im µm-Bereich aus LCO und LLZ. Durch die Kombination aus Siebdruck- und Laserverfahren wird so eine Batteriehalbzelle bestehend aus einem metallischen Stromableiter, einer Mischkathodenschicht (LCO und LLZ) und einer Elektrolytschicht (LLZ) aufgebaut. Die Anforderung an das kurzzeitige Hochtemperaturlasersintern (ca. 1000 °C Prozesstemperatur)

ist die Erzielung haftfester, möglichst dichter Schichten bei gleichzeitiger Erhaltung der elektrochemischen Schichteigenschaften. Linienlaserstrahlquellen bieten dabei die Möglichkeit zur Skalierung des inlinefähigen Verfahrens.

Ergebnis

Mittels Laserstrahlung können gedruckte Mischkathodenschichten (< 10 µm) auf metallischen Stromableitern haftfest gesintert werden, welche im Gegensatz zu ofenprozessierten Schichten eine hohe Kristallinität der Grundmaterialien bei Reduzierung der Nebenphasen und damit die notwendige Voraussetzung für die Nutzung in einer Batteriezelle zeigen.

Anwendungsfelder

Das entwickelte Verfahren kann neben der Batteriezellfertigung für mobile Energiespeicher auch für die Sinterung anderer mikropartikulärer Schichten eingesetzt werden.

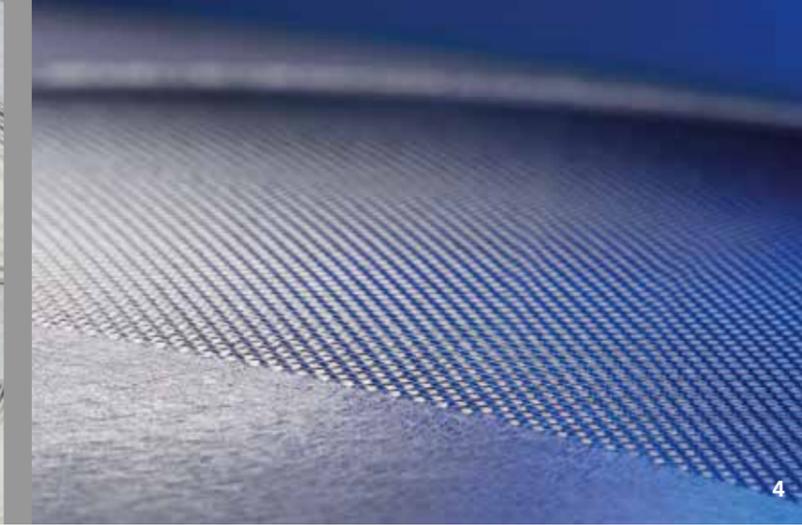
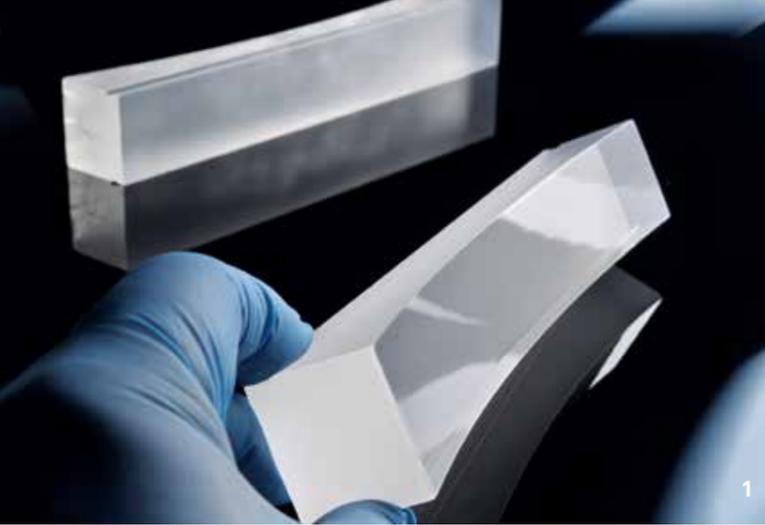
Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben OptiKeraLyt wurde zusammen mit den Partnern Forschungszentrum Jülich GmbH, TANI OBIS GmbH und LIMO GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Förderkennzeichen 03ETE016D durchgeführt.

Ansprechpartner

Linda Hoff M. Sc., DW: -8036
linda.hoff@ilt.fraunhofer.de

Dr. Christian Vedder, DW: -378
christian.vedder@ilt.fraunhofer.de

3 Lasersintern einer Mischkathodenschicht auf einer Stromableiterfolie mittels Linienlaserstrahlquelle.



ERHÖHUNG DER FORMTREUE DER LASERPOLITUR VON GLASOPTIKEN

Aufgabenstellung

Die Laserpolitur von optischen Gläsern wie z. B. N-BK7 ist ein thermischer Prozess: Durch die Interaktion mit der Laserstrahlung wird die Oberfläche des Glases in einer dünnen Randschicht erhitzt und dadurch aufgeweicht. Durch die Oberflächenspannung wird die Glasoberfläche in diesem Zustand ohne Materialabtrag geglättet. Die hohen lokalen Temperaturgradienten führen jedoch zu thermischen Spannungen im Glas. Diese thermischen Spannungen können eine dauerhafte Verformung des Glassubstrats zur Folge haben. Für Linsen aus N-BK7 (Mittendicke 15 mm, Durchmesser 30 mm) können so Formabweichungen von PV 30 µm hervorgerufen werden.

Vorgehensweise

Neben Strategien, wie z. B. die beidseitige Politur mit angepassten Verfahrensparametern, wird untersucht, ob die Korrektur des Formfehlers bereits im vorhergehenden Schleifschritt erfolgen kann. Durch eine angepasste Ausgangsform vor der Laserpolitur soll so eine verbesserte Formtreue nach der Laserpolitur erzielt werden. Hierzu wird in einem ersten Entwicklungsschritt der Formverzug der Zielgeometrie nach der Laserpolitur systematisch erfasst und charakterisiert,

um anschließend Rohlinge mit gezieltem Formversatz schleifen zu können. Der im Formverzug dominante sphärische Anteil kann dabei ohne zusätzlichen Zeit- oder Maschinenaufwand vorgehalten werden.

Ergebnis

Durch das Schleifen von N-BK7 Linsen (Durchmesser 30 mm, Krümmungsradius 100 mm) als R 98 mm Linsen kann nach der Laserpolitur ein Krümmungsradius von $R 99,6 \pm 0,5$ mm erreicht werden. Dabei wird der Pfeilhöhenfehler im Vergleich zur nicht angepassten Ausgangsgeometrie von über 22 µm auf unter 4 µm verringert. Hierdurch werden Formabweichungen auf N-BK7 erreicht, die erstmals in einer Größenordnung vergleichbar zu Quarzglas liegen.

Anwendungsfelder

Die gezeigten Ergebnisse demonstrieren die technische Nutzbarkeit der Laserpolitur optischer Gläser. Hierdurch können die Komplexität der Prozessketten der Optikfertigung reduziert und so Durchlaufzeiten und Stückkosten gesenkt werden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben HyoptO wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Förderkennzeichen IGF-20308 N durchgeführt.

Ansprechpartner

Manuel Jung M. Sc., DW: -669
manuel.jung@ilt.fraunhofer.de

Dr. Edgar Willenborg, DW: -213
edgar.willenborg@ilt.fraunhofer.de

1 Laserpolierter Freiformspiegelrohling

230 x 35 mm².

2 Laserpolierte Linse Ø 30 mm

mit Ausgangszustand.

WAVESHAPe-VERFAHREN FÜR LICHTLEITERWERKZEUGE

Aufgabenstellung

Lichtleiter für die Führung und Formung von LED-Licht werden häufig mittels Kunststoffspritzgießen hergestellt. Die Oberflächen der dafür verwendeten Werkzeuge müssen einerseits poliert sein, damit das Licht durch Totalreflexion möglichst streuungs- und somit verlustarm geleitet werden kann. Andererseits werden zur Verteilung des punktförmigen LED-Lichts in den Lichtleitern lokal Auskoppelstrukturen eingesetzt, die das Licht gezielt linienförmig oder flächig verteilen. Ein Beispiel ist die Automobilindustrie, in der zunehmend aufwendigere Designs für die Ambientebeleuchtung gefordert werden. Zusammen mit Prof. Bordatchev vom National Research Council of Canada (NRC) wurde untersucht, ob das am Fraunhofer ILT entwickelte Waveshape-Verfahren geeignet ist, effiziente Auskoppelstrukturen für Lichtleiter zu erzeugen.

Vorgehensweise

Ausgehend von optischen Raytracing-Simulationen des NRC wurden am Fraunhofer ILT Wellenstrukturen unterschiedlicher Strukturwellenlänge (um 500 µm) und -höhe (50–150 µm peak valley) mittels Strukturieren durch Laserumschmelzen (Waveshape) auf dem für Kunststoffspritzgießwerkzeuge üblichen Werkzeugstahl 1.2343 erzeugt. Die Flächenrate lag je nach Strukturhöhe bei 0,5 bis 0,125 cm²/min. Wesentlicher Vorteil des Waveshape-Verfahrens ist, dass die Strukturen eine polierte Oberfläche aufweisen und somit das optische Verhalten der Strukturen nur aus deren Geometrie und nicht aus Streueffekten aus der Rauheit resultiert. Somit ist die optische Wirkung gut berechenbar.

Diese so erzeugten Oberflächen wurden anschließend in transparentem Kunststoff abgeformt und dann auf ihre Fähigkeit untersucht, an der kurzen Kante eingestrahktes Licht homogen und flächig zu verteilen.

Ergebnis

Die erzeugten Strukturen weisen eine geringe Fertigungstoleranz (< 10 Prozent in der Strukturhöhe) und geringe Rauheiten (Sa 0,2 µm) auf, wie sie für praktische optische Anwendungen erforderlich sind. Das Streubild stimmt gut mit den Simulationen überein und ist bereits in diesem ersten Versuch ohne weitere Optimierungen größtenteils homogen.

Anwendungsfelder

Die Ergebnisse zeigen, dass das Waveshape-Verfahren geeignet ist, Auskoppelstrukturen in Werkzeuge für Lichtleiter zu fertigen. Mögliche Anwendungen liegen überall dort, wo konzentriertes LED-Licht linienförmig oder flächig verteilt werden soll.

Ansprechpartner

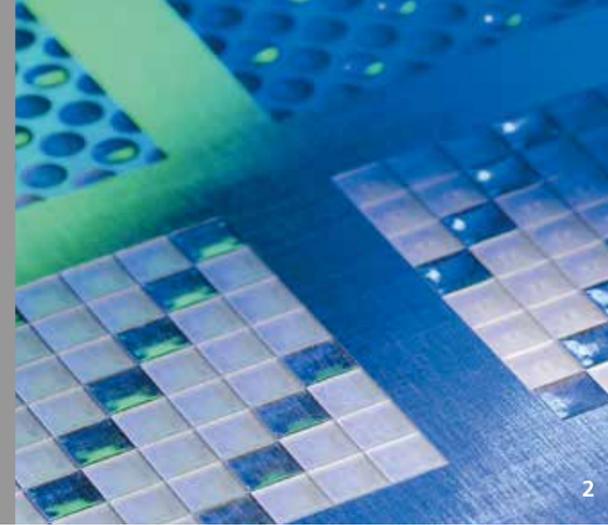
Dr. Judith Kumstel, DW: -8026
judith.kumstel@ilt.fraunhofer.de

Dr. Edgar Willenborg, DW: -213
edgar.willenborg@ilt.fraunhofer.de

3 Mit Waveshape erzeugte

Wellen- und Noppenstrukturen.

4 Noppenstruktur auf gewölbter Oberfläche.



SELEKTIVES POLIEREN MITTELS ULTRAKURZ GE- PULSTER LASERSTRAHLUNG

Aufgabenstellung

Qualitativ hochwertige Oberflächen mit Sub- μm -Rauheiten und lokal angepassten Design- und Funktionsstrukturen gewinnen zunehmend an Bedeutung. Aufgrund der hohen Präzision bei der Lasermaterialbearbeitung wird ultrakurz gepulste Laserstrahlung beispielsweise zur Herstellung von Mikrobohrungen und -strukturen eingesetzt. Oftmals ist ein nachgelagerter Polierschritt als Oberflächenfinish notwendig, um entsprechende Glanzgrade zu realisieren. Eine Laserpolitur hat sich aufgrund der teilweise komplexen Strukturen sowie ökologischer und automatisierungstechnischer Vorteile als geeignet erwiesen. Aktuell industriell eingesetzte Laserpolierverfahren basieren auf der Verwendung von cw- oder Kurzpuls-Laserstrahlung. Die Entwicklung eines UKP-Polierprozesses ermöglicht die unkomplizierte Integration eines Polierschritts in eine vollständig digitale photonische UKP-Prozesskette. Weiterhin wird eine räumlich hochaufgelöste Politur von neuen Design- und Funktionsoberflächen ermöglicht.

Vorgehensweise

Zur Erzeugung von Rauheiten $< 100 \text{ nm}$ wurden verschiedene Prozessstrategien zum Polieren mittels UKP-Laserstrahlung entwickelt. Durch den Einsatz einer hohen Pulsrepetitionsrate von 50 MHz bei entsprechend kleiner Pulsenergie kann gezielt ein Schmelzfilm erzeugt und Materialverdampfung vermieden

1 Großflächige UKP-Politur einer mit Mikrobohrungen versehenen Vacuum-Chuck-Platte.

2 Selektive Politur von dreidimensionalen UKP-Strukturen.

werden. Maßgeschneiderte Pulsbursts mit Repetitionsraten im 100 kHz-Bereich ermöglichen einen kontrollierten Schmelz- und Erstarrungsprozess. Die Verwendung großer Vorschubgeschwindigkeiten von bis zu 8 m/s resultiert in hohen Abkühlraten, wodurch eine Oxidation der Schmelze reduziert wird und der Einsatz einer Schutzgasatmosphäre beim UKP-Polieren vermieden werden kann.

Ergebnis

Durch die Kombination unterschiedlicher Prozessstrategien können unterschiedliche Schmelztiefen und Oberflächenqualitäten auf einer Werkstückoberfläche flexibel kombiniert werden. Übliche Schmelztiefen beim UKP-Polieren betragen $< 15 \mu\text{m}$. Rauheiten von $R_a < 80 \text{ nm}$ können mit Flächenraten von 7–15 cm^2/min erzeugt werden. Neben einer großflächigen Bearbeitung unter Luftatmosphäre wird insbesondere die lokal hochpräzise, selektive Politur ermöglicht.

Anwendungsfelder

Das UKP-Polieren ist besonders als Teilprozess in einer UKP-basierten photonischen Prozesskette relevant, um unterschiedliche Funktionsoberflächen insbesondere im Werkzeugbau für die Automobil- und Konsumgüterindustrie zu erzeugen.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Förderkennzeichen ZF4328108LT9 durchgeführt.

Ansprechpartner

Astrid Saßmannshausen M. Sc., DW: -638
astrid.sassmannshausen@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Martin Reininghaus, DW: -627
martin.reininghaus@ilt.fraunhofer.de

ROBOTERBASIERTE UKP-STRUKTURIERUNG AUF FREIFORMFLÄCHEN

Aufgabenstellung

Funktionale laserbasierte Oberflächenstrukturierungen werden derzeit in der Regel mittels hochpräziser 5-Achs-CNC-Maschinen und spiegelgeführter Laserstrahlung durchgeführt. Für die flexible Bearbeitung einer breiten Produktpalette bieten 6-Achs-Roboter eine kostengünstige Alternative. Aufgrund der geringen Absolutgenauigkeit kommerzieller Roboter ist jedoch eine sensorgestützte Kompensationsstrategie für die Mikrostrukturierung mit Genauigkeitsanforderungen $< 10 \mu\text{m}$ erforderlich. Eine weitere Herausforderung besteht in der Faserführung der für die Präzisionsbearbeitung eingesetzten Ultrakurzpuls-Laserstrahlung in der Roboteranlage.

Vorgehensweise

Bei der Strukturierung großer 3D-Bauteile erfolgt eine mathematische Zerlegung der Oberfläche in 2D-Patches, die Schicht für Schicht abgetragen werden. Um eine Textur ohne sichtbare Patchgrenzen zu erzeugen, müssen die Patches in jeder Schicht auf $< 10 \mu\text{m}$ wiederholgenau positioniert werden. Zur Kompensation der unzureichenden Roboter-genauigkeit wird eine Sensorik für die Positionsvermessung und -korrektur entwickelt. Dazu wurde die Anlage mit einem globalen Messsystem sowie einer lokalen koaxial in den Laserstrahlengang integrierten Kamera ausgestattet. Durch »Optical Flow«-Algorithmen wird aus den Kamerabildern ein Verschiebungsvektor zwischen Soll- und Istposition berechnet und dieser durch Korrektur von Roboterposition und Scanvektoren ausgeglichen. Zur zeitsynchronen Regelung des Roboters, des Laserscanners und der Sensorik wird eine echtzeitfähige EtherCat SPS eingesetzt.

Ergebnis

Für die Gesamtmaschinensteuerung und Kommunikation zwischen den Einzelsystemen wurde eine modulare Software aufgebaut. Mit dieser kann eine Neuzustellung des Roboters sowie eine Neuberechnung der Scanvektoren zur Kompensation der Positionsabweichungen erfolgen. Mit dem Kamera- und Beleuchtungssystem konnten in einem Testaufbau vorgegebene Verschiebungen in den aufgezeichneten Bilddaten mit einer Wiederholgenauigkeit $< 1 \mu\text{m}$ reproduzierbar gemessen werden.

Anwendungsfelder

Die 3D-Oberflächenstrukturierung findet Anwendung im Werkzeugbau, z. B. zur Herstellung von Designstrukturen oder Mikrostrukturen zur Oberflächenfunktionalisierung. Im Automobilbereich werden so optische und haptische Designstrukturen auf die Armaturen im Fahrzeuginnenraum aufgebracht.

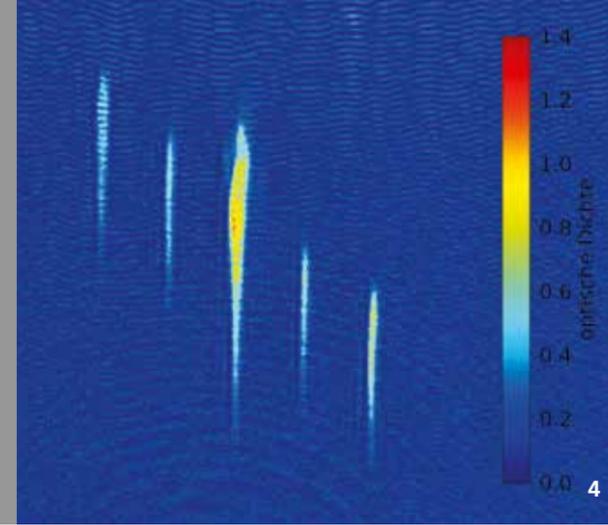
Die Arbeiten werden im Rahmen des NRW-Projekts FOCUS unter dem Förderkennzeichen EFRE-0801603 durchgeführt.

Ansprechpartner

Astrid Saßmannshausen M. Sc, DW: -638
astrid.sassmannshausen@ilt.fraunhofer.de

Frederic Schulze B. Sc, DW: -8320
frederic.schulze@ilt.fraunhofer.de

3 Industrieroboter mit Laserscanner und koaxial integrierter Sensorik (Kamera und Fremdbeleuchtung 808 nm).
4 Strukturierte Oberflächentexturen.



HOCHRATEN-UKP-OBER- FLÄCHENSTRUKTURIERUNG IM ROLLE-ZU-ROLLE-PROZESS

Aufgabenstellung

Der Einsatz von ultrakurz gepulster Laserstrahlung (UKP) ermöglicht die präzise Erzeugung von Mikrostrukturen auf einer Vielzahl von Materialien. Eine Übertragung auf großindustrielle Produktionsprozesse ist häufig aufgrund der aktuell geringen Produktivität nicht durchführbar. Multistrahlensysteme sind eine Schlüsseltechnologie, um das Potenzial von Hochleistungs-UKP-Laserquellen voll auszuschöpfen. Durch die Strahlaufteilung über diffraktive optische Elemente können UKP-Prozesse parallelisiert, die umsetzbare Gesamtleistung erhöht und die Produktivität erheblich gesteigert werden.

Vorgehensweise

Zur Steigerung der Produktivität wird ein kontinuierlicher UKP-Multistrahl-Bearbeitungsprozess mit einer 160 W UKP-Laserquelle in Kombination mit einer Rolle-zu-Rolle-Anlage realisiert. Das optische Multistrahlmodul teilt den Laserstrahl in insgesamt 4 x 6 Teilstrahlen auf, wobei jeweils 6 Teilstrahlbündel von insgesamt 4 Galvoscaner-Systemen gleichzeitig über das Band geführt werden. Für die Prozess- und Qualitätsüberwachung werden Sensoren verwendet, die beispielsweise die Bandposition exakt erfassen und mit deren Hilfe sich die erzeugten Strukturen inline validieren lassen. Durch die Kombination aus kontinuierlichem Vorschub des Bandmaterials und einer Systemtechnik zur parallelisierten,

großflächigen Bearbeitung kann eine größere Laserleistung im Prozess umgesetzt und damit die Produktivität der UKP-Lasermaterialbearbeitung signifikant gesteigert werden.

Ergebnis

Durch das Multistrahl-Strukturierungsmodul kann die Anzahl der eingebrachten Strukturen pro Zeiteinheit und Fläche im Vergleich zum konventionellen Einstrahlverfahren um eine Größenordnung gesteigert werden. Damit ist eine UKP-Multistrahlbearbeitung mit bis zu 1,2 Mio. Strukturen pro Minute möglich. Darüber hinaus ist ein kontinuierlicher UKP-Strukturierungsprozess realisiert worden, der mithilfe von Inline-Sensorik reguliert wird.

Anwendungsfelder

Anwendungsfelder sind jegliche Rolle-zu-Rolle fähigen Herstellungsprozesse (z. B. Batterie, Wasserstoff, Photovoltaik). Der Fokus der aktuellen Arbeiten liegt auf der Herstellung von Batterieelektroden für Lithium-Ionen-Akkus mit flüssigen Elektrolyten. Das Ziel ist es, die Leistungsdichte und Lebensdauer der Zellen durch das Einbringen periodischer Lochstrukturen in die Batterieelektroden zu steigern.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 03XP0316C durchgeführt.

Ansprechpartner

Matthias Trenn M. Sc., DW: -449
matthias.trenn@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Martin Reininghaus, DW: -627
martin.reininghaus@ilt.fraunhofer.de

1 Strukturierungsmodul und Rolle-zu-Rolle-Anlage.

2 Strukturiertes Elektroden-Bandmaterial.

FLEXIBLE MULTISTRAHLBEAR- BEITUNG BEIM SELEKTIVEN LASERINDUZIERTEN ÄTZEN

Aufgabenstellung

Das Verfahren des Selektiven Laserinduzierten Ätzens (SLE) zeichnet sich durch nahezu beliebige Geometriefreiheit und hohen Individualisierungsgrad bei der Herstellung von Mikrobauteilen aus Quarzglas aus. Derzeit sind die Prozesszeiten beim SLE-Verfahren aufgrund des hohen Detaillierungsgrads limitiert. Durch die Anwendung von Multistrahlintensitätsverteilungen sollen die Prozessdauer verkürzt und die Prozesskosten verringert werden. Der Einsatz einer flexiblen Strahlformung ermöglicht den Erhalt der Qualität und Geometriefreiheit der Bearbeitung.

Vorgehensweise

Um eine flexible Strahlformung während der Bearbeitung zu realisieren, wird im ZIM-Projekt MB-SLE4MF gemeinsam mit dem Projektpartner LightFab GmbH ein Spatial Light Modulator (SLM) verwendet. Hierzu wurde ein bestehender Mikroskanner um einen SLM erweitert. Über einen iterativen Algorithmus werden in der Fokusebene vorgegebene Multistrahlintensitätsverteilungen erzeugt. Das Strahlprofil wird über ein Kamerafeedback kontrolliert und die Intensitätsverteilung in jedem Schritt dynamisch angepasst.

Ergebnis

Mit diesem Ansatz konnte das SLE-Verfahren für sieben parallele Teilstrahlen demonstriert und die Prozessgeschwindigkeit signifikant gesteigert werden. Dabei konnten die Selektivität und die Scanfeldgröße im Vergleich zur Einzelstrahlbearbeitung beibehalten werden.

Anwendungsfelder

Bisher wird das SLE-Verfahren beispielsweise zur Herstellung von Mikrofluidiken für Lab-on-a-Chip-Geometrien in der Medizintechnik, für Mikromechaniken, für Bauteile in der Quantentechnologie oder für Ionenfallen beim Quantencomputer verwendet. Die Skalierung des SLE-Verfahrens führt zu einer Verringerung der Bauteilkosten. Die Multistrahlbearbeitung ermöglicht die Skalierung des SLE-Verfahrens in unterschiedlichen Bereichen. Die entwickelte Systemtechnik erlaubt die Herstellung nahezu beliebiger 3D-Geometrien mit hoher Präzision und hohem Individualisierungsgrad.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wird im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Förderkennzeichen 16KN070939 durchgeführt.

Ansprechpartner

Martin Kratz M. Sc., DW: -581
martin.kratz@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Martin Reininghaus, DW: -621
martin.reininghaus@ilt.fraunhofer.de

3 Mikrostrukturierungsanlage mit SLM zur flexiblen Strahlformung.

4 In-situ-Analyse der Strahlverteilung im Glasvolumen.



SUB-MIKROMETER-BOHRUNGEN IN KUNSTSTOFFEN

Aufgabenstellung

Die Lasermaterialbearbeitung mittels ultrakurz gepulster Laserstrahlung ermöglicht die Herstellung von Mikrobohrungen höchster Präzision in nahezu allen Werkstoffen. Für unterschiedliche Filteranwendungen und Leckagetests können so Bohrungen mit Durchmessern größer $0,7\ \mu\text{m}$ in Metallmembranen eingebracht werden. Insbesondere für Kunststoffe wächst der Bedarf an Präzisionsbohrungen mit Durchmessern kleiner $1\ \mu\text{m}$. Dabei führt die niedrige Absorption der Kunststoffe im infraroten und sichtbaren Wellenlängenbereich zu thermischen Einflüssen und somit zu Einschränkungen in der erreichbaren Präzision und Reproduzierbarkeit. Die hohen geometrischen Anforderungen an die Bohrungen erfordern eine Reduktion der thermischen Einflussfaktoren und eine hochpräzise Systemtechnik.

Vorgehensweise

Für die flexible Erzeugung von mikro- und nanoskaligen Strukturen und Bohrungen in unterschiedlichen Materialien wurde am Fraunhofer ILT ein spezieller UV-Mikroscanner entwickelt. Die kürzere Wellenlänge von $343\ \text{nm}$ ist nicht nur aufgrund der insbesondere in Kunststoffen höheren Absorption vorteilhaft, sondern ermöglicht auch eine signifikante Reduktion des Laserfokussdurchmessers. Durch die Auswahl der eingesetzten Fokussieroptik können Fokusdurchmesser mit einer Größe bis in den Sub- μm -Bereich erzeugt werden. Die hochpräzise

Bearbeitungsstation wird durch ein Linearachssystem und einen chromatisch-konfokalen Abstandsmesssensor jeweils mit Sub- μm -Genauigkeit komplementiert.

Ergebnis

Mithilfe des UV-Mikroscanners können mikro- und nanoskalige Durchgangsbohrungen in unterschiedlichen Polymerfolien (wie z. B. PC, PE, PI und PP) hergestellt werden. Bohrungen bis zu einer Größe von $800\ \text{nm}$ können reproduzierbar mit einer Toleranz von weniger als 10 Prozent hergestellt werden. Dank der flexiblen Auswahl der Fokussieroptik und Bahnführung kann der Bohrprozess für Kunststoffe mit einer Materialstärke von mehr als $500\ \mu\text{m}$ angewendet werden. Auch eine hohe Lochdichte in thermisch sensitivem Material mit einer Materialstärke von $12,5\ \mu\text{m}$ kann ohne thermisch bedingten Materialverzug realisiert werden.

Anwendungsfelder

Präzise reproduzierbare Bohrungen in Kunststoffen mit Durchmessern im einstelligen und Sub- μm -Bereich werden in zahlreichen Anwendungen benötigt. Diese finden sich z. B. in der Medizintechnik, Filtertechnik, Mikrosystemtechnik oder in der Pharmaindustrie.

Ansprechpartner

Martin Osbild M. Sc., DW: -325
martin.osbild@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Martin Reininghaus, DW: -627
martin.reininghaus@ilt.fraunhofer.de

KI-BASIERTE PROZESSANALYSE BEIM ABSORBERFREIEN LASER-DURCHSTRAHLSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Beim absorberfreien Laserdurchstrahlenschweißen von Kunststoffen wird als Prozessüberwachung die Temperaturmessung mittels Pyrometrie verwendet. Das Messsignal ist jedoch lediglich ein Indikator für die Temperatur. Die Entstehung von thermischen Schäden wird als Signalpeaks erfasst, jedoch können keine Rückschlüsse auf die Art der Schädigung, wie z. B. Blasenbildung oder Verbrennung, gezogen werden. Ferner wird die emittierte Wärmestrahlung durch diverse optische Komponenten spektral gedämpft, sodass die Detektion der Strahlung anspruchsvoller wird, je kleiner die Schweißnaht ist.

Vorgehensweise

Zur Erweiterung der 1-dimensionalen Pyrometrie werden bildgebende Verfahren eingesetzt. Durch die Nutzung von mehrschichtigen faltungs-basierten Neuronalen Netzen können Bilder oder Objekte, welche mit Hilfe von Kameras aufgenommen werden, automatisiert identifiziert und klassifiziert werden. Zunächst wurde eine Kamera koaxial in den Strahlengang der Bearbeitungsoptik integriert und hiermit Aufnahmen des Schweißprozesses bei unterschiedlichen Schweißparametern für die Generierung des Datensatzes durchgeführt. Als Analyse-methode kam die semantische Segmentierung zum Einsatz. Hierbei wird jedes Bildpixel ausgewertet und einer eingangs definierten Klasse zugewiesen. Somit können sowohl

die Schweißnaht als auch Schäden im Bauteil im Kamerabild identifiziert und ausgewertet werden. Im Anschluss wurden geeignete Netzwerkarchitekturen ausgewählt und mit dem Datensatz trainiert.

Ergebnis

Die durchgeführten Arbeiten verdeutlichen das große Potenzial einer KI-basierten Prozessanalyse. Das trainierte faltungs-basierte Neuronale Netz ist in der Lage, thermische Schäden wie z. B. Verbrennungen oder Blasenbildungen zuverlässig zu klassifizieren. Alle untersuchten Modelle weisen einen Intersection-over-Union-Wert (IoU) $> 0,9$ auf. Neben einer Klassifizierung können die Ergebnisse auch genutzt werden, um die Nahtbreite oder die Größe der thermischen Schäden zu bestimmen.

Anwendungsfelder

Das absorberfreie Laserdurchschweißen von Kunststoffen ist vor allem für Anwendungen geeignet, in denen transparente Kunststoffe gezielt, berührungslos und reproduzierbar gefügt werden sollen. Typische Anwendungsfelder sind die Medizintechnik oder Biotechnologie. Die KI-basierte Prozessanalyse kann aber auch in anderen Anwendungen implementiert werden, wie z. B. dem Laserschweißen von Metallen.

Ansprechpartner

Nam Phong Nguyen M. Sc. M. Sc., DW: -222
phong.nguyen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky, DW: -491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

1 Prozessentwicklung am UV-Mikroscanner.

2 Bohren mit einem Fokusdurchmesser von $1\ \mu\text{m}$.

3 Schweißnaht mit Blasenbildung.

4 Klassifikation durch Neuronales Netz.



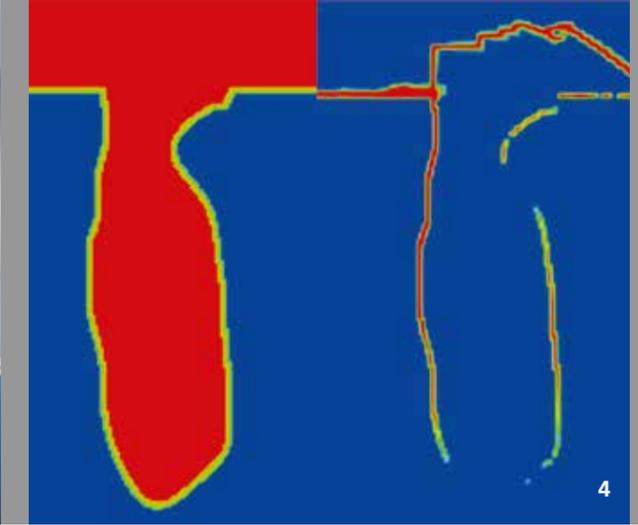
1



2



3



4

LASERBASIERTE HERSTELLUNG VON DRUCKGLASDURCHFÜHRUNGEN FÜR MEHRLAGENKERAMIKELEMENTE

Aufgabenstellung

Druckglasdurchführungen bieten eine zuverlässige Technologie, elektronische Komponenten und elektrische Baugruppen in hermetisch dichten Gehäusen zu kontaktieren. Das derzeit standardisierte Herstellungsverfahren für die auf einer Metall/Glas-Verbindung beruhenden Durchführung ist ein zeitaufwendiger Ofenprozess, der über mehrere Stunden andauert. Alle notwendigen Komponenten der Durchführung, wie die metallische Fassung und die Anschlusskontakte, werden auf Schmelztemperatur des Einschmelzglas erwärmt. Üblicherweise liegt die Schmelztemperatur von Einschmelzgläsern bei über 400 °C. Mit den voranschreitenden Entwicklungen im Bereich von Mehrschichtkeramiksubstraten, die den Aufbau von 3-dimensional vernetzten Multilayerboards ermöglichen, können hohe Temperaturen zur Schädigung der auf den Boards befindlichen Schaltungen und zum Versagen der integrierten Elektronik führen. Eine ofenbasierte Herstellung von Druckglasdurchführungen für Mehrlagenkeramikelemente ist somit problematisch. Die Notwendigkeit eines Herstellungsverfahrens mit lokal begrenzter Energieeinbringung ist angezeigt.

- 1 Laserbasiert hergestellte Druckglasdurchführung für ein LTCC-Board.
 2 Druckglasdurchführung eingeschweißt in eine Gehäusekomponente.

Vorgehensweise

Bei dem vom Fraunhofer ILT entwickelten laserbasierten Verfahren werden die für Laserprozesse typischen Vorteile des lokal definierten Energieeintrags und des lokalen Temperaturanstiegs genutzt, indem die Laserstrahlung auf die Druckglasfassung fokussiert wird. Die dort absorbierte Strahlungsenergie wird in Wärmeenergie umgesetzt, was zu einem raschen Temperaturanstieg des bestrahlten Bereichs führt. Über Wärmeleitung fließt ein Teil der zugeführten Wärme in den Glaskörper, der, sobald die Fließtemperatur des Glases erreicht ist, die Gehäusewandung und die Keramik gleichermaßen benetzt.

Ergebnis

Innerhalb von 70 Sekunden wird eine heliumdichte Druckglasverbindung mittels Laserstrahlung zwischen der aus Inconel 718 gefertigten Fassung und dem LTCC-Mehrlagenkeramikelement hergestellt. Die gemessene Leckrate der Verbindung liegt im Bereich von $2,2 \times 10^{-9}$ mbar l/s.

Anwendungsfelder

Vakuumdichte Durchführungen für Mehrlagenkeramikelemente mit integrierter Elektronik finden im Bereich Sensorik und Messtechnik Anwendung. Dieses Projekt wird finanziell durch die Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt und durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Heidrun Kind, DW: -490
 heidrun.kind@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky, DW: -491
 alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

MASSGESCHNEIDERTE VERBINDUNGEN FÜR KUNSTSTOFF-METALL-HYBRIDBAUTEILE

Aufgabenstellung

Die Herstellung von Multimaterialbauteilen erfordert zuverlässige Fügeverfahren zum Verbinden artungleicher Werkstoffe. Das laserbasierte Fügen von Kunststoffen und Metallen ist ein innovativer Ansatz, um die beiden Materialien schnell und dauerhaft zu verbinden. Um die Bauteile lastangepasst optimieren zu können, sind ausreichende Kenntnisse zu den Verbindungseigenschaften schon zum Zeitpunkt der Bauteilauslegung und des Designs notwendig. Konstrukteure und Entwickler brauchen hierzu Leitlinien und Werkzeuge, um die hybride Fügeverfahren implementieren zu können.

Vorgehensweise

Die laserbasierte Prozesskette zum Fügen besteht aus zwei Prozessschritten. Im ersten Prozessschritt werden Mikrostrukturen in die Metalloberfläche eingebracht und im anschließenden Fügeprozess werden diese Strukturen dann mit Kunststoff gefüllt. Je nach Festigkeits- und Belastungsanforderungen können die Verbindungseigenschaften durch lastangepasste Lasermikrostrukturierung gezielt beeinflusst werden. Dies eröffnet bei der Konstruktion und Bauteilauslegung erweiterte Möglichkeiten zur Bauteiloptimierung. Zur Ermittlung von

Kennwerten werden laserstrukturierte Metalleinleger im Hybridspritzguss angespritzt, um hybride Prüfkörper herzustellen. Diese werden anschließend auf verschiedene Belastungen geprüft.

Ergebnis

Die Festigkeitskennwerte für Schub-, Zug- und Schälbelastung aus der Bauteilprüfung dienen als Grundlage für Simulationen der Fügezone auf Mikroebene sowie für die Bauteilauslegung auf Makroebene. Durch die Anpassung der Strukturierung je nach Lastfall können Bauteile optimiert und Prozesszeiten minimiert werden. Ziel ist es, daraus Konstruktionsmethoden für Hybridbauteile abzuleiten und diese auf Demonstratoren und reale Bauteile zu übertragen.

Anwendungsfelder

Kunststoff-Metall-Hybridbauteile finden in fast allen Lebensbereichen Einsatz. Hohe Anforderungen an die Performance von strukturellen Bauteilen werden vor allem in der Automobilbranche oder der Luft- und Raumfahrt gestellt.

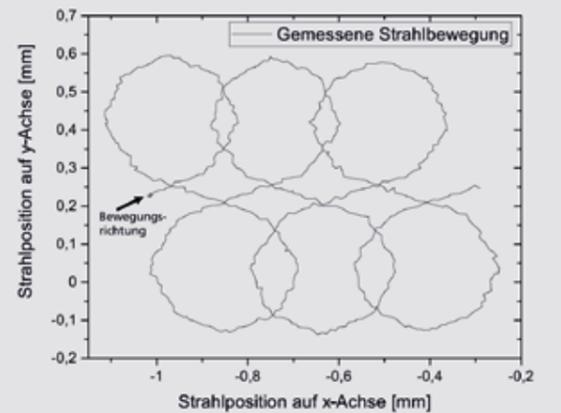
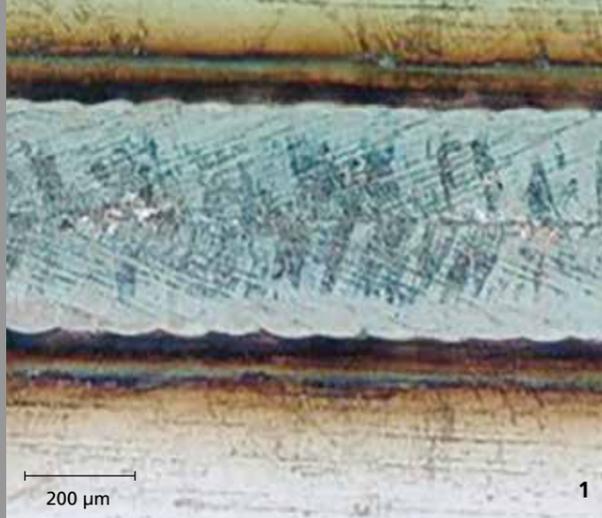
Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 03XP0277E durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. Kira van der Straeten, DW: -158
 kira.van.der.straeten@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky, DW: -491
 alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

- 3 Hybrider Rippenprüfkörper für die Kennwertermittlung.
 4 Simulation der Fügezone.



NEUARTIGE ÖRTLICHE LEISTUNGSMODULATION FÜR DAS LASERMIKRO-SCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Beim Schweißen von z. B. artungleichen Verbindungen und heißsranfälligen Aluminiumlegierungen werden Verfahrensansätze benötigt, um metallurgische Defekte zu reduzieren. Hier erlaubt die zeitliche und örtliche Leistungsmodulation eine gesteuerte Energieeinbringung in der Fügezone und ermöglicht einen präzisen und effizienten Schweißprozess.

Vorgehensweise

Für die Reduktion von z. B. Heißbrissbildung beim Schweißen von Aluminiumlegierungen muss der Magnesium-Massenanteil im Schmelzbad angepasst werden. Durch die gezielte örtliche Strahlmodulation kann eine unterschiedliche Wärmeverteilung sowie -akkumulation in der Fügezone eingestellt werden. So kann die Verdampfung von Magnesium in der Schmelze verringert oder verstärkt werden. Dafür wird die Funktionalität von einem galvanometrischen Scanner so erweitert, dass eine um 360° drehbare Geometrie in Form einer Ziffer »8« realisierbar ist.

- 1 Schweißnaht mit neuartiger örtlicher Leistungsmodulation.
2 Gemessene Strahlmodulation mittels PSD-Messung.

Ergebnis

Durch die neuartige örtliche Leistungsmodulation wird der Freiheitsgrad von konventioneller örtlicher Leistungsmodulation mit kreisförmiger Oszillation (Wobble) um zusätzliche Einstellfaktoren erweitert: Mit den beiden separat einstellbaren Amplituden und Umdrehungsgeschwindigkeiten der einzelnen Kreise der »8« wird die Schmelzbadynamik und die Temperaturverteilung beeinflusst.

Anwendungsfelder

Diese örtliche Leistungsmodulation kann für unterschiedliche Schweißaufgaben für Batterien sowie Kondensatoren eingesetzt werden. Insbesondere Mischverbindungen können mit diesem Ansatz verbessert werden.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU-Projekts TopLamp unter dem Förderkennzeichen 01 QE2009B durchgeführt.

Ansprechpartner

Woo-Sik Chung M. Sc., DW: -322
woo-sik.chung@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky, DW: -491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

NEUES POTENZIAL ZUR OPTIMIERUNG DES LASERSTRAHLSCHNEIDENS DURCH STRAHLFALTUNG

Aufgabenstellung

Wirkungsgrad und Schnittqualität werden beim Laserstrahlschneiden durch den Betrag und die Verteilung der absorbierten Strahlungsenergie in der sich ausbildenden Schneidfuge maßgeblich bestimmt. Die hier vorgestellte innovative Art der Laserstrahlformung soll durch Strahlaufteilung und -faltung eine zielgerichtete und variable Einstellung der lateralen und axialen Intensitätsverteilung des Laserstrahls in der Schneidfuge ermöglichen. Damit sollen Prozessstabilität und -effizienz signifikant erhöht werden.

Vorgehensweise

Das neue Optikkonzept erlaubt zum einen die variable Aufteilung des Laserstrahls in zwei Teilstrahlen, zum anderen die Einstellung des relativen Abstands, der Orientierung und der Form der Teilstrahlen. In der Wechselwirkungszone werden dadurch Teilprozesse, welche die Grat- und Riefenbildung prägen, von der Schneidfront bis zur Schnittflanke gezielt beeinflussbar. Simulationsgestützt und aufbauend auf fundiertem Prozessverständnis konnten die Wirkungen der Strahlfaltung identifiziert und geeignete Parametersätze für die Durchführung der experimentellen Analyse ermittelt werden. Das daraus abgeleitete Optikdesign wurde in ein variables Labormuster der Schneidoptik überführt. Getestet wurde das Strahlformungskonzept an einer Laserschneidanlage mit einem 6 kW Scheibenlaser. Geschnitten wurden Edelstahl- und Baustahlplatten der Dicke 10 und 12 mm.

Ergebnis

Bei entsprechend angepasster Strahlfaltung konnten auf Antrieb nahezu gratfreie Schnitte bis zu Prozessgeschwindigkeiten knapp unterhalb der intrinsischen Trenngrenze und oberhalb bisher üblicher maximaler Schneidgeschwindigkeiten erzeugt werden. Darüber hinaus bleibt die hohe Schnittqualität in einem breiten Parameterfeld erhalten. Insbesondere die bekannte starke Abhängigkeit der Schnittqualität von der relativen Fokusslage und der Prozessgeschwindigkeit konnte signifikant reduziert werden. Das sind erste vielversprechende Indizien für das Potenzial dieser aus fundiertem Prozessverständnis abgeleiteten neuen Art der Strahlformung.

Anwendungsfelder

Das Konzept der Laserstrahlfaltung bietet neue Chancen für die zuverlässige Produktion hochqualitativer Schnitte bei hohen Prozessgeschwindigkeiten. Es stellt zudem eine modular integrierbare Lösung für eine statische Laserstrahlformung dar, die nicht nur für das Schneiden im Dickblechbereich, sondern auch für Tiefschweißprozesse bisher ungeahntes Optimierungspotenzial beinhaltet.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Stoyan Stoyanov, DW: -8080
stoyan.stoyanov@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring, DW: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de

- 3 Schneiden von 10 mm dicker Edelstahlplatte mittels gefaltetem Laserstrahlprofil.



NUTZUNG AKUSTISCHER RESONANZEN BEIM LASERSTRAHLSCHNEIDEN – DIE »SCHNEIDPFEIFE«

Aufgabenstellung

Mittels Highspeed-Videoanalysen des Schmelzfilms auf der Schneidfront wurden erstmals akustische Resonanzen der Gassäule in der Schneidfuge identifiziert. Dabei wurde erkannt, dass die erzeugten Schnittflanken genau in den Bereichen die geringste Rautiefe besitzen, wo der Schmelzfilm entsprechende hochfrequente Wellen aufweist. Mit dem Verständnis dieses positiven Effekts entstand ein innovativer Ansatz zur Verbesserung der Schnittkantenqualität durch akustische Verstärkung hochfrequenter Schmelzwellen. Dafür soll ein akustisch abgestimmtes Schneiddüsendesign – die sogenannte »Schneidpfeife« - entwickelt werden.

Vorgehensweise

Die Schneidpfeife basiert auf einer hohlrauminduzierten Überschallströmung. Der an der Düsenaustrittsseite gebildete Hohlraum ermöglicht die Erzeugung scharfer hochfrequenter Spektralpeaks, deren Resonanzfrequenz als Funktion der Hohlraumlänge fein abstimmbare ist. Die Validierung der Resonanzen erfolgt schlierenoptisch sowie mit einem optischen Mikrophon. Zur Beurteilung der Auswirkung des neu entwickelten Düsendesigns auf die resultierende Schnittflankenqualität werden Schnitte an Edelstahlblechen der Dicke 6 mm mit einem Scheibenlaser bei 6 kW Ausgangleistung durchgeführt.

1 Ein akustisch abgestimmtes Schneiddüsendesign zur Verbesserung der Schnittflankenqualität.

Ergebnis

Die hochfrequenten Schwingungen der Düsenströmung sind sowohl in den Mikrofonmessungen als auch in den Schlierenaufnahmen nachweisbar. Außerdem ist eine damit korrelierende Stabilisierung der Schmelzströmung anhand der diagnostizierten gleichmäßigeren Streakaufnahmen feststellbar. Dementsprechend entstehen qualitativ hochwertige Schnittflanken mit Rautiefen und Bartlängen von nur 20 µm. Angestrebt ist zukünftig die gezielte Abstimmung der akustischen Resonanzen der Prozessgasströmung auf die Schnittfugegeometrie.

Anwendungsfelder

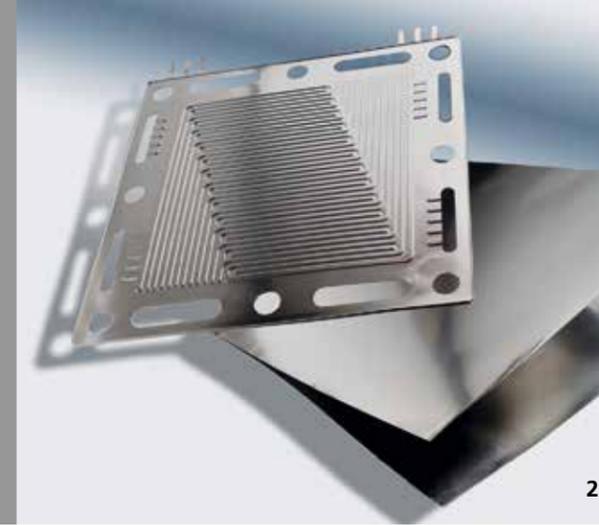
Die Nutzung von akustischen Resonanzen beim Laserstrahlschmelzschnitten ist nur ein Beispiel für das Potenzial, das die simulative, diagnostische und praktische Berücksichtigung akustischer Effekte für die Verbesserung von Lasermaterialbearbeitungsprozessen bietet.

Das Vorhaben wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB 1120 »Präzision aus Schmelze« finanziert.

Ansprechpartner

Marcelo de Oliveira Lopes M. Sc., DW: -448
marcelo.lopes@ilt.rwth-aachen.de

Dr. Dirk Petring, DW: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



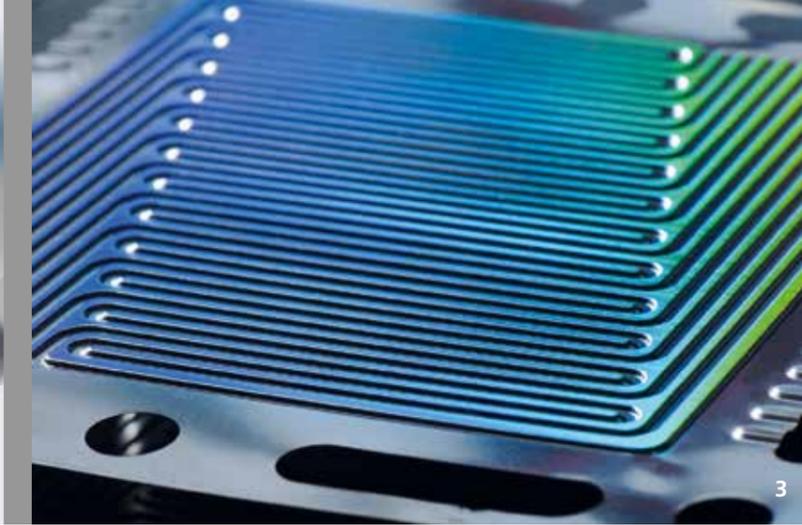
LASER TRIFFT WASSERSTOFF – DAS WASSERSTOFFLABOR AM FRAUNHOFER ILT

Aufgabenstellung

Neben der batterieelektrischen Mobilität ist auch die Nutzung von grünem Wasserstoff in Brennstoffzellen ein Weg aus der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und hin zu einer nachhaltigen Mobilität. Die Produktionskosten von Brennstoffzellensystemen sind heute noch zu hoch, um den Massenmarkt zu adressieren. Aktuell ist die Bipolarplatte (BPP), neben der Membran-Elektroden-Anordnung (MEA), die zweitkostenintensivste Komponente einer Brennstoffzelle. Eine Bipolarplatte besteht üblicherweise aus zwei geprägten Blechen, die miteinander verschweißt und anschließend mit einem Korrosionsschutz beschichtet werden. Um die Produktionskosten der Bipolarplatte zu senken, werden neue hochratenfähige Schneid-, Schweiß- und Beschichtungsverfahren benötigt.

Vorgehensweise

Mit der Entwicklung innovativer Laserverfahren und -anlagentechnik stellt das Fraunhofer ILT Lösungen zur kosteneffizienten und gleichzeitig flexiblen Produktion von qualitätsgerecht gefügten und funktionalisierten BPP bereit. Zu untersuchende Prozesse sind zum einen das BPP-Laserstrahlschweißen und -schneiden mit Fokus auf der Erhöhung der Prozessgeschwindigkeit unter Beibehaltung der Qualität. Zum anderen werden Prozesse zur Funktionalisierung von Bipolarplatten mittels UKP-Lasermikrostrukturierung sowie das nasschemische Aufbringen von Korrosionsschutzschichten mit gekoppelter thermischer Lasernachbehandlung untersucht. Außerdem wird eine laserbasierte MEA-Dünnschichtherstellung entwickelt.



Ergebnis

Für die Untersuchung dieser neuartigen laserbasierten Fertigungsverfahren zur Herstellung von BPP hat das Fraunhofer ILT mit einer strategischen Investitionsmaßnahme ein Wasserstofflabor aufgebaut. Mit einem Gesamtvolumen von über 1,7 Mio. Euro wird das neue Labor mit modernster Anlagentechnik ausgestattet, die speziell auf die Steigerung der Produktivität von laserbasierten Fertigungsverfahren innerhalb der Brennstoffzellenproduktion ausgelegt ist. Ab Anfang 2022 werden hier Laserverfahren entwickelt sowie die hergestellten Bipolarplatten in Brennstoffzellen verbaut und getestet.

Anwendungsfelder

Das Wasserstofflabor des Fraunhofer ILT stellt eine Entwicklungsplattform für Kunden aus Industrie und Forschung dar. Ausgestattet mit laserbasierter Anlagentechnik, die über den Stand der Technik hinausgeht, können zukünftige Laserprozesse im Rahmen einer Brennstoffzellenproduktion entwickelt und ihre Einflüsse auf Funktionalität und Performance anhand von Prototyp-Brennstoffzellen bewertet werden. Das Wasserstofflabor wurde aus strategischen Mitteln der Fraunhofer-Gesellschaft finanziert.

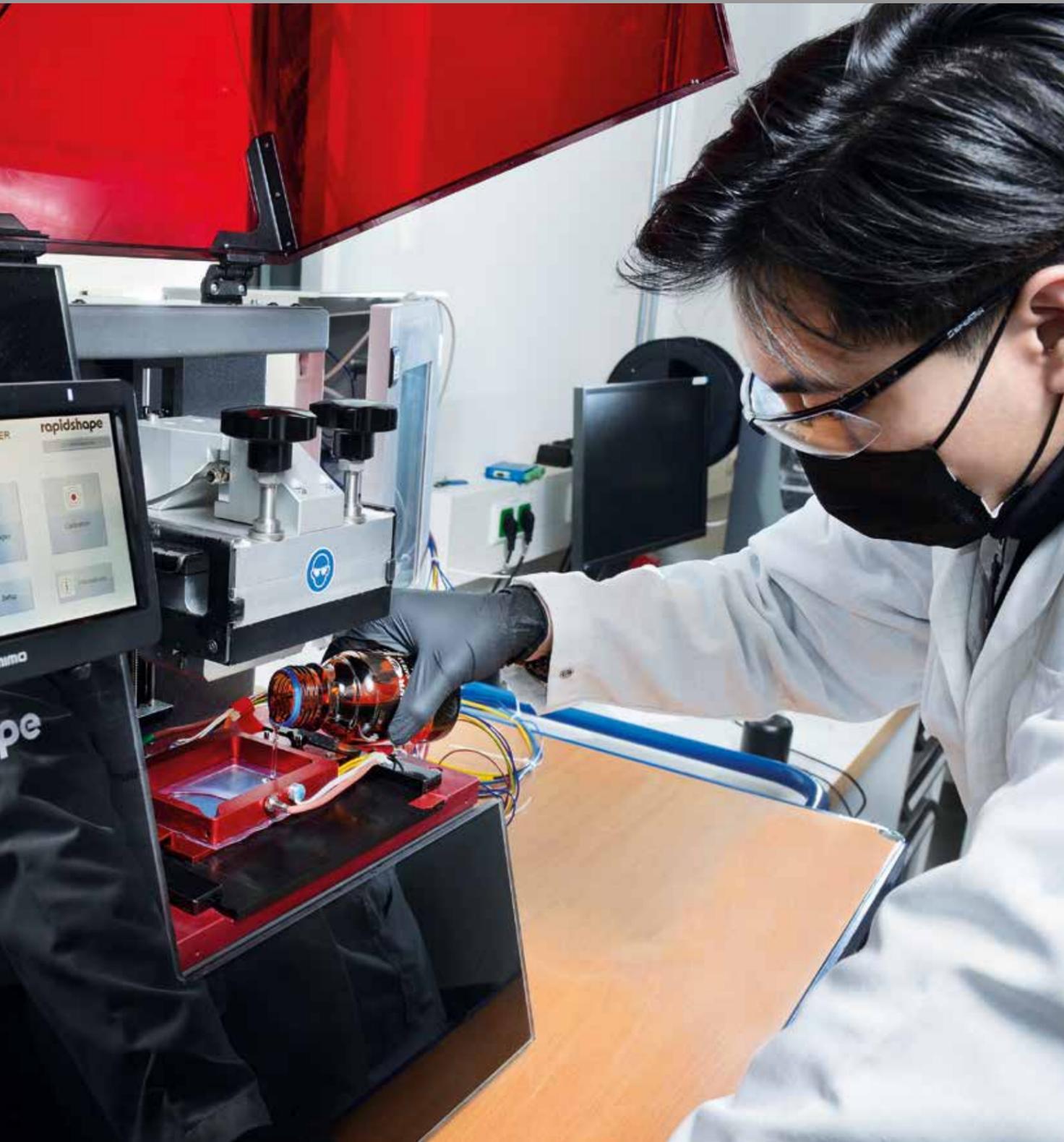
Ansprechpartner

Sören Hollatz M. Sc., DW: -613
soeren.hollatz@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky, DW: -491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

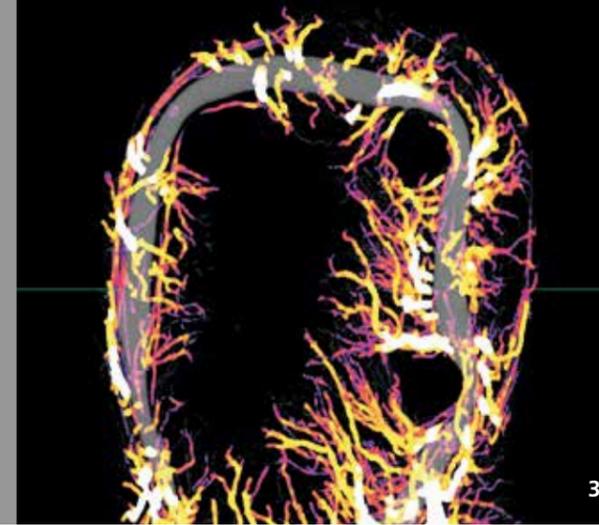
2 Lasergeschweißte Bipolarplatte
(Design der Bipolarplatte: Dana Victor Reinz).
3 Mittels UKP-Lasermikrostrukturierung funktionalisierte Bipolarplatte
(Design der Bipolarplatte: Dana Victor Reinz).

MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK



INHALT

Kalte Laserablation für die berührungslose Kraniotomie bei Wachoperationen	74
Erzeugung patienteneigener und transplantierbarer Bindegewebslappen	75
Laserbasierte Herstellung von Scaffolds für vaskularisierte, bioartifizielle Herzmuskel	76
3D-Druck von hochviskosen oder festen Photoharzen durch eine temperaturgeregelte Prozesskammer	77



KALTE LASERABLATION FÜR DIE BERÜHRUNGSLOSE KRANIOTOMIE BEI WACHOPERATIONEN

Aufgabenstellung

Jüngste Erfolge in der Therapie von Bewegungsstörungen z. B. bei Parkinsonpatienten sowie in der Resektion von Tumoren in eloquenten Regionen des Gehirns führen zu einer Steigerung der Lebensqualität und -dauer betroffener Patienten. Diese chirurgischen Eingriffe erfordern die Schädelöffnung im Wachzustand, um komplexe Hirnfunktionen während der OP überprüfen zu können. Dabei wird der Schädel mit einem Bohrer oder einer Fräse mechanisch geöffnet, was bei den Betroffenen zu extremem psychischen Stress führt.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wird daher ein effizienter und sicherer Laserschneidprozess entwickelt, der die konventionellen chirurgischen Bohrer und Fräsen ersetzen soll. Dieser Schneidprozess verfügt über eine Inline-Überwachung der Knochenrestdicke auf Basis optischer Kohärenztomographie (OCT). Durch dieses Echtzeit-Monitoring kann der Laserprozess geregelt und eine Verletzung des unter dem Schädelknochen liegenden Hirngewebes ausgeschlossen werden. Der Abtrag erfolgt mit einem gütegeschalteten CO₂-Laser bei Repetitionsraten zwischen 20 und 100 kHz. Dabei sorgt ein Sprühnebelsystem für eine kontinuierliche Benetzung der Knochenoberfläche

1 Laserschneidprozess am Knochen mit gütegeschaltetem CO₂-Laser.

2 Laserschnitte an einer Rinderknochenprobe.

und verhindert dadurch die Austrocknung des Knochens während des Schneidprozesses. Dies gewährleistet einen effizienten und karbonisationsfreien Hartgewebeabtrag.

Ergebnis

In Laborexperimenten wurden Parameterstudien zum Schneidprozess an Rinderknochenproben durchgeführt. Dabei konnte eine maximale Abtragsrate von mehr als 5 mm³/s bei einer Schnittbreite von 2 mm und einer Schneidtiefe von 3,7 mm erzielt werden. Bei einer Schnittbreite von 2 mm wurde eine maximale Schneidtiefe von 7 mm erreicht. Mit dem OCT-System sind definierte Knochenrestdicken zwischen 50 und 350 µm während der Benetzung der Knochenoberfläche zuverlässig gemessen worden.

Anwendungsfelder

Anwendungsfelder für die Laserkraniotomie sind stereotaktische Implantationen von Elektroden für die tiefe Hirnstimulation zur Behandlung komplexer Bewegungsstörungen. Als weitere Anwendungen werden Kraniotomien am wachen Patienten zur Entfernung niedergradiger Gliome (Hirntumore) in eloquenten Regionen des Gehirns gesehen. Hier ist die Unterscheidung zwischen malignem und funktionalem Gewebe essenziell, welche durch eine Wachoperation begünstigt wird.

Das Projekt wird von der Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen des Forschungsprogramms ATTRACT unter dem Projektnamen STELLA gefördert.

Ansprechpartner

PD Dr. Peter Reinacher, DW: -1030
peter.reinacher@ilt.fraunhofer.de

Dr. Achim Lenenbach, DW: -124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de

ERZEUGUNG PATIENTENEIGENER UND TRANSPLANTIERBARER BINDEGEWEBSLAPPEN

Aufgabenstellung

In der Wiederherstellungschirurgie werden zur Rekonstruktion größerer Defekte Lappenplastiken eingesetzt. Steht kein körpereigenes Material zur Verfügung, stößt diese Technik an ihre Grenzen. Ein Ansatz zur Kompensation dieser Problematik ist die Züchtung patienteneigener und transplantierbarer Gewebelappen, die sogenannte AV-Loop-Technik. Hierbei können durchblutete Gewebelappen aus patienteneigenen Zellen in implantierbaren Kunststoffkammern gezüchtet werden. Für eine defektspezifische Rekonstruktion sollen mittels 3D-Druck individualisierte Kunststoffkammern hergestellt und somit maßgeschneiderte Lappenplastiken erzeugt werden.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT soll die Additive Fertigung dieser Kunststoffkammern, die flexibel und biokompatibel sein sollen, entwickelt werden. Verschiedene Kombinationen aus Photoharzen und lithographiebasierten 3D-Druckern wurden hierfür getestet und sollen durch In-vitro-Zelltests verifiziert werden. Analysen zu den mechanischen Kammereigenschaften und der Vernährbarkeit wurden durch das Fraunhofer IAP unterstützt. Zudem soll das Kammerdesign weiterentwickelt werden. Die Validierung des Verfahrens über In-vivo-Tests erfolgt an der BG Klinik Ludwigshafen.

Ergebnis

Im Projekt wurden Bedingungen identifiziert, mit denen allen Anforderungen an mechanische, optische und zellbiologische Eigenschaften Rechnung getragen wird. Das Material basiert auf (meth-)acrylierten Monomeren mit hohem Polyurethananteil. Der Drucker nutzt LCD-Technologie. Das ursprüngliche Kammerdesign wurde iterativ weiterentwickelt hin zu einer Kammer, die bündig schließt, gut vernährbar ist und bei Implantation zu minimaler Reibung mit der Haut des Patienten führt.

Anwendungsfelder

Zukünftig ist die Herstellung komplexerer vaskularisierter Gewebelappen angestrebt. In Kombination mit Methoden zur Herstellung von Hautersatzgewebe könnten komplexe Hautmodelle für die Testung von Wirkstoffen oder auch zur Implantation hergestellt werden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben Flexloop wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 03VP05962 durchgeführt.

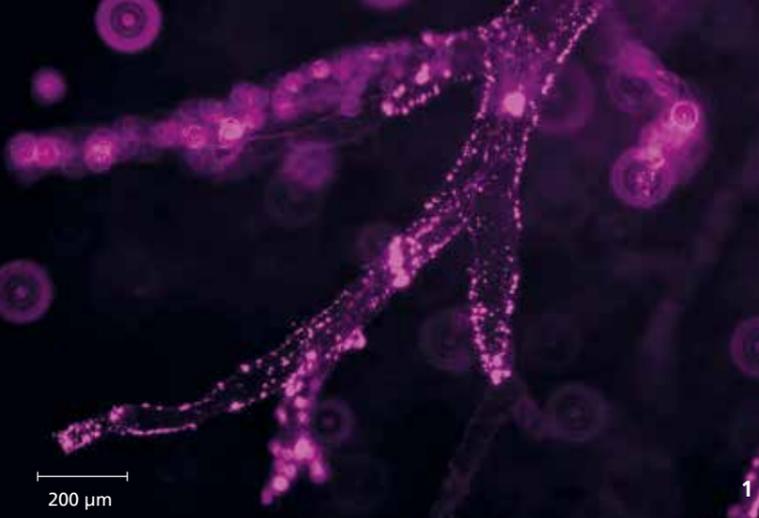
Ansprechpartner

Andreas Hoffmann M. Sc., DW: -447
andreas.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Martin Wehner, DW: -202
martin.wehner@ilt.fraunhofer.de

3 µCT der Angiogenese.

4 Individualisierte Kammern mit verschiedenen Verschlussmechanismen und Geometrien.



LASERBASIERTE HERSTELLUNG VON SCAFFOLDS FÜR VASKULARISIERTE, BIOARTIFIZIELLE HERZMUSKEL

Aufgabenstellung

Die Herstellung bioartifizierlicher Gewebe nimmt neben der Stammzelltechnologie eine Schlüsselrolle für die Behandlung kardiovaskulärer Erkrankungen ein. Heute ist es möglich, Herzmuskelzellen in vitro aus humanen induzierten pluripotenten Stammzellen (iPS) zu generieren. Das Haupthindernis für die Anwendung bioartifizierlicher Gewebe ist das Fehlen einer funktionalen Blutgefäßstruktur, die für die Versorgung der Zellen bei Schichtdicken größer als einigen 100 µm unumgänglich ist. Unser Ziel ist die In-vitro-Herstellung von vaskularisiertem Herzmuskelgewebe. Damit wird ein wichtiger Schritt in Richtung voll funktionsfähiger künstlicher Gewebe und Organe unternommen.

Vorgehensweise

Der im Projekt verfolgte Ansatz kombiniert Bottom Up- und Top Down-Verfahren, um Blutgefäße mittels Laserstrahlung in biokompatible Polymere, genauer gesagt maßgeschneiderte Hydrogele, einzuschreiben und dreidimensionale Scaffolds aufzubauen, die mit vaskulären Zellen aus humanen iPS-Zellen besiedelt werden. Im Rahmen der Prozessentwicklung werden die optimalen Verfahrensparameter wie z. B. Wellenlänge,

1,2 Fluoreszenz- und Phasenkontrastmikroskopische Aufnahme einer lasergenerierten Gefäßstruktur mit Abmessungen im µm-Bereich.

Laserleistung und Bearbeitungsgeschwindigkeit für unterschiedliche Hydrogele ermittelt. Des Weiteren werden geeignete Methoden zur biologischen und chemischen Analyse und Visualisierung der Bearbeitungsergebnisse untersucht.

Ergebnis

In Zusammenarbeit mit unseren Projektpartnern LightFab GmbH, Miltenyi Biotec B.V. & Co. KG, Taros Chemicals GmbH & Co. KG, Uniklinik Köln und Chemie-Department der Universität zu Köln konnte ein Verfahren entwickelt werden, das ein Einschreiben von Gefäßstrukturen in ein Hydrogel mittels UKP-Laserstrahlung ermöglicht. Zum Nachweis, dass die erzeugten Kanäle offen sind, wurden sie mit fluoreszierenden Nanopartikeln durchströmt. Im weiteren Verlauf ist die Besiedelung mit geeigneten Zellen geplant.

Anwendungsfelder

Das erwartete Produkt soll Kardiologen ermöglichen, geschädigtes Herzmuskelgewebe zu ersetzen. Die entwickelten Materialien und Herstellungsverfahren bieten Verbesserungen für unterschiedlichste Gebiete des Tissue Engineerings – vor allem dort, wo vaskuläre Strukturen erforderlich sind – und stellen somit einen Schlüssel zu voll funktionsfähigen artifiziellen Geweben und Organen dar. Dieses Vorhaben wird aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) unter dem Förderkennzeichen EFRE-0801776 gefördert.

Ansprechpartner

Dr. Elke Bremus-Köbberling, DW: -396
elke.bremus@ilt.fraunhofer.de

Dr. Martin Wehner, DW: -202
martin.wehner@ilt.fraunhofer.de

3D-DRUCK VON HOCHVISKOSEN ODER FESTEN PHOTOHARZEN DURCH EINE TEMPERATURGEREGELTE PROZESSKAMMER

Aufgabenstellung

Ziel der Entwicklung additiver Fertigungsverfahren ist die Herstellung von Funktionsbauteilen, die über ihre mechanischen, thermischen und optischen Eigenschaften definiert werden. Für den sogenannten 4D-Druck werden die Anforderungen um weitere Eigenschaften wie Thermoresponsivität oder selbstheilende Eigenschaften erweitert. Um diese Materialeigenschaften zu erreichen, können Ausgangsstoffe mit hohem Molekulargewicht verwendet werden. Die Viskositäten dieser Materialien (>> 1000 mPas) führen in Stereolithographie-Druckern bisher zu erheblichen Problemen, wie Bauteil deformation durch hohe Scherkräfte oder signifikant gesteigerte Druckzeiten. Durch eine Temperaturregelung des Prozessraums kann die Viskosität der Harze erniedrigt werden, da diese mit steigender Temperatur sinkt.

Vorgehensweise

Auf Grundlage eines kommerziell erhältlichen 3D-Druckers wurden relevante Baugruppen ergänzt und umgestaltet. Der Fokus lag dabei auf der Implementierung einer Temperierung von Photoharzbad und Bauplatzform. Hierfür wurden neben der Auslegung der Heizelemente, der Integration einer Steuerung und der Isolierung des Prozessbereichs auch sicherheitsrelevante Ergänzungen vorgenommen. Belichtungsquelle (385 nm), Belichtungsrichtung (Constrained-Surface-Ansatz) sowie Strahlformungsmethode (DLP) wurden beibehalten.

Ergebnis

Durch die gewählten Maßnahmen wird ein Prozessfenster zur Verarbeitung von Photoharzen zwischen 20 und 80 °C ermöglicht. Die Temperatur kann dabei im stabilen Zustand auf ±1 °C genau gehalten werden. Die Verarbeitung hochviskoser Ausgangsverbindungen sowie TwoCure®-Materialien, die bei Raumtemperatur fest sind, ist dadurch möglich.

Anwendungsfelder

Dieser Ansatz ermöglicht es, hochmolekulare Präpolymere und Oligomere mit ihren vielseitigen Eigenschaften in die Photoharzentwicklung einzugliedern. Anwendungsziel ist primär die Herstellung dentaler und otoplastischer Bauteile. Gleichzeitig können Ausgangsstoffe auf ihre Eignung und ihren Einfluss in Photoharzformulierungen zeiteffizient untersucht werden.

Dieses Vorhaben wurde mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Rahmen des NRW-geförderten Projekts ALPhaMat unter dem Förderkennzeichen 0801505 durchgeführt.

Ansprechpartner

Andreas Hoffmann M. Sc., DW: -447
andreas.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

Maximilian Frederick Flesch M. Sc., DW: -8372
maximilian.flesch@ilt.fraunhofer.de

3 DLP-Anlage mit temperierbarem Prozessraum zur Verarbeitung hochviskoser Photoharze.
4 Gedruckte Struktur aus TwoCure®-Photoharz, © Nick Hüdelpohl.

LASERMESSTECHNIK UND EUV-TECHNOLOGIE



INHALT

LIBS-Sensorik zur Analyse und Steuerung von Schrottströmen für das Metallrecycling	80
Optische Inline-Partikelanalytik zur Überwachung von Dispersionsprozessen in der Produktion	81
Winkelaufgelöste Inline-Partikelanalytik mit einer Wellenleitersonde	82
Scanplex – Kompaktes Scanner-Array für die Multistrahlbearbeitung	83
Laborbasierte Charakterisierung des Streuverhaltens von EUV-Pellicles	84
Entwicklung von vakuumtauglichen Kompaktkameras für EUV/SXR-Anwendungen	85
Bestrahlungssystem für die Optikentwicklung im extremen Ultraviolett	86
Kombinierte UV-Plasmabehandlung für die Desinfektion von Oberflächen	87



LIBS-SENSORIK ZUR ANALYSE UND STEUERUNG VON SCHROTTSTRÖMEN FÜR DAS METALLRECYCLING

Aufgabenstellung

Metalle lassen sich ohne Qualitätsverlust beliebig oft durch Einschmelzen recyceln. In den Ofenprozessen wird eine Vielzahl von Metalllegierungen nach Bedarf erzeugt. Um diese Prozesse energie- und rohstoffeffizient ausführen zu können, ist eine genaue Kenntnis der chemischen Zusammensetzung des einzuschmelzenden Materials erforderlich. Die verfügbaren Metallschrotte sind jedoch meist nur grob vorqualifiziert. Zudem sollen zur Steigerung des Recyclinganteils auch Schrotte von niedriger Qualität verstärkt eingesetzt werden. Daher ist eine Methode erforderlich, mit der die Zusammensetzung von Metallschrotten vor der Beschickung des Ofens ermittelt werden kann.

Vorgehensweise

Mit einem dreidimensional scannenden Lasermessverfahren wird der angelieferte Metallschrott analysiert und die chemische Zusammensetzung der einzelnen Schrottteile ermittelt. Die Analyse erfolgt durch Laser-Emissionsspektrometrie (LIBS) und stellt pro Minute eine Vielzahl von Multi-Elementanalysen zur Verfügung. Die Zusammensetzung der Schrottteile wird an die Leitstelle des Recyclingbetriebs übermittelt, sodass eine definierte Ofenbeschickung erfolgen kann. Je nach Anwendung findet eine legierungsreine Sortierung einzelner Teile oder die

1 LIBS-Analyse eines Stroms von Metallteilen auf einem Förderband.

Steuerung ganzer Schrottströme auf der Basis eines repräsentativen Mittelwerts der Analyse statt. Vor jeder Messung reinigt ein Laserpuls am Messort die häufig verschmutzten Teile nach einem patentierten Verfahren und legt das zu messende Material frei. Die Oberflächenkontur der Schrotte wird hierfür durch eine Laserlichtschnittmessung erfasst, welche die 3D-Koordinaten für den Laserfokus der LIBS-Messung vorgibt.

Ergebnis

In Zusammenarbeit mit Industrie- und Forschungspartnern entstand ein universelles Konzept für eine Messeinrichtung, die sowohl einzelne Schrotteile auf Förderbändern als auch Containerladungen als Ganzes analysieren kann. Das Messverfahren wurde im Labor an unterschiedlichen Materialien getestet und soll im weiteren Projektverlauf in verschiedenen Recyclingbetrieben für Stahl, Aluminium und Blei erprobt werden.

Anwendungsfelder

Neben der Bewertung von Schrottströmen kann die Sensorik auch zur Sortierung von gemischten Metallschrotten verwendet werden. Das LIBS-Messverfahren ist jedoch nicht auf metallische Materialien beschränkt, sodass auch mineralische oder gemischte Stoffströme in der Rohstoffindustrie analysiert werden können. Die Inline-Messungen bilden in Echtzeit die chemische Zusammensetzung des Materials ab und liefern die Datenbasis für die Prozesskontrolle und -steuerung. Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU-Projekts REVaMP unter dem Förderkennzeichen 869882 durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. Volker Sturm, DW: -154
volker.sturm@ilt.fraunhofer.de

Dr. Cord Fricke-Begemann, DW: -196
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de



2



3

OPTISCHE INLINE-PARTIKELANALYTIK ZUR ÜBERWACHUNG VON DISPERSIONSPROZESSEN IN DER PRODUKTION

Aufgabenstellung

Für die Überwachung von Dispersionsprozessen werden am Fraunhofer ILT in Kooperation mit internationalen Partnern aus Industrie und Forschung neue Werkzeuge für die optische Inline-Partikelanalytik entwickelt. Im Fokus steht dabei die Überwachung von Produktionsprozessen aus den Bereichen Pharma, Farbstoffe und Feinchemikalien. Ausgehend vom Bedarf der Anwender werden Lasermessverfahren zur Charakterisierung von Dispersionen im Hinblick auf deren Größenverteilung sowie die chemische Zusammensetzung entwickelt und im industriellen Einsatz getestet.

Vorgehensweise

Als Methode zur Analyse von Nanopartikeln eignet sich die dynamische Lichtstreuung (DLS). Damit das Verfahren auch als Inline-Methode beispielsweise in einem chemischen Reaktor eingesetzt werden kann, erfolgt die optische Messung mithilfe einer Sonde, welche mit einem Inline-Sondenkopf ausgestattet ist. Dieser isoliert eine kleine Probenmenge, sodass eine ungestörte Diffusion beobachtet werden kann. Das DLS-Verfahren basiert auf der zeitaufgelösten Erfassung einfach gestreuter Photonen aus einem kleinen Volumen (wenige Picoliter), das ungefähr dem Laserfokus entspricht. Um die Methode auch für hohe Partikelkonzentration einsetzen zu können, müssen vielfach gestreute Photonen unterdrückt werden, da diese den Messwert verfälschen. Dies gelingt durch die Kreuzkorrelation

zweier identischer Streuexperimente. Hierfür wird eine miniaturisierte Optik mit je zwei Anregungs- und Detektionskanälen in eine Tauchsonde integriert.

Ergebnis

Der Inline-Sondenkopf mit integrierter Messsonde wurde aufgebaut und an mono- und polydispersen Lösungen im Labor getestet. Für das Messverfahren der Kreuzkorrelation ist dabei entscheidend, dass beide Streuexperimente im selben Probenvolumen stattfinden. Dies wird ohne Justage mit einem hochpräzisen Glasbauteil zur Aufnahme von vier Fasern und Kollimationslinsen erreicht. Die Fertigung dieses Präzisionsbauteils erfolgte durch Selective Laser Induced Etching (SLE).

Anwendungsfelder

In vielfältigen chemischen, pharmakologischen und biotechnologischen Prozessen spielen Nanopartikel eine wichtige Rolle. Im vorliegenden PAT4Nano-Projekt stehen vor allem Dispersionsprozesse im Fokus. Die Anwendungsfelder liegen in der Vermahlung von kristallinen pharmakologischen Wirkstoffen, der Herstellung von Tinte aus Farbpigmenten sowie der Produktion von nanopartikulären Feinchemikalien z. B. für Katalysatoren oder Batterien.

Das Projekt PAT4Nano wird von der EU im Rahmen der Horizon 2020-Ausschreibung DT-NMBP-08-2019 gefördert.

Ansprechpartner

Dr. Christoph Janzen, DW: -8003
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Achim Lenenbach, DW: -124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de

2 Inline-Sondenkopf.

3 Quarzblock als Optikhalter mit eingesteckter Faser-Ferrule.



WINKELAUFGEÖLTE INLINE-PARTIKELANALYTIK MIT EINER WELLENLEITERSONDE

Aufgabenstellung

Zur Vermessung von Partikelgrößen während des Ablaufs chemischer und biologischer Prozesse sind nach dem derzeitigen Stand der Technik keine geeigneten Inline-Messsysteme verfügbar. Durch winkelaufgelöste Streulichtmessungen können Partikelgrößen und Größenverteilungen jedoch offline ermittelt werden. Dieses Verfahren der statischen Laserlichtstreuung analysiert Partikel zwischen einigen zehn Nanometern und hunderten Mikrometern Größe mit Hilfe von Laborgeräten. Für echtzeitfähige, prozessanalytische Tauchsonden eignet sich das Verfahren aufgrund der Baugröße der Messsysteme jedoch nicht. In einem Forschungsprojekt mit Partnern aus der Industrie entwickelt das Fraunhofer ILT eine miniaturisierte, inlinefähige Tauchsonde, bei der das Streulicht auf einem Diagnostikchip mithilfe integrierter Wellenleiter winkelaufgelöst gemessen wird.

Vorgehensweise

Mit einem Kurzpuls-Laser werden optische Wellenleiter in einen Glaschip geschrieben. Diese Lichtwellenleiter sind radial an eine Probenöffnung herangeführt und leiten Streulicht aus verschiedenen Richtungen zu einem lichtempfindlichen Sensorchip, der das Streulichtsignal quantitativ erfasst. Da jeder Wellenleiter einem bekannten Streuwinkel entspricht,

1 Tauchsonde für die winkelaufgelöste

Laserstreulichtmessung.

2 Glaschip bei eingeschaltetem Laser für die

Streulichtmessung (Probenöffnung s. Bildmitte).

kann aus der Intensitätsverteilung der einzelnen Wellenleiter eine winkelaufgelöste Streuintensität ermittelt werden. Aus dieser Intensitätsverteilung lässt sich die Partikelgröße berechnen. Da die Wellenleiter in einen kompakten Glaschip mit wenigen Zentimetern Kantenlänge eingebracht werden können, eignet sich das Messverfahren für die Integration in eine kompakte Tauchsonde.

Ergebnis

Die erste Version einer Tauchsonde für die winkelaufgelöste Laserstreulichtmessung wurde entwickelt und befindet sich zurzeit in einer Testphase am Fraunhofer ILT. Streulichtsignale von Partikeln in Lösung können winkelaufgelöst erfasst, analysiert und daraus die Partikelgrößen bestimmt werden.

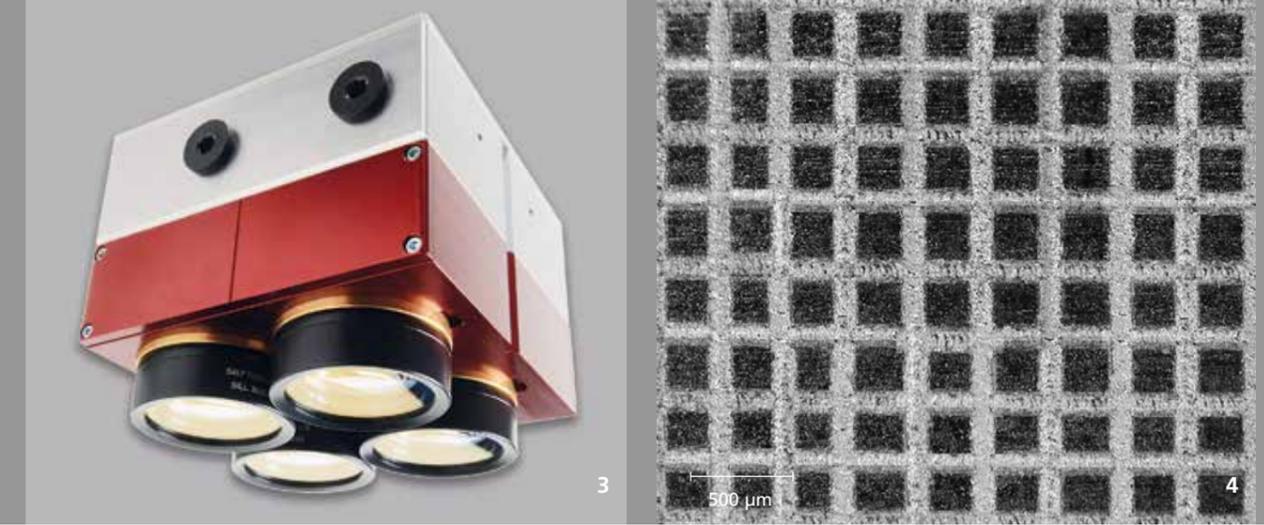
Anwendungsfelder

Mit der Streulichtsonde kann die Größe von Partikeln im Bereich von wenigen zehn Nanometern bis zu einigen hundert Mikrometern gemessen werden. Anwendungsfelder liegen in der chemischen Prozess- und Bioprozessanalytik. Wachstumsprozesse in Biofermentern, die Partikelbildung in chemischen Kristallisationen oder Polymerisationen sowie Dispersionsprozesse können inline während eines laufenden Prozesses erfasst werden. Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF zusammen mit kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) unter dem Förderkennzeichen 13N14176 durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. Christoph Janzen, DW: -8003
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Achim Lenenbach, DW: -124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de



SCANPLEX – KOMPAKTES SCANNER-ARRAY FÜR DIE MULTISTRALHBEARBEITUNG

Aufgabenstellung

Zur Produktivitätssteigerung werden in der Lasermaterialbearbeitung Multistrahlansätze verfolgt, welche die Produktionsgeschwindigkeit proportional zur Zahl der eingesetzten Laserstrahlen erhöhen. Um bei der Multistrahlbearbeitung ein hohes Maß an Designfreiheit zu gewährleisten, müssen die Laserstrahlen voneinander unabhängig über das Bearbeitungsfeld geführt werden können. Dies erfordert eine Array-Technologie aus kompakten 2D-Scannerelementen mit einem gegenüber konventionellen Galvanometerscannern deutlich reduzierten Bauraum. Je geringer der Platzbedarf eines Scanner-Elements bei gegebener Apertur und gegebenem Scanwinkel ist, desto höher ist der realisierbare Parallelisierungsgrad pro Fläche und damit die Produktivität des Prozesses.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wurde daher ein Scanner-Array realisiert, das in einem Gehäuse von der Größe eines konventionellen 2D-Bearbeitungskopfs vier 2D-Ablenkeinheiten für die parallelisierte Lasermaterialbearbeitung vereint. Die Scanner-Antriebe beruhen auf einer am Fraunhofer ILT entwickelten und patentierten planaren Galvoscanntechnologie, die ein geringes Bauvolumen mit einer großen Apertur vereint. Durch Verwendung des Scanner-Arrays und kompakter F-Theta-Objektive kann eine Fläche von 120 x 120 mm² mit vier separaten Laserstrahlen parallel bearbeitet werden.

Ergebnis

Der Scanner-Array-Demonstrator mit vier 2D-Ablenkeinheiten und je einem F-Theta-Objektiv pro Ablenkeinheit wurde im Fraunhofer ILT aufgebaut und charakterisiert. Demonstrationsversuche erfolgten mit Laserleistungen bis 150 W pro Scankopf für die Anwendungsfelder Lasermarkieren und -gravieren und zeigten das Potenzial der Scanplex-Technologie für eine signifikante Produktivitätssteigerung auf.

Spezifikationen des Scanner-Arrays Scanplex

Bauvolumen L x B x H	140 x 140 x 90 mm ³
Brennweite f	160 mm
Scanfeldgröße A	120 x 120 mm ²
Scangeschwindigkeit v _s	≤ 8 m/s
Apertur D	7 mm
Bestrahlungsstärke E	≤ 500 W/cm ²
Schleppverzug t _s	200 µs
Positionsauflösung	16 Bit
Schnittstelle	XY2-100

Anwendungsfelder

- Laserbeschriften und -gravieren
- Additive Fertigung
- Mikrobearbeitung

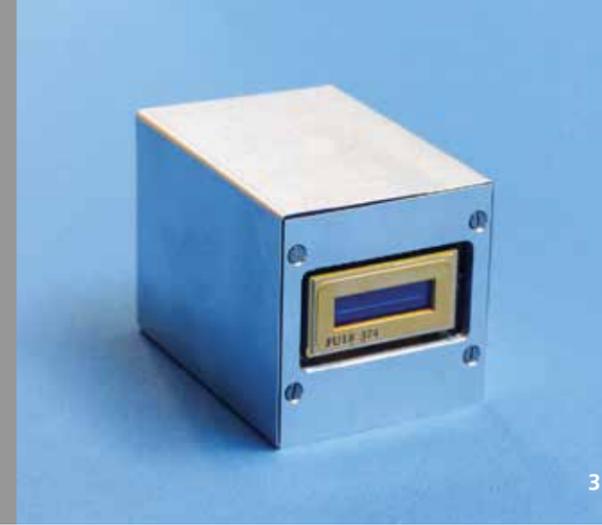
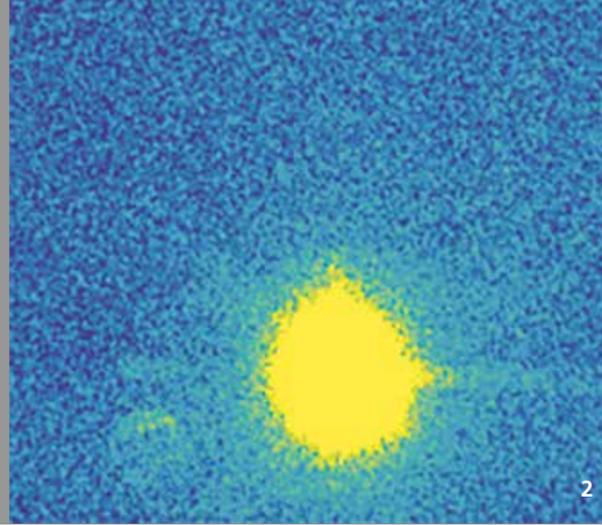
Ansprechpartner

Lazar Bocharov M. Sc., DW: -431
lazar.bocharov@ilt.fraunhofer.de

Dr. Achim Lenenbach, DW: -124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de

3 2x2 Scanner-Array Scanplex.

4 Mit Scanplex erzeugte Lasergravur in Aluminium.



LABORBASIERTE CHARAKTERISIERUNG DES STREUVERHALTENS VON EUV-PELLICLES

Aufgabenstellung

Als Pellicles werden in der industriellen Halbleiterherstellung Membrane mit Dicken im Nanometerbereich bezeichnet. Diese dienen dem Schutz der nanostrukturierten Maske vor Partikeln im Lithographieprozess. Zur Gewährleistung einer hohen Abbildungsqualität und eines hohen Durchsatzes müssen die Transmission und das Streuverhalten der Pellicles sorgfältig optimiert werden. Insbesondere für moderne Lithographieprozesse im extrem-ultravioletten (EUV) Strahlungsbereich stellt dies eine hohe Anforderung an die Herstellung und Analyse der Pellicles dar.

Vorgehensweise

Zur Charakterisierung des Streuverhaltens nanoskaliger Pellicles bei der industriell verwendeten Hauptwellenlänge von 13,5 nm wird die breitbandige EUV-Strahlung einer plasmabasierten Gasentladungsquelle verwendet. Mittels geeigneter Dünnschichtfilter und eines Mehrschichtspiegels wird die Strahlung spektral gefiltert, sodass eine Hauptwellenlänge von 13,5 nm mit einer relativen spektralen Bandbreite von 4 Prozent für die Messungen zur Verfügung steht. Während der Messungen wird die Pulsenergie der Quelle mittels eines Dosismonitors kontinuierlich gemessen, um eine Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu gewährleisten. Mithilfe einer

Apertur wird ein Teilbereich des Pellicles ausgeleuchtet und das transmittierte und gestreute Licht mit einer CCD-Kamera (Abk., engl.: charge-coupled device) gemessen. Zur Erhöhung der verfügbaren Photonenzahl innerhalb einer Messung kann ein Strahlblocker in den Strahlengang eingebracht werden, der den direkt transmittierten Teil der Strahlung abschirmt.

Ergebnis

Anhand des realisierten Laboraufbaus können verschiedene EUV-Pellicles der neuesten Generation hinsichtlich des Streuverhaltens bei einer Wellenlänge von 13,5 nm charakterisiert werden. Verschiedene Materialkompositionen und Beschichtungen werden dabei flexibel auf ihre Eignung für den Einsatz in modernen Lithographieprozessen überprüft. Die gemessenen Ergebnisse zeigen eine hohe Übereinstimmung mit Referenzmessungen und Simulationsergebnissen.

Anwendungsfelder

Der realisierte Aufbau und das entwickelte Messverfahren werden zur Charakterisierung von nanoskaligen Membranen (Pellicles) für den Einsatz in der Lithographie mit extrem ultravioletter Strahlung verwendet.

Ansprechpartner

Bernhard Lüttgenau M. Sc., DW: -301
bernhard.luettingenau@tos.rwth-aachen.de

Dr. Jochen Stollenwerk, DW: -411
jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de

ENTWICKLUNG VON VAKUUMTAUGLICHEN KOMPAKTKAMERAS FÜR EUV/SXR-ANWENDUNGEN

Aufgabenstellung

Extrem ultraviolette (EUV) und weiche Röntgenstrahlung (SXR) findet Anwendung in lithographischen und messtechnischen Verfahren, wie sie in der Halbleiterindustrie oder in den Nanowissenschaften weit verbreitet sind. Die Verwendung dieser kurzwelligen Strahlung (2–50 nm) bietet Vorteile sowohl hinsichtlich der erzielbaren Strukturgröße als auch der Messsensitivität. Da diese Strahlung jedoch in jeglicher Materie sowie auch in der Atmosphäre eine starke Absorption erfährt, müssen technische Aufbauten in einer Vakuumumgebung realisiert werden. Für Mess- und Justageaufgaben in solchen Aufbauten sind daher kompakte und vakuumtaugliche Kamerasysteme von enormer Wichtigkeit, die im begrenzten Bauraum der Vakuumkammern flexibel positionierbar sind. Zudem sollte eine Sensitivität gegenüber EUV/SXR-Strahlung gewährleistet sein. Kommerziell verfügbare In-Vakuum-Kameras für den gegebenen Strahlungsbereich werden jedoch nur von wenigen Herstellern angeboten und sind in der Regel nicht kompakt genug, um sie mit ausreichend Bewegungsspielraum in Vakuumkammern platzieren zu können.

Vorgehensweise

In Zusammenarbeit mit der Firma khs-instruments wird eine kompakte In-Vakuum-Kamera für EUV- und weiche Röntgenstrahlung entwickelt. Basierend auf den speziellen Anforderungen der Vakuumumgebung wird dabei ein Prototyp der Kamera entwickelt, welcher in einem Vakuum- und EUV-Teststand erprobt und optimiert wird.

Ergebnis

Im ersten Projektjahr wurde ein kompakter Prototyp der Kamera inklusive Steuerungstechnik entwickelt. Mithilfe eines Vakuum- und EUV-Teststands werden Untersuchungen des Prototyps zur Vakuum-Kompatibilität, thermischen Stabilität sowie Sensitivität gegenüber EUV-Strahlung durchgeführt.

Anwendungsfelder

Die entwickelte Kamera findet Anwendung in technischen Anlagen zur Detektion von EUV- und SXR-Strahlung für Mess- und Justageaufgaben. Beispiele dafür sind EUV-Lithographieanlagen oder messtechnische Systeme.

Die Arbeiten werden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi im Rahmen des »Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand« unter dem Kennzeichen ZF4109603SY9 gefördert.

Ansprechpartner

Sophia Schröder M. Sc., DW: -399
sophia.schroeder@tos.rwth-aachen.de

Dr. Sascha Brose, DW: -8434
sascha.brose@tos-rwth-aachen.de

1 Realisierter Versuchsaufbau.

2 Streulichtaufnahme einer CCD-Kamera.

3 Prototyp der EUV-Kamera,

© khs-instruments.



1

BESTRAHLUNGSSYSTEM FÜR DIE OPTIKENTWICKLUNG IM EXTREMEN ULTRAVIOLETT

Aufgabenstellung

Die Entwicklung von Optiken und Komponenten für die Extrem-Ultraviolett-Lithographie (EUVL) erfordert Lebensdauer-tests bei der Einsatzwellenlänge um 13,5 nm und Intensitäten, wie sie auch im Betrieb der Lithographiesysteme auftreten. Die thermische Belastbarkeit oder der Verschleiß durch EUV-induzierte Kontaminationen der Komponenten können so ermittelt und durch geeignete Maßnahmen wie Spezialbeschichtungen verbessert bzw. reduziert werden.

Vorgehensweise

Kernkomponenten des Systems sind eine am Fraunhofer ILT entwickelte EUV-Strahlungsquelle basierend auf einer Xenon-Gasentladung und ein Grazing-Incidence-Kollektor mit der zu bestrahlenden Probe im Fokuspunkt. Bei der Dimensionierung des Kollektors sind sowohl Anforderungen wie Spotgröße, mittlere Leistung, Spitzenintensität und Einstrahlwinkel als auch die volumetrischen Emissionseigenschaften der Strahlquelle zu berücksichtigen. Unverfälschte experimentelle Bedingungen benötigen eine Unterdrückung des Arbeitsgasflusses in die Bestrahlungskammer auf ca. 10^{-5} mbar l/s . Unterstützt von Monte-Carlo-Simulationen der molekularen Strömung im Vakuum wird ein differentielles Pumpsystem entwickelt,

1 Quelle-Kollektor-System für Bestrahlungsexperimente im extremen Ultraviolett.

mit dem dieses Ziel erreicht wird. Die Strahlungsquelle hat eine mittlere EUV-Leistung von bis zu 700 W/2πsr in einem Spektralbereich von 10–18 nm (Breitband). Davon wird eine Strahlungsleistung von bis zu 40 W/2πsr in den für die EUV-Lithographie besonders interessanten Bereich um 13,5 nm in einer spektralen Bandbreite von 0,27 nm (Inband) emittiert. Die Puls wiederholrate der EUV-Quelle liegt bei bis zu 2500 Hz.

Ergebnis

Das entwickelte System aus Quelle, Kollektormodul und Druckstufe liefert eine mittlere Bestrahlungsleistung von bis zu 40 W/cm² (breitband) und etwa 4 W/cm² (inband) um eine Zentralwellenlänge von 13,5 nm bei einem Spotdurchmesser von 1,6 mm. Ein modifiziertes optisches System erlaubt die näherungsweise homogene Bestrahlung einer Fläche mit einem Durchmesser von ca. 4 mm bei entsprechend geringerer Intensität. Durch differentielles Pumpen kann an der Probenposition ein Druck von unter 10^{-7} mbar erreicht werden, wodurch störende Einflüsse durch Restgaskontamination bei der Untersuchung minimiert werden.

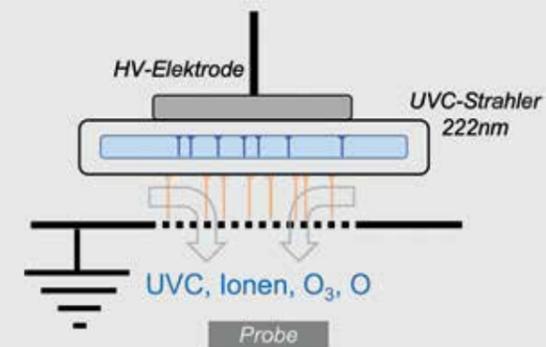
Anwendungsfelder

Durch Anpassung der Betriebsparameter der Quelle und des Kollektors wird ein Spektralbereich von ca. 2 nm Wellenlänge bis in das extreme Ultraviolett bei ca. 20 nm abgedeckt. Das Hauptanwendungsfeld liegt derzeit in Lebensdauer-tests von Komponenten für die EUV-Lithographie bei Bestrahlung um eine Zentralwellenlänge von 13,5 nm.

Ansprechpartner

Dr. Jochen Vieker, DW: -397
jochen.vieker@ilt.fraunhofer.de

Dr. Klaus Bergmann, DW: -302
klaus.bergmann@ilt.fraunhofer.de



2

KOMBINIERTE UV-PLASMA-BEHANDLUNG FÜR DIE DESINFEKTION VON OBERFLÄCHEN

Aufgabenstellung

Sowohl UV-Strahlung als auch Plasmen werden heute zur Desinfektion bzw. Sterilisation von Oberflächen eingesetzt. Bei beiden Methoden gibt es jedoch Limitierungen. Für die UV-Bestrahlung sind Verluste durch Abschattung an rauen Oberflächen oder die unzureichende Wirksamkeit bei bestimmten Erregertypen zu nennen. Bei der reinen Plasmabehandlung schränken ein hoher Energieaufwand für die Plasmaerzeugung und hohe erforderliche Bestrahlungsstärken die Anwendungen ein.

Vorgehensweise

Um die Vorteile beider Verfahren in einem Gerät zu vereinen, wurde ein Demonstrator für eine kombinierte UV-Plasmabehandlung aufgebaut. In einer kaskadierten Barrierentladung (Bild 2) werden durch Anlegen einer Wechselhochspannung sowohl UVC-Strahlung mit einer Wellenlänge von 222 nm als auch ein Luftplasma effizient erzeugt. Durch einen kontinuierlichen Luftstrom werden die im Plasma erzeugten reaktiven Substanzen wie Radikale, Ozon und auch atomarer Sauerstoff sowie die UVC-Strahlung selbst durch eine Netzelektrode auf die zu reinigende Oberfläche geleitet. Die elektrische Leistungsaufnahme bezogen auf die Fläche des UVC-Strahlers liegt bei etwa 0,8 W/cm². Die Bestrahlungsstärke des UVC-Anteils auf der Probe beträgt dabei 2 mW/cm².

Ergebnis

In ersten Experimenten mit E.coli und Bacillus subtilis wurde eine Reduktion vitaler Keime um bis zu 5 Größenordnungen mit einer elektrischen Energie pro Strahlerfläche von 3 J/cm² bzw. eine Keimreduktion um eine Größenordnung auf 10 Prozent mit einer Bestrahlung von 10 mJ/cm² für den spektralen UVC-Anteil erreicht. Das Konzept lässt sich auf kleinere Module mit einer Leistungsaufnahme von wenigen Watt und einer geringen Baugröße skalieren, sodass sich diese Technologie auch für den mobilen Einsatz eignet.

Anwendungsfelder

Mögliche Anwendungen für den mobilen Einsatz liegen in Desinfektionssystemen für Kliniken und medizinische Einrichtungen. Großflächige Anwendungen sind z. B. die Herstellung steriler Verpackungen von Medizinprodukten sowie die Sterilisation hitzeempfindlicher Geräte.

Die Entwicklungen wurden im Rahmen des Verbundprojekts »MobDi – Mobile Desinfektion« über das Anti-Corona-Programm der Fraunhofer-Gesellschaft unter der Fördernummer 840264 durchgeführt.

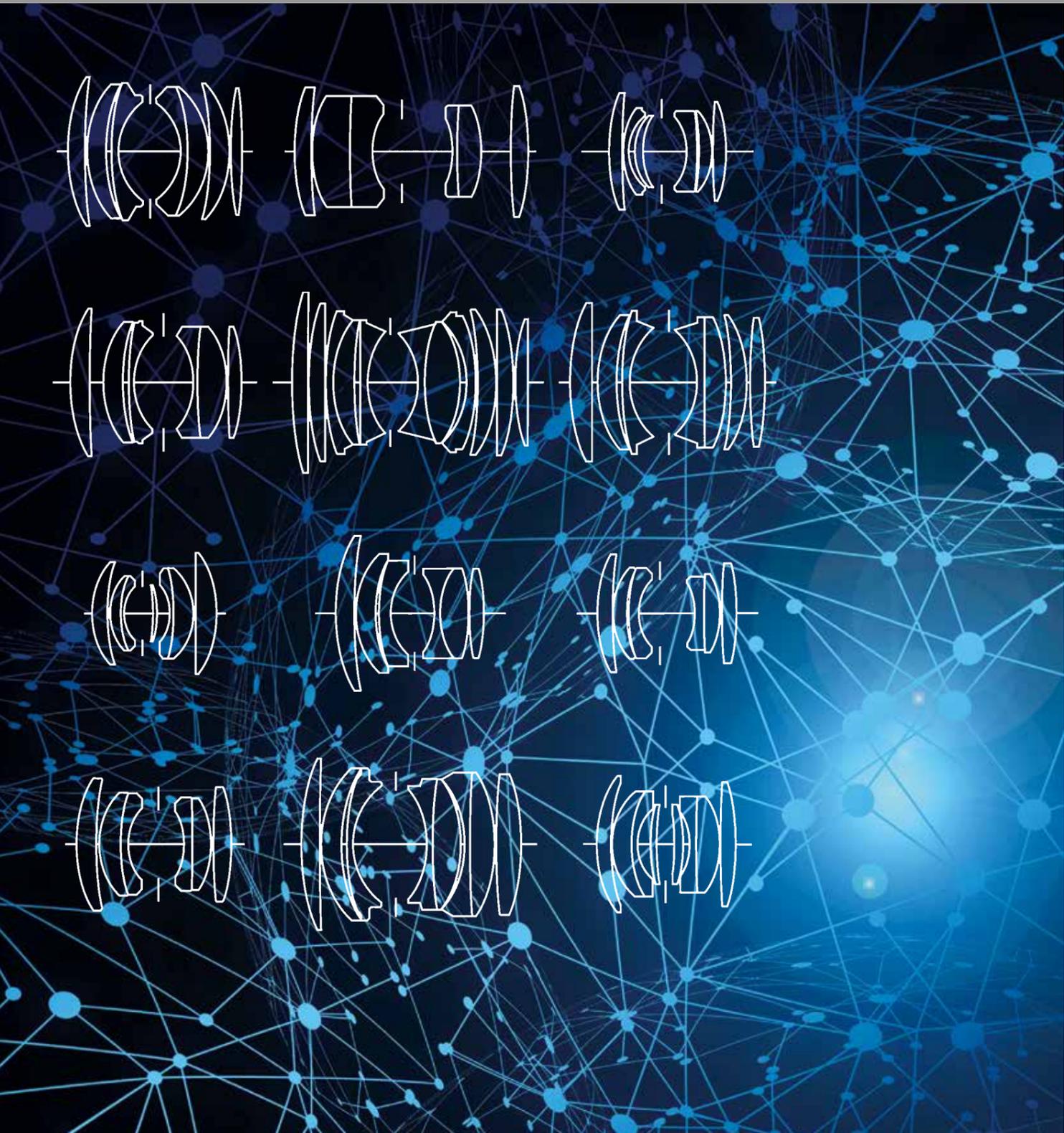
Ansprechpartner

Dr. Klaus Bergmann, DW: -302
klaus.bergmann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Achim Lenenbach, DW: -124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de

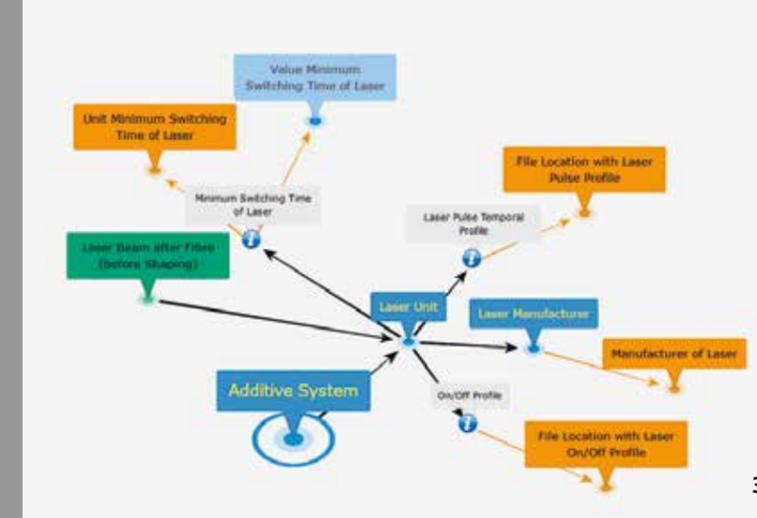
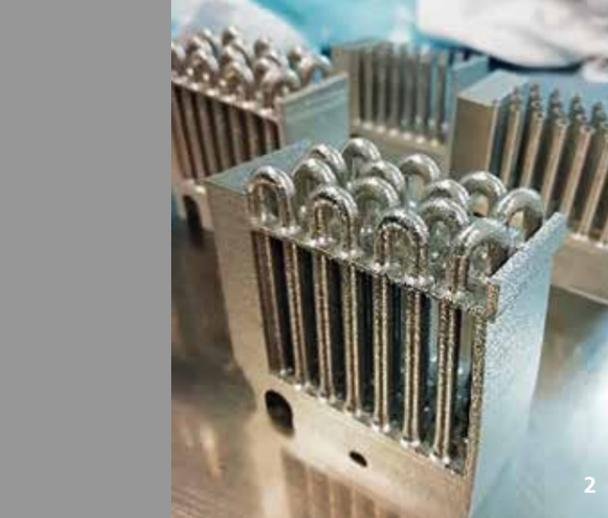
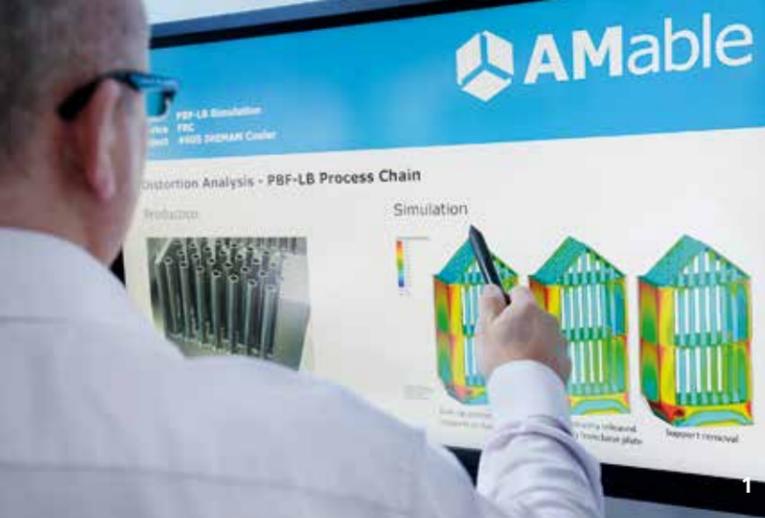
2 Prinzip der kombinierten UV-Plasmabehandlung.
3 UVC-Strahler im Demonstrator.

DIGITALISIERUNG



INHALT

AMable – Plattform für Entwicklungsunterstützung	90
Ontologien für digitalisierte Wertschöpfungsketten in additiven Fertigungsverfahren	91
Ortsaufgelöste Prozessüberwachung für die Additive Fertigung mittels Laserauftragschweißen	92
Qualitätssicherung in der Additiven Fertigung mittels digitaler Bildverarbeitung	93
Cloud Native UKP-Laserbearbeitung	94
Simulation der Absorptionsverteilung beim Laserstrahlmikroschweißen von Metallen	95
Algorithmenentwicklung für die rigorose Simulation wellenoptischer Elemente	96
Reinforcement Learning zur automatisierten Auslegung optischer Systeme	97



AMABLE – PLATTFORM FÜR ENTWICKLUNGSUNTERSTÜTZUNG

Aufgabenstellung

Bei der Umsetzung einer Produktidee mittels Additiver Fertigung gibt es während der Entwicklung eine Vielzahl von Optionen in allen Bereichen vom Design bis hin zur Fertigung. Dabei können Entscheidungen in der Formgebung beispielsweise dazu führen, dass in nachgelagerten Produktionsschritten überschüssiges Pulvermaterial nicht mehr entfernt werden kann oder dass die Maßtoleranzen eines Produkts durch thermische Einflüsse des Bauprozesses nicht eingehalten werden können. Idealerweise werden solche Probleme frühzeitig erkannt und durch geeignete Maßnahmen vermieden. Oft fehlt jedoch vor Ort das Wissen im speziellen Anwendungsfall. Die Suche nach geeigneten Kompetenzen ist zudem zeit- und kostenintensiv.

Vorgehensweise

In der Additiven Fertigung werden ständig neue Erkenntnisse zum Entwurf von Produkten und zur Prozessführung gewonnen, viele davon in den Laboren führender Forschungsinstitute. Soll beispielsweise ein neuer Leichtbau-Wärmetauscher mit hoher Druck- und Temperaturbeanspruchung konstruiert werden, ist der Zugang zu aktuellem Wissen in der Materialentwicklung ein entscheidender Beitrag. Sollte die Auswahl des Materials einen Einfluss auf die Maßhaltigkeit des gefertigten Produkts haben, so ist auch das Wissen über die Prozessführung essenziell.

1 Konstruktionsprozess mithilfe der AMable-Plattform.
2 Wärmetauscher realisiert mit AMable,
© Ramem, Epsilon.

Eine umfassende Kompetenz entlang der Produktentstehungskette wird im Idealfall durch den Zusammenschluss vieler Experten aus den unterschiedlichen Teildisziplinen abgedeckt. Die AMable-Plattform bietet diesen Kompetenzpool durch ihre Partner aus den führenden Forschungsinstituten Europas und schafft so eine einmalige Ressource für KMUs und industrielle Anwender. AMable steht dabei als echter One-Stop-Shop für schnelle Lösungen. Hat der Anwender die Fragestellung formuliert, wird innerhalb kurzer Zeit ein geeigneter und verfügbarer Experte gefunden, der konkret bei der Lösung unterstützt. Der gesamte Vorgang bleibt von der Anfrage bis zur Lösung unter einem Dach und kann auch die Fertigung von Prototypen beinhalten.

Ergebnis

AMable bietet in der »Services Arena« dedizierte Unterstützung für die Entwicklung additiv gefertigter Produkte. KMUs und industrielle Anwender können mit Services wie »Design for AM« oder »Materials for AM« europaweite externe Kompetenzen für ihre Entwicklung nutzen. Dabei bestimmt jeder Anwender selbst, ob er die Services als Training oder als Outsourcing nutzen möchte.

Anwendungsfelder

Die AMable-Plattform unterstützt Anwender der Additiven Fertigung in allen Phasen der Produktentwicklung – vom Entwurf bis zur Fertigung – mit sämtlichen Materialien und Verfahren. Dieses Projekt wurde aus Mitteln des »European Union Horizon 2020 Research and Innovation Programme« unter dem Förderkennzeichen 768775 gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) B. Eng. (hon) Ulrich Thombansen
M. Sc., DW: -320
ulrich.thombansen@ilt.fraunhofer.de

ONTOLOGIEN FÜR DIGITALISIERTE WERTSCHÖPFUNGSKETTEN IN ADDITIVEN FERTIGUNGSVERFAHREN

Aufgabenstellung

Zur kontinuierlichen Verbesserung additiver Fertigungsprozesse müssen diese in digitale Wertschöpfungsketten im Sinne von Industrie 4.0 integriert werden. Insbesondere zur kontinuierlichen Verbesserung additiver Fertigungsprozesse und der Qualitätsgrößen der hergestellten Bauteile muss die Entstehung inklusive aller Einflussfaktoren des Prozesses einheitlich, nachvollziehbar und transparent sein. Dafür müssen Datenerzeugung, Datenspeicherung, Datenauswertung sowie die entsprechenden Datenströme entlang der Prozesskette bekannt, semantisch verständlich und zusammengeführt sein.

Vorgehensweise

Geeignete Werkzeuge für diese Art der Zusammenführung sind Ontologien. Diese ermöglichen die Schaffung eines vereinheitlichten Vokabulars, die Abbildung und Erschließung logischer Zusammenhänge sowie Wissensgraphen zur Vernetzung der Daten, die in einem standardisierten Dateiformat (RDF, Resource Description Framework) gespeichert, in Datenbanken importiert und mittels einer standardisierten Abfragesprache durchsucht werden können.

Ergebnis

Mit der jahrelang aufgebauten Fachexpertise des Fraunhofer ILT in den laserbasierten additiven Fertigungsprozessen Laser Material Deposition (LMD) und Laser Powder Bed Fusion (LPBF) wird eine digitale Wissensbasis geschaffen. In dieser werden die Daten entlang der Prozesskette hinsichtlich des Pulvermaterials, des Prozesses, der verwendeten Maschine sowie des Produkts vernetzt. Die entwickelten Ontologien dienen als Vorlage für die Überführung in Datenbanken und können anwendungsspezifisch um Mess- und Prozessüberwachungsdaten sowie Simulationen ergänzt werden.

Anwendungsfelder

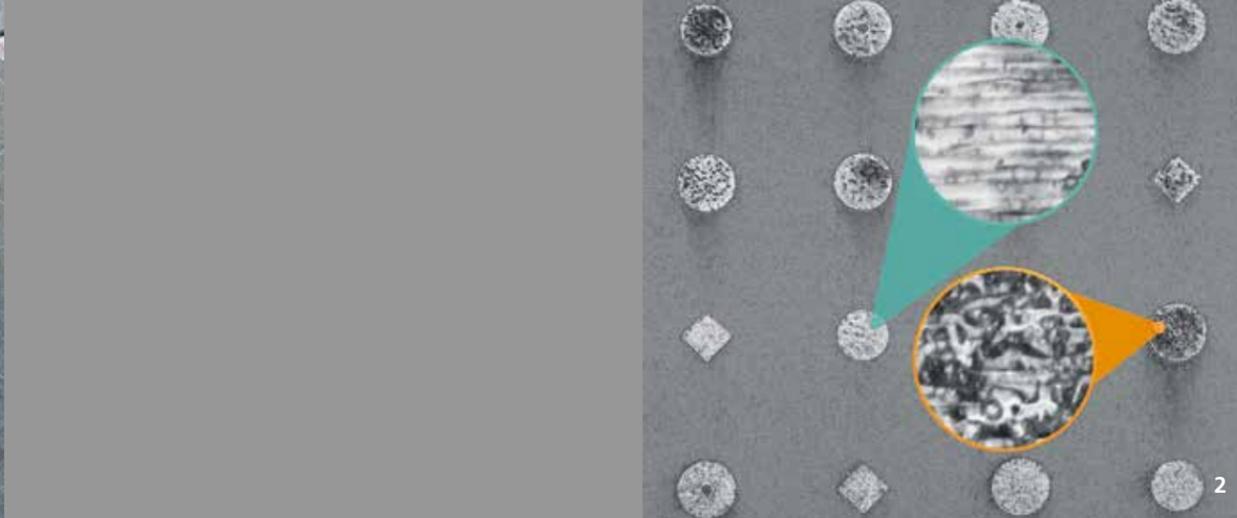
Die Ontologien für additive Fertigungsverfahren können branchen- und anwendungsunabhängig angewandt und beliebig erweitert werden. Die Arbeiten werden im Rahmen des Projekts ADAM durch die Fraunhofer-Gesellschaft gefördert. Der Fokus besteht in der Entwicklung von Ontologien als Grundlage für die KMU-orientierte datengetriebene Wertschöpfung durch Datenökosysteme.

Ansprechpartner

Talu Ünal-Saewe M. Sc., DW: -335
talu.uenal-saewe@ilt.fraunhofer.de

Dr. Norbert Pirch, DW: -636
norbert.pirch@ilt.fraunhofer.de

3 Ontologien für digitalisierte Wertschöpfungsketten in additiven Fertigungsverfahren.



ORTSAUFGELOSTE PROZESS- ÜBERWACHUNG FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG MITTELS LASERAUFTRAG- SCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Zur Qualifizierung additiv gefertigter Bauteile ist die Detektion auch kleinster Abweichungen während des Fertigungsprozesses mittels Prozessüberwachung notwendig. Beim Laserauftragschweißen sind hierfür koaxial integrierte, kamerabasierte Sensoren zur Erfassung der thermischen Signatur des Schmelzbads Stand der Technik. Dabei erfolgt die Datenerfassung vorwiegend zeitaufgelöst. Um während des schichtweisen Aufbaus von Volumenkörpern die Lokalisierbarkeit von Prozessanomalien zu ermöglichen und ex-situ detektierte Bauteileigenschaften zu in-situ erfassten Sensorsignalen bei komplexen Bauteilgeometrien zuzuordnen, werden die Prozessüberwachungsdaten für einzelne Bauteilquerschnitte vor allem örtlich aufgelöst benötigt.

Vorgehensweise

Durch eine am Fraunhofer ILT entwickelte Softwarelösung erfolgt die Aufzeichnung und zeitstempelbasierte Synchronisation der Daten mehrerer Sensoren sowie der Tool Center Point-Koordinaten der Werkzeugmaschine, wodurch eine Lokalisierung der Messdaten ermöglicht wird. Die Erfassung

1 Hybrid-additiv gefertigte BLISK
mit Repräsentation der Prozessmessdaten.

der Maschinendaten erfolgt dabei mittels des OPC UA-Standards. Mit einer zusätzlich implementierten Bildverarbeitungs-pipeline können, ergänzend zu den Pyrometertemperaturen, auch aus Schmelzbadaufnahmen extrahierte Features wie die Schmelzbadfläche oder detektierbare Spritzer erfasst und im Bauteil lokalisiert werden.

Ergebnis

Durch die Synchronisierung verschiedener Messgrößen der Prozessüberwachung mit Schweißbahnen des Laserauftragschweißprozesses wird die orts aufgelöste Untersuchung eines Zusammenhangs von Auffälligkeiten in den Aufnahmen mit Qualitätseigenschaften wie Volumendefekten und Formgenauigkeiten des gefertigten Bauteils ermöglicht.

Anwendungsfelder

Das Konzept wird derzeit an Anwendungsfällen aus der Luft- und Raumfahrtbranche geprüft und validiert. Die Erprobung kann jedoch branchenunabhängig für jegliche Anwendungsfälle der Additiven Fertigung, Reparatur, Bauteilindividualisierung oder Beschichtung erfolgen. Durch die Nutzung des offenen Kommunikationsstandards OPC UA kann das Datenerfassungskonzept zudem maschinen- und steuerungsunabhängig angewendet werden.

Ansprechpartner

Talu Ünal-Saewe M. Sc., DW: -335
talu.uenal-saewe@ilt.fraunhofer.de

Dr. Thomas Schopphoven, DW: -8107
thomas.schopphoven@ilt.fraunhofer.de

QUALITÄTSSICHERUNG IN DER ADDITIVEN FERTIGUNG MITTELS DIGITALER BILDVERARBEITUNG

Aufgabenstellung

Die Eigenschaften von Bauteilen, die mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF) hergestellt wurden, sind während der Fertigung unbekannt. Insbesondere können interne Defekte sowie die tatsächliche Bauteilgeometrie erst nachträglich durch zusätzliche Schritte in der externen Qualitätskontrolle bestimmt werden. Gleichzeitig könnte der zyklische Charakter des LPBF-Prozesses für eine schichtweise Prozessüberwachung genutzt werden. Bereits bestehende Ansätze hierzu sind auf die Betrachtung thermischer Emissionen fokussiert.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wurde ein Prozessbeobachtungssystem mit einem Zeilensensor entwickelt, welches die prozessinhärente Bewegung der Pulverauftragseinheit nutzt, um lagen- und zeilenweise Bilder der erkalteten Prozesszone aufzunehmen. Zur Identifikation von Prozessabweichungen und möglichen Defekten aus den Bilddaten wurden anwendungsspezifische Bildverarbeitungsalgorithmen entwickelt und erprobt.

Ergebnis

Die Detailauflösung des Systems ermöglicht die Identifikation individueller erstarrter Schmelzbahnen sowie die Abschätzung ihrer Texturen, welche eng mit der resultierenden Bauteilqualität verknüpft sind. Aus den Sensordaten kann ein material-spezifischer »Fingerabdruck« extrahiert werden, bei dessen Abweichung vom Sollwert auf kritische Prozessbedingungen

geschlossen werden kann. Mittels maschinellen Lernens können zudem bestimmte Prozessabweichungen (z. B. der »Balling Effect«) unmittelbar aus den Bilddaten erkannt werden. Die Erfassung der tatsächlichen Bauteilgeometrie wird durch einen speziell entwickelten Ansatz zur Bildsegmentierung ermöglicht. Insgesamt können somit prinzipiell eine Vielzahl von Prozessabweichungen erkannt werden, sowohl im Bauteilinneren als auch im Konturbereich.

Anwendungsfelder

Das LPBF wird derzeit primär zur Herstellung komplexer und hochbeanspruchter Bauteile genutzt, z. B. in der Luftfahrt und der Medizintechnik. Durch die prozessbegleitende Erfassung des Prozessverhaltens können in einem ersten Schritt aufwendige nachgelagerte Qualitätskontrollen reduziert werden. Zukünftig könnte das System zudem als Grundlage für die In-situ-Anpassung der Prozessparameter genutzt werden, um die Bauteilqualität nachhaltig zu erhöhen und potenzielle Defekte noch während des Prozesses zu reparieren bzw. zu verhindern.

Ansprechpartner

Felix Gabriel Fischer M. Sc., DW: -8355
felix.fischer@ilt.fraunhofer.de

Jasmin Saewe M. Sc., DW: -135
jasmin.saewe@ilt.fraunhofer.de

2 Mit dem System erfasstes Schichtbild.
3 Zeilenkamerasystem
integriert in Laboranlage.



CLOUD NATIVE UKP-LASERBEARBEITUNG

Aufgabenstellung

Ein Ultrakurzpuls(UKP)-Laser ist ein komplexes System, mit dem sich mikrometergenau beliebige Materialien abtragen lassen. Zahlreiche Sensoren kontrollieren die Maschine und den Laserprozess. Entsprechend vielfältig ist die Software, die die Komponenten steuert und die Daten der Sensoren ausliest. In der industriellen Fertigung werden viele solcher Systeme parallel eingesetzt. 50 Systeme nebeneinander sind hier nicht ungewöhnlich. Doch wie lassen diese sich effizient installieren und wie kann man sie zentral steuern?

Vorgehensweise

Für die Aufgabe, 50 und mehr Laser gleichzeitig zu steuern, neue Software für diese Systeme zu installieren und Sensordaten in Echtzeit auszuwerten, reichen herkömmliche Konzepte nicht mehr aus. Aus diesem Grund wurde die gesamte Steuerungs- und Analysesoftware unter Berücksichtigung der RAMI4.0-Spezifikation neu entwickelt. Dabei wurde besonderer Wert auf die Einbindung in Datacenter und eine einfache Skalierbarkeit des Systems gelegt. Die Software ist somit »cloud native« und kann sehr schnell auf Produktions-Computing-Clustern installiert werden. Im Kern des Datacenters arbeitet »Kubernetes«, eine Open-Source-Software, die automatisch Anwendungsprogramme auf verteilten Computersystemen aufspielt, skaliert und warten kann. Kubernetes wurde ursprünglich von Google entworfen

1 UKP-Laserbearbeitung.

und wird von führenden Cloud-Plattformen wie Microsoft Azure, IBM Cloud, Red Hat OpenShift, Amazon EKS, Google Kubernetes Engine und Oracle OCI unterstützt.

Ergebnis

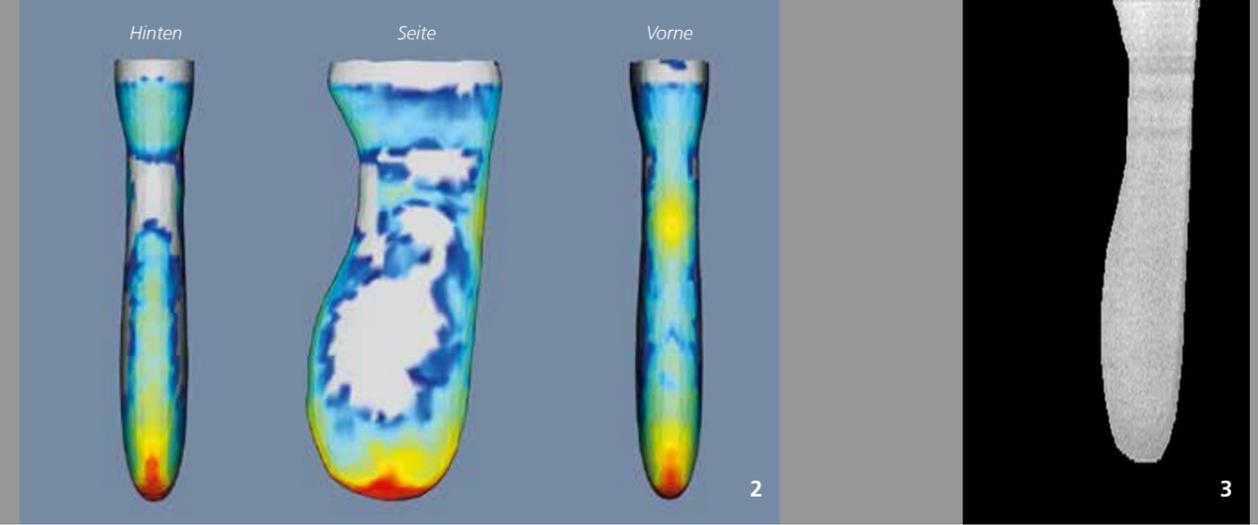
In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University wurde eine cloud native Steuerungssoftware entwickelt, die durch Kubernetes administriert wird. Der gesamte verwendete Verwaltungssoftwarestack ist OpenSource und ermöglicht die umfassende Individualisierung der Prozesse. Neben Automatisierungsroutinen, Condition-Monitoring und anderen Analysealgorithmen können nun auf dem Shopfloor auch die Steuerungs- und Regelalgorithmen zentral gehostet, administriert und upgedated werden. Durch diese zentralisierte Steuerungsebene entstehen Skaleneffekte, die das Softwaremanagement von hunderten von Anlagen parallel möglich machen. Außerdem ist es durch die Verwendung von Kubernetes möglich, jederzeit externe Rechenkapazität den Anlagenalgorithmen »on demand«, beispielsweise durch Cloud-Anbieter oder On-Premises-Datencenter, zur Verfügung zu stellen, um die Rechenkapazität individuell der aktuellen Betriebsauslastung anzupassen.

Anwendungsfelder

Die Steuerungssoftware ist vor allem für die Verwendung auf Laseranlagen ausgelegt. Das verwendete Framework skaliert sehr gut sowohl für hunderte gleichzeitig betriebene Anlagen, beispielsweise in einem Job-Shop, als auch für individuelle Systeme, die fortwährend angepasst werden müssen. Die Modularität begünstigt die leichte Anpassung an andere Prozesse wie beispielweise das LPBF.

Ansprechpartner

Moritz Kröger M. Sc., Tel.: +49 241 8040433
moritz.kroeger@llt.rwth-aachen.de



SIMULATION DER ABSORPTIONSVERTEILUNG BEIM LASERSTRAHLMIKROSCHWEISSEN VON METALLEN

Aufgabenstellung

Das Laserstrahlweißen von metallischen Werkstoffen auf der Submillimeterskala wird bei der Fertigung von elektronischen Bauteilen in der Elektromobilitätsbranche eingesetzt. Die kleinen räumlichen Skalen sowie die großen thermischen Leitfähigkeiten von Kupfer- und Aluminiumwerkstoffen bringen Herausforderungen für die Prozessstabilität mit. Mithilfe von experimenteller Diagnostik und numerischer Simulation können Ursachen von Instabilitäten analysiert und Maßnahmen für eine Qualitätssteigerung der Schweißnaht abgeleitet werden.

Vorgehensweise

Der Laserschweißprozess wird in einem angepassten Aufbau am Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) durchgeführt und mit hochbrillanter Röntgenstrahlung der Strahlquelle PETRA III in-situ belichtet. Aus den erfassten Kontrastaufnahmen wird die dreidimensionale Form der Schweißkapillare rekonstruiert. Zur Berechnung der Strahlungsausbreitung und der Strahlungsabsorption wird ein GPU-parallelierter Raytracing-Algorithmus verwendet.

Ergebnis

Im zeitlichen Verlauf der berechneten Absorptionsverteilung zeigt sich eine vorwiegend gleichmäßige Ausleuchtung des Kapillargrunds. Die dynamische Variation der Kapillarform äußert sich vor allem durch Absorptionsschwankungen in mittleren Tiefenbereichen sowie in der Detektion des zurückreflektierten Lichts. Das aus der Analyse des Zeitverlaufs von Absorptionsverteilung und Kapillarform gewonnene Prozessverständnis liefert Ansätze für die Reduktion von Porenbildung und Oberflächenrauheit.

Anwendungsfelder

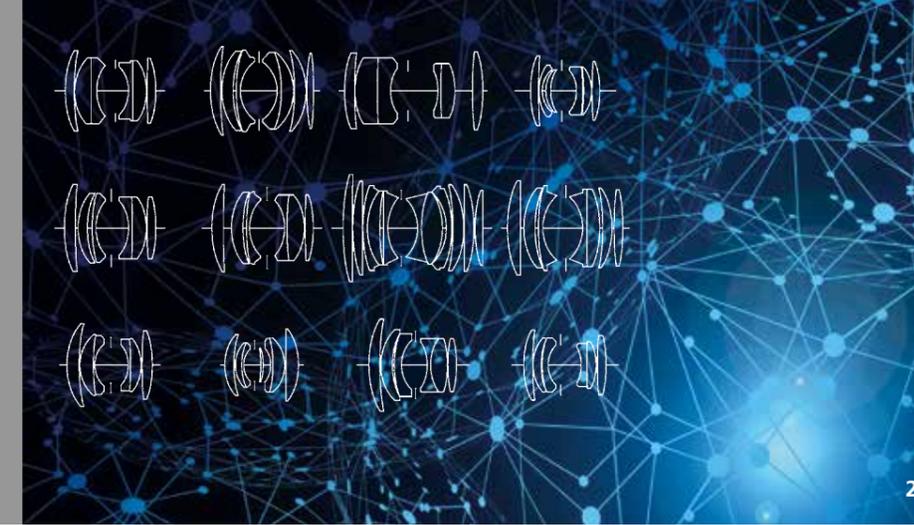
Die Modellierung und numerische Simulation findet Anwendung in der Prozessentwicklung des Laserstrahlmikroschweißens von metallischen Werkstoffen, die in Bauteilen der Elektromobilindustrie (Batteriepacks, Brennstoffzellen) und Leistungselektronik (Direct-Bonded-Copper-Substrate) eingesetzt werden.

Ansprechpartner

Dr. Ulrich Halm, DW: -680
ulrich.halm@nld.rwth-aachen.de

Prof. Wolfgang Schulz, DW: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

- 2 Berechnete Absorptionsverteilung auf der Oberfläche einer aus Röntgenaufnahmen rekonstruierten Schweißkapillare.
- 3 Maskierte Röntgenaufnahme einer Schweißkapillare.



ALGORITHMENENTWICKLUNG FÜR DIE RIGOROSE SIMULATION WELLENOPTISCHER ELEMENTE

Aufgabenstellung

Durch die zunehmende Miniaturisierung von Bauteilen und der daraus resultierenden immer präziseren Fertigungsverfahren werden auch optische Elemente immer kompakter. Wenn die erzeugten Strukturgrößen in der Größenordnung der verwendeten Wellenlänge liegen, treten wellenoptische Effekte auf, welche mit konventionellen Optiken nicht erreicht werden und somit neuartige Möglichkeiten der Strahlformung eröffnen. In sogenannten Metaoptiken führt eine Ausnutzung dieser Effekte beispielsweise zu einer sehr kurzen Brennweite oder zu einer unerwarteten Strahlablenkung bei senkrechtem Strahleinfall. Da die physikalischen Grundlagen für diese Optiken jedoch komplexer als für konventionelle Optiken sind, werden neuartige Designmethoden notwendig, um entsprechende optische Elemente auch für anwendungsnahe, makroskopische Situationen auslegen zu können.

Vorgehensweise

Zur Simulation wellenoptischer Elemente werden daher Algorithmen entwickelt, welche rigorose Lösungen der zugrunde liegenden physikalischen Gleichungen auf mikroskopischer Ebene erzielen und diese gleichzeitig mit makroskopischen Berechnungsmethoden koppeln. Letztere sind beispielsweise

Methoden für die Analyse optischer Gesamtsysteme oder für das Rendering komplexer Szenarien. Diese Methoden werden zukünftig mit Optimierungsalgorithmen gekoppelt, um die Systeme nicht nur analysieren, sondern auch auslegen zu können.

Ergebnis

Mit den entwickelten Methoden konnten Beleuchtungsszenarien auch für komplexe Konfigurationen simulativ untersucht werden. Die Vorgehensweise wurde durch Vergleiche mit experimentell aufgenommenen Fotografien validiert.

Anwendungsfelder

Die entwickelten Methoden haben vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in Bereichen wie der Strahlformung für die Lasermaterialbearbeitung, in AR-Anwendungen wie Near-Eye-Displays oder für die Erzeugung struktureller Farbe.

Diese Arbeiten werden teilweise durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC-2023 Internet of Production – unter dem Kennzeichen 390621612 gefördert.

Ansprechpartner

Dr. Annika Völl, DW: -8369
annika.voell@tos.rwth-aachen.de

Dr. Jochen Stollenwerk, DW: -411
jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de

REINFORCEMENT LEARNING ZUR AUTOMATISIERTEN AUSLEGUNG OPTISCHER SYSTEME

Aufgabenstellung

Die Auslegung optischer Systeme erfolgt derzeit mithilfe von strahlen- oder wellenoptischer Simulationssoftware. Das hinsichtlich bestimmter Zielvorgaben optimierte optische System resultiert aus der iterativen Modifikation durch den Optikdesigner und der automatisierten Optimierung von variablen Parametern. Für die Forschung stellt sich nun die Frage, ob diese Auslegungs- und Optimierungsstrategie durch einen Reinforcement-Learning-Ansatz ausgeführt werden kann. Dabei übernimmt ein Agent die Aufgabe des Optikdesigners, indem er das optische System basierend auf einem Ray-Tracing-Programm modifiziert und optimiert.

Vorgehensweise

Ein Agent wird mithilfe eines Reinforcement-Learning-Algorithmus auf verschiedene Anwendungsfälle trainiert. Durch Auswerten einer Zielfunktion, die beispielsweise die optischen Aberrationen des Systems bemisst, soll der Agent selbstständig die Auswirkungen verschiedener Aktionen auf das System erlernen. Dabei werden z. B. Linsenradien oder die Abstände zwischen den Linsen modifiziert. Ziel des Agenten ist beispielsweise, eine gewünschte Brennweite zu erhalten oder die optischen Aberrationen zu minimieren.

Ergebnis

In einem proof-of-concept werden am Beispiel eines Zweilinsens die Linsendurchbiegungen so ausgelegt, dass bei gegebener Brennweite die sphärische Aberration minimiert wird. Das neuronale Netzwerk wird mithilfe des Proximal-Policy-Optimization-Ansatzes trainiert. Nach erfolgreicher Trainingsphase kann durch den Ansatz die Optimierung des Zweilinsens automatisiert ausgeführt werden. In einem weiteren proof-of-concept werden die Linsenabstände eines Dreilinsens so variiert, dass sich eine gewünschte Soll-Brennweite für das optische System ergibt. In beiden Beispielen kann die Zielfunktion innerhalb weniger Sekunden erreicht werden.

Anwendungsfelder

Die automatisierte Auslegung optischer Systeme kann bei der Entwicklung von Laser- oder bildgebenden Systemen Anwendung finden. Insbesondere für die agile Produktentwicklung ist eine solche Methode von Vorteil.

Dieses Projekt wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC-2023 Internet of Production – unter dem Kennzeichen 390621612 gefördert.

Ansprechpartner

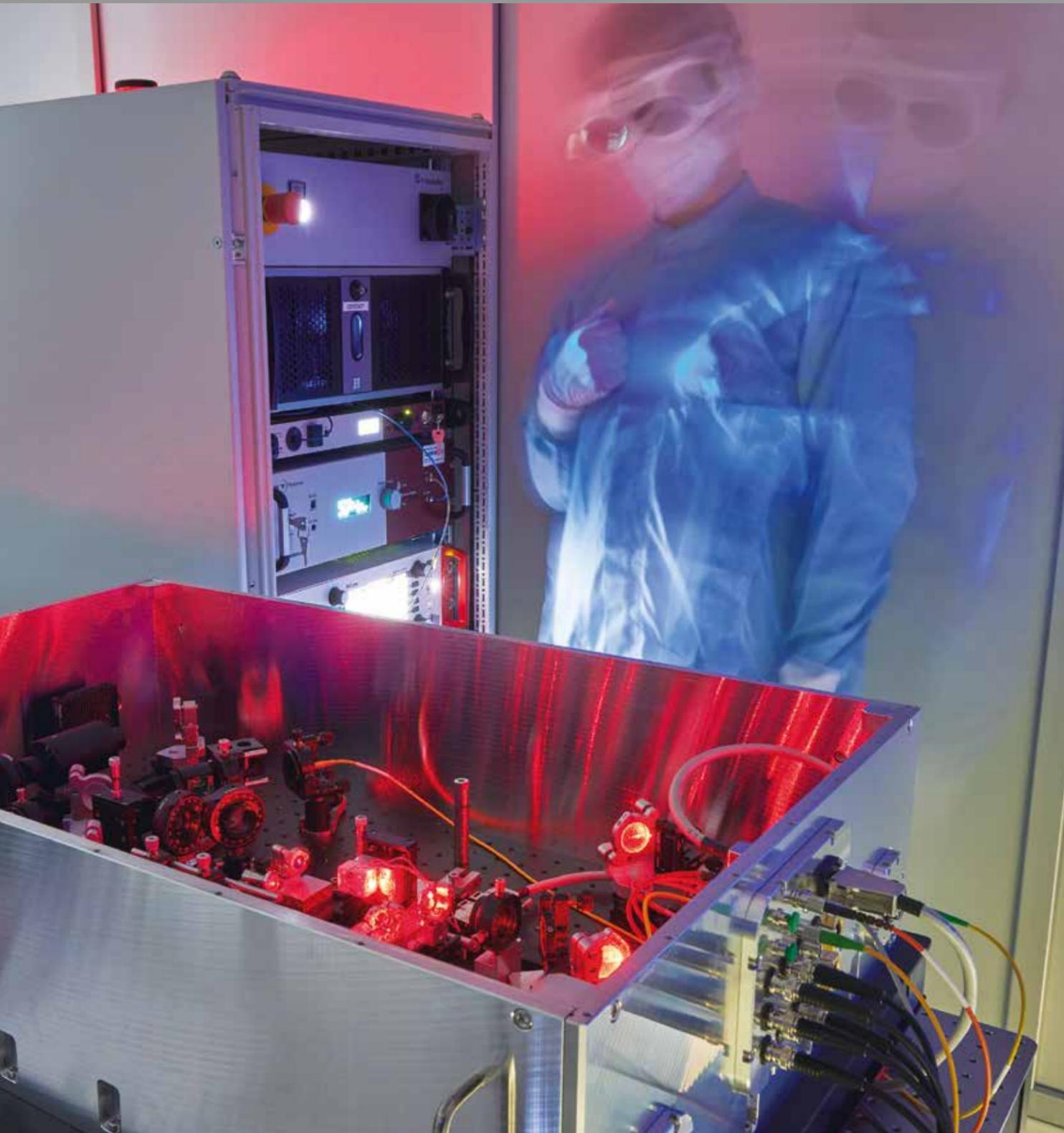
Cailing Fu M. Sc., DW: -8368
cailing.fu@tos.rwth-aachen.de

Prof. Carlo Holly, DW: -142
carlo.holly@tos.rwth-aachen.de

1 Ergebnis einer wellenoptischen Simulation einer Beleuchtungsszenerie mit zwei CDs.

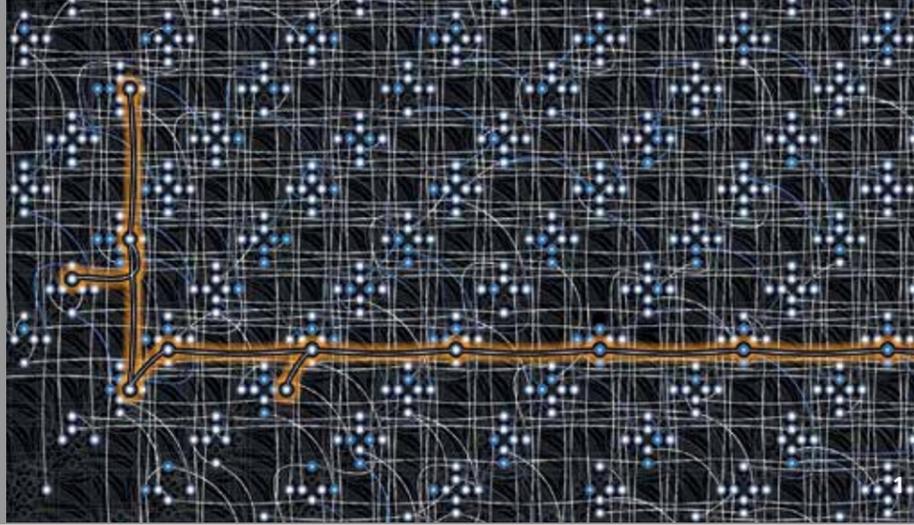
2 Reinforcement Learning für Optikdesign.

QUANTENTECHNOLOGIE



INHALT

Quantencomputing in der Photonik	100
Rauschreduzierte Frequenzkonverter für das Quanteninternet	101
Quanten-OCT	102
Hochauflösende Quantenbildgebung im MIR mit nicht-detektierten Photonen	103



QUANTENCOMPUTING IN DER PHOTONIK

Aufgabenstellung

Im Themenfeld der Photonik tritt eine Vielzahl an verschiedenen Optimierungsproblemen mit einer großen Zahl an Freiheitsgraden auf. Derartige Problemstellungen werden gemäß dem aktuellen Stand der Technik mittels klassischer, CPU- und GPU-basierter Optimierungsverfahren häufig nur approximativ gelöst. Dadurch wird das Potenzial der zugrundeliegenden photonischen Technologien nicht vollständig ausgeschöpft. Diese Problematik könnte zukünftig durch die fortlaufende Entwicklung von Quantencomputern und -annealern gelöst werden. Vor allem für diskrete, kombinatorische Optimierungsprobleme verspricht die Verwendung von Quantencomputern und -annealern Vorteile sowohl für die benötigte Laufzeit als auch für die Qualität der erhaltenen Lösung. Um Problemstellungen der Photonik auf Quantencomputern lösen zu können, müssen diese in eine spezielle mathematische Formulierung (Quadratic Unconstrained Binary Optimization, QUBO) überführt werden.

Vorgehensweise

Diese Überführung sowie die Validierung der daraus resultierenden Vorteile werden mithilfe von Quantencomputern des aktuellen Stands der Technik erarbeitet. Darüber hinaus wird die mögliche Skalierbarkeit auf künftige Generationen von Quantencomputern analysiert. Im Rahmen von Vorunter-

suchungen werden dazu verschiedene Use-Cases aus der Photonik identifiziert, die sich durch ihre Problemstruktur besonders für die Nutzung von Quantencomputern und -annealern eignen. Diese Use-Cases werden in Form eines QUBO-Problems ausgedrückt, auf einem D-Wave Advantage-Quantenannealer gelöst und anschließend die Güte der Optimierung für verschiedene Problemgrößen untersucht.

Ergebnis

Die korrekten QUBO-Formulierungen wurden für die zwei Use-Cases »Kombinatorische Auswahl von Kataloglinsen für das automatisierte Optikdesign« sowie »Auslegung von Freiformoptiken« anhand von Musterproblemen verifiziert. Dabei konnten die Limitierungen der Quantenannealer aktueller Generation identifiziert und daraus resultierende Anforderungen an geeignete Problemstellungen formuliert werden (u. a. eine Vermeidung von dichtbesetzten QUBO-Matrizen).

Anwendungsfelder

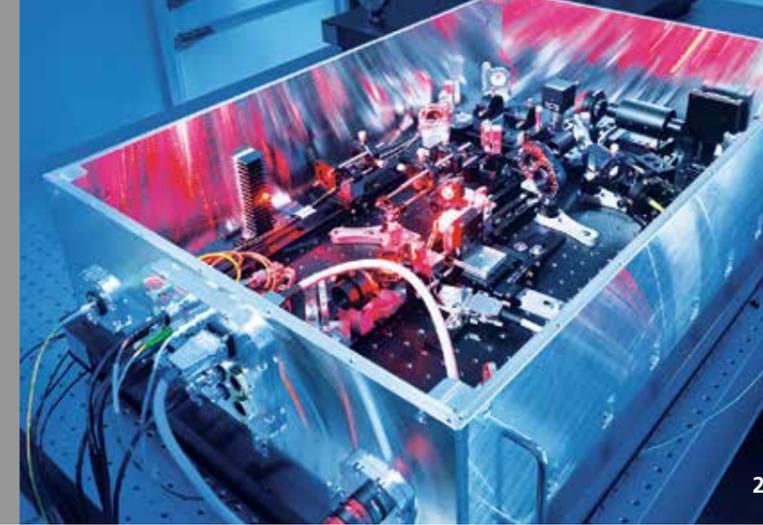
Die vorgestellten Untersuchungen ermöglichen die systematische Beurteilung der Vorteile der Verwendung von Quantencomputern in Optimierungsproblemen der Photonik, wie beispielsweise im Optikdesign und in der industriellen laserbasierten Fertigung (z. B. im LPBF).

Ansprechpartner

Thomas Bussek M. Sc., DW: -8196
thomas.bussek@tos.rwth-aachen.de

Dr. Annika Völl, DW: -8369
annika.voell@tos.rwth-aachen.de

1 Topographie eines Quantenannealers.



RAUSCHREDUZIERTE FREQUENZKONVERTER FÜR DAS QUANTENINTERNET

Aufgabenstellung

Entwicklung und Aufbau eines Quanteninternets sind übergeordnete Ziele der europäischen Quantentechnologie-Roadmap. Hierbei müssen Quantenprozessoren, -sensoren und -netzwerkknoten über große Entfernungen miteinander verschränkt werden, um Informationen effizient und sicher teilen sowie die Leistung und Anwendungsmöglichkeiten von Quantencomputern potenzieren zu können. Eine Grundlage für die Umsetzung solcher Netzwerke ist die dämpfungsarme Übertragung von Quanteninformation mittels Einzelphotonen durch Glasfasern. Um Netzwerke aus heterogenen Knoten realisieren und Wellenlängen im Telekomband nutzen zu können, müssen die Photonen in ihrer Wellenlänge unter Beibehaltung ihres Quantenzustands effizient konvertiert werden. Bei dem Konversionsprozess muss dabei die Zahl der Rauschphotonen, die das Signal-zu-Rausch-Verhältnis beeinflussen, minimiert werden.

Vorgehensweise

Zur effizienten Konversion kommen sogenannte Quantenfrequenzkonverter (QFC) zum Einsatz, die auf nichtlinear-optischer Frequenzkonversion beruhen. In der Regel werden hierbei periodisch-gepolte Kristalle mit Wellenleitern verwendet, bei denen Konversionseffizienzen bis über 90 Prozent erreicht werden können. Allerdings werden bei diesen Systemen gleichzeitig hohe Raten an Rauschphotonen erzeugt.

Im Rahmen des Fraunhofer ICON QFC-4-1QID-Projekts werden in Kooperation mit dem QuTech in Delft am Fraunhofer ILT neuartige rauscharme QFC entwickelt. Diese basieren auf dem Ansatz, nichtlineare Kristalle ohne periodische Polung und ohne Wellenleiter in einer Überhöhungskavität zu verwenden. Hierdurch können die wesentlichen Prozesse zur Entstehung von Rauschphotonen wirksam unterdrückt werden.

Ergebnis

Ein Technologiedemonstrator des Konverters wurde als kompaktes, mobiles und stabiles System umgesetzt und in einer Messkampagne am QuTech in Delft getestet. Der Konverter erreicht eine interne Photonen-Konversionseffizienz von etwa 50 Prozent, wobei die Rate der Rauschphotonen gegenüber dem bisherigen Stand der Technik um einen Faktor 4 reduziert ist.

Anwendungsfelder

Effiziente, rauscharme Frequenzkonverter sind eine Schlüsselkomponente für ein zukünftiges Quanteninternet, für Quantennetzwerke und für Quantenrepeater.

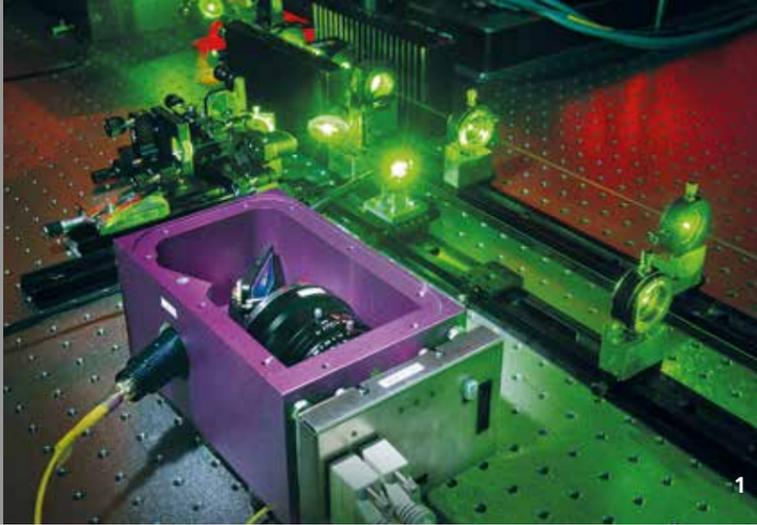
Die Arbeiten wurden im Rahmen des ICON-Projekts QFC-4-1-QID finanziell durch die Fraunhofer-Gesellschaft gefördert.

Ansprechpartner

Florian Elsen M. Sc., DW: -224
florian.elsen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Bernd Jungbluth, DW: -414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de

2 Demonstrator für einen effizienten, rauscharmen QFC.



QUANTEN-OCT

Aufgabenstellung

Für die zerstörungsfreie 3D-Bildgebung von Schichtsystemen ist die optische Kohärenztomographie (OCT) eine leistungsfähige und verbreitete Methode. Während bisherige Systeme im sichtbaren oder nahen Infrarotbereich arbeiten, kann die Eindringtiefe in streuenden Materialien maßgeblich erhöht werden, wenn Licht mit längeren Wellenlängen im mittleren Infrarot (MIR) verwendet wird. Gleichzeitig steigen aber die Komplexität und die Kosten für entsprechende Detektoren und Lichtquellen, weshalb eine kommerzielle Umsetzung solcher MIR-OCT-Systeme bisher nicht erfolgte. Dieser Umstand kann umgangen werden, wenn die Untersuchung der Probe und die Detektion bei unterschiedlichen Wellenlängen durchgeführt werden: eine sogenannte Messung von undetektierten Photonen.

Vorgehensweise

In einem Quanten-OCT werden verschränkte Photonenpaare verwendet, bei denen die Wellenlänge des einen Photons im sichtbaren oder nahen Infrarot- und des zweiten im MIR-Bereich liegt. Während im MIR gemessen wird, erfolgt die Detektion im sichtbaren oder nahen Infrarot-Wellenlängenbereich mit kostengünstigen und rauscharmen Siliziumdetektoren. Über die Fourier-Transformation des Interferenzsignals werden die Tiefeninformationen der Probe ausgewertet. Am Fraunhofer ILT wird dazu zum einen ein angepasstes Spektrometer entwickelt und auf der anderen Seite ein nichtlineares Interferometer. Dieses wird im Wesentlichen durch ein Michelson-Interferometer dargestellt, wobei die verschränkten Photonenpaare in einem nichtlinearen Kristall (hier periodisch gepoltes Lithium-

1 Nichtlineares Interferometer (Hintergrund) und Spektrometer (Vordergrund).

Niobat: PPLN) generiert werden, welcher sich im Ein- bzw. Ausgang des Interferometers befindet. Als Pumpquelle wird ein kommerziell verfügbarer Laser bei 532 nm genutzt.

Ergebnis

In einem Laboraufbau wurde das nichtlineare Interferometer realisiert. Die prinzipielle Funktion wurde zunächst mit einer Messwellenlänge im nahen Infrarot bei 1485 nm und Detektionswellenlänge von 829 nm nachgewiesen. Des Weiteren wurde der Aufbau umgerüstet für MIR-Messwellenlängen, einstellbar im Bereich zwischen 4 und 5,7 μm , was im Grenzbereich der Transmission des PPLN-Kristalls liegt. Die Detektion erfolgt entsprechend zwischen 586 nm und 613 nm. Die aufgenommenen Interferenzsignale zeigen auch hier die Funktionalität des Quanten-OCT. Je nach gewählter Wellenlänge lässt die spektrale Breite axiale Auflösungen im Bereich von 10 μm zu.

Anwendungsfelder

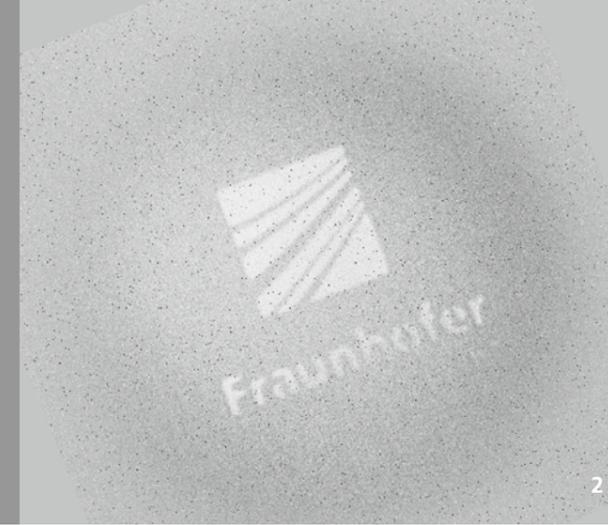
Ein Anwendungsbeispiel ist die 3D-Untersuchung keramischer Funktionsbauteile und Beschichtungen. Mit dem Quanten-OCT-System können zukünftig Poren, Risse und Schwankungen von Schichtdicken im Produktionstakt erfasst und zur Steigerung der Bauteilqualität sowie zur Regelung der Fertigungsprozesse eingesetzt werden.

Dieses Projekt wird finanziell durch die Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt.

Ansprechpartner

Dr. Stefan Hölters, DW: -436
stefan.hoelters@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jochen Wüppen, DW: -8020
jochen.wueppen@ilt.fraunhofer.de



HOCHAUFLÖSENDE QUANTENBILDGEBUNG IM MIR MIT NICHT-DETEKTIERTEN PHOTONEN

Aufgabenstellung

Bei der Quantenbildgebung werden nicht-klassische Photonen-zustände genutzt, um die Grenzen klassischer Bildgebung zu überwinden. So können wellenlängenverschobene verschränkte Photonenpaare genutzt werden, um die Mess- und Detektionswellenlänge in bildgebenden Verfahren zu trennen und unabhängig voneinander für die jeweilige Messanforderung zu optimieren. Proben in schwer zugänglichen, aber hochinteressanten Spektralbereichen wie dem mittleren Infrarot können untersucht werden, während die Bildinformation im gut detektierbaren sichtbaren Spektralbereich des Lichts erzeugt wird. Ein Verfahren ist hier die »Bildgebung mit nicht-detektierten Photonen«, bei dem die mit der Probe interagierenden Photonen nicht detektiert werden müssen und die Bilderfassung interferometrisch einzig über die verschränkten Partnerphotonen erfolgt.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wurden im Rahmen des Fraunhofer-Leitprojekts QUILT Photonenquellen und Quanteninterferometer entwickelt, die hochauflösende bildgebende Analysen im mittleren Infrarot erlauben. Hierbei konnten Messwellenlängen im Bereich von 1,5 bis größer 4,5 μm demonstriert werden, wobei die Detektionswellenlänge im Bereich um 600–700 nm liegt, bei der Photonen effizient und rauscharm mit kostengünstigen und hochentwickelten Kameras auf Siliziumbasis detektiert werden



können. Für die Erzeugung der Photonenpaare wird ein groß-aperturiger Lithiumniobat-Kristall eingesetzt, der bei 532 nm gepumpt wird. Durch den Aufbau des Interferometers in einer speziellen Langpasskonfiguration mit breitbandig-beschichteten Optiken kann der gesamte Wellenlängenbereich der Quellen mit einem einzigen Aufbau abgedeckt werden.

Ergebnis

Durch den Einsatz nicht gepolter, großaperturiger Kristalle können im Vergleich zum Stand der Technik sehr detailreiche Bilder im mittleren Infrarot aufgenommen werden. Die Zahl der auflösbaren Bildpunkte liegt bei einer auflösbaren Strukturgröße von 70 μm und einem Bildfelddurchmesser von mehr als 7 mm bei etwa 12.000 und damit um eine Größenordnung über bisherigen Ergebnissen in diesem Wellenlängenbereich. Hier wird an einer weiteren Verbesserung gearbeitet.

Anwendungsfelder

Der entwickelte Aufbau bildet die Grundlage für die Untersuchung neuartiger Anwendungen der Quantenbildgebung in den Bereichen Life Sciences und Materialprüfung. Kommerziell relevant kann der Kostenvorteil des Bildsensors und der Betrieb bei Raumtemperatur sein. Die Arbeiten wurden im Rahmen des Leitprojekts QUILT durch die Fraunhofer-Gesellschaft gefördert.

Ansprechpartner

Florian Elsen M. Sc., DW: -224
florian.elsen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Bernd Jungbluth, DW: -414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de

2 Aufnahme des Testobjekts mit Messwellenlänge 3,4 μm .

3 Transmissionsobjekt für das Quanteninterferometer.

NETZWERKE UND CLUSTER

»Instead of better glasses, your networks give you better eyes.«

Ronald Burt

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT AUF EINEN BLICK

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

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

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

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 30 000 Mitarbeitende, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,9 Milliarden Euro. Davon fallen 2,5 Milliarden Euro auf den Bereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

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

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

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



STRATEGISCHE FRAUNHOFER-PROJEKTE

FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

Kompetenz durch Vernetzung

Der Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces bündelt die wissenschaftlichen und technischen Kompetenzen der Fraunhofer-Gesellschaft in den Themenfeldern Optik, Photonik, Laser- und Oberflächentechnik.

Mitglieder sind die Fraunhofer-Institute für:

- Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP, www.fep.fraunhofer.de
- Lasertechnik ILT, www.ilt.fraunhofer.de
- Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, www.iof.fraunhofer.de
- Physikalische Messtechnik IPM, www.ipm.fraunhofer.de
- Schicht- und Oberflächentechnik IST, www.ist.fraunhofer.de (Gastinstitut)
- Werkstoff- und Strahltechnik IWS, www.iws.fraunhofer.de
- Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut HHI, www.hhi.fraunhofer.de (Gastinstitut)
- Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, www.iosb.fraunhofer.de (Gastinstitut)

In den Instituten des Verbunds forschen über 1900 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf exzellentem wissenschaftlichen Niveau, um komplexe technologische Fragen aus Industrie und Wirtschaft mit Blick auf die konkrete Anwendung zu lösen.

Für die Industrie sind die Institute nicht nur Innovationspartner, sondern in Kooperation mit Universitäten auch eine Quelle für den wissenschaftlich-technischen Nachwuchs und damit eine Brücke zwischen Wissenschaft und Wirtschaft.

Kernkompetenzen des Verbunds

1. Optische und photonische Komponenten und Systeme
2. Schicht- und Oberflächenbearbeitung
3. Fertigungstechnik
4. Mess- und Prüftechnik
5. Quantentechnologie

Kontakt

- Prof. Karsten Buse (Vorsitzender)
karsten.buse@ipm.fraunhofer.de
- Dr. Heinrich Stülpnagel (Leiter der Geschäftsstelle)
heinrich.stuelpnagel@ipm.fraunhofer.de

www.light-and-surfaces.fraunhofer.de

FRAUNHOFER ICON-PROJEKT »QFC-4-1QID«

Quantencomputer per Glasfasern verbinden

Das Fraunhofer ILT und das niederländische Forschungszentrum QuTech arbeiten in den Bereichen Quantenkommunikation und Quanteninformationsnetzwerke eng zusammen. Bereits im September 2019 starteten sie dazu das ICON-Projekt »QFC-4-1QID - Low-Noise Frequency Converters for the First Quantum Internet Demonstrator«. Ziel ist die Entwicklung effizienter und rauscharmer Quanten-Frequenzkonverter (QFC) für die Anbindung von Quantenprozessoren an Glasfasernetze und für den Aufbau des voraussichtlich weltweit ersten Quanteninternet-Demonstrators. Gemeinsam entwickeln die Partner Technologien für eine verschränkungs-basierte Verbindung zwischen zwei Quantenprozessoren in Delft und Den Haag – als erste implementierte Verbindung in einem größeren nationalen Quantennetzwerk. QFC mit hoher Effizienz und gleichzeitig geringem Rauschen im Ausgangssignal sind dabei wichtige Schlüsselkomponenten. Mit ihnen lassen sich die Wellenlängen einzelner Photonen gezielt so verändern, dass sie im Bereich der optischen Telekommunikationsbänder (1.500-1.600 nm) liegen und möglichst verlustfrei per Glasfasern übertragen werden können, ohne dass entscheidende Quanteninformationen beeinträchtigt werden.

Auf dem Weg zum Quanteninternet

Im Oktober 2021 trafen sich die Projektpartner und der Industriebeirat zum Mid-term-Meeting am Fraunhofer ILT, um neue Ergebnisse und die weitere Roadmap zu diskutieren. Das QuTech, ein Zusammenschluss der Technischen Universität Delft und der Niederländischen Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung TNO, zählt zu den weltweit

führenden Einrichtungen in den Bereichen Quantenkommunikation und -internet. Mit TRUMPF Photonics Components, Menlo Systems und ADVA aus Deutschland sowie QuiX und OPNT aus den Niederlanden sind zudem renommierte Unternehmen als Industriebeirat am Projekt beteiligt, die die Entwicklungen unterstützen und ihre Erfahrung auch im Hinblick auf eine spätere kommerzielle Umsetzung des Projektergebnisses einbringen.

Der Nutzen der fruchtbaren Zusammenarbeit spiegelt sich in der Entwicklung einer Quantenfrequenzkonverter-Architektur (QFC) wider, die vom Fraunhofer ILT im Mai 2021 am QuTech in Delft mit einer Weltrekordleistung demonstriert wurde. Im Vergleich zum Stand der Technik erzeugt der neue Konverter ein um fast eine Größenordnung verringertes Rauschen und ein potenziell deutlich besseres Signal-zu-Rausch-Verhältnis sowie eine höhere Photonenzahl für die Verschränkung der zwei Knoten. Weitere Entwicklungsschritte auf dem Weg zum Quanteninternet werden dadurch erheblich erleichtert. In einem nächsten Schritt wird ein zweites QFC-System auf Basis des ersten entwickelt und optimiert, das später am QuTech mit Qubits getestet wird (NV-Zentren in Diamant mit Emissionwellenlänge von 637 nm). Mit dem Projekt QFC-4-1QID positionieren sich die Partner als führende Organisationen für die Entwicklung und den Transfer von Quantentechnologien gemeinsam, um die Innovationskraft Europas zu stärken und dem Quanteninternet den Weg zu bereiten.

Ansprechpartner am Fraunhofer ILT

Florian Elsen M. Sc. | Dr. Bernd Jungbluth
Telefon +49 241 8906-224 | +49 241 8906-414
florian.elsen@ilt.rwth-aachen.de |
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de

Weiterführende Informationen im Internet unter
www.ilt.fraunhofer.de/quantentechnologie.de

1 © Fraunhofer ILT.
2 © Fraunhofer IPM.
3 © Fraunhofer IOF.

LEISTUNGSZENTREN UND LEITPROJEKTE

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, eine offene Forschungsplattform und Testumgebung für die Industrie aufzubauen, in der neue Konzepte für eine digitalisierte 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

»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



Neue kompakte Sensoren für industrielle Prozesse in harschen Umgebungen.

FRAUNHOFER-LEITPROJEKT »eHarsh«

Sensorsysteme sind Schlüsselemente zur Erfassung von Umwelteigenschaften und werden im industriellen Sektor, speziell im Bereich der Industrie 4.0, für die intelligente Steuerung von Prozessen eingesetzt. Unter rauen Einsatzbedingungen wie beispielsweise hohen Temperaturen, hoher mechanischer Belastung oder aggressiven Umgebungen ist der Einsatz von Standardelektronik nicht möglich.

Acht Fraunhofer-Institute haben ihre Kompetenzen in den Bereichen Sensorik, Mikroelektronik, Montage, Leiterplatten-design, Laseranwendungen und Zuverlässigkeitsanalyse in einem Konsortium gebündelt, um eine Technologieplattform zu entwickeln und bereitzustellen, auf deren Basis Sensorsysteme, bestehend aus Sensorik und Elektronik, für den Einsatz in extrem rauer Umgebung, »extreme harsh environment«, entwickelt und hergestellt werden können. Die Realisierung solcher Systeme erfordert interdisziplinäre Kompetenzen, angefangen bei der Auswahl entsprechender Werkstoffe und Technologien über verschiedene Entwicklungskompetenzen, die Systemintegration für die Applikation bis hin zur Bewertung und Vorhersage von Zuverlässigkeit und Einsatzverhalten.

Der Schwerpunkt der Arbeiten am Fraunhofer ILT liegt in der hermetischen Verbindungstechnik für den Aufbau von Sensorelementen und der Auslegung der zugehörigen Gehäusetechnik. Laserbasierte Verfahren wie laserbasiertes Glaslöten sowie das Laserstrahlschweißen kommen zum Einsatz.

Im Rahmen des Leitprojekts werden folgende Technologien und Kompetenzen entwickelt und bereitgestellt:

- Robuste Sensoren, z. B. Druck- und Temperatursensoren für den Einsatz bis 500 °C sowie MEMS-Sensoren für den Einsatz bis 300 °C
- Integrierte Schaltungen und Systemkomponenten für den Einsatz bis 300 °C
- Hermetisch dichte Verkapselungen unter Ermöglichung des zeitgleichen Medienzugangs zu den Sensoren
- 3D-Integration und Verkapselung auf Systemebene als »System Scaled Package«
- Analytik und Testverfahren für die verschiedenen Belastungen, auch in deren Kombination
- Verständnis des Material-Einsatzverhaltens bzgl. Defektrisiken und Degradationsmechanismen
- Erweiterte Zuverlässigkeitsanalysen und Modelle

Die Technologien und Kompetenzen werden exemplarisch anhand von zwei charakteristischen und äußerst anspruchsvollen Demonstratoren aus den Bereichen Triebwerks-/Turbinenüberwachung und Geothermie dargestellt. Das Leitprojekt bietet mit den Technologien und Demonstratoren die Chance auf eine gezielte Markterschließung und -erweiterung im Außenraum sowie den Aufbau von Alleinstellungsmerkmalen und einer Fraunhofer-Technologieführerschaft im Bereich »Sensorsysteme in extrem rauen Umgebungen«.

Ansprechpartner im Fraunhofer ILT

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

Weiterführende Informationen im Internet unter:
<https://www.ilt.fraunhofer.de/de/cluster.html#eharsh>

FRAUNHOFER CLUSTER OF EXCELLENCE

ADVANCED PHOTON SOURCES CAPS

Mit dem Fraunhofer Cluster of Excellence Advanced Photon Sources CAPS startete die Fraunhofer-Gesellschaft im Januar 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.

Fraunhofer CAPS – ein starkes Netzwerk

Derzeit entwickeln 13 Fraunhofer-Institute gemeinsam Anwendungen für eine neue Generation extrem leistungsstarker Ultrakurzpulslaser. Neue Anwendungsbereiche werden erschlossen, ultrapräzise Fertigungsverfahren im industriellen Umfeld skaliert und neue Pulsdauer- und Wellenlängenbereiche für die Forschung bereitgestellt. Koordiniert wird CAPS vom Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen und dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena.

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.

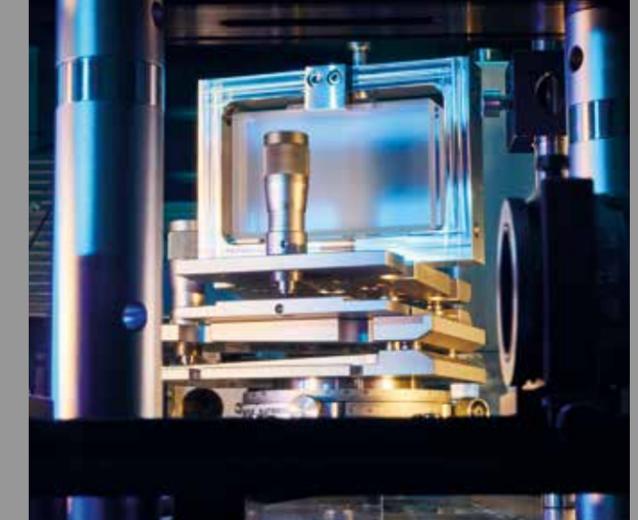
Für Anwendungen in der Mikromaterialbearbeitung haben UKP-Laser zwei wesentliche Vorteile: Einerseits können sie praktisch alle Materialien bearbeiten. Andererseits ist der Abtrag besonders präzise und dadurch schonend, da durch die ultraschnelle Wechselwirkung kaum Wärme im angrenzenden Material verbleibt.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

Advanced Photon Sources – Strahlleistungen im kW-Bereich

Im Hinblick auf wirtschaftlich relevante Bearbeitungsgeschwindigkeiten beim hochpräzisen Strukturieren von ultraharten Keramikmaterialien, Metallfolien, Glassubstraten oder 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.



Aufbau zur nichtlinearen Pulscompression.



Kompressionsgitter zur Erzeugung höchster Pulsenergien mittels CPA.

Applikationslabore für Industrie und Wissenschaft

Ein wesentliches Ziel von CAPS ist die frühzeitige Arbeit an verschiedenen Anwendungen. Dafür stellen die koordinierenden Fraunhofer-Institute IOF und ILT in Jena und Aachen zwei Applikationslabore mit mehreren kW-UKP-Laserquellen sowie der nötigen Systemtechnik zur Verfügung. Das am 17. September 2019 eröffnete Applikationslabor am Fraunhofer ILT liegt direkt neben dem Laserentwicklungslabor und ist mit einer separaten Strahlquelle ausgestattet. So können in drei verschiedenen Räumen parallel Versuche vorbereitet und durchgeführt werden. 2019 steht zunächst eine Quelle mit 500 W, Pulsenergien bis zu 1 mJ und Pulsdauern unter 100 fs bereit, die in 2020 um eine zweite Quelle mit 1,5 kW bis zu 10 mJ erweitert wurde. Die Labore der User Facility stehen Industriepartnern für Applikationsuntersuchungen zur Verfügung. Dabei können sie auf das Know-how der verschiedenen Fraunhofer-Partnerinstitute zurückgreifen.

Breites Anwendungsspektrum

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 UKP-Quellen 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 präzise lokalisierte Erzeugung von NV-Zentren in Diamant 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.

Geschäftsstellenleitung CAPS

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

Prof. Jens Limpert (Stellvertreter)
Telefon +49 3641 947811
jens.limpert@iof.fraunhofer.de

Gesamtleitung CAPS

Prof. Constantin Häfner
Telefon +49 241 8906-110
constantin.haefner@ilt.fraunhofer.de

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

Weiterführende Informationen im Internet unter:
www.caps.fraunhofer.de/de.html

LASERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN UNIVERSITY



© RWTH Aachen University / Peter Winandy.

GEMEINSAM ZUKUNFT GESTALTEN

Die RWTH Aachen University bietet mit den Lehrstühlen für Lasertechnik LLT und für Technologie Optischer Systeme TOS sowie dem Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD 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 Kenntnis der aktuellen industriellen und wissenschaftlichen Anforderungen in den Optischen Technologien fließt unmittelbar in die Gestaltung der Lehrinhalte ein. Darüber hinaus können Studierende und Promovierende über die Projektarbeit in den Lehrstühlen und im Fraunhofer ILT ihr theoretisches Wissen in die Praxis umsetzen. Auch die universitäre Weiterbildung wird gemeinsam gestaltet. Lehre, Forschung und Innovation – das sind die Bausteine, mit denen die drei Lehrstühle und das Fraunhofer ILT Zukunft gestalten.

Carlo Holly übernimmt die Leitung des Lehrstuhls für Technologie Optischer Systeme TOS

Am 26. Februar 2021 wurde Prof. Peter Loosen offiziell von der RWTH Aachen University als Leiter des Lehrstuhls für Technologie Optischer Systeme TOS in den Ruhestand verabschiedet. Seine Nachfolge trat Prof. Carlo Holly mit Wirkung zum 1. Mai 2021 an. Prof. Holly studierte Maschinenbau und Physik an der RWTH Aachen University und war von 2012 bis 2017 am Fraunhofer ILT und am Lehrstuhl für Lasertechnik LLT im Bereich Optik Design und Diodenlaser tätig. Im April 2019 promovierte er am RWTH Lehrstuhl für Lasertechnik LLT mit dem Dissertationsthema »Modeling of the Lateral Emission Characteristics of High-Power Edge-Emitting Semiconductor Lasers«. Nach seiner Tätigkeit am Fraunhofer ILT hat Prof. Holly bei TRUMPF Photonics in Princeton, USA, im Bereich der Halbleiterlaser-Entwicklung gearbeitet. Anschließend war er als Head of R&D Photonics bei der DiaMonTech AG in Berlin beschäftigt und entwickelte dort nicht-invasive Glukosemessgeräte.

Die Ernennung zum Professor an der RWTH Aachen University erfolgte am 22. April 2021. Seit dem Sommersemester 2021 übernimmt Carlo Holly die Vorlesungen des Lehrstuhls TOS, der seit Jahren intensiv mit dem Fraunhofer ILT kooperiert.

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, Lasermaterialbearbeitung sowie Digital Photonic Production tätig.

Ein großer Teil der Forschungsaktivitäten wird im Rahmen einiger Großprojekte bearbeitet, wie z. B. dem Exzellenzcluster »Internet of Production«, dem BMBF-Forschungscampus »Digital Photonic Production« und dem DFG-Sonderforschungsbereich 1120 »Präzision aus Schmelze«. Der Lehrstuhl LLT ist zudem auch Koordinator des »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
- Neue Konzepte zu innovativen laserbasierten Bearbeitungsprozessen und -strategien



Prof. Constantin Häfner (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. Hierzu zählen adaptive Optiken und Freiformoptiken zur innovativen Strahlumformung für prozessangepasste Intensitätsverteilungen. Für Hochleistungsdiodenlaser werden mikro- und makrooptische Komponenten entwickelt und zu Systemen kombiniert. Im Bereich der EUV-Technologie wird die Lithographie und Materialanalyse mit Auflösungen kleiner als 50 Nanometer untersucht.



Prof. Carlo Holly (Lehrstuhlleiter ab 1.5.2021)
www.tos.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, Additive Fertigung, 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

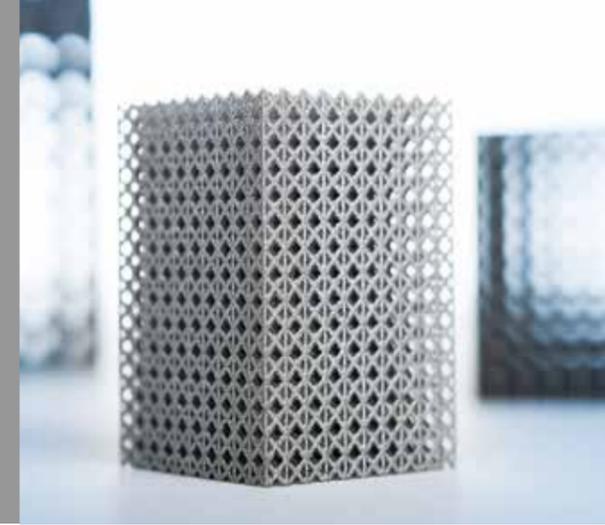
Lehrgebiet Hochleistungsverfahren der Fertigungstechnik und Additive Manufacturing an der FH Aachen

Ende August 2019 emeritierte Prof. Dr. Andreas Gebhardt von der FH Aachen und übergab sein Lehrgebiet »Hochleistungsverfahren der Fertigungstechnik und Additive Manufacturing« im Fachbereich Maschinenbau und Mechatronik am 1.9.2019 an den langjährigen Experten für 3D-Druck, Sebastian Bremen, vom Fraunhofer ILT. Im Sommersemester 2016 erhielt Sebastian Bremen bereits an der FH Aachen erste Lehraufträge für Lasertechnik und Rapid Prototyping und erweiterte seither seine Expertise in diesem Lehrgebiet.

2013 gründeten die FH Aachen und das Fraunhofer ILT das Aachener Zentrum für 3D-Druck, um die Zukunft der Additiven Fertigung gemeinsam zu entwickeln. Diesen Kooperationsvertrag haben das Fraunhofer ILT und die FH Aachen Anfang 2019 erneuert. Gemeinsam betreiben sie eine LPBF-Anlage, bei der es sich derzeit um die weltweit größte kommerzielle Anlage für das Laser Powder Bed Fusion (LPBF) handelt. Beide Institutionen nutzen diese LPBF-Anlage, um den metallischen 3D-Druck weiterzuentwickeln. Prof. Bremen leitet das Aachener Zentrum für 3D-Druck weiterhin und führt somit die Verbindung zwischen FH Aachen und dem Fraunhofer ILT fort.



Prof. Sebastian Bremen (Leiter des Lehrgebiets)
www.goethelab.fh-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, haben sich zu Rapid Manufacturing-Verfahren zur direkten Produktion von Funktionsbauteilen entwickelt. Rapid Manufacturing-Verfahren werden bereits in vielen Branchen wie z. B. in der Luftfahrt 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 industriellen Revolution gesprochen.

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 im Jahr 2012 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.

FORSCHUNGSCAMPUS DPP UND RWTH AACHEN CAMPUS



Industry Building DPP (re.) und Research Center DPP (li.)
im Cluster Photonik, © Forschungscampus DPP, Aachen.



Eingangsbereich des Industry Building DPP im Cluster Photonik,
© Forschungscampus DPP, Aachen.

FORSCHUNGSCAMPUS DIGITAL PHOTONIC PRODUCTION

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 seit 2014 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF geförderten Forschungscampus DPP wurde 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.

Roadmapping-Prozess

Die Zusammenarbeit der zwei Fraunhofer-Institute ILT und IPT, der RWTH Lehrstühle und der rund 30 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). Die systematische Zusammenarbeit erfolgt in drei Kompetenzfeldern und zwei Anwendungsfeldern:

Kompetenzfeld Digital

- Digitale Prozesskette
- Digitaler Schatten
- Künstliche Intelligenz
- Automatisiertes algorithmisches Design
- Industrie 4.0 und Cloud-basierte Produktion

Kompetenzfeld Photonik

- Neuartige Scannerkonzepte
- Multistrahlsysteme
- Anwendungsangepasste, örtliche und zeitliche Intensitätsverteilungen
- Prozesssensorik

Kompetenzfeld Produktion

- Systematische Kosten- und Nutzenbewertung
- Werkstoffentwicklung

Anwendungsfelder Additive Produktion und Subtraktive Produktion

- Wechselwirkung
- Skalierung

Agiles Projektmanagement im Forschungscampus

Derzeit treffen sich alle zwei Wochen 17 interdisziplinäre Sprintteams, bestehend aus je drei bis acht Mitarbeitenden aus Wissenschaft und Wirtschaft, um die halbjährlich festgelegten Ziele umzusetzen. Dabei greifen die Sprintteams auf die Ressourcen aus den Kompetenz- und Anwendungsfeldern zurück. Auf den Vollversammlungen des Forschungscampus DPP werden die Ergebnisse auf dem »Marktplatz der Möglichkeiten« für alle Partner präsentiert.

Ansprechpartner

Roman Flaig M. Sc. | Dr. Christian Hinke
Telefon +49 214 8906-646 | +49 241 80 40418
roman.flraig@ilt.rwth-aachen.de | christian.hinke@ilt.rwth...

RWTH AACHEN CAMPUS

Auf einem Gesamtareal von ca. 2,5 km² schafft die RWTH Aachen University einen der größten technologieorientierten Campus Europas und damit eine international bedeutende Wissens- und Forschungslandschaft. Die Cluster-Flächen befinden sich in unmittelbarer Nähe zu einigen Großforschungsinstituten und -einrichtungen. Durch das Angebot der »Immatrikulation von Unternehmen« bietet der RWTH Aachen Campus eine neue Form des Austauschs zwischen Industrie und Hochschule. Sie ermöglicht den Unternehmen interdisziplinär und konsortial an Schwerpunktthemen zusammenzuarbeiten. Zugleich wird 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 Investorengebäuden oder mit einem eigenen Gebäude erfolgen. Der RWTH Aachen Campus entwickelt sich 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.

Cluster Photonik

Das Cluster Photonik ist spezialisiert auf die Erforschung und Entwicklung von Verfahren zur Erzeugung, Formung und Nutzung von Licht, insbesondere als Werkzeug für die industrielle Produktion. Das große Areal des Clusters 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.

Das erste Gebäude im Cluster Photonik – das Industry Building Digital Photonic Production – wurde im Umfeld des International Laser Technology Congress AKL'16 am 28. April 2016 feierlich eröffnet. Die Schlüsselübergabe des 7000 qm großen DPP-Gebäudes fand zwischen dem privatwirtschaftlichen Investor Landmarken AG mit dem KPF-Architektenteam und dem Fraunhofer ILT statt.

Eine weitere durch Bund und Land NRW finanzierte Infrastruktur zur interdisziplinären universitären Kooperation im Bereich Digital Photonic Production wurde in 2019 eröffnet und 2020 vollständig in Betrieb genommen: das Research Center Digital Photonic Production. Auf einer Nutzfläche von 4.300 qm nehmen 16 Lehrstühle der RWTH Aachen University aus 6 Fakultäten die interdisziplinäre und ganzheitliche Erforschung von digitalen photonischen Fertigungsketten in Angriff.

Die beiden Gebäude, das Research Center Digital Photonic Production und das Industry Building Digital Photonic Production, bilden die Basis des BMBF-geförderten Forschungscampus DPP.

Ansprechpartner

Dr. Christian Hinke
Telefon +49 241 80-40418
christian.hinke@ilt.rwth-aachen.de

Prof. Constantin Häfner
Telefon +49 241 8906-110
constantin.haefner@ilt.rwth-aachen.de

Weitere Informationen im Internet unter:
www.forschungscampus-dpp.de

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« sowie das aktuell laufende Exzellenzcluster »Internet of Production« ein wesentlicher Schritt geleistet werden: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedener Institute und Lehrstühle am Standort Aachen forschen über einen verhältnismäßig langen Zeitraum gemeinsam an unterschiedlichen Themen für ein gemeinsames Ziel. Die Forschenden und die Infrastruktur sind in den jeweiligen Instituten und Lehrstühlen beheimatet. Der Austausch findet in zeitlich begrenzten Intervallen statt. Um jedoch eine noch wirkungsvollere Vernetzung der verschiedenen Forschungsdisziplinen und der beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu ermöglichen, sollten diese an einem gemeinsamen Ort 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 wurden von Bund und Land NRW je zur Hälfte finanziert.

Das 2019 eröffnete und 2020 vollständig in Betrieb genommene Research Center DPP bietet Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf ca. 4300 qm Nutzfläche – davon 2800 qm Labor-, Reinraum und Hallenflächen – Raum für grundlagenorientierte Forschung im Bereich der Photonik.

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 Materialwissenschaftlerinnen und 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-Ultrakurzpulslaser, Medizintechnik, Biotechnologie und Quantentechnologie.

Ansprechpartner

Thomas Kaster M. Eng.
Telefon +49 241 80-40420
thomas.kaster@llt.rwth-aachen.de

Dr. Christian Hinke
Telefon +49 241 80-40418
christian.hinke@llt.rwth-aachen.de

INDUSTRY BUILDING DPP

Industry Building Digital Photonic Production

In unmittelbarer Nähe zum Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und den kooperierenden Lehrstühlen LLT, TOS und NLD der RWTH Aachen University können sich Unternehmen im Rahmen des Forschungscampus DPP im Industry Building Digital Photonic Production niederlassen, um neue Komponenten, Systeme, Verfahren, Prozessketten oder Geschäftsmodelle im Bereich der optischen Technologien – insbesondere für die Produktionstechnik – zu entwickeln. Für die langfristige, strategische Kooperation im Rahmen des Forschungscampus DPP bietet das Industry Building DPP damit die notwendige Infrastruktur. 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.

Partner aus der Industrie im Forschungscampus DPP

- ACAM Aachen Center for Additive Manufacturing GmbH
- Access e.V.
- Aconity3D GmbH
- AixPath GmbH
- Amphos GmbH

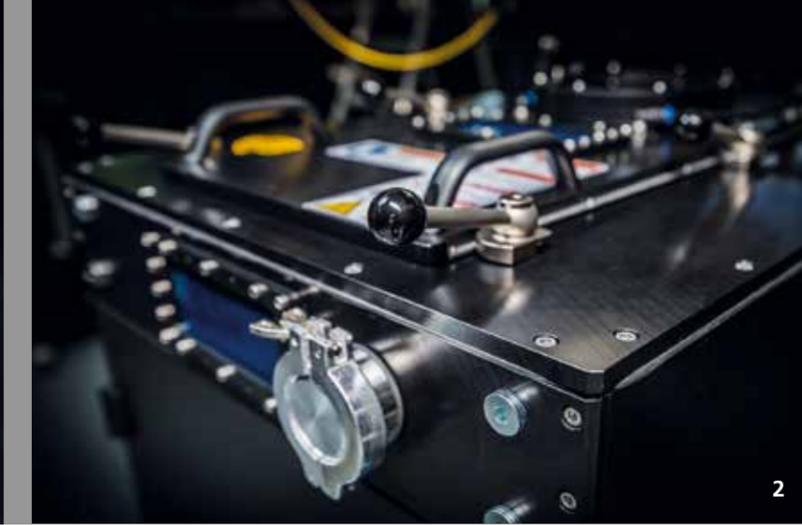
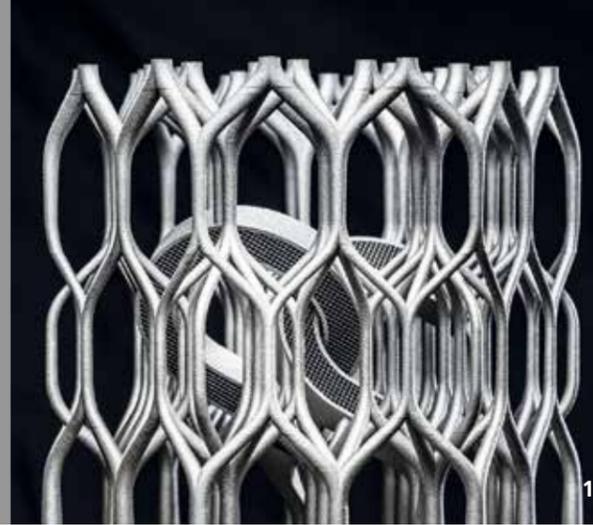
- BeAM S.A.S.
- BUSCH Microsystems Consult GmbH
- Conbility GmbH
- EdgeWave GmbH
- EOS GmbH Electro Optical Systems
- ESI Group
- EXAPT Systemtechnik GmbH
- Ford-Werke GmbH
- GKN Sinter Metals Engineering GmbH
- Hegla GmbH & Co. KG
- Innolite GmbH
- LightFab GmbH
- MDI Advanced Processing GmbH
- ModuleWorks GmbH
- MTU Aero Engines AG
- Oerlikon Metco Woka GmbH
- Saint-Gobain Sekurit Deutschland GmbH & Co. KG
- SCANLAB GmbH
- Siemens Energy AG
- SLM Solutions Group AG
- TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH
- TRUMPF Photonic Components GmbH

Ansprechpartner

Dr. Christian Hinke
Telefon +49 241 80-40418
christian.hinke@llt.rwth-aachen.de

- 1 *Forschung unter einem Dach: Research Center Digital Photonic Production RCDPP, Entwurf: Carpus+Partner.*
- 2 *Industry Building DPP im Cluster Photonik auf dem RWTH Aachen Campus.*

AUSGRÜNDUNGEN

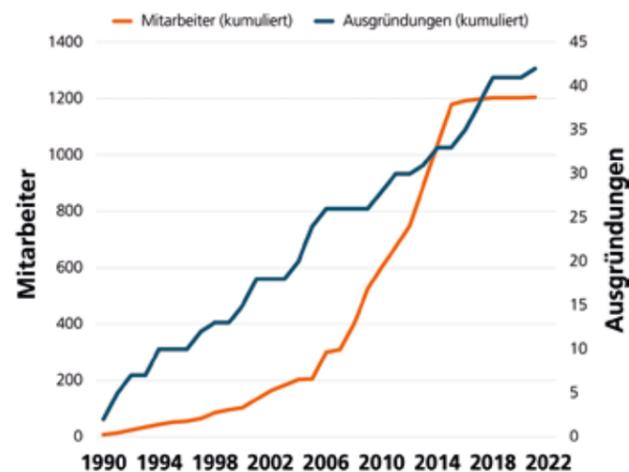


Netzwerke und Infrastruktur

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 oder MTU. Das gesamte Umfeld des Campus wirkt als Inkubator für erfolgreiche Unternehmensausgründungen.

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, die in den letzten 30 Jahren zu über 40 neuen Unternehmen geführt hat. Innovative Gründer sind sowohl Impulsgeber in der Branche für neue technologische Lösungsansätze und Perspektiven als auch klassische Unternehmer, die eine nachhaltige Geschäftsentwicklung im Blick halten und Arbeitsplätze sichern.

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.

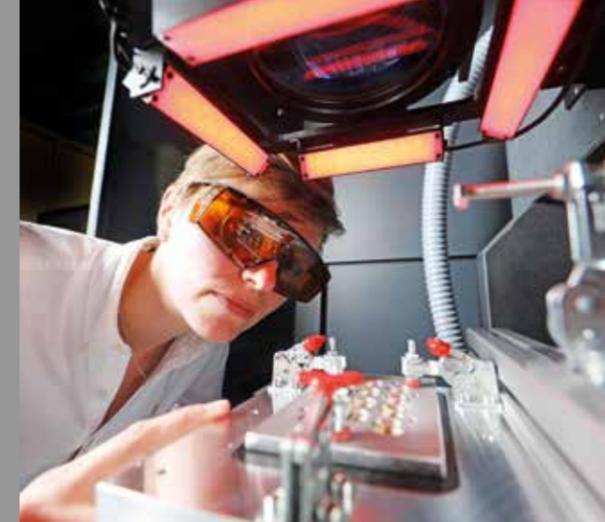
Spin-offs generieren Mehrwert für die Laserbranche

Über 40 sogenannte Spin-offs des Fraunhofer ILT 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. Selbstverständlich sorgen die Spin-offs auch für Mehrwerte bei großen etablierten Unternehmen, die bei Bedarf auf die neuen angebotenen Technologien zurückgreifen. Ob es sich um neue Reinigungsverfahren, maßgeschneiderte additiv gefertigte Implantate, neue Hochleistungsdiodenlaser oder leistungsstarke Ultrakurzpuls laser handelt, die Ausgründungen des Fraunhofer ILT decken ein weites Spektrum ab.

Eine dieser Ausgründungen ist die 2014 gegründete Aconity3D GmbH. Der Fokus des Unternehmens liegt im Bau von Sondermaschinen für den laserbasierten 3D Druck von Metallen für Kunden aus den Bereichen Forschung, Turbomaschinen, Automotive sowie Luft- und Raumfahrt.

1 Titaniumgitter hergestellt mit der AconityMIDI, © Aconity3D GmbH.
2 Detailaufnahme der AconityMINI, © Aconity3D GmbH.

STANDORTINITIATIVEN



Laserschweißmaschine für die Herstellung von Batteriemodulen.



Additiv gefertigte Buchstaben mit integrierten Leichtbaustrukturen.

BATTERY LAB

Im Laseranlagenpark betreibt das Fraunhofer ILT auf knapp 140 Quadratmetern ein Battery Lab. Unseren Forscherinnen und Forschern stehen dort verschiedenste Anlagen zur laserbasierten Batteriefertigung zur Verfügung. So können Verfahren beispielsweise zur Herstellung von heute üblichen Lithium-Ionen-Batterien mit flüssigen Elektrolyten und zukünftigen Festkörper-Akkumulatoren erprobt und weiterentwickelt werden. Dazu wurden rund 3 Millionen Euro aus den Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) in dieses neue Labor investiert.

Next Generation Batteries

Bereits seit 2018 fördert EFRE das Projekt »NextGenBat – Forschungsinfrastruktur für zukünftige Batteriegenerationen« mit dem Ziel, die Infrastruktur in Aachen und Jülich im Bereich der Batterieforschung zu stärken. Die bereits in NRW vorhandene Forschungsinfrastruktur soll ausgebaut werden, um optimale Bedingungen für regionale Unternehmen zur Erforschung und Entwicklung von Batterien der nächsten Generationen zu schaffen. Neben dem Fraunhofer ILT arbeiten in diesem Bereich weitere Forschungsinstitute der RWTH Aachen University und des Forschungszentrums Jülich zusammen.

Leistungsfähigere Batterien durch Laserprozesse im Rolle-zu-Rolle-Verfahren

Laserbasierte Produktionsprozesse in der Batterietechnik, wie beispielsweise das Trocknen von Elektroden und das anschließende Strukturieren, spielen erst durch ihre Integration in Rolle-zu-Rolle-Verfahren ihr Potenzial aus. Eine auf diese Weise vergrößerte Elektrodenoberfläche führt zu einer Verbesserung verschiedener Eigenschaften der Lithium-Ionen-Zelle, wie zum Beispiel Kapazität, Schnellladefähigkeit und

Lebensdauer. Ende 2020 wurde eine solche Anlage in Betrieb genommen. Des Weiteren verfügt das Battery Lab über ein mit Argon betriebenes GloveBox-System, in das modernste PVD-Beschichtungstechnologie sowie ein Hochtemperaturofen integriert sind. So lassen sich die durch Laserverfahren bearbeiteten teilweise luftempfindlichen Festkörperzellmaterialien beispielsweise mit metallischem Lithium beschichten und anschließend zu Testzellen verbauen.

Mit Lasertechnik von der Elektrode zum Batteriepack

Das Schneiden und Schweißen von Batteriekomponenten sind weitere Anwendungsmöglichkeiten der Lasertechnik, um konventionelle Produktionsprozesse zu ersetzen. UKP-Laser ermöglichen ein schädigungsfreies Bearbeiten von Elektrodenfolien auch direkt in der Rolle-zu-Rolle-Anlage zur Vorbereitung für die weiteren Produktionsschritte. Am Ende werden Batteriezellen zu Batteriemodulen miteinander verbunden, Module wiederum zu Batteriepacks. Für die Herstellung der notwendigen elektrischen Verbindungen mittels Kupfer- und Aluminium-Leiter steht eine innovative Anlagentechnik zum Schweißen zur Verfügung. Sie zeichnet sich durch die Integration zweier Laserstrahlquellen und einer intelligenten Bildverarbeitung aus, mit deren Hilfe sich gerade die bei der Montage von Batteriemodulen auftretenden Toleranzen in der Positionierung der Batteriezellen ausgleichen lassen.

Komplettiert wird das Battery Lab durch verschiedene elektrische und mechanische Teststände, die eine direkte Bewertung der Laserprozesse in Bezug auf die Performance von Zelle und Modul unter thermischer und elektrischer Belastung ermöglichen.

Ansprechpartner

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

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

Prof. Sebastian Bremen (Fraunhofer ILT/FH Aachen)
Telefon +49 241 8906-537
sebastian.bremen@ilt.fraunhofer.de

Weitere Informationen unter: www.ilt.fraunhofer.de und www.fh-aachen.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 University starteten am 28. Oktober 2015 in Aachen zusammen mit 19 renommierten Industriepartnern das »International Center for Turbomachinery Manufacturing – ICTM«.

Zu den zurzeit 28 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 zwölfköpfige 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

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 insbesondere 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, Aerospace und Quantentechnologie.

NATIONALE KOOPERATIONEN

Gemeinsam mit rund 70 weiteren Forschungseinrichtungen ist das Fraunhofer ILT in die Fraunhofer-Gesellschaft, die als größte Organisation für anwendungsorientierte Forschung in Europa wirkt, 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-Mitarbeiterinnen und 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 Mitarbeiterinnen und 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 im 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. u. a. auch »Aix-Laser-People-Veranstaltungen«.

Dem AKL e.V. gehören rund 180 Mitglieder an. Hierbei bildet die persönliche Kommunikation zwischen den Mitgliedern das Rückgrat des Vereins. Im Vorstand des AKL e.V. sind Dr. Markus Kogel-Hollacher (Geschäftsführer), der Vorsitzende Ulrich Berners und Dr. Claus Schnitzler (Schatzmeister) vertreten. Das Amt des stellvertretenden Vorsitzenden hält der Institutsleiter des Fraunhofer ILT Prof. Constantin Häfner inne.

Innovation Award Laser Technology

Alle 2 Jahre verleihen die Vereine Arbeitskreis Lasertechnik e.V. und das European Laser Institute ELI e.V. den mit 10.000 € dotierten Forschungspreis 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. Potenzielle Teilnehmer sind außerdem Personen, die in der Industrie, an Universitäten oder an unabhängigen Forschungszentren in Europa tätig sind und eine innovative Idee in Bezug auf die Lasertechnik erfolgreich konzipiert und umgesetzt haben. Im Kern sollen sich die Arbeiten mit der Nutzung und Erzeugung von Laserlicht zur Materialbearbeitung befassen und zu einem wirtschaftlichen Nutzen führen.

Ansprechpartner

Dr. Markus Kogel-Hollacher
Telefon +49 241 8906-420
markus.kogel-hollacher@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 102020200237 Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Mehrschicht-Sensors und/oder Aktuators

DE 102019205222 Verfahren zur Terminierung optischer Strahlung sowie dafür ausgebildete optische Strahlfälle

DE 102019205289 Anlage zur Herstellung elektrischer Kontaktelemente mit selektiv veredelten elektrischen Kontaktflächen

DE 102018128754 Vorrichtung und Verfahren zur Elementanalyse von Materialien

DE 102019204032 Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung von räumlich modulierbaren Leistungsdichteverteilungen u. a. für parallelisierte Lasermaterialbearbeitungsprozesse

DE 3326021 Anordnung und Verfahren zur verzeichnungsfreien zweidimensionalen Ablenkung von räumlich ausgedehnten Intensitätsverteilungen

DE 102014108630 Vorrichtung und Verfahren zur Durchführung optischer Messungen an fluiden Substanzen in Gefäßen mit einer Längsrichtung

DE 102014010412 Verfahren und Anordnung zur generativen Fertigung von Bauteilen

DE 102015208181 Anordnung und Verfahren zur Reflektometrie

DE 102014006151 Verfahren zur Messung des Rundlaufs einer Werkzeugmaschine sowie für die Durchführung des Verfahrens ausgebildete Werkzeugmaschine

DE 102014001666 Verfahren zur Homogenisierung der Oberflächentopologie bei der Trocknung einer Beschichtung

DE 102013001940 Strahlungsquellen im Extremen Ultraviolett und weichen Röntgenbereich durch Anregung von Pinchplasmen mit Elektronenstrahlen

DE 102007028789 Verfahren zum Fügen von Hybridbauteilen

56

Bachelorarbeiten
in 2021

PATENTE

18 Erteilungen,
18 Anmeldungen
in 2021

135

wissenschaftliche
Veröffentlichungen
in 2021

66

Masterarbeiten
in 2021

PATENTE

PATENTERTEILUNGEN EUROPA

EP 3450083 Vorrichtung und Verfahren zur Materialbearbeitung

EP 3576898 Verfahren zum Fügen von Bauteilen auf eine Trägerstruktur unter Einsatz von elektromagnetischer Strahlung

PATENTERTEILUNGEN GROSSBRITANNIEN

GB 2664220 Optischer Resonator mit direktem geometrischem Zugang auf der optischen Achse

PATENTERTEILUNGEN JAPAN

JP 6861706 Verfahren zum Fügen von zwei Bauteilen im Bereich einer Fügezone mittels mindestens einem Laserstrahl sowie Verfahren zum Erzeugen einer durchgehenden Fügenaht

PATENTERTEILUNGEN KOREA

KR 10-2208818 Laser processing apparatus

PATENTANMELDUNGEN DEUTSCHLAND

502016012310.1 Anordnung und Verfahren zur zeichnungsfreien zweidimensionalen Ablenkung von räumlich ausgedehnten Intensitätsverteilungen

102019205289 Anlage zur Herstellung elektrischer Kontaktelemente mit selektiv veredelten elektrischen Kontaktflächen

102018128754 Vorrichtung und Verfahren zur Elementanalyse von Materialien

502017010046.5 Vorrichtung und Verfahren zur Materialbearbeitung

102014001666 Verfahren zur Homogenisierung der Oberflächentopologie bei der Trocknung einer Beschichtung

102015208181 Anordnung und Verfahren zur Reflektometrie

102014108630 Vorrichtung und Verfahren zur Durchführung optischer Messungen an fluiden Substanzen in Gefäßen mit einer Längsrichtung

102014006151 Verfahren zur Messung des Rundlaufs einer Werkzeugmaschine sowie für die Durchführung des Verfahrens ausgebildete Werkzeugmaschine

102014010412 Verfahren und Anordnung zur generativen Fertigung von Bauteilen

102013001940 Strahlungsquellen im Extremen Ultraviolett und weichen Röntgenbereich durch Anregung von Pinchplasmen mit Elektronenstrahlen

102019205222 Verfahren zur Terminierung optischer Strahlung sowie dafür ausgebildete optische Strahlfälle

102020200237 Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Mehrschicht-Sensors und/oder Aktuators

PATENTANMELDUNGEN EUROPA

PCT/EP2021/3326021 Anordnung und Verfahren zur zeichnungsfreien zweidimensionalen Ablenkung von räumlich ausgedehnten Intensitätsverteilungen

PCT/EP2021/ 3450083 Vorrichtung und Verfahren zur Materialbearbeitung

PCT/EP2021/ 2664220 Optischer Resonator mit direktem geometrischem Zugang auf der optischen Achse

PCT/EP2021/ 3576898 Verfahren zum Fügen von Bauteilen auf eine Trägerstruktur unter Einsatz von elektromagnetischer Strahlung

PATENTANMELDUNGEN JAPAN

PCT/EP2021/06861706 Verfahren zum Fügen von zwei Bauteilen im Bereich einer Fügezone mittels mindestens einem Laserstrahl sowie Verfahren zum Erzeugen einer durchgehenden Fügenaht

PATENTANMELDUNGEN KOREA

KO-10-2208818 Laser processing apparatus

DISSERTATIONEN

DISSERTATIONEN

4.3.2021 – Lukas Fabian Bahrenberg (Dr.-Ing.)
Charakterisierung nanoskaliger Gitter mittels Spektrometrie im Extrem-Ultraviolett

15.4.2021 – Viktor Mamuschkin (Dr.-Ing.)
Laserdurchstrahlschweißen transparenter Thermoplaste ohne Strahlungsabsorber

21.5.2021 – Tobias Schmithüsen (Dr.-Ing.)
Untersuchungen zur nass-chemischen Stützenentfernung bei LPBF-gefertigten Bauteilen aus Aluminiumlegierungen

26.5.2021 – Robert Lange (Dr. rer. nat.)
Erhöhung der Fluenz gütegeschalteter Einzelfaserlaser der kW-Leistungsklasse

27.5.2021 – Andreas Brenner (Dr.-Ing.)
Sequentielle Ultrakurzpuls-Laserbearbeitung zur effizienten Oberflächentexturierung

28.5.2021 – Georg König (Dr.-Ing.)
Automatisierte Auslegung optischer Systeme aus Kataloglinsen

16.6.2021 – You Wang (Dr.-Ing.)
Reduced modelling for laser drilling process in melt expulsion regime

26.11.2021 – Georg Meineke (Dr. rer. nat.)
Opto-kalorisches Schalten zur Sortierung fluoreszenzmarkierter Partikel in Mikrofluidiken

8.12.2021 – Christoph Gayer (Dr.-Ing.)
Selektives Lasersintern von Polylactid-basierten Kompositwerkstoffen

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

VERANSTALTUNGEN

VERANSTALTUNGEN

19./20.1.2021, Online

LSE – Lasersymposium Elektromobilität

Die zunehmende Elektrifizierung von Automobilen bewirkt einen erhöhten Bedarf an leistungsfähigen Energiespeichersystemen. Um den ständig wachsenden Herausforderungen gerecht zu werden, sind neue Fertigungsmethoden in der Produktion von Batteriemodulen und -packs notwendig. Schon heute sind hier hocheffiziente Laserverfahren für die gesamte Prozesskette essentiell.

Folgende Themen wurden beim dritten vom Fraunhofer ILT organisierten Lasersymposium Elektromobilität LSE'21 fokussierend beleuchtet und durch Referierende aus Industrie und Forschung präsentiert:

- Laserprozesse in der Batterieproduktion
- Laserstrahlquellen in der Elektromobilität
- Produktionsanlagen in der Lasermaterialbearbeitung
- Prozessüberwachung für Laserfertigungsverfahren
- Be- und Verarbeitung von Feststoffbatterien

21./22.4.2021, Online

6. UKP-Workshop: Ultrafast Laser Technology

Der vom Fraunhofer ILT initiierte 6. UKP-Workshop präsentierte erstmals virtuell neben den Grundlagen der UKP-Technologie eine Übersicht zu aktuellen Entwicklungen im Bereich der Strahlquellen sowie der notwendigen Systemtechnik. Vorge stellt wurden zudem neueste laserbasierte Anwendungen und Verarbeitungsmethoden, die die Grenzen der bisherigen Technologien in Bezug auf Verarbeitungsgeschwindigkeit, Qualität und Materialbandbreite erweitern. Der Workshop ging dabei neben individuellen und optimierten Strahlformungslösungen

auf die neusten laserbasierten Anwendungen und Verfahren in Bezug auf Prozessgeschwindigkeit, Qualität, Präzision und Materialbandbreite ein.

- 15 Vorträge zu 5 verschiedenen Themen
- Über 95 Teilnehmer aus 8 Ländern

15./16.9.2021, Online

LKH₂ – Laserkolloquium Wasserstoff 2021

Die Verwendung von Wasserstoff durch Brennstoffzellen steht – im Zuge der globalen Herausforderungen des Klimawandels und der damit einhergehenden Energiewende – im Fokus zukunftsorientierter Forschung und Entwicklung. Für die effiziente und wirtschaftliche Fertigung von Brennstoffzellen bietet die Lasertechnik aufgrund ihrer großen Flexibilität und ihres hohen Automatisierungsgrades hocheffiziente Laserverfahren für die gesamte Prozesskette an. Folgende Themen wurden beim zweiten vom Fraunhofer ILT organisierten Laserkolloquium Wasserstoff LKH₂ 2021 schwerpunktmäßig beleuchtet:

- Kontinuierliche Fertigung von metallischen Bipolarplatten
- Compound Platten
- Industrielle Fertigung von metallischen Bipolarplatten
- Brennstoffzellenfertigung in der deutschen Forschungslandschaft
- Funktionalisieren und Beschichten von Oberflächen

21.9.2021, Online

»SiCellNet« Workshop

Der KMU-Akut-Cluster »SiCellNet« bildet als virtueller Forschungscampus eine zentrale Anlaufstelle für KMUs, die in diesem Produktsegment aktiv sind und für die der Cluster geeignete Prozessschritte mit gezielten Entwicklungskapazitäten und -infrastrukturen bereitstellt. Machbarkeitsstudien zum Einzelzeldruck und Validierungsvorhaben zur chipbasierten Analyse runden die Leistungsfähigkeit des Clusters ab. Die Fraunhofer-Institute IMS, ILT, IMM und EMB bilden zusammen die Projektpartnerschaft des laufenden Verbundprojekts.



Nichts wird dem Zufall überlassen: Technik-Check zur LKH₂ (online).

28./29.9.2021, Online

AI for Laser Technology Conference

Zum zweiten Mal trafen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf der virtuellen »AI for Laser Technology Conference« zum Austausch über den aktuellen Stand bei der Anwendung von Künstlicher Intelligenz in der Lasermaterialbearbeitung. Im Fokus lag die Erfassung und Verarbeitung von Daten aus Produktionsprozessen wie dem Laserschweißen und KI-basierten Regelprozessen. Neben den Fachvorträgen wurden am Fraunhofer ILT auch die Labore für virtuelle Rundgänge geöffnet.

12.10./10.11./16.12.2021, Online

Nachgefragt – Fraunhofer ILT im Dialog

Zum ersten Mal haben interessierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Möglichkeit, kostenlos hinter die Forschungskulissen des Fraunhofer ILT zu blicken. Die neue Online-Vortragsreihe soll Industrie und Wissenschaft enger miteinander vernetzen und einen Diskurs zwischen Publikum, unseren Forschenden und einem externen Gast der Industrie eröffnen. Die Reihe wurde mit dem Thema »Laser Powder Bed Fusion« eingeleitet: Im Oktober diskutierten rund 35 Teilnehmende unter der Moderation von Jasmin Saewe über Multilasersysteme zur Fertigung von großen Bauteilen mittels LPBF. Es folgten die Talkrunden im November und Dezember.

- Oktober: Laser Powder Bed Fusion / zu Gast: Ole Geisen, Siemens Energy AG
- November: Laser Material Deposition / zu Gast: Tobias Stittgen, ponticon GmbH
- Dezember: Polieren mit Lasertechnik / zu Gast: Prof. Rolf Rascher, PanDao GmbH



Live-Laborführung bei der AI for Laser Technology (online).

24.2./16.11.2021, Online

Digital Aachen Polymer Optics Days

Das Fraunhofer ILT veranstaltete in Kooperation mit dem Fraunhofer IPT von Dezember 2020 bis November 2021 quartalsweise Online-Sessions rund um das Themengebiet Kunststoffoptik. Neben zahlreichen Fachvorträgen profitierten Teilnehmende aus Wissenschaft und Industrie von Netzwerk- und Diskussionsrunden. In 2021 fanden die Online-Sessions quartalsweise zu folgenden Themen statt:

- Materials in optics manufacturing (24. Februar 2021)
- Tool and mold making for optical applications (18. Mai 2021)
- Metrology for optical components (1. September 2021)
- Optical systems (16. November 2021)

Die Reihe Digital Aachen Polymer Optics Days ist eine gemeinsame Veranstaltung der drei Forschungseinrichtungen:

- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT
- Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT
- IKV-Institut für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen

29.11.–3.12.2021, Online

eHarsh

Sensorsysteme sind Schlüsselemente zur Erfassung von Umwelteigenschaften und werden im industriellen Sektor, speziell im Bereich der Industrie 4.0, für die intelligente Steuerung von Prozessen eingesetzt. Acht Fraunhofer-Institute stellten über fünf Tage hinweg ihre Kompetenz in Live-Vorführungen in den Bereichen Sensorenentwicklung, Fertigungstechnik und Simulation und Zuverlässigkeitstest zum Aufbau von Hochtemperaturelektronik dar.



Fraunhofer ILT auf der LASER China repräsentiert durch den Partner ACUnity GmbH.



Fraunhofer ILT-Stand auf der COMPAMED 2021 in Düsseldorf.



Interaktiver Messestand des Fraunhofer ILT auf der LIPA 2021.

MESSEN UND AUSSTELLUNGEN

17./18.2.2021, Online

PHOTONICS + Virtual Exhibition and Conference Netzwerkveranstaltung für die Photonikbranche

Die PHOTONICS + Virtual Exhibition and Conference ist in Zusammenarbeit mit EPIC eine neue Netzwerkveranstaltung für die Photonikbranche, die im Februar 2021 virtuell stattfand. Hier stellten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ILT auf einem digitalen Messestand das Schwerpunktthema »UKP-Laser und ihre Anwendungen« vor.

6.–11.3.2021, Online

Photonics West 2021, San Francisco, USA

Internationale Fachmesse für Optik und Photonik

Das Fraunhofer ILT war auf dem Online-Gemeinschaftsstand des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF mit den folgenden Vorträgen und Highlights vertreten:

- Modeling of the impact of current crowding on catastrophic optical damage in 9xx-nm high power laser diodes
- Efficient difference frequency generation for quantum frequency conversion in a multimode PPLN-waveguide
- Automated spatial period variation for Direct Laser Interference Patterning
- Laser powder bed fusion of stainless steel 316L using a combination of high-power diode laser and galvanometer scanner

- Investigation of the laser-based joining technique for PCBs with locally thickened layers using a cold gas spraying process
 - Combined laser beam soldering and welding process for electrical contacting
 - Laser ablation of bone tissue with Q-switched infrared laser sources for neurosurgical applications
- Prof. Constantin Häfner hielt die Begrüßungsrede und gab damit den Startschuss zur Veranstaltung.

17.–19.3.2021, Shanghai, China

LASER World of PHOTONICS China

Internationale Fachmesse für Optik und Photonik

Unsere neuesten technologischen Entwicklungen und Trends in der Lasertechnologie wurden von unserem strategischen Partner ACUnity GmbH auf einem gemeinsamen Messestand in China präsentiert.

25.3.2021, Online

Hydrogen Workshop

Auf der interaktiven Workshop-Plattform des Fraunhofer ILT zum Thema »Laserverfahren für die Wasserstofftechnologie« bekamen Besucherinnen und Besucher Antworten auf ihre Fragen zur industriellen Fertigung von metallischen Bipolarplatten und Compound-Platten sowie Brennstoffzellenfertigung. Das Fraunhofer ILT beteiligte sich zudem an einem Vortrag des ausstellungsbegleitenden Workshops.

12.–16.4.2021, Online

Hannover Messe 2021

Auf der virtuellen Hannover Messe 2021 Digital Edition präsentierte das Fraunhofer ILT Lösungen im Bereich der gedruckten Elektronik sowie weitere Informationen zum Dünnschichtverfahren. Zu den Highlights zählten außerdem das fühlende Bauteil aus dem Drucker und die gedruckten Piezo-Mehrlagenaktuatoren.

21.–23.4.2021, Online

NRW Nanokonferenz

Die Konferenz zeichnete sich besonders durch den interdisziplinären Austausch über Trends und Lösungsansätze im Bereich der Neuen Werkstoffe, der Nanotechnologie und der Quantentechnologie aus. Auf dem virtuellen und interaktiven Messestand des Fraunhofer ILT wurden neben dem Exponat »QFC4 – Technologien für Quantennetze« die neuesten technologischen Entwicklungen aus den folgenden Bereichen ausgestellt:

- Quantentechnologie
- Quantenbildgebung
- Quantenkommunikation
- Quantencomputing

27.–29.4.2021, Online

Batterietagung »ADVANCED BATTERY POWER – Kraftwerk Batterie«

Teilnehmende und Ausstellende trafen im virtuellen Raum aufeinander und fanden einen interessanten Marktplatz für Produkte und Entwicklungen rund um die Energiebranche. Das Themenspektrum reichte von der Batteriechemie bis hin zur KI-Integration. Das Fraunhofer ILT beteiligte sich an der konferenzbegleitenden Online-Ausstellung und präsentierte mehrere Poster rund um das Thema der Laserprozesse für die effiziente Herstellung von Energiespeichern und zur laserbasierten Kontaktierung von Batterien und Leistungselektronik.

4.–6.5.2021, Online

Sensor + Test

Messtechnik Messe

Die Ansprüche an die bauteilintegrierte Elektronik sind in den letzten Jahren in vielen Branchen stark gestiegen und lassen sich häufig nicht mehr mit konventionellen Elektronikkomponenten realisieren. Als Alternative befindet sich die gedruckte Elektronik auf dem Vormarsch.

Die Experten des Fraunhofer ILT präsentierten ihre Lösungsansätze in diesem Bereich auf der digitalen Sensor + Test 2021 und stellten folgende Exponate virtuell aus:

- Das fühlende Bauteil aus dem Drucker
- Gedruckte Piezo-Mehrlagenaktuatoren
- In-Volumen-Lichtabschattungsstrukturen
- Selektive Kontaktvergoldung
- Kontaktierung für Leistungselektronik
- Laserkristallisation Siliziumwafer

11.5.2021, Online

LIPA – Laser Innovation Produktion Aachen

Das WIR!-Bündnis LASER.region.AACHEN richtet sich an Unternehmen, die lasertechnische Lösungsvorschläge für ihre individuellen Anwendungen suchen. Das Technologiebündnis am Rande des größten Braunkohlereviere in Europa bot in virtuellen und kompakten Fachvorträgen interessante Informationen rund um die Lasertechnik. Hierbei präsentierte das Fraunhofer ILT konferenzbegleitend neue Ansätze aus der Additiven Fertigung und gewährte mittels virtuellem Messestand Besucherinnen und Besuchern Einblicke in den aktuellen Forschungsstand zu folgenden Themen:

- Laser und Optik
- Lasermaterialbearbeitung
- Medizintechnik und Biophotonik
- Lasermesstechnik und EUV-Technologie

7.–9.6.2021, Online

Wiley Industry Days

Das Fraunhofer ILT präsentierte sich auf der digitalen und konferenzbegleitenden Ausstellung im Rahmen der Wiley Industry Days. Für die Gewinnung neuer Einblicke in den Themenbereich der Laserentwicklung vertrat Christian Knaak das Institut mit einem Vortrag zur Digitalisierung und Machine Learning in der laserbasierten Fertigung.

Weiterführende Informationen im Internet unter:
www.ilt.fraunhofer.de/de/messen-und-veranstaltungen.html



Präsentation des Fraunhofer ILT-Filmprojekts
»25 Jahre LPBF« auf der formnext 2021 in Frankfurt.

KUNDENREFERENZENZEN

21.–24.6.2021, Online

World of PHOTONICS Congress & Industry Days

Der World of PHOTONICS Congress wurde am 21. Juni 2021 von Prof. Peter Loosen eröffnet. Auf den parallel stattfindenden World of PHOTONICS Industry Days konnten sich die Teilnehmenden mit Institutsleiter Prof. Constantin Häfner im Rahmen seines Vortrags an einem digitalen Roundtable austauschen. Des Weiteren waren eine Vielzahl von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern mit mehreren Vorträgen zu verschiedenen Anwendungsbereichen der Lasertechnik auf der parallel stattfindenden LiM vertreten.

29.9.2021, Aachen, Deutschland

15. Tag der Deutschen Luft- und Raumfahrtregionen

Bereits zum 15. Mal wurde vom Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie der Tag der Deutschen Luft- und Raumfahrtregionen veranstaltet. Neben dem Hauptthema der Veranstaltung »Die Coronakrise meistern – das 'New Normal' in den Blick nehmen« wurde Unternehmen und Forschungseinrichtungen wie dem Fraunhofer ILT die Möglichkeit geboten, auf Ausstellungsständen und mit Vorträgen über ihr Unternehmen zu informieren. Am Fraunhofer ILT-Stand konnten sich Besucherinnen und Besucher Informationen zur Lasertechnik in der Luft- und Raumfahrt einholen.

15.–18.11.2021, Düsseldorf, Deutschland

COMPAMED 2021

High-Tech Solutions for Medical Technology

Auf der COMPAMED 2021 präsentierte sich das Fraunhofer ILT auf dem IVAM-Gemeinschaftsstand in Düsseldorf mit folgenden Exponaten:

- Generator für UV-Plasmasterilisation
- Opto-kalorischer Sortierchip
- Tröpfchengeneratorchip
- Mikrofluidischer Chip-Support
- Durchflusszellenhalter
- Kompakter Kapillarenhalter

16.–18.11.2021, Bremen, Deutschland

Space Tech Expo Europe 2021

Das Fraunhofer ILT war auf der diesjährigen Space Tech Expo Europe auf dem Gemeinschaftsstand der Fraunhofer Space Alliance vertreten. Das Event ist die größte Veranstaltung Europas, die sich speziell mit der Lieferkette und den technischen Dienstleistungen für die Herstellung, das Design und den Test für Raumfahrzeuge, Subsysteme und weltraumtaugliche Komponenten beschäftigt. Die Ausstellung und die Konferenz zogen Tausende von Branchenführern, Entscheidungsträgern, Ingenieuren, Planern und Einkäufern an, um Hersteller aus der gesamten Lieferkette für die kommerzielle, staatliche und militärische Raumfahrt zu treffen. Das Fraunhofer ILT präsentierte Laserlösungen für Raketentriebwerke.

16.–19.11.2021, Frankfurt, Deutschland

formnext 2021, Messe für Additive Fertigung

Auch im Jahr 2021 konnten Besucherinnen und Besucher der formnext Expertinnen und Experten des Fraunhofer ILT am Fraunhofer-Gemeinschaftsstand treffen. Ausgestellt wurden folgende innovative Ergebnisse:

- Additive Fertigung von Großbauteilen durch das neuartige LPBF-Anlagenkonzept mit verfahrbarem Multi-Scanner-Bearbeitungskopf
 - Das »fühlende« Bauteil, welches mittels laserbasierter, additiver Fertigungsverfahren produziert werden kann
 - Jubiläumsfilm zu 25 Jahre LPBF am Fraunhofer ILT
- Zudem beteiligte sich Tim Lantzsich an der ausstellungsbegleitenden Konferenz mit einem Vortrag zum Thema »Laser Powder Bed Fusion of nickel-base alloy 625 using a ring-mode laser intensity distribution«.



Die aufgelisteten Firmen sind ein repräsentativer Querschnitt der umfangreichen Kundenliste des Fraunhofer ILT, Stand Dezember 2021. Mit freundlicher Genehmigung der Kooperationspartner.

INFORMATIONEN

Aktuelle Informationen des Fraunhofer ILT erhalten Sie auf unserer Webseite oder den unten aufgeführten Social-Media-Kanälen.

www.ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Steinbachstraße 15, 52074 Aachen

Telefon +49 241 8906-0

Fax +49 241 8906-121

info@ilt.fraunhofer.de

Jahresbericht 2021 online



Weiterführende Online-Rubriken

- Profil
- Technologiefelder
- Branchen
- Projekte
- Mediathek
- Presse
- Veranstaltungen
- Jobs / Karriere
- Studium
- Cluster

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

Sofern nicht anders in der jeweiligen Bildunterschrift vermerkt, lautet die Bildquelle: © 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 2022.

