



Fraunhofer

ILT

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

JAHRESBERICHT
2020



JAHRESBERICHT 2020

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

»Der Laser ist das ideale digitale Werkzeug. Neben den klassischen Produktionsaufgaben leistet die Photonik einen wertvollen Beitrag zu Megatrends wie grüner Wasserstoff, E-Mobility und Quantentechnologie.«

Prof. Constantin Häfner

Liebe Leserinnen und Leser,

ein besonderes Jahr im Zeichen der Pandemie liegt hinter uns. 2020 hat den Menschen und ihren Familien viel abverlangt. In atemberaubendem Tempo haben wir auf die geänderten Rahmenbedingungen reagiert. Prozesse und Abläufe wurden angepasst und kreative Lösungen gefunden. Am Fraunhofer ILT konnten wir viele Abläufe unmittelbar auf digitale Prozesse umstellen und so unseren Arbeitspunkt trotz weitreichender Einschnitte halten. Mein Dank gilt unseren Mitarbeitenden, die mit unermüdlichem Einsatz und besonderer Leistungsbereitschaft die Auswirkungen der Krise aufgefangen und unsere Arbeit kontinuierlich vorangetrieben haben.

Schon vor Covid zeichnete sich in 2020 für die Laserbranche ein schwierigeres Geschäftsjahr ab: rückläufige öffentliche Förderung der Lasertechnologie und Photonik, Marktverschiebungen nach Fernost, sich verändernde Geschäftsmodelle und eine Verminderung der vertikalen Wertschöpfungstiefe sind nur einige Faktoren, die Wettbewerbs- und zugleich Innovationsdruck schaffen. Veränderung bietet aber neue Chancen. Der Laser ist »das« Werkzeug der Hochtechnologiefertigung. In diesem Sinne kann die digitale photonische Produktion ihr großes Potenzial in den Megatrends wie grüner Wasserstoff, E-Mobility oder auch Quantentechnologie voll ausspielen.

Die Innovationsfähigkeit des Fraunhofer ILT spiegelt sich auch in 2020 in etlichen Erfolgen wider. Im europäischen Verbundprojekt ADIR wurde eine laserbasierte, effiziente Recyclingmethode demonstriert, in der Mobiltelefone und Leiterplatten automatisiert zerlegt und Stoffe wie Tantal, Neodym oder Kobalt durch den Einsatz der laserinduzierten Breakdown-Spektroskopie LIBS erkannt und zurückgewonnen werden. Im Fraunhofer-Leitprojekt »futureAM – Next Generation Additive Manufacturing«, das wir gemeinsam mit sechs Partnerinstituten abgeschlossen haben, gelang es, die Additive Fertigung von Metallbauteilen um das zehnfache zu beschleunigen. Neben der Steigerung der Leistungsfähigkeit

und Wirtschaftlichkeit entlang der gesamten Prozesskette wurde diese Beschleunigung durch Innovation in der Systemtechnik, bei den Werkstoffen und in der Prozessführung sowie eine konsequent durchgängige Digitalisierung erreicht.

Ein weiteres Highlight im letzten Jahr war die Auszeichnung der herausragenden Arbeit zur Entwicklung des Multistrahl-laserverfahrens mit dem Wissenschaftspreis des Stifterverbands für Verbundforschung. Das ILT-Team hat in Zusammenarbeit mit innovativen Industriepartnern neue Meilensteine in der parallelisierten Bearbeitung und speziell in der hochqualitativen Gravur von Druckwalzen mittels Ultrakurzpuls-(UKP)-Lasern gesetzt. Hier werden zudem noch leistungsfähigere UKP-Laser benötigt, die wir ebenfalls bis in den Multi-kW-Bereich entwickeln. Industriepartner können jetzt in einem am Fraunhofer ILT eigens dafür eröffneten Applikationslabor ihre UKP-Anwendungen entwickeln und testen.

Nicht zuletzt treiben wir mit großer Energie die industriellen Anwendungen der Quantentechnologie gemeinsam mit unseren Partnern in der internationalen Spitzenforschung voran. Dazu gehört die Entwicklung von rauscharmen, hochpräzisen oder leistungsstarken Lasern, die Herstellung von Mikrostrukturen zur photonischen Kopplung halbleiterbasierter Qubits in Quantencomputern oder die Entwicklung von Frequenzkonvertern für die Nutzung klassischer Faserverbindungen für Quantennetzwerke. In diesem Jahresbericht finden Sie weitere Verfahrensentwicklungen, System- und Softwarelösungen, die einen Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit unserer industriellen Auftraggeber leisten. Ich freue mich auf anregende Gespräche mit Ihnen.

Ihr



Prof. Dr. rer. nat. Constantin Häfner



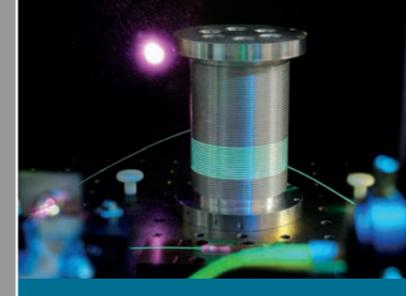
6

DATEN UND FAKTEN



18

THEMENSCHWERPUNKTE



30

FORSCHUNGSERGEBNISSE



102

NETZWERKE UND CLUSTER



128

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 Gesundheit
- 26 Umwelt
- 28 Quantentechnologie

FORSCHUNGSERGEBNISSE

- 30 Aus den Technologiefeldern
- 33 Zuwendungsgeber
- 34 Laser und Optik
- 46 Lasermaterialbearbeitung
- 70 Medizintechnik und Biophotonik
- 78 Lasermesstechnik und EUV-Technologie
- 88 Digitalisierung
- 96 Quantentechnologie
- 101 Kundenreferenzen

NETZWERKE UND CLUSTER

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

VERANSTALTUNGEN UND PUBLIKATIONEN

- 129 Patente
- 132 Dissertationen
- 133 Veranstaltungen
- 135 Messen und Ausstellungen
- 137 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.

MITARBEITER*INNEN

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

STÄRKEN

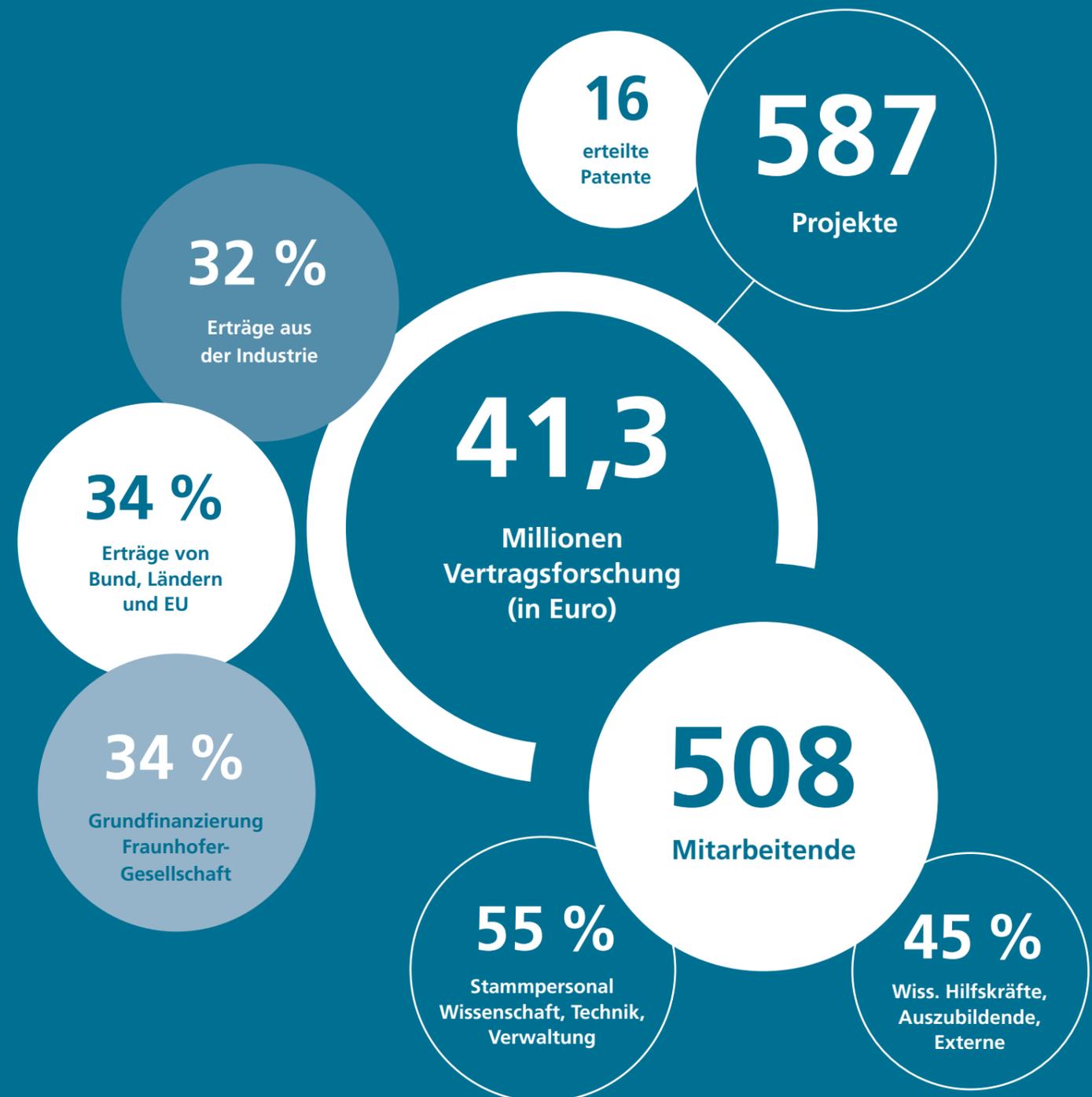
Wir haben ein breites Spektrum an Ressourcen. Wir liefern innovative und wirtschaftliche Lösungen und bieten FuE, Beratung und Integration aus einer Hand. Wir arbeiten auf der Basis eines zertifizierten Qualitätsmanagementsystems.

FÜHRUNGSSTIL

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

POSITION

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



DAS INSTITUT IM PROFIL



KURZPORTRAIT

ILT – dieses Kürzel steht seit mehr als 30 Jahren für gebündeltes Know-how im Bereich Lasertechnik. Innovative Lösungen von Fertigungs- und Produktionsaufgaben, Entwicklung neuer technischer Komponenten, kompetente Beratung und Ausbildung, hochspezialisiertes Personal, neuester Stand der Technik sowie internationale Referenzen: dies sind die Garantien für langfristige Partnerschaften. Die zahlreichen Kunden des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT stammen z. B. aus den Branchen Automobil- und Maschinenbau, Chemie und Elektrotechnik, Flugzeugbau, Feinmechanik, Medizintechnik und Optik. Mit über 500 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 2020 haben 94 Studierende ihre Bachelor- oder Masterarbeit am Fraunhofer ILT durchgeführt und 14 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 2020 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
Generative Verfahren
und funktionale Schichten
(kommissarisch ab 1.10.2020)



Prof. Reinhard Noll
Messtechnik und EUV-Strahlquellen

KURATORIUM UND GREMIEN

KURATORIUM

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

MITGLIEDER

- Carl F. Baasel (Vorsitzender)
- Dr. Reinhold E. Achatz, thyssenkrupp Transrapid GmbH
- Dr. Norbert Arndt, Precision Castparts Corp.
- Dipl.-Ing. Frank C. Herzog, HZG Group
- 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
- Susanne Schneider-Salomon, Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes NRW
- Dr. Ulrich Steegmüller, Microsoft Development Center Denmark
- Dr. Klaus Wallmeroth, TRUMPF Laser GmbH + Co. KG

Die 35. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 15. und 16. September 2020 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 (ab 1.9.2020), Dr. A. Drenker, D. Esser, Prof. A. Gillner, H.-D. Hoffmann, Prof. R. Noll, Dr. D. Petring, Prof. J. H. Schleifenbaum (bis 30.9.2020), Prof. W. Schulz, Dr. J. Stollenwerk, Dr. B. Weikl (bis 31.8.2020).

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), S. Schönen (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.

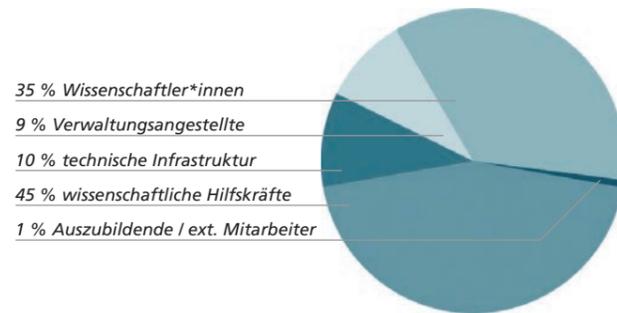
BETRIEBSRAT

Seit März 2003 gibt es am Fraunhofer ILT einen Betriebsrat.

DAS INSTITUT IN ZAHLEN



PERSONAL 2020	Anzahl
Stammpersonal	278
- Wissenschaftler*innen und Ingenieur*innen	180
- Mitarbeiter*innen der technischen Infrastruktur	51
- Verwaltungsangestellte	47
Weitere Mitarbeiter*innen	230
- wissenschaftliche Hilfskräfte	226
- externe Mitarbeiter*innen	2
- Auszubildende	2
Mitarbeiter*innen am Fraunhofer ILT, gesamt	508



AUFWENDUNGEN 2020	Mio EUR
- Personalaufwendungen	24,7
- Sachaufwendungen	16,6
Aufwendungen Betriebshaushalt	41,3
Investitionen	6,2



ERTRÄGE 2020	Mio EUR
- Erträge aus der Industrie	13,2
- Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	14,0
- Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	14,1
Erträge Betriebshaushalt	41,3
Investitionerträge aus der Industrie	0,4
Fraunhofer Industrie ρ_{ind}	32,8 %



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.

WISSENSCHAFTLICHE INFRASTRUKTUR

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

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)
- Experimentelle LIDAR-Laser mit Pulsenergien bis 500 mJ
- Single- und Multimode-Faserlaser bis 6 kW
- Diodenlaser bis 12 kW
- Kurz- und Ultrakurzpuls laser bis 1 kW (ns, ps, fs)
- 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 mit Drehkipptisch
- Kommerzielle Anlagentechnik und Laborsysteme für das Laser Powder Bed Fusion (LPBF)
- Direct-writing und Laser-PVD-Stationen
- Strahlführungssysteme
- Diverse Pulver- und Drahtförderer für die Additive Fertigung
- Drucker für Sol-Gele-Hybrid-Polymere und nano- bis mikroskalige Dispersionen

SPEZIALLABORE

- ISO 5- und ISO 7-Reinräume zur Montage und Charakterisierung von Lasern und Laseroptiken
- Life Science-Labor mit S1-Klassifizierung
- Batterietechniklabor
- Applikationslabore für UKP-Anwendungen (u. a. CAPS-Labor)

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



Stiferverbandspreis für effiziente Oberflächenstrukturierung mit Multistrahllaserverfahren.

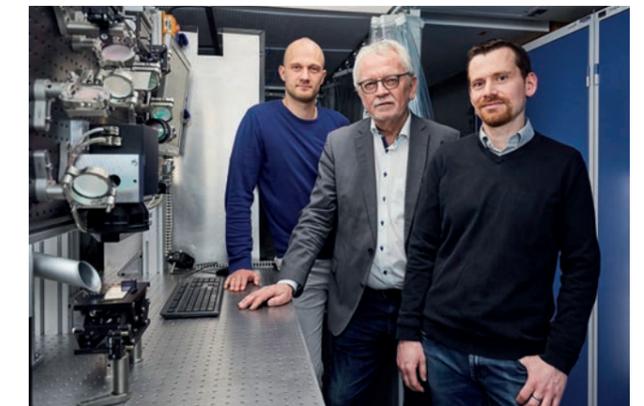
Stiferverbandspreis für Multistrahllaserverfahren

Am Abend des 9. Oktober 2020 fand die Verleihung des Stiferverbandspreises im Rahmen der Jahrestagung der Fraunhofer-Gesellschaft in Berlin statt. Prof. Arnold Gillner vom Fraunhofer ILT nahm stellvertretend für die Partner im Verbundprojekt »Hochleistungs-Ultrakurzpuls Lasertechnik für funktionale Mikro- und Nanostrukturen auf Großbauteilen – kurz MultiSurf« den mit 50.000 € dotierten Wissenschaftspreis des Stiferverbands für Verbundforschung entgegen. Zu den Verbundpartnern zählen Dr. Stephan Brüning von der Schepers GmbH & Co. KG, Dr. Gerald Jenke von der Matthews International GmbH, Dr. Keming Du von der EdgeWave GmbH und Dr. Manfred Jarczyński von der LIMO GmbH sowie Martin Reininghaus und Dr. Johannes Finger vom Fraunhofer ILT. Das Verbundprojekt MultiSurf wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF im Rahmen der Förderinitiative »Die Basis der Photonik: funktionale Oberflächen und Schichten« gefördert.

Im Verbundprojekt MultiSurf wurde im Team über Firmen-, Fach- und Institutsgrenzen hinweg eine Lösung für eine effiziente Oberflächenstrukturierung mit dem Laser entwickelt. Das technische Herzstück ist dabei ein neuer Ultrakurzpuls Laser mit 500 W Durchschnittsleistung, dessen Licht in einer Spezialoptik auf bis zu 16 Teilstrahlen verteilt wird. Inzwischen wurde die Technik sogar auf 64 Strahlen erweitert, die mit speziellen Kristallen einzeln gesteuert werden. Die Strahlmatrix wird über die zu strukturierenden Oberflächen geführt, wobei alle Strahlen einzeln nach Bedarf schnell an- und abgeschaltet werden. Die genauen Parameter für einen optimalen Materialabtrag wurden simuliert und mit Prozesswissen abgeglichen, das am Fraunhofer ILT über Jahre erarbeitet wurde.

Die einzelnen Komponenten sind in ein neues Maschinensystem auf der Basis der Schepers-Maschine Digilas integriert. Diese Maschine übertrifft mit ihrer Kombination von Bearbeitungsqualität und -geschwindigkeit alle gängigen Systeme zur Walzenstrukturierung.

Die Anwendungsfelder der Technologie reichen sehr weit: Werkzeuge für andere Roll-To-Roll-Prozesse stehen ebenso zur Debatte wie spezielle Arbeitsschritte in der Batterie- und Wasserstofftechnik. Am Fraunhofer ILT wurden auch schon Systeme mit wesentlich mehr parallelen Strahlen entwickelt, die dann allerdings nicht einzeln steuerbar sind. Das alles ist Teil einer neuen Technologiegeneration zur Herstellung funktionaler Flächen. Mit einer weiteren Leistungsskalierung lassen sich in Zukunft auch noch größere Flächen bearbeiten. So ließe sich zum Beispiel der Windwiderstand von Windrädern oder Flugzeugtragflächen mit einer geeigneten Oberflächenbearbeitung reduzieren.



Fraunhofer-ILT-Team (v.l.n.r.): Martin Reininghaus, Prof. Arnold Gillner und Dr. Johannes Finger, © Fraunhofer / Banczerowski.

Jasmin Saewe gewinnt Fraunhofer TALENTA Förderprogramm

Jasmin Saewe, Gruppenleiterin Process Development LPBF am Fraunhofer ILT, hat sich erfolgreich für das TALENTA Förderprogramm beworben. Bei dem TALENTA Förderprogramm handelt es sich um ein Karriere- und Entwicklungsprogramm von Fraunhofer für Wissenschaftlerinnen und weibliche Führungskräfte, das durch maßgeschneiderte Qualifizierung und Vernetzung die Möglichkeit bietet, sich persönlich und strategisch weiterzuentwickeln.

HUGO-GEIGER-PREIS

Dr. Hendrik Sändker erhält Hugo-Geiger-Preis für herausragende Promotionsleistungen

Drei junge Forschende der Fraunhofer-Gesellschaft wurden für ihre Promotionsarbeiten mit dem renommierten Hugo-Geiger-Preis geehrt. Die exzellenten Forschungsergebnisse leisten mit anwendungsorientierter Forschung und zukunftsorientierten Innovationen einen Beitrag zur Sicherung der wirtschaftlichen Stärke Deutschlands und Europas. Die mit 5000, 3000 und 2000 Euro dotierten Preise wurden von der Fraunhofer-Gesellschaft gemeinsam mit dem Freistaat Bayern vergeben. Überreicht wurden sie auf dem Fraunhofer-Symposium »Netzwerk« am 18. Februar 2020 in München.



Verleihung des Hugo-Geiger-Preises an Dr. Hendrik Sändker (Laserline GmbH), © Fraunhofer / Marc Müller.

Einer der Preisträger war Dr. Hendrik Sändker, der im Rahmen seiner Promotion am Fraunhofer ILT neuartige Methoden zur Herstellung funktionaler Beschichtungen aus partikulärem Polyetheretherketon (PEEK) mittels Lasertechnik entwickelte.

Der Hochleistungskunststoff PEEK eignet sich noch stärker als Magnesium oder andere Metalle für die Beschichtung von metallischen Bauteilen, wenn zusätzlich zum Schutz vor Abrieb hohe Beständigkeit gegen Temperatur und Korrosion erforderlich sind. Solche Anforderungen werden in vielen Branchen benötigt – vom Maschinen- und Automobilbau bis hin zu Anlagen für die Gewinnung erneuerbarer Energien. Dr. Sändker trug im Rahmen von Förderprojekten mit Industriepartnern wesentlich dazu bei, bedarfsspezifische laserbasierte Herstellungsverfahren zu entwickeln – darunter vor allem als Schlüsseltechnologie ein Zweistrahlverfahren mit signifikant vergrößerter Energieeffizienz. Gemeinsam mit Partnern wie Schaeffler, Evonik, Mahle und Eloxalwerk Ludwigsburg ELB können die Verfahren in die Industrie überführt werden. Die Firma ELB wurde für das gemeinsam mit dem Fraunhofer ILT entwickelte Verfahren bereits mit dem ThinkKing Community Award 2019 der Leichtbauagentur Baden-Württemberg ausgezeichnet.

Carl Zeiss Student Paper Award 2020 für Sophia Schröder

Im Rahmen der Onlinekonferenz »SPIE Photomask Technology and EUV Lithography 2020« vom 21. bis zum 25. September 2020 erhielt Sophia Schröder den 1. Preis des »Carl Zeiss Student Paper Award«.

Auf der Industriekonferenz mit über 1.500 Teilnehmerinnen und Teilnehmern stellte Sophia Schröder die EUV-Spektrometrie vor. Dieses Verfahren wurde von Wissenschaftlern des Lehrstuhls für Technologie Optischer Systeme TOS der RWTH Aachen University und des Fraunhofer ILT in einem kompakten Laboraufbau realisiert und hinsichtlich der erzielbaren Messgenauigkeit analysiert. Unter Verwendung von extremultravioletter Strahlung wird das Verfahren u. a. zur Charakterisierung neuartiger Absorbermaterialien für die Maskenherstellung in der industriellen Halbleitertechnik genutzt.

NACHWUCHSFÖRDERUNG



Bus der Aachener Fraunhofer-Linien im neuen Design, © Roland Schulteis.



Drehtarbeiten zu dem RWTH-Maschinenbaufilm durch »Medien für die Lehre«.

Schüleruni Maschinenbau vom 27.–31. Juli 2020

Auch in 2020 fand wieder die Schüleruni Maschinenbau mit Beteiligung des Exzellenzclusters Internet of Production IoP statt. Aufgrund der Coronapandemie wurde die Schüleruni erstmals online durchgeführt. 17 Schülerinnen und Schüler verbrachten insgesamt fünf Tage virtuell an der RWTH Aachen University, um einen ersten Eindruck von dem Studiengang Maschinenbau und seinen vielfältigen Möglichkeiten zu erhalten. So bekamen die Teilnehmerinnen und Teilnehmer Einblicke in die Bereiche Produktionstechnik, Verfahrenstechnik, Kunststoff-, Textil- und Kraftfahrzeugtechnik sowie Optik und Lasertechnik. Am 31. Juli 2020 entdeckten sie dann die Welt der Photonik. Dieser Tag wurde vom Fraunhofer ILT und den kooperierenden RWTH-Lehrstühlen LLT und TOS gestaltet. So gab es einen Vortrag von Martin Walochnik vom Lehrstuhl LLT mit einer Live-Demonstration des Aufbaus eines Lasers sowie einen interaktiven Vortrag von Jörg Hofmann vom Lehrstuhl TOS zu »Optik im Alltag«. Darüber hinaus nahmen die Schülerinnen und Schüler an einer Gruppenarbeit zum Thema »Laser für die Umwelt« teil.

Aachener Fraunhofer-Linien in neuem Design

Seit September 2020 präsentieren sich nach über zehn Jahren Präsenz im Aachener Stadtbild die Fraunhofer-(Bus)Linien mit einer komplett neuen Gestaltung. Beim Redesign der Busse wurden emotional aufgeladene Employer-Branding-Botschaften mit den Technologieschwerpunkten der Fraunhofer-Institute am Innovationsstandort Aachen kombiniert. Die Botschaft, dass man mit Fraunhofer vom Träumer*, Stauner* zum Pionier*, Visionär* werden kann, wird symbolisch mit dem Übergang eines spektakulären Naturphänomens in eine technologische Innovation visualisiert.

Mit dieser Kampagne wollen die drei Aachener Fraunhofer-Institute ILT, IPT und IME auf sich als moderner und attraktiver Arbeitgeber aufmerksam machen und vor allem Studierende und Absolventen der Aachener Hochschulen ansprechen.

Fraunhofer HiWi-Days@Home im Oktober 2020

Am 9. und 10. Oktober 2020 fanden die Fraunhofer-HiWi-Days für Studierende mit Beteiligung des Fraunhofer ILT statt, diesmal in Form eines Online-Events aufgrund der Coronapandemie. Mit der Veranstaltung wurden Karriereoptionen bei Fraunhofer für einen Einstieg nach dem Studienabschluss aufgezeigt. Anmelden konnte sich jede bei Fraunhofer angestellte studentische Hilfskraft. Auf dem Programm standen Vorträge von wissenschaftlichen Mitarbeitenden, Beratungs- und Workshopangebote zur Karriereorientierung und das »Fraunhofer-Escape Game@Home«.

Virtueller Schülerbesuch am 15. Oktober 2020 im Rahmen des Studienwahl-Orientierungsprogramms »Talent Take Off« der Fraunhofer-Gesellschaft

In Zusammenarbeit mit der Femtec GmbH an der TU Berlin bietet die Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen ihres Nachwuchsprogramms »FraunhoferTalents!« Studienwahlkurse für Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 10 bis 13 an. Eine knappe Woche lang werden in diesen Online-Kursen unterschiedliche Themen, die für die Studienwahl wichtig sind, zum Beispiel in Technikworkshops, bei einem virtuellen Besuch an einem Fraunhofer-Institut, in Gesprächen mit Studierenden verschiedener Fächer oder mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern beleuchtet. Das Fraunhofer ILT hat sich hieran beteiligt und am 15. Oktober 2020 eine Gruppe von Schülerinnen und Schülern zu einem virtuellen Besuch am Fraunhofer ILT mit Live-Vorführungen begrüßt.

RWTH-Ferienbetreuung am 15. Oktober 2020

Die RWTH Aachen bietet in den Oster-, Sommer- und Herbstferien für die Kinder von Studierenden und Mitarbeitenden Ferienfreizeiten an, die immer unter einem bestimmten Motto stehen. So wurde sich in der ersten Woche der Herbstferien 2020 mit dem Thema »Die Welt der Maschinen« beschäftigt. Hieran hat sich auch das Fraunhofer ILT beteiligt. Am 15. Oktober 2020 besuchten 30 Kinder im Alter von 8 bis 13 Jahren virtuell das Fraunhofer ILT. Einen praxisorientierten Einblick lieferten Live-Demonstrationen aus den Laboren.

Digitales MINT-EC Camp Produktionstechnik vom 17. bis 19. November 2020 für Schüler der MINT-EC-Schulen

Jedes Jahr bietet die RWTH Aachen University allen Schülerinnen und Schülern ab Jahrgangsstufe 10 von Schulen aus dem MINT-EC-Netzwerk die Möglichkeit, an viertägigen Camps zu den MINT-Fächern teilzunehmen. Das Exzellenzcluster Internet of Production, kurz IoP, hat 2020 auch wieder MINT-Schülerinnen und -Schülern aus ganz Deutschland einen spannenden Einblick in die Vielfalt der produktionstechnischen Themen gegeben. Ob Industrie 4.0, Automatisierung, Mensch-Maschine-Interaktion oder Logistik, das Spektrum an produktionstechnischen Themen, die im Rahmen des Exzellenzclusters an der RWTH Aachen University erforscht werden, ist sehr breit. In den angebotenen Workshops wurden Fragen rund um die Zukunft der Produktion in Deutschland betrachtet. Das Besondere am Cluster ist die interdisziplinäre Kooperation von 35 Instituten und Forschungseinrichtungen. In diesem Rahmen fand am 18. November 2020 auch eine Vorlesung zum Thema Photonik und eine »Livestream-Laborführung« von Tim Biermann und Maximilian Brosda vom Lehrstuhl für Lasertechnik LLT statt.

Talk Lehre 2020 am 12. November 2020 – Digitalisierung der Lehre

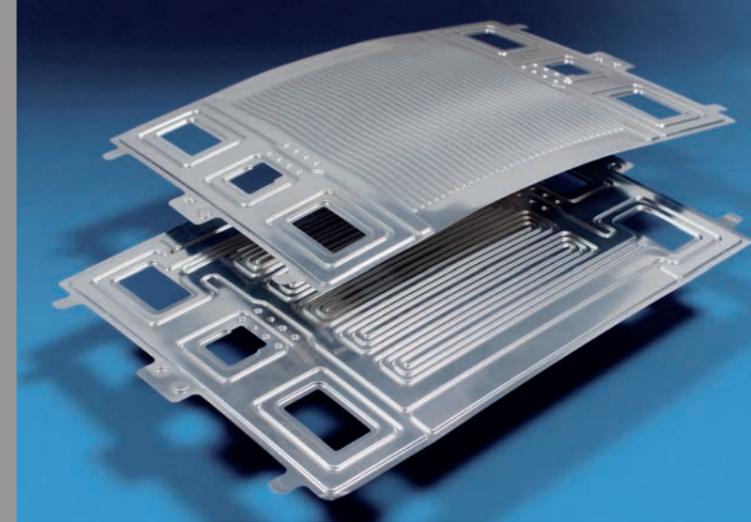
Themenschwerpunkt der virtuellen Tagung »Talk Lehre 2020« am 12.11.2020 war die Digitalisierung der Lehre im Zuge der Coronapandemie. Insgesamt hatten sich 340 Personen für die Veranstaltung angemeldet. In einer Vielzahl von Vorträgen und Live-Demonstrationen stellten Lehrende und Studierende Projekte, Konzepte und Best-Practice-Beispiele aus ihren Fakultäten und Fachbereichen vor, mit denen gute Lehre in digitalen Zeiten funktioniert. Auch der Lehrstuhl für Lasertechnik LLT hat sich der Herausforderung gestellt, Studierenden weiterhin den elementaren Praxisbezug im Rahmen der Lehre zu ermöglichen. Mit einem eigens dafür konzipierten mobilen Live-Streaming-Setup ist es dem LLT in den angebotenen Lehrveranstaltungen gelungen, durch digitale Laborführungen direkt aus den Laserlaboren diesen Bezug zur Praxis weiterhin aufrecht zu erhalten. Im Rahmen der Präsentation wurde das genutzte mobile Live-Streaming-Setup vorgestellt und die Anwendung live demonstriert.

2. bonding Virtual Career Fair am 9. Dezember 2020

Zum ersten Mal präsentierte sich das Fraunhofer ILT auf der größten studentisch organisierten virtuellen Firmenkontaktmesse – der bonding Virtual Career Fair. Neben 51 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.

MOBILITÄT

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT



PRODUKTION

»ELEKTRISIERT« DIE MOBILITÄT VON MORGEN

2020 war für Fahrzeughersteller ein Schicksalsjahr: Die Coronapandemie bremste vor allem die Herstellung von klassischen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor aus, während gleichzeitig die Elektromobilität langsam an Fahrt aufnahm. Ein Grund sind auch die neuen von der EU vorgegebenen CO₂-Flottengrenzwerte. Seitdem wächst nicht nur die Bedeutung von Methoden zur effizienten Produktion von Elektroautos und Batterien, sondern gefragt sind zunehmend Verfahren zur prozesssicheren Fertigung von Bipolarplatten (BPP) für Brennstoffzellenfahrzeuge.

Das Fraunhofer ILT reagierte auf diese Trends und verfolgte eine mehrgleisige Strategie: Es veranstaltete 2020 neben dem zweiten Lasersymposium Elektromobilität LSE nun auch erstmals das Laserkolloquium Wasserstoff LKH₂. Entsprechend vielfältig fielen in diesem Jahr auch die Forschungsaktivitäten für die Mobilität von morgen aus.

Technische Koexistenz von Brennstoffzelle und Batterie

Eine Botschaft des Jahres 2020 ist eindeutig: Die Zukunft ist elektromobil. Es zeichnen sich hier jedoch mittlerweile zwei Trends ab: Die Brennstoffzellen kommen für längere Strecken sowie vor allem für größere E-Fahrzeuge infrage, während sich batterieelektrische Fahrzeuge für kurze Strecken etwa in der Stadt besser eignen. Hoch ist die Motivation, die Wasserstofftechnologien leistungsfähiger und deren Herstellungsverfahren produktiver und damit kostengünstiger zu machen.

Bis zum Jahr 2030 soll sich die weltweite Jahresproduktion von Brennstoffzellenfahrzeugen um den Faktor 160 auf fast vier Millionen erhöhen. Dann werden allerdings auch etwa 800 Millionen Bipolarplatten und Membran-Elektroden-Einheiten (engl. Membrane-Electrode-Assembly, kurz MEA), Kernstück der Brennstoffzelle, benötigt. Dazu gilt es zunächst, eine Großserienproduktion aufzubauen und die höheren Kosten deutlich zu senken. Rund 30 Prozent der Gesamtkosten einer Brennstoffzelle entfallen auf die Bipolarplatten, bei denen Metall und neuerdings auch hochleitfähige Kohlenstoff-Compounds zum Einsatz kommen.

Die eingesetzten Herstellverfahren spielen nicht nur bei den Kosten, sondern auch bei der Qualität eine wichtige Rolle: So werden beispielsweise zwei umgeformte Halbschalen zu einer Bipolarplatte verschweißt und wechselseitig mit der MEA in einem Stackverbund gestapelt. Der gesamte Verbund muss vor dem Entweichen von Kühlwasser schützen und den hohen Anforderungen an die Wasserstoff-Dichtigkeit genügen.

Bipolarplatten mit grünem Laserlicht schweißen

Das Fraunhofer ILT arbeitet daran, den anspruchsvollen Laserschweißprozess der Bipolarplatten schneller und zugleich prozesssicherer abzubilden. Das geschieht zum Beispiel im Rahmen des Verbundprojekts CoBiP, u. a. in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT. Hier entsteht eine kontinuierliche Rolle-zu-Rolle-Fertigung von metallischen BPP.

Beim Laserschweißen der gerade mal 100 Mikrometer dünnen, unbeschichteten Edelstahlfolien unter Argongas kam es bisher zum sogenannten Humping-Effekt, der aufgrund von Ablagerungen der Schmelze auf der Werkstoffoberfläche die Dichtheit der Naht stark gefährdete. Eine deutliche Verbesserung brachte der Wechsel vom nahen Infrarotbereich zum sichtbaren grünen Laserlicht, das selbst bei einem Vorschub von einem Meter in der Sekunde noch eine sehr gute, dichte Schweißnaht ermöglicht.

Da Hersteller immer häufiger polymerbasierte Compound-Bipolarplatten einsetzen, hat das Fraunhofer ILT ein zweistufiges Verfahren für den Aufbau von Stacks entwickelt: Ein CO₂-Laser schneidet dabei zu und ein Diodenlaser verschweißt. Entwickelt wurde darüber hinaus ein Verfahren, um mit einem Ultrakurzpulslaser den produktionsbedingt entstehenden Kunststoffilm auf der Compound-BPP-Oberfläche selektiv zu entfernen. Der UKP-Laser ist eine gute Alternative zum heute üblichen Schleifen, denn er verringert den elektrischen Widerstand zwischen BPP und MEA im Vergleich zum herkömmlichen mechanischen Verfahren deutlich und erhöht damit den Wirkungsgrad der Brennstoffzelle.

Start des Battery Lab

Wegen der wachsenden Bedeutung der Batterietechnologie intensiviert das Fraunhofer ILT besonders die Erforschung der Laserprozesse in der Batterieproduktion. 2020 nahm dazu das Battery Lab seinen Betrieb auf, in dem verschiedenste Anlagen zur laserbasierten Fertigung von aktuellen Lithium-Ionen-Batterien und zukünftigen Festkörper-Akkumulatoren zur Verfügung stehen.

Hier arbeiten Forscherinnen und Forscher beispielsweise daran, laserbasierte Verfahren (Trocknen und Strukturieren) in den kontinuierlich laufenden Prozess einer Rolle-zu-Rolle-Anlage zu integrieren. Mit dem integrierten, laserbasierten Trocknen und Strukturieren von Aktivmaterialien (Anoden- und Kathodenfolien) lassen sich wichtige Eigenschaften von Lithium-Ionen-Zellen wie Kapazität, Schnellladefähigkeit und Lebensdauer optimieren. Ende 2020 nahm das Fraunhofer ILT eine Anlage in Betrieb, die nun das Aachener Battery Lab vervollständigt.

Blauer Laser mit Ringoptik verkürzt Schweißprozess

In Batterien übernehmen Kupfer und Aluminium eine wichtige Aufgabe: Aufgeschweißte Leiter aus diesen Werkstoffen verbinden Zellen zu Modulen; aus mehreren Modulen bilden sich schließlich Batteriepacks. Doch Infrarotlaser eignen sich wegen ihrer typisch niedrigen Absorptionsraten oft nicht ideal zum Schweißen von Aluminium- und Kupferkontakten.

Stattdessen kommen nun auch grüne beziehungsweise blaue Laser zum Einsatz. Für blaue Laser haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ILT eine Ringoptik für unterschiedlichste Zelldurchmesser entwickelt: Die Optik lässt sich stufenlos so einstellen, dass sich der ringförmige Laserstrahl exakt an unterschiedliche Zelltypen anpassen lässt. Eine Besonderheit dieser Optik: Die komplette Laserschweißnaht gelingt quasi mit einem einzigen »Schuss« und somit in wesentlich kürzerer Zeit als dies mit konventionellen Verfahren möglich ist.

Die Anforderungen an die FuE-Aktivitäten für die Elektromobilität des Fraunhofer ILT und seiner Partner werden sicherlich noch weiter zunehmen. Dies zeigte sich auch auf der virtuellen Premiere des Laserkolloquiums Wasserstoff LKH₂ mit 55 Teilnehmern und zehn namhaften Referenten aus Industrie und Forschung. Mit den jüngsten Investitionen ist das Fraunhofer ILT jetzt schon gut für die neuen Herausforderungen gerüstet.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Thema Mobilität: Seite 51, 52, 60, 63 bis 65 und 67.

Weitere Informationen im Internet unter:

www.ilt.fraunhofer.de

PRODUKTION

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT



ADDITIVE MANUFACTURING FÜR KREATIVE FREIRÄUME IN DER FERTIGUNG

Produktionsinnovation gelingt im ausgewogenen Zusammenspiel zwischen exzellenter Forschung und anwendungsorientierter Entwicklung. Diese Kompetenz der Fraunhofer-Gesellschaft sorgt für Mehrwerte bei den industriellen Partnern. Zahlreiche Projektergebnisse mit ganzheitlichen Lösungen für die Produktion von morgen belegen dies. So inspirieren die Projekte des Fraunhofer ILT im Bereich Additive Manufacturing (AM) Mittelständler und Konzernstrategen zu völlig neuen Wegen in der Produktion.

Laserauftragschweißen – ein vielversprechendes Verfahren

Der metallische 3D-Druck spielt am Innovationsstandort Aachen eine große Rolle. Das Fraunhofer ILT beschäftigt sich seit vielen Jahren mit den verschiedenen AM-Verfahren, ihrer Automatisierung und den damit verbundenen digitalen Prozessen: Dazu zählt zum Beispiel das Laserauftragschweißen (Laser Material Deposition LMD), welches viele Industrieunternehmen zur Beschichtung und Reparatur beziehungsweise Instandhaltung von Bauteilen einsetzen. Das Verfahren ist aufgrund der präzisen und lokalen Materialzuführung ressourceneffizient. Gleichzeitig können mit geeigneter Systemtechnik auch sehr große Bauteile bearbeitet werden. Das aus Sicht von Produktionsexperten vielversprechende Verfahren war bisher jedoch häufig nicht ausreichend benutzerfreundlich und benötigte kostenintensive Systemtechnik.

Im BMBF-Forschungsprojekt ProLMD entstanden in Kooperation mit Konsortialpartnern neue Hybridprozesse, die konventionelle Fertigungsverfahren mit Laserauftragschweißen zu einem innovativen Fertigungsansatz vereinen. Dieser befähigt Hersteller zur schnellen und kostengünstigen Produktion und lässt sich darüber hinaus nahtlos in bestehende Prozessketten integrieren. Für das LMD-Verfahren wurde eine wirtschaftliche und robuste Systemtechnik auf Basis von Knickarmrobotern entwickelt. Die Projektpartner erforschten verschiedene für die roboterbasierte hybrid-additive Fertigung notwendige Technologien. Sie deckten entlang der gesamten Prozesskette zentrale Aspekte ab – von Bearbeitungsköpfen, Roboter- und Schutzgassystemen über die Schweißprozesse bis hin zur Qualitätssicherung und Software.

Partnerschaftliche Entwicklung der hybrid-additiven Fertigung

Die Anforderungen der ProLMD-Projektpartner an die hybrid-additive Fertigung waren sehr unterschiedlich: Die MTU Aero Engines AG verfolgte das Ziel, Funktionselemente an einer Triebwerkskomponente aufzubauen. Bauteilverstärkung durch 3D-Verrippung galt es für die Airbus Defence and Space GmbH zu realisieren und die Mercedes-Benz AG wollte ein Presswerkzeug in der Karosseriefertigung optimieren. Im Mittelpunkt des Projekts stand dabei die lokale Verstärkung oder Veränderung konventionell gefertigter Großbauteile. Die Aufgaben waren innerhalb des Konsortiums klar umrissen: Der Geschäftsbereich Lasertec der KUKA Industries GmbH & Co. KG in Würselen übernahm die Projektleitung und Zellintegration des Roboters, während sich die Laserline GmbH aus Mülheim-Kärlich um die Auslegung und Entwicklung von Strahlquelle und Optik kümmerte. Die M. Braun Inertgas-Systeme GmbH in Garching war für den Bau einer Schutzgaszelle zuständig, während die Dortmunder BCT Steuerungs- und DV-Systeme GmbH Software und anlagenintegrierte Messtechnik entwickelte. Das gemeinsame Ziel war die Entwicklung einer hocheffizienten, modularen LMD-Zelle, die sich mit geringem Aufwand in eine bestehende Prozesskette integrieren lässt.

Der Erfolg des abgeschlossenen Forschungsprojekts ist nicht zuletzt auf die sehr enge Kooperation aller beteiligter Partner zurückzuführen. Während Projektleiter KUKA in Würselen den Roboter in einer flexiblen Schutzgaszelle oxidationsempfindliche Werkstoffe wie Titan prozesssicher schweißen ließ, arbeiteten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ILT mit zwei weiteren Roboteranlagen ohne Schutzgaszelle. Die Erkenntnisse aus den jeweiligen Ansätzen lieferten wertvolle Impulse für die gesamte Verfahrens- und Anlagenentwicklung.

Zusätzlich zu den im Projekt aufgebauten Roboteranlagen für Großkomponenten konnte mit Unterstützung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF eine kompaktere ProLMD-Roboteranlage entworfen und am Fraunhofer ILT in Betrieb genommen werden. Sie ist für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) gedacht und kostet deutlich weniger als ein Standardbearbeitungszentrum. Die Roboterzellen mit ProLMD-Technologie stehen dabei auch in Zukunft am Fraunhofer ILT für angewandte Forschung bereit.

Next Generation Additive Manufacturing – Zusammenarbeit im Fraunhofer-Verbund

Das roboterunterstützte Laserauftragschweißen von metallischen Großbauteilen im Verbundprojekt ProLMD ist nur ein Aspekt der anwendungsorientierten Arbeit des Fraunhofer ILT.

Im ebenfalls abgeschlossenen Fraunhofer-Leitprojekt »futureAM – Next Generation Additive Manufacturing« wies das Fraunhofer ILT mit fünf weiteren Fraunhofer-Instituten nach, dass sich die Additive Fertigung von Metallbauteilen mindestens um den Faktor 10 beschleunigen lässt. Gemeinsam steigerten die Fraunhofer-Institute IWS, IWU, IAPT, IGD und IFAM unter der Leitung des Fraunhofer ILT die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit des Metal Additive Manufacturing entlang der gesamten Prozesskette, vom Auftragseingang bis zum fertigen metallischen 3D-Druckbauteil. Eine relevante

Rolle spielte dabei das Virtual Lab, in dem Kompetenzen digital gebündelt werden. Der gesamte AM-Prozess kann somit für alle beteiligten Partner transparent gemacht werden.

Metallischer 3D-Druck mit Hochgeschwindigkeit

Den hohen Entwicklungsstand im Bereich der Additiven Fertigung zeigt ein Demonstratorbauteil für die Flugzeugindustrie, das im Rahmen des Leitprojekts futureAM auf einer vom Fraunhofer ILT entwickelten Anlage entstand. Ein neues Maschinensystem mit mobiler Optik fertigt mithilfe von Laser Powder Bed Fusion (LPBF) in einem XXL-Bauraum (1000 mm x 800 mm x 400 mm) ein großes Demonstratorbauteil für zukünftige Triebwerkgenerationen von Rolls-Royce.

Die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer ILT verfolgen bei all ihren AM-Projekten einen ganzheitlichen Ansatz. Im Bereich Metal AM wurden am Fraunhofer ILT vor 30 Jahren einige Grundsteine gelegt, die Dank der systematischen Weiterentwicklung heute zur industriellen Reife herangewachsen sind.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

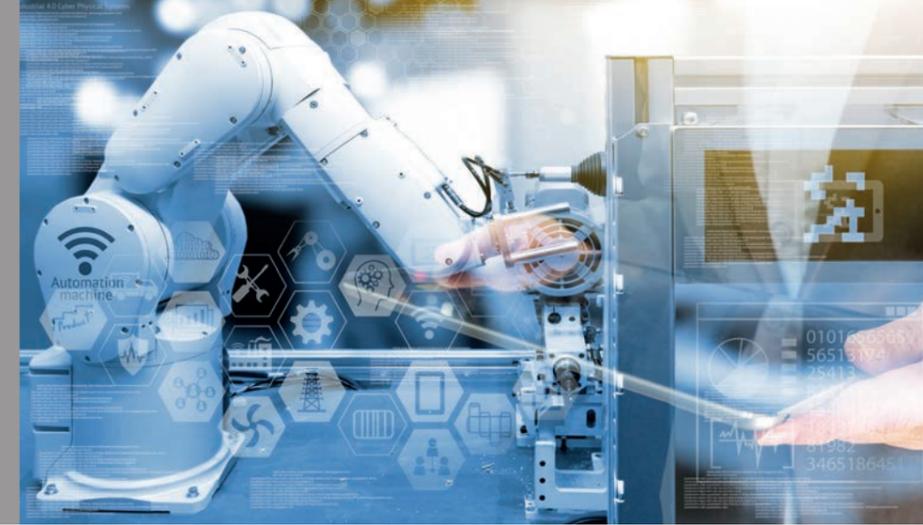
Thema Produktion: Seite 37, 48–69, 74–76, 83, 84, 86, 90–94 und 100.
Thema Additive Fertigung: Seite 48–57, 74–76 und 92.

Weitere Informationen im Internet unter:

www.ilt.fraunhofer.de

DIGITALISIERUNG

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT



© zapp2photo – stock.adobe.com.

MIT DIGITALISIERUNG POTENZIALE IN DER PRODUKTION FREISETZEN

Den richtigen Umgang mit Katastrophen lehrt uns ein Blick auf das chinesische Zeichen für Krise. Es setzt sich zusammen aus den Symbolen für Gefahr und Chance. So bietet die derzeitige Coronapandemie die Chance zu einer beschleunigten Umsetzung von Digitalisierungsstrategien. Für produzierende Unternehmen öffnen digitale Innovationen den Weg zu höherer Effizienz. Trotz sinkender Stückzahlen und fehlender Fachkräfte können Bauteile hochwertig bearbeitet werden.

Viele Herstellungsprozesse können durch den Einsatz von geeigneten Werkzeugen der Digitalisierung im Hinblick auf Zuverlässigkeit und Vorhersagbarkeit sowie Schnelligkeit oder Ressourceneffizienz optimiert werden. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ILT setzen bereits seit Jahren digitale Technologien ein und betreiben vielseitige Forschungen auf diesem Gebiet. Das Institut hat in den Aufbau neuer IT-Infrastruktur investiert und kann Unternehmen mit modernster Ausstattung bei der digitalen Transformation beraten und unterstützen.

Mit digitalen Zwillingen Prozesse optimieren

Die Experten aus dem Technologiefeld Digitalisierung starten beim Kunden mit dem Assessment: Gemeinsam mit dem Unternehmen analysieren sie im Rahmen eines selbstentwickelten Startpakets die Aufgabenstellung, um dann die Realisierung entlang der gesamten Prozesskette anzugehen – vom Design über Konstruktion und Produktion bis hin zur Auslieferung.

Diese digitale Transformation erfordert eine sehr exakte Analyse der Daten, um Anlagen und Maschinen proaktiv managen zu können. Bewährt hat sich die Einführung digitaler Zwillinge, mit deren Hilfe sich Kosten senken und Prozessabläufe optimieren lassen.

Die digitale Zukunft im Visier: »Digital Light Factory«

Der strategische rote Faden des Fraunhofer ILT ist die Bereitstellung einer selbstentwickelten Infrastruktur: Die »Digital Light Factory« umfasst die Fertigungstechnik mit allen erforderlichen Steuerungs- und Automatisierungsschnittstellen. Sie bietet Unternehmen von der Integration bis zum Start-up-Test eine Infrastruktur, welche die späteren Produktionsbedingungen weitgehend abbildet. Zahlreiche Bausteine des Fraunhofer ILT von der Automatisierung, Simulation bis hin zur Sensorik erlauben die Integration zusätzlicher Lösungen. Die Bandbreite reicht von der Etablierung von Prozessketten bis hin zur Bewertung, wie sich bestehende Systemlösungen auf neue Anwendungsfelder übertragen lassen.

Ein relevantes, allerdings noch selten eingesetztes Werkzeug der Digitalisierung ist die Künstliche Intelligenz: 2019 ergab eine Umfrage des Instituts der deutschen Wirtschaft, dass nur jedes zehnte Unternehmen KI einsetzt. Die Pioniere setzen KI-Systeme vor allem in der Qualitätssicherung und bei der Predictive Maintenance ein, beispielsweise zur Vorhersage einer zu erwartenden Prozessabweichung. Bewährt hat sich die Technologie z. B. beim Laserschweißen im Automobilbau oder beim laserbasierten Mikrofügen. Im Zusammenspiel mit bildbasierten Überwachungssystemen lassen sich so Schweißnähte in Echtzeit analysieren und die Nahtqualität mit angepassten Algorithmen zuverlässig klassifizieren.

»Learning by doing« im KI-Labor

Der Einstieg fällt vor allem kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) schwer, denn der Aufwand für die Entwicklung und Adaptierung von KI-Prozessen ist oft hoch. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ILT setzen sich seit Jahren mit KI auseinander: So entstand ein KI-Labor, in dem Nutzer auf Basis vorbereiteter Module mit ihren eigenen Daten experimentieren können: Durch das »learning by doing« erhalten sie eine auch für KI-Laien verständliche Erklärung der Ergebnisse, die ihnen bei der Entscheidungsfindung hilft. Sie erlernen zudem im KI-Labor, wie sich das Verhalten von Produktionssystemen zuverlässig vorhersagen lässt.

Aktiv auf diesem Gebiet ist auch die Arbeitsgruppe Prozesssensorik und Systemtechnik des Fraunhofer ILT, die mit Hilfe von Machine Learning untersucht, wie sich KI-basierte Qualitätsvorhersagen mit hoher Konfidenz erzielen lassen, um etwa Fehler beim Laserschweißen zuverlässig zu erkennen. Ein Beispiel aus der Beratungspraxis: Ein Unternehmen ließ 50 000 Messsignale von Laserschweißungen qua Machine Learning interpretieren. Obwohl die Signale bei manueller Sichtung kaum wahrnehmbare Unterschiede aufwiesen, ergab sich eine Trefferquote bei der Erkennung von Prozessabweichungen anhand der einzelnen Messsignale von 70 bis 80 Prozent. Dies wurde unter anderem erreicht, indem das System mehrere Signalcharakteristika bei seiner Entscheidung berücksichtigte. Maßgeblich bei dieser Lösung war die Wahl des richtigen KI-Werkzeugs und des passenden Algorithmus.

Schicht um Schicht: KI-System überprüft 3D-Druck

Auch bei der Optimierung von Fertigungsprozessen im Bereich Additive Manufacturing sind KI-Verfahren hilfreich: Das Fraunhofer ILT hat kürzlich für den metallischen 3D-Druck ein Prozessüberwachungssystem entwickelt, bei dem KI-Methoden auch in der Bildverarbeitung angewendet werden. Es soll die Qualität jeder einzelnen Schicht anhand von Auffälligkeiten bei typischen Oberflächenparametern wie Rauheit oder unzulässigen Formabweichungen bewerten. Anschließend folgt die automatisierte Auswertung der Signale. Das System soll dazu in die Lage versetzt werden, den 3D-Drucker rechtzeitig vor bevorstehenden Abweichungen zu warnen und geeignete Korrekturmaßnahmen in Form angepasster Prozessparameter vorzuschlagen.

Die beiden Praxisbeispiele zeigen, wieviel Vorarbeit und Überlegungen beim Einsatz von KI-Systemen notwendig sind. Potenzielle Nutzer können im KI-Labor in gemeinsamen Projekten mit dem Fraunhofer ILT in diesem Bereich experimentieren und ihr Prozessverständnis vertiefen. Sie erfahren, wo die Grenzen der KI liegen und dass es immer ein Restrisiko gibt, welches sich aber mathematisch bewerten und berücksichtigen lässt. Diese Erkenntnis kann einen maßgeblichen Wettbewerbsvorteil darstellen.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Thema Digitalisierung: Seite 36, 54, 67–69, 80, 81, 83–85 und 90–95.

Weitere Informationen im Internet unter:

www.ilt.fraunhofer.de

GESUNDHEIT

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT



MIT DEM LASER AUTOMATISIERT ZELLEN TRANSPORTIEREN

Die Coronapandemie hat das Jahr 2020 geprägt. Die schnelle Entwicklung von Tests und Impfstoffen wurde dadurch zu einem Thema von globaler Bedeutung. Ein entscheidender Faktor ist dabei die Automatisierung von Testverfahren, um die Analyse einer großen Zahl von Proben in kürzester Zeit zu gewährleisten. Laserbasierte Methoden bieten für die Automatisierung im Labor ein großes Potenzial. Sie können die Emission eines spektroskopischen »Fingerabdrucks« anregen oder auch die lebende Zelle berührungslos transportieren.

Die Fraunhofer-Gesellschaft fördert die marktorientierte Vorlauftforschung in diesem Bereich gezielt mit dem Projekt OptisCell. Neben dem Fraunhofer ILT sind daran das Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT in Sankt Augustin und für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart beteiligt. Biologen, Informatiker und Laserexperten aus den drei Instituten haben gemeinsam einen Prozess entwickelt, der die automatisierte Erkennung, Analyse und Sortierung von lebenden Zellen und Biomaterialien ermöglicht. Dabei liegt der Schwerpunkt auf einer automatisierten Prozesskette, bei der die Zellen mit optischen Methoden wie Mikroskopie und Raman-Spektroskopie analysiert und mit Hilfe des Lasers berührungslos transportiert werden können.

Markerfreie Analyse mit Künstlicher Intelligenz

Mit dem Laser werden Proben ohne Zugabe von Farbstoffen – also markerfrei - analysiert. Möglich macht dies die Raman-Spektroskopie, bei der eine biologische Probe mit Laserlicht bestrahlt wird. Das Spektrum des an der Probe gestreuten Lichts bildet einen optischen Fingerabdruck, der viele Informationen über die Zusammensetzung der Probe enthält. Das Verfahren erlaubt auch die mikroskopische Untersuchung einzelner Zellen. Die so gewonnenen Daten werden auf der digitalen Plattform weiterverarbeitet. Mit maschinellem Lernen und Künstlicher Intelligenz werden danach völlig neue Wege der Analyse möglich.

LIFT: Laserinduzierter Transfer lebender Zellen

In der Anlage zum laserinduzierten Transfer wird die Probe zunächst optisch analysiert. Zum Beispiel können so Zellen identifiziert werden, die ein bestimmtes Protein produzieren. In einem zweiten Schritt werden diese Zellen mit dem Laser auf eine handelsübliche Mikrotiterplatte transferiert. Laser-Induced Forward Transfer (LIFT) heißt das Verfahren, bei dem eine dünne Absorberschicht, vorwiegend aus Wasser, auf dem Träger mit einem Laserpuls verdampft wird. Die kleine Dampfblase erzeugt dabei einen Jet, der eine kleine Menge Flüssigkeit zusammen mit der ausgewählten Zelle auf eine gegenüberliegende Mikrotiterplatte überträgt. Genutzt wird dafür ein Laser im mittleren Infrarotbereich, so dass keine Metallschichten für die Laserabsorption mehr nötig sind.

Medikamente kostensparend und effizient entwickeln

Der automatisierte OptisCell-Prozess verkürzt die Entwicklungszeit von Zelllinien, indem die Identifikation, Isolation und Selektion der Zellen direkt in einer Anlage stattfinden. Durch die einfache Integration von LIFTSYS® in nahezu jede biologische Werkbank bieten wir gegenüber konventionellen Verfahren eine schnelle und effiziente Alternative für eine präzise, zellschonende und kontaktfreie Zellsortierung. Die Zellen können anschließend für die Herstellung monoklonaler Zelllinien genutzt werden.

Wichtig ist dabei auch der ressourcenschonende Umgang mit den Proben: Anders als in Titrieranlagen fällt kein Totvolumen an, das LIFT-Verfahren lässt sich äußerst präzise einstellen.

Automatisierung für die pharmazeutische Forschung

Ein Anwendungsgebiet ist die medizinische und pharmazeutische Forschung. Für die Herstellung medikamentöser Wirkstoffe verspricht der Prozess eine deutlich verkürzte Prozesskette zur Herstellung von Biologika, also Proteinen, die durch Zellen hergestellt werden, welche in der Arzneimittelproduktion zunehmend an Bedeutung gewinnen. Am Fraunhofer ILT wird die Technologie LIFTSYS® kontinuierlich weiterentwickelt. Unser Hauptaugenmerk liegt auf der Kundenorientierung: Wie kann das System optimal an vorhandene Prozesse angepasst bzw. am besten in existierende Prozessketten eingebunden werden?

In Zukunft Testorgane drucken

Ein Blick in die Zukunft eröffnet noch eine Reihe weiterer Möglichkeiten: Via laserinduziertem Zelltransport lassen sich aus lebenden Zellen gewebeähnliche Strukturen aufbauen mit dem langfristigen Ziel, durchblutete Organstrukturen und schließlich ganze Organe zu drucken.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Thema Medizintechnik: Seite 39 und 72–76.

Weitere Informationen im Internet unter:

www.ilt.fraunhofer.de

UMWELT

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT



© jiri jura – stock.adobe.com.

SAUBERES WASSER DURCH HIGHTECH-FILTER

Gleich drei der nachhaltigen Entwicklungsziele (Sustainable Development Goals) der Vereinten Nationen setzen sauberes Wasser voraus. Aber selbst in den hochentwickelten Industrienationen ist das Wasser von Mikroplastik bedroht. Denn herkömmliche Filter können nicht alle Kunststoffpartikel zurückhalten. Im Projekt SimConDrill wurde jetzt eine Technologie entwickelt, die mit winzigen laser-gebohrten Löchern eine Möglichkeit schafft, selbst kleinste Partikel effizient aus dem Abwasser unserer Großstädte zu filtern.

Mikroplastik – das sind Kunststoffpartikel kleiner als 5 Millimeter. Oft sind sie noch wesentlich kleiner und mit bloßem Auge kaum zu erkennen. Mikroskopische Partikel aus Peelings, Zahnpasta oder Handwaschmitteln gehören ebenso dazu wie der Abrieb von Autoreifen. Letzterer zählt schon zum sekundären Mikroplastik, da er aus größeren Teilen erst entsteht. Sekundäres Mikroplastik wird auch beim Waschen erzeugt – bis zu 2000 Kunstfasern aus Fleece-Kleidungsstücken, sagt das Bundesumweltamt, gelangen pro Waschgang über Fließgewässer in die Meeresumwelt. Normale Klärwerke können sie nicht zurückhalten.

Neue Wege in der Abwasserbehandlung

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF fördert seit 2019 das Forschungsprojekt SimConDrill, in dem fünf Projektpartner aus Industrie und Forschung gemeinsam einen Wasserfilter für Mikroplastik entwickeln. Erfahrung mit der Abwasserbehandlung hatte vor allem die Klaas-Filter GmbH. Dieser Projektpartner entwickelt seit Jahren auch für große Flüssigkeitsmengen spezielle Zyklonfilter. In so einem System wird die verschmutzte Flüssigkeit durch ein zyklisch anliegendes Druckdifferenzprofil an der Filteroberfläche, das mittels eines umlaufenden Rotors erzeugt wird, getrennt. Feste Bestandteile werden zurückgehalten und abgeführt. Auf der Vorderseite des Rotors wird das verschmutzte Wasser gegen die Filterfläche gedrückt und nach dem Passieren des Rotors werden zurückgehaltene Partikel durch eine Sogwirkung des Rotors vom Filter abgehoben. Wie fein der Filter arbeitet, hängt von der Größe der gebohrten Löcher ab.

Hier kommen das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und die LaserJob GmbH ins Spiel, die gemeinsam eine Technologie für das effiziente Laserbohren der Metallfolien in den Zyklonfiltern erarbeitet haben. Um auch kleine Partikel effizient abführen zu können, werden in großer Anzahl Löcher mit einem Durchmesser unter 10 Mikrometern in die fast 10 bis

20 Mal dickeren Metallfolien gebohrt. Die Herausforderungen sind dabei erheblich: Damit viel Wasser durch die Filter fließen kann, müssen Anzahl, Größe und Dichte der Bohrungen möglichst groß sein.

Preisgekrönte Technologie

Besonders geeignet für solche Bohraufgaben sind Lasersysteme mit ultrakurzen Pulsen im Femtosekundenbereich. Sie können auch im Mikrometerbereich sehr präzise Material abtragen. Außerdem sollte die Laserquelle eine möglichst hohe maximale Pulsenergie haben, damit die eigentliche Bearbeitungsgeschwindigkeit so hoch wie möglich ist. Bei der Steigerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit hilft eine weitere am Fraunhofer ILT entwickelte Schlüsselinnovation: das Multistrahilverfahren. Dabei wird ein Laserstrahl durch eine spezielle Optik in viele gleichartige Teilstrahlen aufgeteilt. So können parallel über 100 Löcher gleichzeitig gebohrt werden, was die Bearbeitungsgeschwindigkeit signifikant erhöht. Für die Entwicklung einer Technologie, mit deren Hilfe sich die Teilstrahlen zusätzlich separat steuern lassen, erhielten die ILT-Forscherinnen und Forscher und die vier Industriepartner des Verbundprojekts MultiSurf im Oktober 2020 den Wissenschaftspreis des Stifterverbands für Verbundforschung.

Die Multistrahls-technologie erfordert allerdings mehr als eine Strahlmatrix, die über die Materialoberfläche bewegt wird. Der hundertfache Energieeintrag auf so engem Raum würde die Metallfolie schmelzen lassen. Um alle Prozessparameter möglichst gut aufeinander abzustimmen und geeignete Bearbeitungsstrategien auszuwählen, kombinieren die Forschenden im Projekt SimConDrill eine am Fraunhofer ILT entwickelte Prozesssimulation und die Optimierungssoftware der OptiY GmbH. Außerdem garantiert ein gemeinsam mit der Lunovu GmbH entwickeltes Messsystem schließlich die Qualitätssicherung des Laserbohrprozesses, um zu gewährleisten, dass alle Löcher durchgebohrt sind und der Wasserdurchsatz nicht reduziert wird.

Serienproduktion für verschiedene Anwendungen

Das Forschungsprojekt SimConDrill ist vorerst bis Juni 2021 geplant. Schon jetzt können Löcher mit einem Durchmesser von 10 Mikrometern in Metallfolien von 200 Mikrometern Dicke gebohrt werden. In einem nächsten Schritt soll der finale Prototyp hergestellt und seine Funktion anhand von Testflüssigkeiten validiert werden.

In Zukunft gibt es gleich eine Reihe verschiedener Anwendungsmöglichkeiten. Obwohl das Filtermodul für Klärwerke entwickelt und getestet wird, sind ebenso mobile Anwendungen für Industrieabwasser oder in Privathaushalten denkbar. Auch die Reinigung von Ballastwasser bietet großes Potenzial. Ein Rotor sorgt dafür, dass der SimConDrill-Filter nicht verstopft und somit kein Wegwerffilter ist. Das separierte Mikroplastik kann aus dem Zyklonfilter herausgeführt und anschließend recycelt oder fachgerecht entsorgt werden. Damit bietet das Projekt SimConDrill eine neue und nachhaltige Lösung für die Mikroplastikbelastung in unserem Abwasser.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Thema Umwelt: Seite 40, 45, 58, 80 und 81.
Wissenschaftspreis des Stifterverbands: Seite 15.

Weitere Informationen im Internet unter:

www.ilt.fraunhofer.de

QUANTENTECHNOLOGIE

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT



PHOTONENQUELLEN UND OPTISCHE KOMPO- NENTEN FÜR NEUE QUANTENTECHNOLOGIEN

Die Photonik ist ein Schlüssel für neuartige Anwendungen auf quantentechnologischer Basis – beispielsweise für Quantencomputer, -internet oder -messtechnik. Gemeinsam mit deutschen und internationalen Spitzenforschern entwickeln die Wissenschaftler des Fraunhofer ILT ein breites Portfolio von Lösungen für neue Quantentechnologien. Dazu zählen neben Lasern und Fasertechnologie auch parametrische Photonquellen und Frequenzkonverter sowie integrierte optische Komponenten und Packagingverfahren.

Im Rahmen der sogenannten zweiten Quantenrevolution werden neue Technologien entwickelt, die sich fundamentale Eigenschaften der Quantenphysik zunutze machen. Dabei sind die Anforderungen an Präzision, Komplexität, Individualität oder Kompaktheit von Systemkomponenten sehr hoch. Erforderlich sind Lösungen, die sich später auch industriell umsetzen lassen.

Vor diesem Hintergrund erforschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ILT quantenphysikalische Effekte und wie sich diese für neuartige Anwendungen nutzen lassen. Sie entwickeln Laser, laserbasierte Verfahren und Prozesstechnik als Basis für die Herstellung von Quantenmaterialien und -komponenten sowie Design und Hardware für Quantensysteme. Zu nennen sind hier Komponenten wie Wellenleiter, Koppler und Filter sowie Einzelphotonen- und Photonenpaarquellen mit hohen Signal-Rausch-Verhältnissen

und Frequenzkonverter, die die Quanteneigenschaften erhalten. Durch die enge Kooperation u. a. mit den Lehrstühlen für Lasertechnik LLT und für Technologie Optischer Systeme TOS der RWTH Aachen University steht ein fundamentales Verständnis der zugrundeliegenden Wechselwirkungseffekte zur Verfügung, das für eine präzise Kontrolle von Quantenzuständen notwendig ist. Zudem bestehen langfristig angelegte Kooperationen etwa mit dem Forschungszentrum Jülich oder dem niederländischen Forschungszentrum QuTech.

Quantenimaging

Die Bildgebung mit bisher ungenutzten Wellenlängen ist z. B. für die Biologie, Medizin- oder Messtechnik interessant: Beim Quantenimaging werden nichtklassische Photonenzustände genutzt, um die Grenzen heutiger Sensortechnik zu überwinden. So sind u. a. Wellenlängen im mittleren Infrarot (MIR) – dem sog. »Fingerprint-Bereich« – interessant, wo viele Stoffe charakteristische Absorptionslinien aufweisen, aber geeignete Detektoren technisch aufwendig und durch eine geringe Empfindlichkeit limitiert sind. Der Einsatz verschränkter Photonenpaare ermöglicht nun die Trennung von Interaktions- und Detektionswellenlänge. Ein Photon des Paares wechselwirkt mit einer Probe, während das andere detektiert wird, dabei aber Informationen über die Interaktion des Partners preisgibt. Auf diese Weise lassen sich hochempfindliche Siliziumdetektoren für die Auswertung der Bildinformation nutzen.

Das Fraunhofer ILT entwickelt parametrische Photonquellen für Imaginganwendungen im MIR-Bereich. Genutzt werden z. B. periodisch gepolte Kristalle, gepumpt mit Halbleiterscheibenlasern bei 532 nm, die bereits Messwellenlängen im Bereich von 1,5 bis 4,5 μm und etwa 100.000.000 verschränkte Photonenpaare pro Sekunde erzeugen. Diese Photonquellen lassen sich in einem Interferometeraufbau als bildgebendes System nutzen. Im nächsten Schritt werden Methoden zur Bilderfassung mit optimierter Abbildungsqualität entwickelt.

Auch für die Fertigungsmesstechnik arbeitet das Fraunhofer ILT an neuen Lösungen. Hier ist die Kombination der Optical Coherence Tomography (OCT) mit dem Quantenimaging von besonderem Interesse. Dabei lässt sich die OCT-Methode in ein Quanteninterferometer integrieren, z. B. zur Detektion innenliegender Fehlstellen und Volumeneigenschaften.

Quantencomputing und Quanteninternet

Quantencomputer bieten die Chance, hochkomplexe Berechnungen in kürzester Zeit auszuführen und die Informationstechnologie zu revolutionieren. In einem Quanteninternet lassen sich zukünftig mehrere Quantencomputer sicher verbinden und neue Technologien wie das verteilte Quantencomputing nutzen.

Im DFG-geförderten Exzellenzcluster »Matter and Light for Quantum Computing« (ML4Q) arbeitet das Fraunhofer ILT zusammen mit anderen Forschungsinstitutionen aus NRW an Technologien für Quantencomputer. Langfristiges Ziel sind Architekturen, in denen fehlertolerante Quantencomputer modular realisiert und photonisch gekoppelt sind. Intrinsisch emittieren und absorbieren die dabei genutzten Qubits Photonen mit unterschiedlichen Wellenlängen. Für die Verbindung werden u. a. Quantenfrequenzkonverter (Quantum Frequency Converter, QFC) benötigt, die die Wellenlängen verschiedener Qubits ineinander überführen.

Einen Forschungsschwerpunkt am Fraunhofer ILT bildet die Entwicklung effizienter und rauscharmer QFC für die Anbindung von Qubits an das optische Telekommunikationsband, womit sich Quantencomputer zukünftig in langreichweitigen Glasfasernetzwerken verbinden lassen. Die Zielwellenlängen für eine verlustarme Übertragung liegen hier im Bereich zwischen 1500 und 1600 nm.

Solche Konverter entwickelt das Fraunhofer ILT etwa im Rahmen des Fraunhofer-ICON-Projekts »QFC-4-1QID«. Dabei handelt es sich um Schlüsselkomponenten für die Demonstration des ersten Quanteninternets, für das im Jahr 2022 Qubits in Delft, Leiden, Den Haag und Amsterdam mittels Glasfasern verbunden werden.

Integrierte Quantenphotonik

Mit laserbasierten Bearbeitungsverfahren – darunter die Mikro- und Nanostrukturierung mit Ultrakurzpulslasern (UKP-Lasern) oder das selektive Laserätzen (Selective Laser-induced Etching SLE) – werden am Fraunhofer ILT Strukturen und Bauteile für den Bereich der integrierten Quantenphotonik erzeugt. Die Oberflächen oder Materialvolumina von Materialien wie Diamant, Siliziumcarbid, Galliumarsenid oder Lithiumniobat lassen sich per Laser mit hoher räumlicher Präzision von unter einem Mikrometer selektiv bearbeiten.

Für entsprechende Schaltungen werden z. B. Oberflächenstrukturen oder integrierte Strukturen auf der Basis von Lithiumniobat hergestellt. Für optimierte Führungseigenschaften gilt es, die Oberflächenrauheit zu minimieren, sodass Streueffekte für die Führung von sichtbarem oder infrarotem Licht eine vernachlässigbare Rolle spielen. Die Kommunikation zwischen Qubits kann über mikroskopisch dimensionierte, wellenleitende Strukturen erfolgen, die integriert in Halbleitermaterialien durch lokale Brechungsindexänderungen mithilfe von UKP-Lasern hergestellt werden.

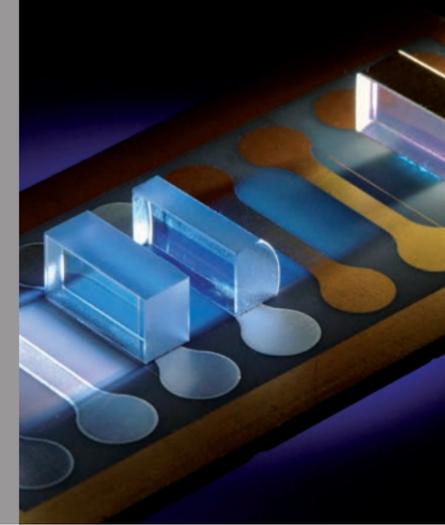
Ausgewählte Forschungsergebnisse

Thema Quantentechnologie: Seite 41, 42 und 98–100.

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.



Bundesministerium für Bildung und Forschung



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen



EUROPÄISCHE UNION



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft



EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum und Beschäftigung

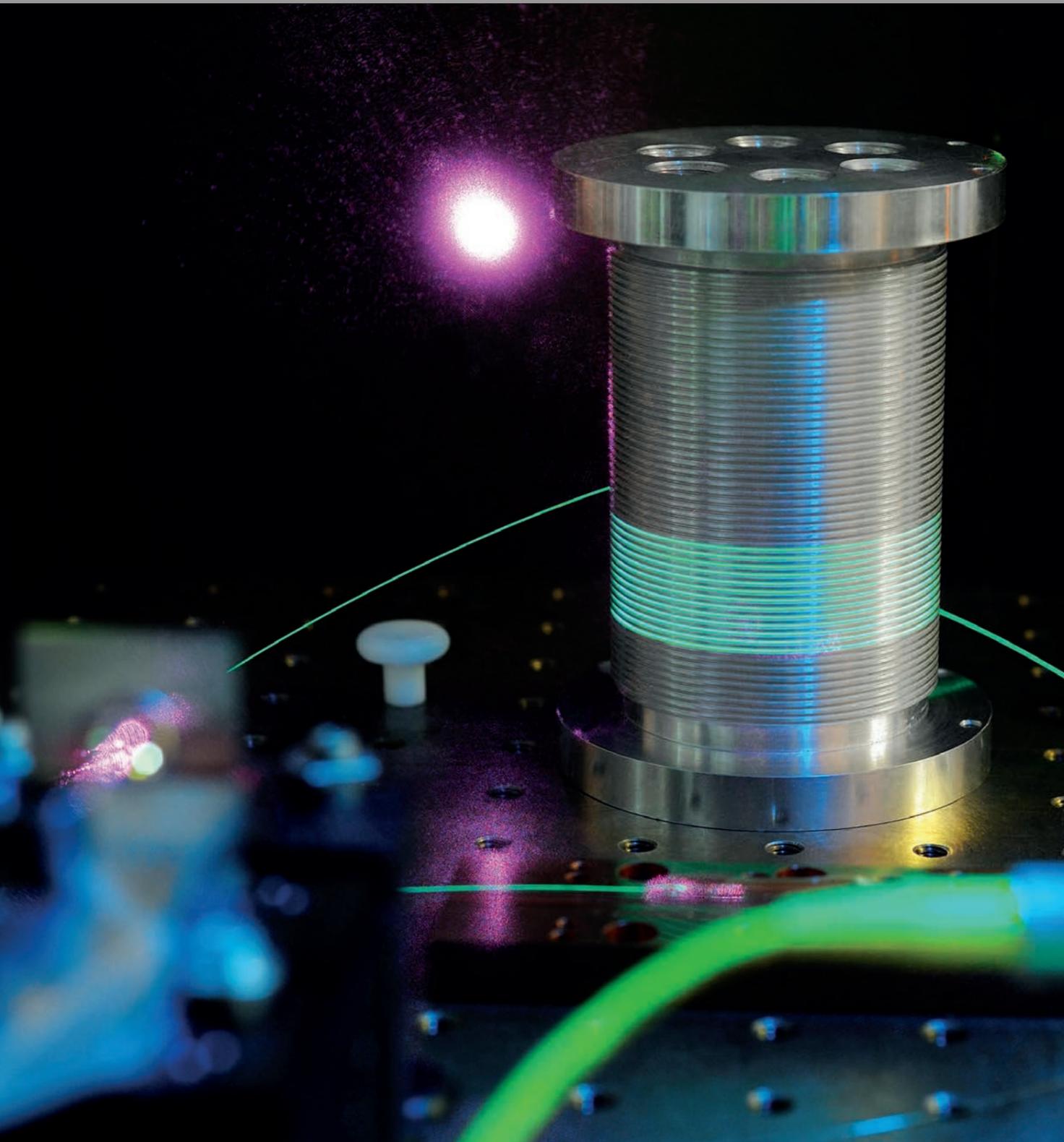


eit RawMaterials
Connecting matters



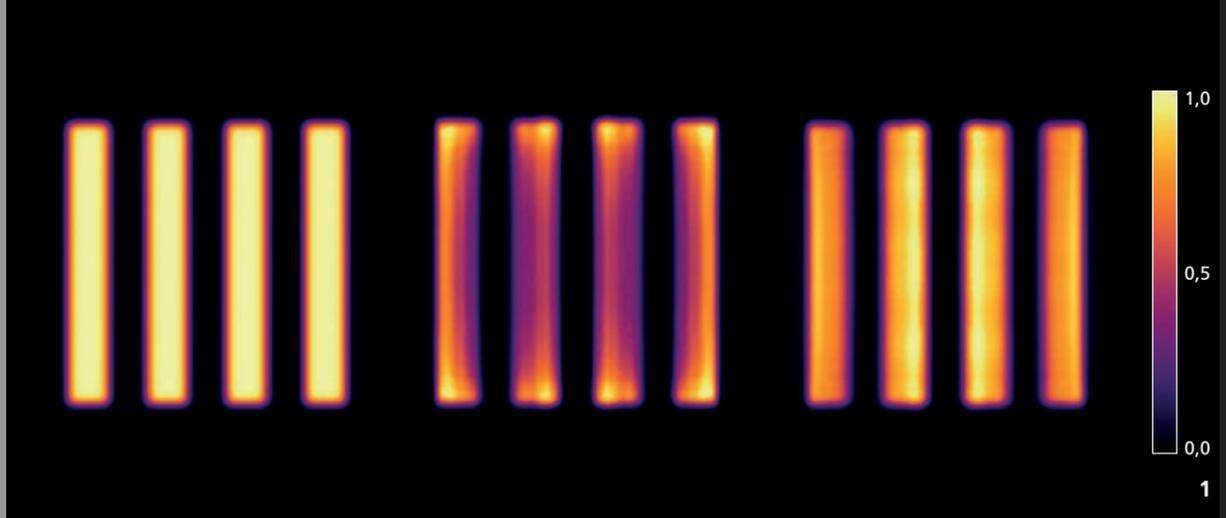
European Space Agency

LASER UND OPTIK



INHALT

Prozessangepasste Leistungsdichteverteilungen durch dynamische Laserstrahlformung und Verstärkung	36
Strahlführungssystem für Hochleistungs-Ultrakurzpulsstrahlung in der CAPS User Facility	37
Ytterbium-INNOSLAB-Ultrakurzpuls-Verstärkerplattform für multi-kW-Ausgangsleistungen	38
Gütegeschalteter INNOSLAB-Laserszillator bei 1,9 μm Emissionswellenlänge	39
Resonatorlängenregelung zur Frequenzstabilisierung von Laseroszillatoren	40
400 W INNOSLAB-Verstärker für ultrastabile Single Frequency Laser	41
LISA – Hochstabile Faserverstärker für die Gravitationswellendetektion	42
Entwicklung eines Ultraschall-Vakuumlötovens	43
Aktivlötprozess für Verzögerungsplatten	44
MERLIN – Critical Design Review (CDR) abgeschlossen	45



PROZESSANGEPASSTE LEISTUNGSDICHTEVERTEILUNGEN DURCH DYNAMISCHE LASERSTRAHLFORMUNG UND VERSTÄRKUNG

Aufgabenstellung

Die Leistungsdichteverteilung (LDV) des Laserstrahls beeinflusst als wesentlicher Prozessparameter signifikant das Bearbeitungsergebnis laserbasierter Bearbeitungsverfahren. Insbesondere prozessangepasste LDVs ermöglichen eine deutliche Erhöhung der Bearbeitungsgeschwindigkeit und -qualität. Änderungen der Prozessparameter oder der lokalen Geometrie des Werkstücks erfordern jedoch oftmals eine dynamische Anpassung der LDV, um z. B. konstante Bearbeitungsergebnisse zu erzielen.

Vorgehensweise

Bei der dynamischen Laserstrahlformung für die Lasermaterialbearbeitung besteht ein Zielkonflikt bezüglich der notwendigen Laserleistung und der benötigten Anzahl von Freiheitsgraden. Dynamische Strahlformungselemente wie Liquid Crystal on Silicon (LCoS) und Digital Micromirror Devices (DMD) mit einer ausreichend hohen Anzahl von Freiheitsgraden ($\gg 100$) sind bisher auf Laserleistungen < 200 W begrenzt. Zur Umgehung dieses Zielkonflikts kann ein Laserstrahl zunächst

1 Beispielhafte Ziel-LDV (links) und die LDV nach Durchgang durch einen idealen Verstärker ohne (Mitte) bzw. mit (rechts) Kompensation von nichtlinearen Effekten. Alle LDVs sind normiert.

bei geringen Laserleistungen geformt und erst anschließend auf die Zielleistung verstärkt werden. Nichtlineare Effekte in optischen Verstärkern führen in der Regel jedoch zu einer signifikanten Veränderung der LDV im Verstärker und in der Zielebene. Durch eine simulative und/oder messtechnische Berücksichtigung dieser Veränderungen wird die LDV in der Zielebene iterativ angepasst, bis die Ziel-LDV erreicht wird. Dabei kann auch der Einfluss beliebiger weiterer optischer Elemente berücksichtigt und kompensiert werden.

Ergebnis

Der entwickelte Ansatz zur Berücksichtigung der nichtlinearen Effekte ermöglicht die Nutzung moderner, hochdynamischer Strahlformungselemente für Anwendungen, deren benötigte Laserleistung weit über den Zerstörschwellen dieser Strahlformungselemente liegt. Der Ansatz und die entwickelten Softwaretools sind dabei für nahezu beliebige Verstärkergeometrien und optische Systeme anwendbar.

Anwendungsfelder

Mit der Möglichkeit zur hochdynamischen Laserstrahlformung auch bei hohen Laserleistungen (> 200 W) wird die Voraussetzung geschaffen, die Produktivität und/oder die Qualität einer Vielzahl von laserbasierten Verfahren zu erhöhen.

Die Arbeiten werden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

Ansprechpartner

Oskar Hofmann M. Sc., DW: -395
oskar.hofmann@tos.rwth-aachen.de

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



STRAHLFÜHRUNGSSYSTEM FÜR HOCHLEISTUNGS-ULTRAKURZPULSSTRAHLUNG IN DER CAPS USER FACILITY

Aufgabenstellung

Im Fraunhofer Cluster of Excellence Advanced Photon Sources CAPS werden Anwendungen untersucht, für deren wirtschaftlichen Einsatz ultrakurze Laserpulse mit einer hohen Pulsleistung und gleichzeitig eine hohe mittlere Leistung erforderlich sind. Beispiele sind die Materialbearbeitung und die Erzeugung kohärenter Strahlung im XUV-Bereich. In der CAPS User Facility soll die Laserstrahlung umschaltbar von zwei Strahlquellen in drei Anwenderlabore geführt werden. Bei den extremen Laserleistungen ist dies aus Gründen der Lasersicherheit und zum Schutz der Optiksyste me nur in einer geschlossenen Verrohrung möglich. Sowohl eine Erwärmung als auch Ablationsprozesse durch Streustrahlung müssen soweit wie möglich unterdrückt werden.

Vorgehensweise

In der CAPS User Facility stehen eine kommerziell verfügbare 1 kW Ultrakurzpuls (UKP)-Quelle sowie eine experimentelle UKP-Quelle mit bis zu 10 kW mittlerer Leistung bei Pulsleistungen bis zu einigen 100 GW zur Verfügung. Das Strahlverteilungssystem versorgt derzeit zwei Anwenderlabore mit Laserstrahlung dieser Quellen. Sowohl auf der Strahlquellen- als auch auf Anwenderseite können so kurzfristige Änderungen im Rahmen der experimentellen Aufgabenstellung vorgenommen werden. Zwischen den Strahlquellen auf der Eingangsseite und den Auskopplungen auf der Anwenderseite kann über das Verschieben von Spiegeln umgeschaltet werden.

Die eigentliche Strahlführung erfolgt durch ein verrohrtes Spiegelsystem, welches die Lasersicherheit gewährleistet und sicherstellt, dass die Laserstrahlung nicht durch Luftfluktuationen gestört wird. Um Ablationen durch Streulicht zu vermeiden, wurde eine innere Verrohrung aus Glas verwendet, die von einer äußeren Metallverrohrung umgeben ist. Da die Laserstrahlung auch über Rettungswege geführt werden muss, sind die entsprechenden Teile der Verrohrung lösbar realisiert; bei einer Öffnung des Rohrsystems wird die Strahlquelle automatisch abgeschaltet.

Ergebnis

In den CAPS-Anwenderlaboren können UKP-Prozesse mit zwei unterschiedlichen Strahlquellen evaluiert werden. Mittlere Leistungen im kW-Bereich und eine maximale Pulsenergie von etwa 10 mJ werden bereitgestellt.

Anwendungsfelder

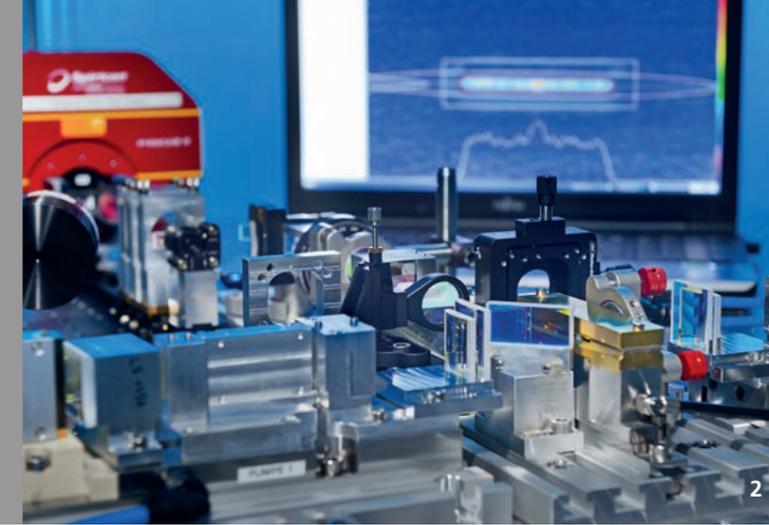
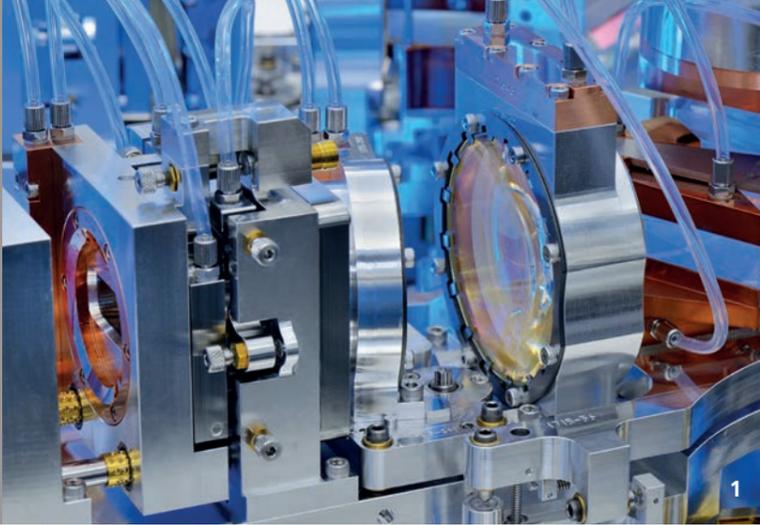
Das entwickelte Strahlverteilungssystem ist überall dort einsetzbar, wo eine schaltbare räumliche Trennung zwischen Strahlquelle und Anwendung erforderlich oder gewünscht ist.

Ansprechpartner

Dr. Christoph Meinhardt, DW: -8081
christoph.meinhardt@ilt.fraunhofer.de

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

2 Teilgeöffnete Verrohrung der Strahlführung.



YTTERBIUM-INNOSLAB-ULTRA-KURZPULS-VERSTÄRKER-PLATTFORM FÜR MULTI-KW-AUSGANGSLEISTUNGEN

Aufgabenstellung

Ultrakurzpulsstrahlquellen basierend auf Yb:YAG als aktivem Medium erreichen gegenwärtig Ausgangsleistungen um 1 kW. Eine Skalierung der Ausgangsleistung um bis zu einer Größenordnung verspricht die Erschließung neuartiger Anwendungsfelder.

Vorgehensweise

Die am Fraunhofer ILT existierende Ytterbium-INNOSLAB-Verstärkerplattform ist für ca. 500 W extrahierte Leistung pro Verstärkerstufe ausgelegt und erreicht durch Kaskadierung mehrerer Stufen Ausgangsleistungen > 1 kW. Es wird eine völlig neue Verstärkerplattform entwickelt, die für > 1500 W extrahierte Leistung pro Verstärkerstufe ausgelegt ist. Durch Kaskadierung dieser Verstärkerstufen sollen Ausgangsleistungen bis zu 5 kW erreicht werden.

Ergebnis

Wesentliche Kernbausteine der INNOSLAB-Verstärkerarchitektur wurden grundlegend neu- bzw. weiterentwickelt:

- Eine neue vom Fraunhofer ILT entwickelte und patentierte modulare Pumpanordnung wurde implementiert, bei der die Strahlung von bis zu sechs Modulen geometrisch im Kristall überlagert wird.

- Das Slab-Kristall-Package wurde für die gesteigerte Ausgangsleistung angepasst und die zur thermischen Kontaktierung benötigte Löttechnologie erfolgreich weiterentwickelt.
- Anordnungen zum High-Gain-Betrieb der Verstärkermodule, die Ausgangsleistungen > 1,5 kW bei Seedleistungen < 50 W ermöglichen, wurden entworfen, simuliert und befinden sich in der experimentellen Erprobung.

Anwendungsfelder

Die skalierten UKP-Laserparameter versprechen Anwendungen in der Hochratenstrukturierung, beispielsweise im Bereich der Elektromobilität, sowie in der lasergetriebenen Erzeugung von Sekundärstrahlung.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wird im Rahmen des Fraunhofer Cluster of Excellence Advanced Photon Sources CAPS gefördert. Die Strahlquelle wird Partnern aus Industrie und Forschung in der CAPS-Applikationsinfrastruktur für Untersuchungen und Experimente zur Verfügung gestellt.

Ansprechpartner

Jan Schulte M. Sc., DW: -8311
jan.schulte@ilt.fraunhofer.de

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

GÜTEGESCHALTETER INNOSLAB-LASEROSZILLATOR BEI 1,9 µM EMISSIONSWELLENLÄNGE

Aufgabenstellung

Im Rahmen des Fraunhofer-Max-Planck-Kooperationsprojekts DIVESPOT werden u. a. gepulste Laserstrahlquellen im nahen Infrarot (IR-B) bei 1,9 bis 2,9 µm Emissionswellenlänge entwickelt. Zum effizienten optischen Pumpen des Verstärkungsmediums Cr:ZnSe werden kurze hochenergetische Laserpulse bei 1,9 µm verwendet. Diese sind notwendig, da die Lumineszenzlebensdauer von Cr:ZnSe bei Raumtemperatur nur wenige µs beträgt.

Vorgehensweise

Die gepulste Pumplichtstrahlung mit einer Wellenlänge von 1,9 µm wird mit einem gütegeschalteten Festkörperlaser erzeugt. Hierbei wird ein INNOSLAB-Laseroszillator mit Tm:YLF als Verstärkungsmedium verwendet. Dazu wurde ein angepasstes Oszillatordesign mit resonatorinterner Linse entwickelt, das die Verwendung eines akusto-optischen Modulators als Güteschalter erlaubt. Der slabförmige Laserkristall wurde in eine optimierte Wärmesenke mittels eines Lötverfahrens eingebaut, um eine sehr gute und homogene Wärmeabfuhr zu erreichen. Das Tm:YLF-Lasermedium wird beidseitig mit hochbrillanten Laserstacks bei 793 nm gepumpt.

Ergebnis

Es konnte ein gütegeschalteter INNOSLAB-Oszillator bei einer Emissionswellenlänge von 1,9 µm realisiert werden. Dabei wurde bei einer Pulsrepetitionsrate von 1 kHz eine Pulsenergie von mehr als 30 mJ erzielt. Bei einer Repetitionsrate von 3 kHz wurden 22 mJ erreicht, was einer mittleren optischen Ausgangsleistung von 66 W entspricht. Die optisch-optische Effizienz betrug bis zu 20 Prozent. Die Pulslänge war knapp 600 ns. Das Strahlprofil hatte dabei in einer Strahlachse eine tophatförmige Verteilung ($M^2 \sim 200$) und in der dazu orthogonalen Strahlachse eine gaußförmige Verteilung ($M^2 \sim 1,3$).

Anwendungsfelder

Die entwickelte Laserstrahlquelle eignet sich zum optischen Pumpen des Verstärkungsmediums Cr:ZnSe durch ihre Strahlverteilung insbesondere für slabförmige Verstärker. Durch die hohe Absorption von Laserstrahlung bei 1,9 µm in Wasser eignet sich die Laserstrahlquelle zur Bearbeitung von Hart- und Weichgewebe in der Medizintechnik. Nach einer Symmetrisierung des Strahlprofils können verlustarme Transportfasern für den Strahltransport eingesetzt und damit eine einfache Integrierbarkeit in Bearbeitungssysteme erreicht werden.

Das Projekt DIVESPOT wurde im Rahmen des Fraunhofer-Max-Planck-Kooperationsprogramms gefördert.

Ansprechpartner

Benjamin Erben M. Sc., DW: -657
benjamin.erben@ilt.fraunhofer.de

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



RESONATORLÄNGEN- REGELUNG ZUR FREQUENZ- STABILISIERUNG VON LASEROSZILLATOREN

Aufgabenstellung

Für die Detektion von Gasen mittels LIDAR-Verfahren sind im Allgemeinen Laserstrahlquellen mit hohen Anforderungen an die spektralen Eigenschaften erforderlich. Für luft- und satellitengestützte LIDAR-Instrumente werden oft gepulste Oszillator-Verstärker-Anordnungen (MOPA) verwendet, die schmalbandige Lichtpulse mit hoher Frequenzstabilität emittieren. Dazu muss insbesondere der Oszillator stabilisiert werden, da dieser im Wesentlichen die spektralen Eigenschaften des MOPA bestimmt. Dies geschieht mittels einer Kopplung an einen hochstabilen, schmalbandigen Seedlaser, die eine Resonatorlängenregelung mit Genauigkeiten < 100 nm erfordert. Eine besondere Herausforderung stellen die Vibrationslasten im Flugbetrieb dar.

Vorgehensweise

In Zusammenarbeit mit der Firma Beratron GmbH wurden elektronische Schaltungen für mehrere Regelungsverfahren entwickelt:

- Klassisches Ramp-Fire
- Spektrale und zeitliche Stabilisierung zweier räumlich überlagerter MOPA mit festem zeitlichen Pulsabstand mittels Ramp-Fire

- Ramp-Delay-Fire zur zeitlichen Synchronisation des stabilisierten Oszillators zu einem externen Signal
- Cavity Dither zur piezoschonenden Regelung eines satellitengestützten Oszillators

Abhängig von den Umgebungsbedingungen und Anforderungen wurden in anderen Anwendungen das Pulsaufbauzeitverfahren und das Pound-Drever-Hall-Verfahren eingesetzt.

Ergebnis

Mit dem Ramp-Fire-Verfahren stabilisierte Laser sind erfolgreich im Flugbetrieb von Flugzeugen und Helikoptern eingesetzt worden. Das Ramp-Delay-Fire-Verfahren wurde unter experimentell simulierten Flugbedingungen ebenso wie das Cavity-Dither-Verfahren im Labormaßstab umgesetzt und steht für den Einsatz bereit. Je nach Anforderungen wird das bestgeeignete Verfahren oder eine Kombination mehrerer Verfahren eingesetzt.

Anwendungsfelder

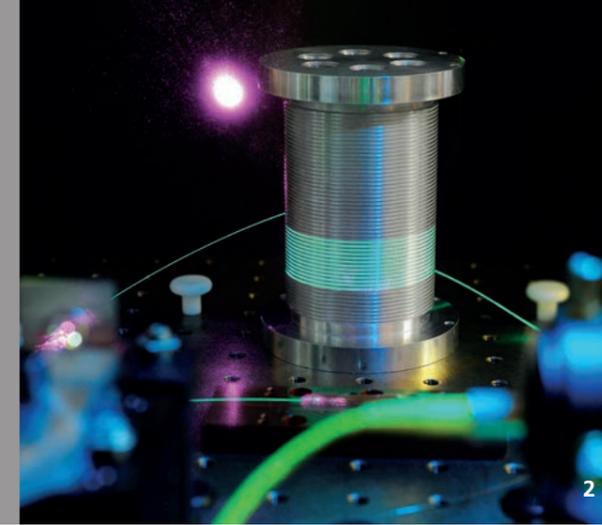
Die vorgestellten Ergebnisse wurden in einer Vielzahl öffentlich geförderter Projekte sowie bilateraler Industrieprojekte erarbeitet und umgesetzt. Anwendungsbeispiele sind z. B. die Detektion von Lecks in Pipelines, die Messung von Windgeschwindigkeiten sowie die Detektion von Treibhausgasen und Wasserdampf in der Atmosphäre.

Ansprechpartner

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

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

1 Elektroniken für die verschiedenen Regelungsverfahren.



400 W INNOSLAB-VER- STÄRKER FÜR ULTRASTABILE SINGLE FREQUENCY LASER

Aufgabenstellung

Ultrastabile Laserquellen werden in der Präzisionsinterferometrie eingesetzt. Die höchste Präzision in der Längenmessung wird derzeit in Gravitationswellendetektoren erreicht. Eine Möglichkeit, die Sensitivität dieser Detektoren weiter zu verbessern, besteht in der Skalierung der in die Überhöhungskavität des Interferometers eingespeisten Leistung.

Die derzeit verwendeten rauscharmen und schmalbandigen Hochleistungsstrahlquellen bestehen in der Regel aus einem nicht planaren Ringoszillator (NPRO) als Seedquelle und einer nachgeschalteten mehrstufigen Verstärkerkette basierend auf Nd:YVO₄-Stablasern. Der Stand der Forschung und Technik wird dargestellt durch eine 4-stufige Verstärkerkette und weitere vier Verstärkermodule, die optional als Linearverstärker oder als Ringoszillator angeordnet werden und eine Ausgangsleistung von bis zu 220 W erreichen.

Ziel der Arbeiten ist, die prinzipielle Eignung eines am Fraunhofer ILT entwickelten einstufigen INNOSLAB-Verstärkers zu untersuchen und Leistungswerte im Bereich von mehreren hundert Watt mit einem Eingangssignal im Watt-Bereich zu erreichen. Damit soll eine einfache und hocheffiziente Alternative zu den derzeitig verwendeten Multistabsystemen und auch zu Faserlasersystemen aufgezeigt werden.



Vorgehensweise

Die Ausgangsleistung eines schmalbandigen, rauscharmen NPRO-Lasersozillators wird durch einen am Fraunhofer ILT entwickelten, stabilisierten Faserlaserverstärker auf eine Leistung von mehreren Watt verstärkt und stellt damit das ultrastabile Eingangssignal zur Verfügung. Die Leistungsverstärkung erfolgt mit einem hocheffizienten in-Band-gepumpten Nd:YVO₄-INNOSLAB-Verstärker. Die Strahlung propagiert in sieben optimierten Einfachdurchgängen durch den beidseitig gepumpten Nd:YVO₄-Kristall.

Ergebnis

Mit Eingangsleistungen zwischen 1 W und 3 W wurde mit dem INNOSLAB-Verstärker eine Ausgangsleistung von mehr als 400 W mit einer hohen optisch-optischen Effizienz von mehr als 45 Prozent erreicht. In einem folgenden Schritt soll das Rauschverhalten des Verstärkersystems mit aktiver Regelung der Pumpdioden des Verstärkers zur Rauschunterdrückung untersucht werden.

Anwendungsfelder

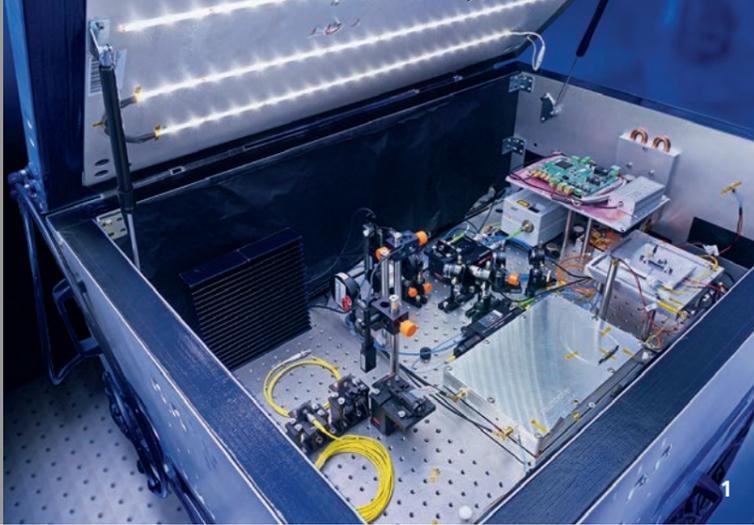
Neben der Präzisionsinterferometrie sind die erreichten Werte für Anwendungen wie die Kühlung von Atomen in Atomfallen oder auch als Strahlquelle für eine nachfolgende nichtlineare Frequenzkonversion sowie die kohärente Überlagerung mehrerer Strahlquellen interessant.

Ansprechpartner

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

2 Hochstabiler Single Frequency-Faserverstärker mit aktiver Faser.

3 Einstufiger 400 W NdYVO₄-Laserverstärker.



LISA – HOCHSTABILE FASERVERSTÄRKER FÜR DIE GRAVITATIONSWELLEN-DETEKTION

Aufgabenstellung

Für den zukünftigen weltraumbasierten Gravitationswellendetektor LISA (Laser Interferometer Space Antenna) wird ein schmalbandiger, linear polarisierter und hochstabiler Grundmodelaser mit einer Ausgangsleistung von > 2 W und einer Phasenmodulation bei $\pm 2,4$ GHz um die Zentralwellenlänge von 1064 nm benötigt. Im Rahmen eines Projekts der Europäischen Weltraumagentur ESA als Studie für die LISA-Mission wurde in einer ersten Phase vom Fraunhofer ILT gemeinsam mit Partnern ein leistungsstabiler Faserverstärker mit einer Ausgangsleistung von > 2 W entwickelt und aufgebaut. In der aktuellen Phase der Studie soll der Verstärker überarbeitet und hinsichtlich der Leistungsstabilität im niedrigen Frequenzbereich optimiert sowie die verbauten Komponenten für den Satelliteneinsatz getestet und qualifiziert werden.

Vorgehensweise

Zur Minimierung der verstärkten Spontanemission (ASE) und deren Einfluss auf die Leistungsstabilität des Systems wurden ein Redesign des Lasers durchgeführt und ein zweistufiger Faserverstärker aufgebaut. Dessen relatives Intensitätsrauschen (RIN) im Frequenzbereich von 10^{-5} Hz bis 10^5 Hz und die notwendige Modulation der Seitenbänder werden detailliert untersucht. Aufgrund der extrem hohen Stabilitätsanforderungen

¹ Thermische Einhausung des Faserverstärkers und des Messaufbaus zur Stabilisierung.

müssen beim Aufbau im Labor alle thermischen Einflüsse so weit wie möglich minimiert werden, sodass sowohl eine thermische Einhausung des Lasers selbst als auch des Messaufbaus notwendig sind.

Ergebnis

Der am Fraunhofer ILT aufgebaute hochstabile Faserverstärker mit einer spektralen Linienbreite unter 10 kHz bei 1064 nm erzeugt eine Ausgangsleistung von > 2 W. Leistungsanteile aufgrund nichtlinearer Effekte, insbesondere stimulierter Brillouin-Streuung (SBS) und ASE, sind minimiert. Zusätzlich werden ein Polarisationsgrad von 25 dB und eine sehr gute Strahlqualität mit Beugungsmaßzahl M^2 von 1,1 erreicht. Im gesamten Frequenzbereich erfüllt der Verstärker die Anforderung an die RIN, sodass, bis auf die in aktuellen Untersuchungen noch zu demonstrierende Phase Sideband Fidelity, alle geforderten Spezifikationen nachgewiesen werden konnten.

Anwendungsfelder

Der hochstabile und schmalbandige Faserverstärker kann neben dem Einsatz in weltraumbasierten und erdgebundenen Gravitationswellendetektoren mit Anpassung auch für die satellitengestützte Gravitationsfeldmessung, für das Kühlen und Fangen von Atomen sowie in Kommunikationsanwendungen verwendet werden.

Die Arbeiten werden 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

Dr. Oliver Fitzau, DW: -442
 oliver.fitzau@ilt.fraunhofer.de



ENTWICKLUNG EINES ULTRASCHALL-VAKUUM-LÖTOFENS

Aufgabenstellung

Bei der Montage optomechanischer Bauteile mit hohen Ansprüchen an Wärmeleitung, Robustheit, Langzeitstabilität und Ausgasungsfreiheit weisen Löttechnologien gegenüber Klebverfahren Vorteile auf. In Hochleistungslasern und Lasersystemen für den Einsatz in der Luft- und Raumfahrt kann die Löttechnologie vorteilhaft eingesetzt werden. Hierbei wird die Lötung der Komponenten derzeit mit zuvor aufgetragenen Vermittlerschichten unter Vakuum- oder Schutzgasatmosphäre durchgeführt.

Der Einsatz von Ultraschall bietet die Möglichkeit, Lote auf schwer benetzbare Werkstoffe ohne Haftvermittler aufzubringen. Zur Reduktion des Aufwands mit Haftvermittlerschichten soll ein Ofen zum Löten unter Vakuum- bzw. Schutzgasatmosphäre und gleichzeitiger Ultraschallunterstützung entwickelt werden.

Vorgehensweise

Hierzu werden vakuumtaugliche Geometrien und Werkstoffe für die mechanischen und elektrischen Ultraschallkomponenten getestet. Sie sollen dauerhaft Temperaturen bis 250 °C aushalten, aber dennoch einen gleichmäßigen Frequenzgang über den gesamten Temperaturbereich von 25 °C bis mindestens 250 °C aufweisen. Darüber hinaus werden Werkstoffe für die Heizbacken des Ofens untersucht, welche eine hohe Wärmeleitfähigkeit, geringe Wärmekapazität und eine effiziente Leitung des Ultraschalls in die optomechanischen Bauteile aufweisen.

Ergebnis

Mit dem entwickelten Ofen können optomechanische Bauteile von ca. 100 x 50 x 100 mm³ (LxBxH) bei einer maximalen Temperatur von 350 °C mit einer Genauigkeit von ± 1 °C gelötet werden. Drücke bis 5×10^{-6} mbar oder verschiedenste Schutzgasatmosphären können erzeugt werden. Die Ultraschalleistung liegt bei maximal 30 W und weist über den Temperaturbereich von 25–350 °C eine Frequenzresonanz von 34 kHz mit einer Stabilität von $\pm 0,8$ Hz auf. Der Ofen ermöglicht aufgrund der vielen Einstellungsoptionen für Temperatur, Druck, Atmosphäre und Ultraschalleistung die Lötung der meisten Weichlote.

Anwendungsfelder

Unbeschichtete Kristalle und Optikkomponenten für Festkörperlaser können mithilfe des neu entwickelten Ofens gelötet werden. Anschließend findet eine vergleichende Untersuchung von konventionellen und ultraschallunterstützten Verbindungen statt.

Ansprechpartner

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

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

² Ultraschalllöten einer Optik.



AKTIVLÖTPROZESS FÜR VERZÖGERUNGSPLATTEN

Aufgabenstellung

Lötverfahren werden heute bereits zur Montage optischer Komponenten insbesondere bei Weltraumapplikationen, wie im Projekt MERLIN, angewendet. Das Aktivlöten entwickelt sich dabei zu einer Technologie, die eine belastbare Verbindung von speziellen optischen Komponenten, wie z. B. Verzögerungsplatten, gewährleisten kann. In Verbindung mit den am Fraunhofer ILT etablierten Methoden aus dem Bereich Packaging können einstellbare, hochstabile Halter für Verzögerungsplatten hergestellt werden.

Vorgehensweise

Das Aktivlötvorgang dient hier zur direkten Fixierung von $\lambda/2$ - bzw. $\lambda/4$ -Verzögerungsplatten auf einem metallischen Gegenstück. Der Lötprozess erfordert dabei keine aufwendigen Vorbehandlungen der optischen Substrate, wie beispielsweise das Aufbringen haftvermittelnder Beschichtungen. Prozessschritte wie das Applizieren von Flussmittel oder die Erzeugung einer evakuierten Umgebung zur Steigerung der Benetzung der Fügepartner mit Lot entfallen ebenfalls. Außerdem kann die Prozessierung ohne Zuhilfenahme von komplexen Lötanlagen

zügig durchgeführt werden. Optimierte mechanische Schnittstellen führen schließlich zu einer Einzelkomponente, die in ein bestehendes Lasersystem integriert werden kann. Diese kann im Bedarfsfall justiert oder auch ausgetauscht werden.

Ergebnis

Das Aktivlötvorgang wurde in Kombination mit optimierten mechanischen Schnittstellen zur Montage von Verzögerungsplatten eingesetzt. Die Qualität der montierten Phasenplatten wurde anhand von thermischen und mechanischen Wechselbelastungen überprüft. Die beobachteten Spannungszustände im optischen Substrat blieben im Akzeptanzbereich. Schädigungen oder Dejustagen der Verzögerungsplatten wurden nicht beobachtet.

Anwendungsfelder

Die Montage von optischen Komponenten wird oft durch deren mechanische Eigenschaften oder spezielle Geometrie limitiert. Das am Fraunhofer ILT entwickelte Verfahren ermöglicht die Befestigung von besonders dünnen Substraten mit richtungsabhängigen, thermischen Dehnungskoeffizienten. Der Verzicht auf teure Vorbehandlungsprozesse der optischen Substrate bei dieser Montagetechnologie ermöglicht wirtschaftliche industrielle Anwendungen, die robuste, temperatur- und langzeitstabile Einzelkomponenten erfordern.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Matthias Winzen, DW: -173
matthias.winzen@ilt.fraunhofer.de

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

1 Verzögerungsplatte im Halter.



MERLIN – CRITICAL DESIGN REVIEW (CDR) ABGESCHLOSSEN

Aufgabenstellung

Das Fraunhofer ILT entwickelt und baut für die deutsch-französische Klimamission MERLIN (Methane Remote Sensing LIDAR Mission) die Laser Optical Bench, das Kernelement der Laserstrahlquelle. Diese bildet zusammen mit dem von Airbus entwickelten Druckgehäuse sowie den Kühl-, Versorgungs- und Steuereinheiten den Lasertransmitter.

Ziel der Mission ist die satellitengestützte Messung des Treibhausgases Methan in der Erdatmosphäre. Dabei geben die von der Erdoberfläche zurückgestreuten Laserpulse Aufschluss über den Methangehalt der darüber liegenden Atmosphärensäule. Die Erzeugung der Laserpulse mit den geforderten Eigenschaften ist hierbei nicht die einzige Herausforderung: Das komplexe und kompakte Lasersystem muss unempfindlich gegen starke Vibrations- und Temperaturwechsellasten sein. Um eine mehr als dreijährige Lebensdauer in einem geschlossenen Gehäuse sicherzustellen, ist es zur Vermeidung von Kontamination erforderlich, auf ausgasende Materialien zu verzichten.

Vorgehensweise

Das finale, detaillierte Design der Laser Optical Bench wurde ausgearbeitet und die Widerstandsfähigkeit des Systems gegenüber allen auftretenden Umweltlasten mit einer umfangreichen Analysekampagne überprüft. Ebenso wurde die Laserperformance für alle auf dem Satelliten auftretenden Betriebszustände und Lastszenarien analysiert. Parallel hierzu wurde die Beschaffung der Komponenten mit langer Lieferzeit geplant und durchgeführt.

Ergebnis

Das Design umfasst neben den optischen Elementen eine passive Kühlstruktur sowie Anordnungen zur Signal-, Hochstrom- und Hochspannungsübertragung für den Betrieb des Lasers. Sowohl zur elektrischen Kontaktierung als auch zur Befestigung der Optiken kommen Lötverfahren zum Einsatz, die robuste, ultrapräzise und kontaminationsfreie Verbindungen für eine lange Lebensdauer gewährleisten. Die Nachweise zur Widerstandsfähigkeit gegenüber den Umweltlasten und zur Performance konnten erbracht werden. Mit dem erfolgreichen Abschluss des CDR erfolgte die Bestätigung und Freigabe des Designs durch den Auftraggeber Airbus Defence and Space GmbH und das DLR Raumfahrtmanagement. Die Beschaffung von Komponenten ist weitgehend abgeschlossen und die erste Lasergrundplatte für die Integration der funktionalen Komponenten vorbereitet.

Anwendungsfelder

Die Modellphilosophie und das Montagekonzept lassen sich auf andere Laserstrahlquellen übertragen. Dies trifft sowohl auf Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt als auch in der Industrie zu, wo eine hohe Zuverlässigkeit und Robustheit Schlüsselfaktoren sind. 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.

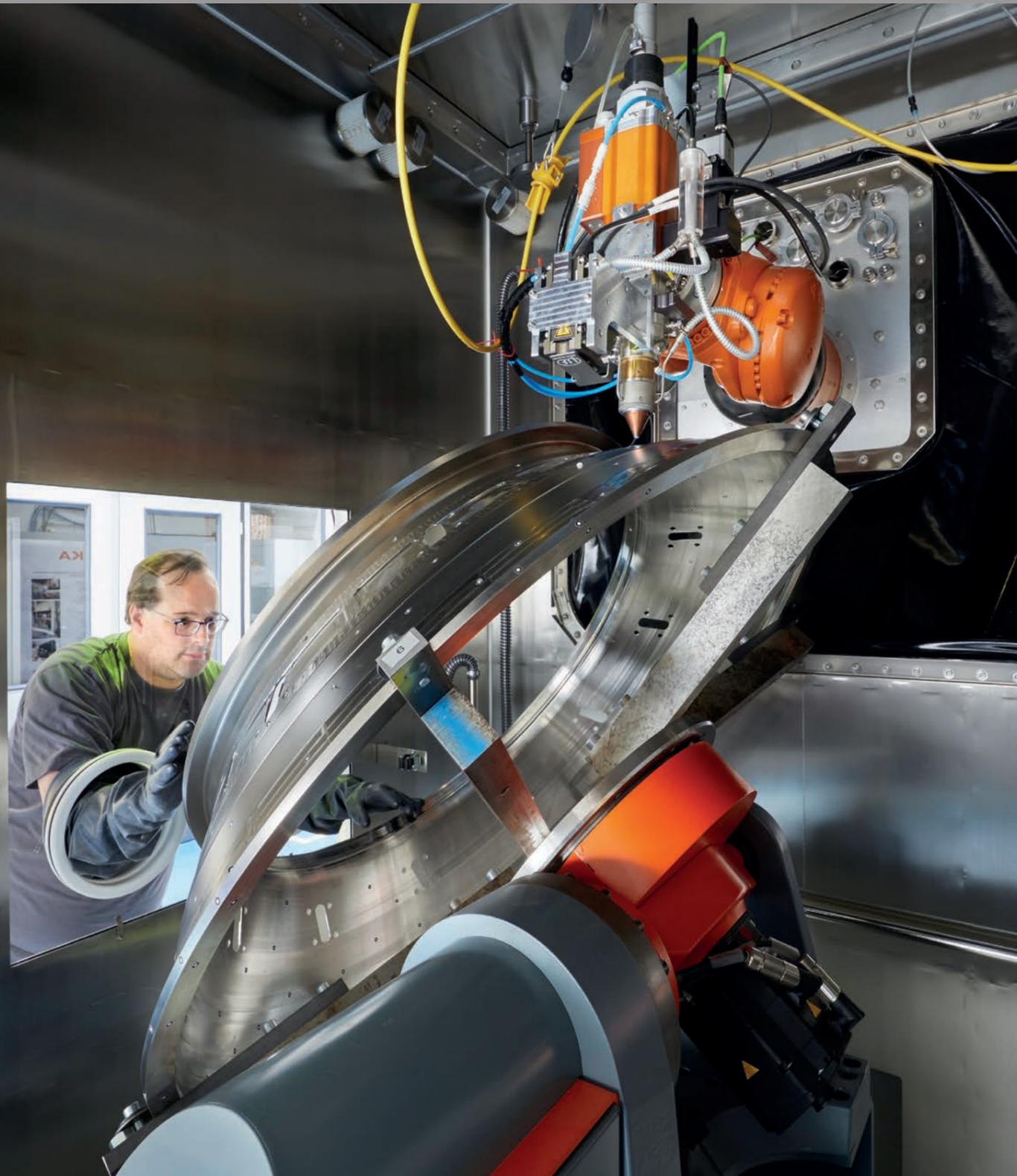
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Bastian Gronloh, DW: -629
bastian.gronloh@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann, DW: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

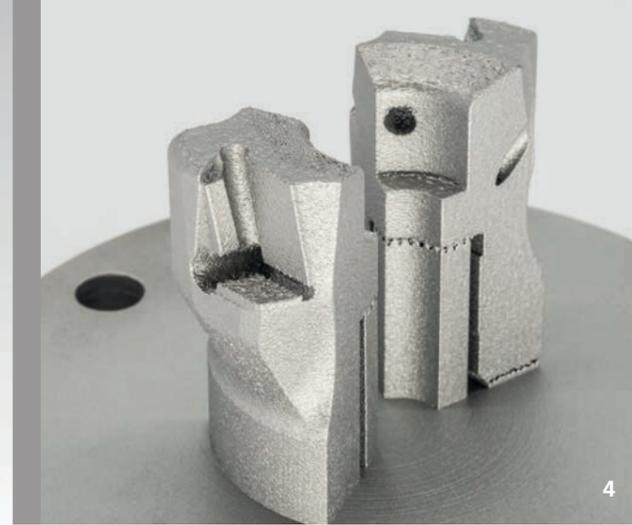
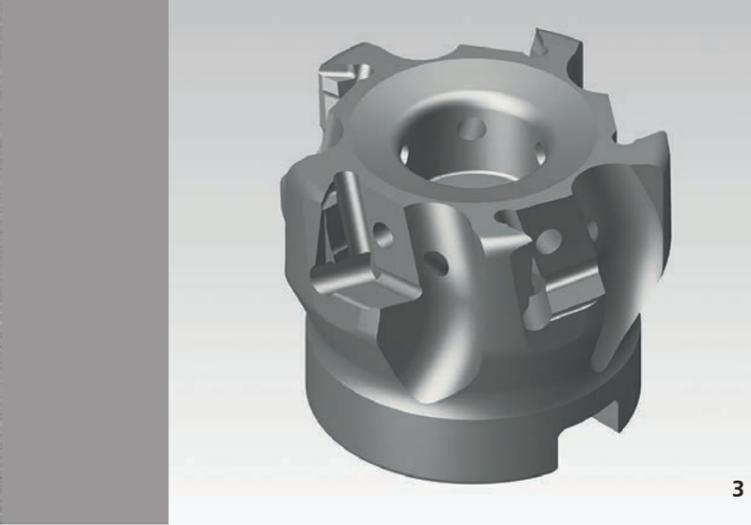
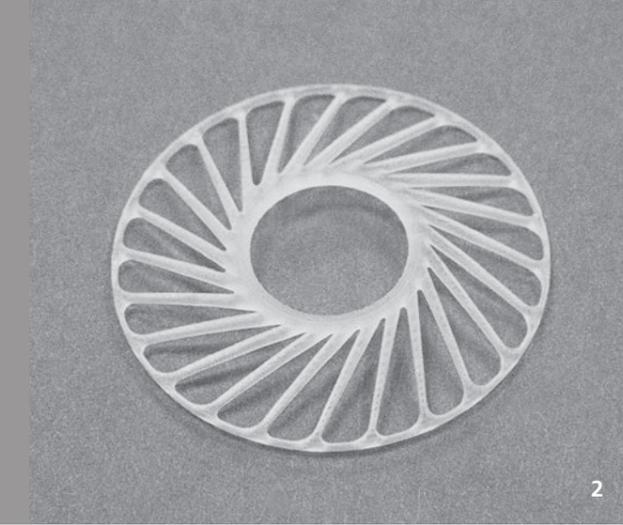
2 Vorbereitete Lasergrundplatte.

LASERMATERIALBEARBEITUNG



INHALT

Vollautomatisierte 3D-Fertigung ohne Stützstrukturen	48
Additive Fertigung von Fräswerkzeugträgern aus bainitischem Stahl	49
Erhöhung der Qualität additiv gefertigter Bauteile durch adaptive Prozessführung	50
»Fühlende« Bauteile mittels laserbasierter additiver Fertigungsverfahren	51
Laserauftragschweißen von Aluminiumlegierungen für Leichtbauanwendungen	52
Panzerung und Reparatur von Aluminiumdruckgussformen mittels Laserauftragschweißen	53
Adaptives Laserauftragschweißen mit selbstanpassender Bahnplanung	54
EHLA 3D – Extremes Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen für die Additive Fertigung	55
Hochfeste Al-Legierung für die Additive Fertigung	56
Kobaltfreie, hochentropische Legierung für AM	57
Reinigen komplexer 3D-Geometrien mit Laserstrahlung	58
Hybride Prozesskette zur Fertigung von Glasoptiken	59
Flexibles Batteriedesign durch Hochratenlaserablation	60
Mikrostrukturierung mittels Innenbearbeitungsoptik	61
Präzise Tiefbohrungen mit Ultrakurzpulslasern	62
Laserbasierte Herstellung von Glas-Kunststoff-Hybridverbindungen	63
Wiederverwendbare Kunststoff-Metall-Hybridverbindung	64
Laserstrahlschweißen von Batteriezellen für Hybridfahrzeuge	65
Hochgeschwindigkeitsschweißen & -schneiden von Bipolarplatten aus Edelstahl	66
Multifunktionaler Laserroboter für trennende, fügende und Additive Fertigung inkl.- digitalem Zwilling	67
Sicheres Laserschneiden mit minimalinvasiver Leistungsmodulation	68
Identifikation und Nutzung von akustischen Resonanzen beim Laserstrahlschneiden	69



VOLLAUTOMATISIERTE 3D-FERTIGUNG OHNE STÜTZSTRUKTUREN

Aufgabenstellung

Im 3D-Druck mittels badbasierter Photopolymerisation (Stereo-lithographie und DLP) sind manuelle Arbeitsschritte nach wie vor ein signifikanter Kostentreiber in der Fertigungskette. Die aufwendige Vorbereitung der Daten und die individuelle Nachbearbeitung der Bauteile (Vereinzeln, Waschen, Entfernen der Stützstrukturen, Schleifen etc.) erfordern qualifiziertes Personal und verursachen eine Vielzahl von Unterbrechungen (Interrupts) in der Fertigungskette. Für eine Teilautomatisierung des Prozesses gibt es bereits Ansätze, die vollständige Automatisierung scheidet bisher jedoch an den Stützstrukturen und der dadurch bedingten Anbindung an eine Bauplattform.

Vorgehensweise

Um die hohe Auflösung und die Oberflächenqualitäten der badbasierten Photopolymerisation in einen vollautomatischen Prozess zu transferieren, musste die Technologie grundlegend modifiziert werden. Mit dem TwoCure®-Verfahren des Fraunhofer ILT können klassische Stützstrukturen durch eine neuartige, thermisch geregelte Prozessführung und maßgeschneiderte Materialien ersetzt werden. Im TwoCure®-Prozess wird nicht polymerisiertes Photoharz innerhalb der Druckschicht thermisch (reversibel) verfestigt. Durch dieses Vorgehen wird die folgende Schicht gestützt. Dies ermöglicht eine wesentliche Steigerung der Volumeneffizienz, da mehr

- 1 Prozesskammer TwoCure®-Verfahren.
- 2 Hochaufgelöstes Querstrebenrad (Außendurchmesser: 22 mm).

Bauteile in gleicher Zeit gefertigt werden. Durch den Auswurf des gedruckten Blocks und die angeschlossenen Post-Prozess-Module erfolgt die Nachbehandlung ganz ohne manuelle Arbeitsschritte.

Ergebnis

An einem Prototyp wurde die Funktionsweise erstmalig in einem größeren Format demonstriert (Bauvolumen 130 x 80 x 100 mm³). Aktuell wird die erste produktreife Maschine mit einem Bauvolumen von 190 x 110 x 100 mm³ entwickelt, die Bauteile bis zum Abschmelzen und Rezyklieren des Materials voll automatisch fertigen kann. Zukünftig werden zwei weitere Post-Prozess-Module entwickelt, womit die Bauteile auch gewaschen und nachgehärtet (thermisch und photochemisch) werden können.

Anwendungsfelder

Mit dem TwoCure®-Verfahren können Anwender im Bereich der Additiven Fertigung Kleinserien oder große Stückzahlen individueller Einzelprodukte ohne wesentliche Prozesskenntnisse in einem Schritt – von der Datei bis zum fertigen Produkt – herstellen. Eine erste Demonstration erfolgte im Bereich der Otoplastiken. Weitere Anwendungsfelder sind verlorene Formen (z. B. Schmuck), technische Produkte (z. B. Hohlleiter, Stecker oder Gehäuse) und dentale Anwendungen. Dafür stehen eine Vielzahl von maßgeschneiderten Materialeigenschaften zur Verfügung. Die Arbeiten wurden im Rahmen des EXIST-Programms vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Kennzeichen 03EFMNW212 gefördert.

Ansprechpartner

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

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

ADDITIVE FERTIGUNG VON FRÄSWERKZEUGTRÄGERN AUS BAINITISCHEM STAHL

Aufgabenstellung

Für die individuelle und strömungsmechanisch verbesserte Kühlkanalführung und Düsenanordnung in Werkzeugen für die Zerspanung bietet die Additive Fertigung mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF) großes Potenzial. Durch die verfahrensbedingte Geometriefreiheit besteht eine nahezu unbegrenzte Flexibilität bei der Entwicklung und Herstellung von Bauteilen. Mit den wenigen bisher qualifizierten Stahlwerkstoffen können die Anforderungen an den Werkstoff für Fräswerkzeugträger jedoch nicht erfüllt werden.

Vorgehensweise

In Zusammenarbeit mit dem Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University werden Fräswerkzeugträger mit strömungsmechanisch verbesserter Kühlschmierstoffzufuhr ausgelegt, aus dem für das LPBF zu qualifizierenden bainitischen Stahl additiv gefertigt und erprobt. Dabei wird zunächst unter systematischer Variation der Verfahrensparameter ein Prozessfenster ermittelt, sodass Bauteile defektfrei (Vermeidung von z. B. Poren und Rissen) und mit einer hohen Bauteildichte (> 99,5 Prozent) hergestellt werden können. Darüber hinaus werden die Prozessparameter auf komplexe Strukturen übertragen und geeignete Nachbearbeitungsverfahren für innenliegende Kühlkanäle und Austrittsdüsen untersucht. Dies ermöglicht die Fertigung von angepassten Stirnmesserkopfwerkzeugen in hoher Variantenvielfalt. Die Ableitung von Gestaltungsrichtlinien zur Auslegung additiv hergestellter Fräswerkzeuge aus den gesammelten Erkenntnissen steht dabei im Fokus.

Ergebnis

Für den bainitischen Stahl konnten bereits vielversprechende Ergebnisse hinsichtlich rissfreier Bauteile mit einer Dichte > 99,9 Prozent bei Härten von 400 HV erzielt werden.

Anwendungsfelder

Das LPBF-Verfahren ermöglicht die Reduktion von Werkzeuggewicht durch Anpassung der Geometrie (z. B. Integration von Gitterstrukturen) sowie die Integration zusätzlicher Funktionen (z. B. komplexe Kühlkanäle). Weitere Anwendungsbereiche des untersuchten Werkstoffs sind die Automobilindustrie sowie der Maschinen- und Anlagenbau.

Das Forschungsvorhaben wird im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF-Nr. 21049 N) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) e. V. gefördert.

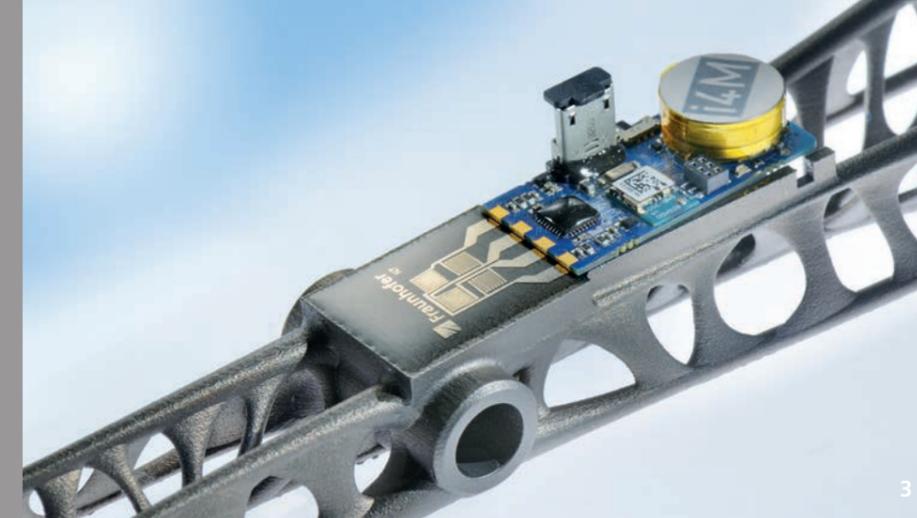
Ansprechpartner

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

Christian Tenbrock M. Sc., M. Sc., DW: -8350
christian.tenbrock@ilt.fraunhofer.de

3 CAD eines Fräsmesserkopfes
(Design: © Sumitomo).

4 Additiv gefertigte Fräsmesserkopfelemente aus bainitischem Stahl.



ERHÖHUNG DER QUALITÄT ADDITIV GEFERTIGTER BAUTEILE DURCH ADAPTIVE PROZESSFÜHRUNG

Aufgabenstellung

Beim Laser Powder Bed Fusion (LPBF) treten neben geometrischen Formabweichungen insbesondere Oberflächenrauheiten durch Anhaftung von Pulverpartikeln an der Bauteiloberfläche auf. Ursachen für die genannten Effekte liegen u. a. in Schmelzbadbewegungen und -strömungen begründet. Deshalb wird die Anwendbarkeit einer adaptiven Prozessführung untersucht, bei der eine Kombination aus gepulst-modulierter (engl. pulsed wave (pw)) Laserstrahlung für die Konturbelichtung sowie kontinuierlicher (engl. continuous wave (cw)) Laserstrahlung für die Volumenbelichtung angewendet wird.

Vorgehensweise

Für verschiedene Bauteilregionen und geometrische Features, wie z. B. Dünnwandstrukturen und spitze Konturen, werden experimentell spezifische Prozessparameter für die pw-Konturbelichtung entwickelt und die jeweils erzielbare Oberflächenqualität sowie die geometrische Genauigkeit ermittelt.

1 pw-Konturbelichtung.

2 cw-Konturbelichtung.

Ergebnis

Durch Anwendung der pw-Konturbelichtung wird sowohl eine Verringerung der geometrischen Abweichung von der Soll-Geometrie als auch der Oberflächenrauheit im Vergleich zur konventionellen cw-Konturbelichtung erreicht. Dies trifft besonders auf spitze Bauteilkonturen zu, welche anfällig für Blow-ups durch Wärmestau sind. Begründet ist dies durch die diskrete, unabhängige Erstarrung der einzelnen Schmelzbäder bei Anwendung der pw-Prozessführung.

Anwendungsfelder

Die entwickelte Prozessführung ist geeignet für Bauteile mit hohen Anforderungen an die Bauteilpräzision und Oberflächengüte. Aufgrund der im Vergleich zur cw-Prozessführung geringeren Produktivität wird eine lokale Verwendung in Bauteilbereichen mit hohen Qualitätsanforderungen empfohlen. Die bisherigen Untersuchungen mit dem Werkstoff Inconel® 718 sind im Turbomaschinenbau angesiedelt. Eine Übertragung der ermittelten Prozessführung auf andere Werkstoffe (z. B. 316L, Ti6AlV4, AlSi10Mg) und somit weitere Branchen ist Gegenstand zukünftiger Untersuchungen.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N15001 durchgeführt.

Ansprechpartner

Thomas Laag M. Sc., DW: -511
thomas.laag@ilt.fraunhofer.de

Christian Tenbrock M. Sc., M. Sc., DW: -8350
christian.tenbrock@ilt.fraunhofer.de

»FÜHLENDE« BAUTEILE MITTELS LASERBASIERTER, ADDITIVER FERTIGUNGS- VERFAHREN

Aufgabenstellung

Die Erhebung von Bauteilzustandsdaten wie thermische und mechanische Belastung bildet die Grundlage für Predictive Maintenance-, Big Data- und KI-Ansätze. Dafür müssen Bauteile mit geeigneten Sensoren versehen werden. Additive Fertigungsmethoden wie das Laser Powder Bed Fusion (LPBF) bieten vielfältige Möglichkeiten für die Herstellung applikationsangepasster Bauteile. Laserbasierte Beschichtungsansätze ermöglichen den additiven Aufbau von Sensorik auf Oberflächen, z. B. durch die nasschemische Deposition von elektrisch isolierenden und leitenden Materialien mittels Druckverfahren sowie anschließender thermischer Nachbehandlung mittels Laserstrahlung. Das Fraunhofer ILT kombiniert diese additiven Fertigungsmethoden, um gedruckte Leichtbauteile mit gedruckten Sensoren auszustatten.

Vorgehensweise

Schon bei der Konstruktion kann die Topologie zur Einsparung von Material und Bauteilgewicht optimiert werden. So lassen sich auch komplexe bionische Strukturen für Leichtbauanwendungen realisieren. Zur additiven Anbringung der Sensoren werden die notwendigen Schichten und Strukturen aus unterschiedlichen Materialien Schicht für Schicht direkt auf das Bauteil aufgedruckt und anschließend mittels Laserstrahlung funktionalisiert. Im Falle von Dehnungsmessstreifen werden die Isolationsschicht, das Messgitter und die Verkapselung nacheinander appliziert. Das drahtlose Telemetriesystem auf einer kompakten Platine wird abschließend mit dem Bauteil und den elektrischen Kontaktflächen verbunden.

Ergebnis

Die Kombination von LPBF mit digitalen Druck- und Lasernachbehandlungsverfahren in einer innovativen Prozesskette ebnet den Weg zur Herstellung »führender« Bauteile aus dem Drucker. Die manuelle Applikation konventioneller Sensoren entfällt. Die so volldigital hergestellte Komponente ermöglicht im eingebauten Zustand die permanente Bauteilüberwachung zur Dokumentation der Bauteilbelastung und zur Erkennung von Überlastzuständen.

Anwendungsfelder

Potenzielle Anwendungsfelder sind klassische Bereiche wie Getriebetechnik, Großmaschinen, Energieerzeugung, Schienenfahrzeuge und Aerospace, in denen bereits Predictive Maintenance angewendet wird. Die Fertigung von Bauteil und Sensor in einem Schritt ermöglicht die Erschließung neuer Anwendungsfelder wie Automotive, Consumer Electronics und Werkzeugbau, in denen eine Zustandsüberwachung bisher zu aufwendig oder zu teuer war.

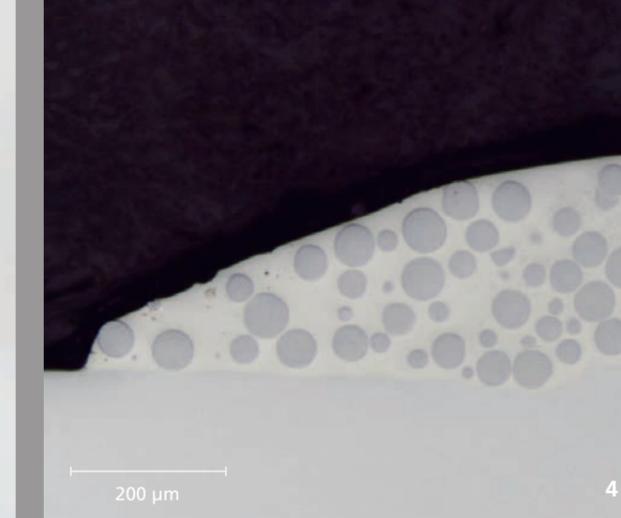
Der Demonstrator wurde in Zusammenarbeit mit der Firma i4M technologies GmbH hergestellt.

Ansprechpartner

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

Dipl.-Ing. Simon Vervoort, DW: -602
simon.vervoort@ilt.fraunhofer.de

3 Vollständig additiv gefertigtes, sensorintegriertes Bauteil mit drahtloser Telemetrie.



LASERAUFTRAGSCHWEISSEN VON ALUMINIUM-LEGIERUNGEN FÜR LEICHTBAUANWENDUNGEN

Aufgabenstellung

Die Additive Fertigung (AM) gilt als Schlüsseltechnologie für die Herstellung von Leichtbaukomponenten und -strukturen. Unter den AM-Verfahren hebt sich das Laserauftragschweißen (LMD) aufgrund seiner vielseitigen Anwendbarkeit auf Frei-formoberflächen ab. Somit kann LMD flexibel als Reparatur- und Beschichtungsverfahren sowie zur gezielten Individualisierung und Funktionalisierung vorgefertigter Basisbauteile (hybrid Additive Fertigung) angewendet werden. Die Verarbeitung von Aluminiumlegierungen mit laserbasierten Verfahren ist jedoch insbesondere aufgrund des geringen Absorptionsgrads und der hohen Wärmeleitfähigkeit herausfordernd. Damit kommt der werkstoffspezifischen Anpassung der LMD-Prozessführung eine entscheidende Rolle zu, um Leichtbauanwendungen mit Aluminiumwerkstoffen zu erschließen.

Vorgehensweise

Aluminiumlegierungen mit den Hauptlegierungselementen Silizium, Magnesium und Zink werden zur Herstellung von Strukturelementen wie Spuren, Schichtungen und Volumenkörper mittels pulverbasiertem LMD verarbeitet. Dabei werden

- 1 Durch EHLA hergestellter Volumenkörper (Bauteilhöhe ca. 45 mm, Aufbaurrate ca. 0,3 kg/h).
- 2 Konventionell laserauftragsgeschweißter Volumenkörper (Bauteilhöhe ca. 90 mm, Auftragsrate ca. 12 g/h).

Prozessregime untersucht, die sich hinsichtlich der wesentlichen Verfahrensparameter, wie z. B. Vorschubgeschwindigkeit und Auftragsrate, über Größenordnungen erstrecken. Die Prozessführung wird dafür entsprechend der gewünschten Anforderungen bzgl. Produktivität, Formgenauigkeit und Werkstoffeigenschaften angepasst.

Ergebnis

Demonstratoren mit angepasster Schichtdicke und Aufmischung können durch gezielte Auslegung der Prozessführung und der Pulvervorbehandlung mit einer Dichte von über 99,8 Prozent gefertigt werden. Die entwickelten Prozesse erlauben dabei die hochpräzise Herstellung von Volumina mit Strukturauflösungen unterhalb von 100 μm bei Aufbauraten größer 0,5 kg/h. Dabei werden Laserstrahlquellen mit einer maximalen Ausgangleistung von 4 kW eingesetzt.

Anwendungsfelder

Durch die grundlegende Weiterentwicklung der Prozessführung können nun neuartige Leichtbauanwendungen mit Aluminium, z. B. aus den Bereichen Luftfahrt, Automotive und Maschinenbau, umgesetzt werden. Durch aktuelle Untersuchungen zur Verarbeitung von Metall-Keramik-Verbundwerkstoffen wird das verfügbare Werkstoffspektrum zusätzlich erweitert.

Ansprechpartner

Tong Zhao M. Sc., DW: -8058
tong.zhao@ilt.fraunhofer.de

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

PANZERUNG UND REPARATUR VON ALUMINIUMDRUCK-GUSSFORMEN MITTELS LASERAUFTRAGSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Beim Aluminiumdruckguss wird flüssiges Aluminium unter hohem Druck in eine Form gepresst. Die oftmals aus Stahl gefertigte Form entspricht dabei dem Negativ des herzustellenden Abgusses und ist während der Einsatzdauer hohen Belastungen infolge von Korrosion und Verschleiß ausgesetzt. Je nach Größe und Komplexität der Form beträgt das Gewicht der Formen mehrere Tonnen und die Herstellungskosten liegen im Bereich einiger Hunderttausend Euro, wodurch ein Austausch und der damit verbundene Produktionsausfall kosten- und zeitintensiv ist.

Für die Steigerung der Bauteillebensdauer wird am Fraunhofer ILT das Laserauftragschweißen (LMD) zum Panzern der Formen eingesetzt. Damit wird die Werkstückrandzone effektiv gegen Korrosion und Verschleiß geschützt. Darüber hinaus kann die Form im Schadensfall kosten- und zeiteffizient instand gesetzt werden, indem defekte Bauteilbereiche mittels LMD wieder aufgebaut werden.

Vorgehensweise

Untersucht werden unterschiedliche Prozessstrategien zur Herstellung möglichst dünner, korrosions- und verschleißbeständiger Schichten mit angepassten Wärmeleitfähigkeiten. Für einen geringen Nachbearbeitungsaufwand und zügigen Produktionseinsatz der Form wird die Schicht endkonturnah

aufgetragen. Als Beschichtungsmaterial wird ein Metallmatrix-Verbundwerkstoff bestehend aus einer duktilen Ni-Basis-Matrix mit eingebetteten WC-Hartstoffen eingesetzt, für den unterschiedliche Mischungsverhältnisse beider Komponenten in der Schicht untersucht werden.

Ergebnis

Durch die Entwicklung geeigneter Prozessstrategien konnten Schichten mit 300–600 μm Schichtdicke und einem Mischungsverhältnis von bis zu 50 vol.-Prozent WC-Anteil in der Ni-Basismatrix auf Stahlformen aufgetragen werden. Nach einer anschließenden mechanischen Nachbearbeitung der gepanzerten Formen konnte in Feldtests eine deutliche Steigerung der Bauteillebensdauer nachgewiesen werden.

Anwendungsfelder

Neben Anwendungen aus den Bereichen der Umform- und Urformwerkzeuge eignet sich das Verfahren für zahlreiche Bauteile und Branchen, bei denen stark belastete Bauteile beschichtet oder repariert werden müssen, z. B. aus den Bereichen Energieerzeugung, Hydraulik, Walzen oder Gehäusebau. Durch eine große Anzahl verarbeitbarer Werkstoffe können die Schichteigenschaften flexibel an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden.

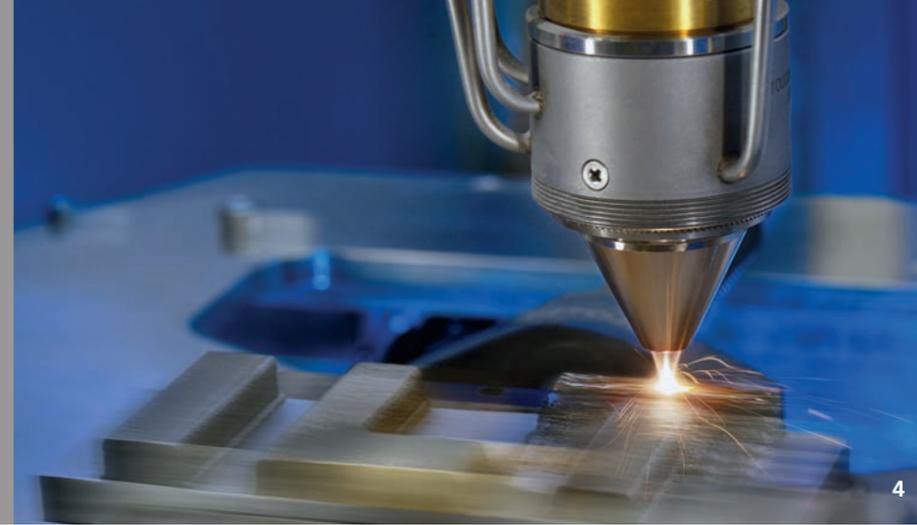
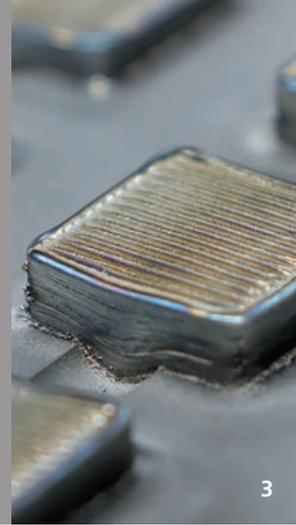
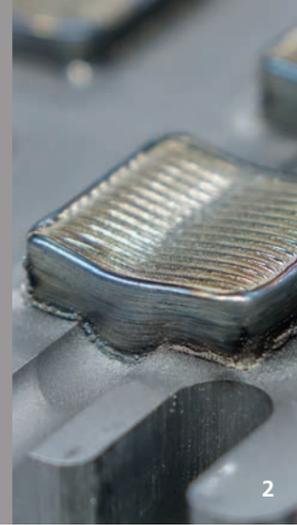
Ansprechpartner

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

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

3 Mittels Laserauftragschweißen beschichtete Stahlform.

4 Querschliff der aufgetragenen Schicht auf der Stahlform.



ADAPTIVES LASERAUF- TRAGSCHWEISSEN MIT SELBSTANPASSENDE BAHNPLANUNG

Aufgabenstellung

Für die Herstellung qualitativ hochwertiger Volumina ist es unerlässlich, den Laserauftragschweißprozess (LMD) innerhalb eines qualifizierten Prozessfensters zu führen. Eine Abweichung zum idealen Abstand zwischen Bearbeitungskopf und Substrat kann zu geometrischen Ungenauigkeiten des aufgetragenen Werkstoffvolumens, verminderter Materialqualität und Instabilität des Prozesses führen. Häufig resultieren solche Differenzen aus Abweichungen der realen Substratoberfläche zum CAD-Modell, auf dessen Basis die Werkzeugbahnplanung durchgeführt wird. Eine besondere Herausforderung stellen Kleinstabweichungen in der Aufbauhöhe einzelner Spuren dar, welche sich in mehrlagigen Schweißungen akkumulieren.

Vorgehensweise

Durch die Integration eines Laser-Linien-Scanners (LLS) in die LMD-Anlage ist es möglich, die Oberflächentopologie des Substrats direkt in der Maschine zu digitalisieren. Basierend auf dem 3D-Scan können anschließend mittels automatisierter Algorithmen Werkzeugbahnen geplant werden. Um Kleinstabweichungen in der Höhe einer Spur

1 Roboteranlage bei geometrischer

Erfassung einer Schweißlage.

2 Bearbeitungsergebnis bei unregelmäßigem Aufbau.

3 Bearbeitungsergebnis bei regelmäßigem Aufbau.

entgegenzuwirken, wird zwischen dem Aufbau der einzelnen Lagen eine Geometrieerfassung durchgeführt und basierend darauf die Bahnplanung an die reelle Aufbauhöhe angepasst. Spezielle Bahnplanungsalgorithmen erlauben es zusätzlich, lokalen geometrischen Abweichungen durch Anpassung der Prozessparameter entgegenzuwirken.

Ergebnis

Der Ansatz wurde in einer Softwarelösung umgesetzt, welche die maschinenintegrierte Geometrieerfassung, die automatisierte Bahnplanung und die Programmerstellung vereint. Die maschinenoffene Lösung macht den Einsatz auf unterschiedlichen industriellen Maschinenkonzepten möglich.

Anwendungsfelder

Die entwickelte Softwarelösung, die Bahngenerierung und die Prozessadaption konnten erfolgreich für LMD auf Freiformflächen im Rahmen des ProLMD-Projekts (FKZ: 02P15B115) erprobt und für Reparaturanwendungen von Komponenten aus den Bereichen der Luftfahrt sowie dem Werkzeugbau erfolgreich demonstriert werden. Im Projekt EVEREST (FKZ: EFRE-0800732) konnte der Ansatz zudem für das Extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (EHLA) auf rotationssymmetrischen Komponenten qualifiziert werden.

Ansprechpartner

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

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

EHLA 3D – EXTREMES HOCHGESCHWINDIGKEITS- LASERAUFTRAGSCHWEISSEN FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG

Aufgabenstellung

Für den industriellen Einsatz additiver Fertigungsverfahren sind wirtschaftliche Aufbauraten zwingend erforderlich. Aktuelle Ansätze zur Erhöhung der Aufbauraten beim Laserauftragschweißen verfolgen vor allem das Ziel, die Abmessungen der hergestellten Schweißraupen (Spurbreite und -höhe) zu vergrößern. Daraus leitet sich ein inhärenter Zielkonflikt zwischen großen Auftragsraten einerseits und präziser, endkonturnahem Aufbau andererseits ab. Mit EHLA 3D wird dieses Dilemma erstmalig gelöst, indem präzise, kleine Schweißraupen mit Schichtdicken im Mikrometerbereich mit um Größenordnungen höheren Geschwindigkeiten aufgetragen werden. Somit können Bauteile in kürzester Zeit mit geringem Nachbearbeitungsaufwand hergestellt werden.

Vorgehensweise

Bisher wird das Extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (EHLA) vor allem für Verschleiß- und Korrosionsschutzanwendungen von rotationssymmetrischen Bauteilen genutzt. Um das Verfahrensprinzip mit Vorschubgeschwindigkeiten im Bereich einiger 100 m/min auch für die Additive Fertigung nutzbar zu machen, wurde im Rahmen einer Entwicklungskooperation mit der Ponticon GmbH eine hochdynamische Anlagentechnik entwickelt und aufgebaut. Die Technik basiert auf einer Tripod-Parallelkinematik womit wahlweise Bauteilplattform oder Bearbeitungskopf sehr schnell bewegt werden können.

Ergebnis

Mit einer Bahn- und Wiederholgenauigkeit von ca. 100 µm in allen Raumrichtungen wird ein präziser Auftrag ermöglicht. Die maximale Beschleunigung von 50 m/s² lässt schnelle Richtungswechsel mit geringer Totzeit zu. Der Nachweis der Übertragbarkeit des EHLA-Verfahrensprinzips auf die Additive Fertigung konnte bereits für Eisen-, Nickel- und Aluminiumbasiswerkstoffe bei Vorschubgeschwindigkeiten von bis zu 50 m/min erfolgreich demonstriert werden. Die Werkstoffkennwerte liegen dabei auf dem Niveau des konventionellen Laserauftragschweißens. Die Tripod-Kinematik wird derzeit zur Kartierung des Prozessregimes von 50–200 m/min genutzt. Zukünftig wird eine weitere Steigerung des Automatisierungsgrads durch Prozessüberwachung, Bauteilgeometrieerfassung und Bahnplanungssoftware angestrebt.

Anwendungsfelder

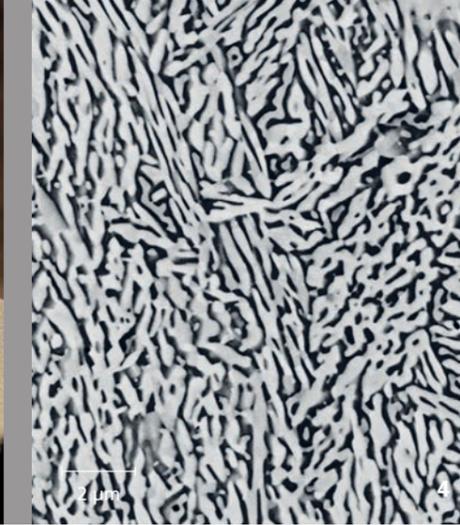
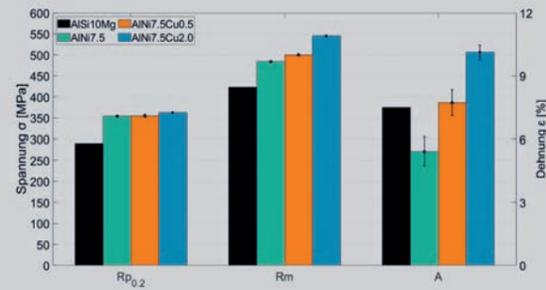
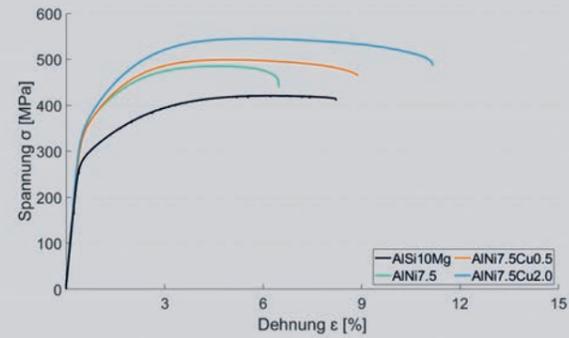
Da verfahrensbedingt eine Vielzahl von Werkstoffkombinationen verarbeitet werden kann, findet das EHLA 3D-Verfahren branchenübergreifend Anwendung in den Bereichen Oberflächenbeschichtung und -reparatur sowie in der hybriden Additiven Fertigung.

Ansprechpartner

Jonathan Schaible M. Sc., DW: -660
jonathan.schaible@ilt.fraunhofer.de

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

4 Aufbau eines Multimaterial-ILT-Schriftzugs
mittels EHLA 3D.



HOCHFESTE AL-LEGIERUNG FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG

Aufgabenstellung

Der Markt für Aluminium-Basislegierungen für die Additive Fertigung wird zur Zeit von kommerziell verfügbaren Aluminium-Silizium-Legierungen (z. B. AlSi10Mg) bestimmt. Für eine breitere Anwendung (z. B. in Strukturbauteilen) weisen Al-Si-Legierungen jedoch unzureichende mechanische Eigenschaften auf. Andere kommerziell verfügbare Aluminiumlegierungen, die die geforderten mechanischen Eigenschaften erreichen, sind entweder nicht mittels additiver Fertigungsmethoden prozessierbar (z. B. 6XXX- oder 7XXX-Serie) oder beinhalten unwirtschaftliche Legierungszusätze (z. B. Scalmalloy®). Ziel ist daher die Entwicklung einer wirtschaftlichen und mittels additiver Fertigungsverfahren prozessierbaren Al-Basislegierung, welche Zugfestigkeiten > 500 MPa bei Bruchdehnungen > 10 Prozent aufweist.

Vorgehensweise

Eutektische Al-Ni-Legierungen wurden als vielversprechende Kandidaten zur Untersuchung mittels additiver Fertigungsverfahren identifiziert. Als binäre Basislegierung wurde Al 7,5 gew. Prozent Ni (AlNi7.5) zur Untersuchung mittels selektivem Laserschmelzen (LPBF) ausgewählt. Ausgehend von der binären Zusammensetzung werden Legierungszusätze hinzugegeben, um eine Steigerung der mechanischen Eigenschaften durch Mischkristall- und Ausscheidungshärtung zu erreichen.

1 *Spannungs-Dehnungs-Diagramm untersuchter Legierungen.*

2 *Ermittelte mechanische Kennwerte untersuchter Legierungen.*

Die Auswahl erfolgt auf Basis simulierter Phasendiagramme. Aufgebaute Prüfkörper der zu untersuchenden Legierungen werden hinsichtlich ihrer Prozessierbarkeit (Poren, Risse) sowie mechanischen Eigenschaften untersucht.

Ergebnis

Die Prozessierbarkeit der binären Al-Ni-Legierung sowie der ternären Al-Ni-Cu-Legierungen kann mittels LPBF bestätigt werden (Rissfreiheit, Bauteildichte > 99,9 Prozent). Die Zugabe von Cu zur binären Legierung führt zu einer Zunahme der Zugfestigkeit und Bruchdehnung bis hin zu 545 MPa bzw. 10,1 Prozent. Die ermittelten mechanischen Kennwerte übertreffen somit im prozessierten Zustand die der üblicherweise verwendeten AlSi10Mg-Legierung. Die Untersuchung der Zugabe weiterer festigkeitssteigernder Legierungszusätze ist Bestandteil aktueller Arbeiten.

Anwendungsfelder

Im Zuge von Emissions- und Gewichtseinsparungen ist eine breite Anwendung von Leichtbaukomponenten besonders im Automotive- und Luftfahrtsektor von Interesse.

Das Vorhaben wird im Rahmen der strategischen Marktvorlauforschung der Fraunhofer-Gesellschaft gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten IWM und IGCV bearbeitet.

Ansprechpartner

Georg Rödler M. Sc., DW: -633
georg.roedler@ilt.fraunhofer.de

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

KOBALTFREIE, HOCHENTROPISCHE LEGIERUNG FÜR AM

Aufgabenstellung

Hochentropische Werkstoffe (High Entropy Alloys HEA) weisen aufgrund der großen Mischungsentropie multi-elementarer Verbindungen sowohl hohe Festigkeiten und Duktilitäten als auch gute Korrosions- und Verschleißbeständigkeiten auf. Damit sind HEA insbesondere für die Herstellung von Bauteilen, die komplexen Beanspruchungen ausgesetzt sind, geeignet. Im Rahmen des Verbundvorhabens NADEA wird eine mit Additive Manufacturing (AM) verarbeitbare HEA entwickelt, welche die Eigenschaften konventioneller Duplexstähle übertrifft. Eine wesentliche Zielsetzung ist, das umwelt- und gesundheitsschädliche sowie ressourcenkritische Metall Kobalt zu vermeiden.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wird die Verarbeitbarkeit von AlCrFe₂Ni₂-basierten Legierungen mittels Laserauftragschweißen untersucht. Mithilfe von Rapid Screening durch Simulation (Access e. V.) und Experiment (Fraunhofer ILT) wird eine geeignete Werkstoffzusammensetzung ausgewählt. Eine Herausforderung stellt dabei die Rissanfälligkeit des Materials dar. Geeignete Aufbaustrategien werden daher mit Fokus auf das lokale Temperaturmanagement entwickelt. Ziel ist die Erarbeitung eines stabilen Prozessfensters für den geometrisch variablen, endkonturnahen Aufbau von realen Bauteilgeometrien wie z. B. von Pumpenlaufrädern.

Ergebnis

Die rissfreie Verarbeitung von AlCrFe₂Ni₂ zu einem endkonturnahen Bauteil mit einer Dichte > 99,5 Prozent konnte erreicht werden. Untersuchungen beim Projektpartner Access e. V. zeigen, dass nach Lösungsglühen und Auslagern ein superfeines FCC-BCC Duplexgefuge vorliegt, dessen Streckgrenze R_{p0.2} bei 600 MPa liegt. Die Zugfestigkeit R_m beträgt 1100 MPa bei einer Gesamtdehnung von 27 Prozent. Ein vergleichbarer Duplexstahl erreicht im Zugversuch R_m ≈ 900 MPa, R_{p0.2} ≈ 640 MPa und A ≈ 20 Prozent.

Anwendungsfelder

Die entwickelte Legierung bietet ein breites Einsatzpotenzial für die Öl- und Gasindustrie sowie den Bergbau und ist gleichermaßen für Anwendungen im Off-Shore-Bereich sowie in der chemischen Industrie prädestiniert.

Das Verbundprojekt NADEA ist Bestandteil des Netzwerks M-era.Net der Europäischen Union und wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Kennzeichen 03XP0163B gefördert.

Ansprechpartner

Dr. Silja-Katharina Rittinghaus, DW: -8138
siljakatharina.rittinghaus@ilt.fraunhofer.de

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

3 *Pumpenlaufrad.*

4 *AlCrFe₂Ni₂-Gefüge (© Access e. V.).*



REINIGEN KOMPLEXER 3D-GEOMETRIEN MIT LASERSTRAHLUNG

Aufgabenstellung

Im Rahmen einer regelmäßigen Wartung müssen Verbrennungsrückstände von einem Verdichterläufer (inklusive Schaufeln) eines Turbinentriebwerks entfernt werden. Bisher erfolgt die Reinigung des Verdichterläufers durch nasschemische Verfahren. Aufgrund der sich verschärfenden Gesetzgebung, wie z. B. REACH & RoHS (Beschränkung gefährlicher Stoffe), gerät diese Reinigungsmethode zunehmend unter Druck und soll durch ein laserbasiertes Verfahren ersetzt werden. Eine Zerlegung des Verdichterläufers in seine Einzelteile ist aufwendig und soll vermieden werden, weshalb das komplexe Bauteil im montierten Zustand gereinigt werden soll.

Vorgehensweise

Die besondere Herausforderung liegt in der Komplexität der zu reinigenden Geometrie und der eingeschränkten Zugänglichkeit zu den Oberflächen der Einzelteile. In Einzelfällen fehlen außerdem, z. B. aufgrund des Bauteilalters, zusätzlich die CAD-Bauteildaten, sodass ein Reengineering dieser Daten durch 3D-Scannen des Bauteils sowie eine Übertragung der Messpunkte in mathematische Oberflächen notwendig werden. Mithilfe dieser Daten wird die Zugänglichkeit simuliert, die Bearbeitung mittels Bahnplanung in abrasterbare Segmente

1 Mit Laserstrahlung gereinigter Verdichterläufer, davon zwei Schaufeln im ungereinigten Ausgangszustand.

zerlegt und anschließend das Bauteil unter Nutzung angepasster Laserparameter automatisch in einer mehrachsigen Bearbeitungsmaschine gereinigt. Der Laserstrahlfokus wird während der Bearbeitung der Bauteilteilgeometrie nachgeführt.

Ergebnis

Mittels gepulster Laserstrahlung können sowohl Schaufel- als auch Rotoroberflächen im zusammengesetzten Verdichterbereich automatisiert gereinigt werden. Die Bahnplanung für die Laserbehandlung erfolgt unter Berücksichtigung der Dynamik der Achsen sowie der geforderten großen Verfahrgeschwindigkeiten im Bereich von einigen m/s. Hierfür wird ein 5 + 3-Achsen-System (5 mechanische Achsen + 3 Scannerachsen) eingesetzt.

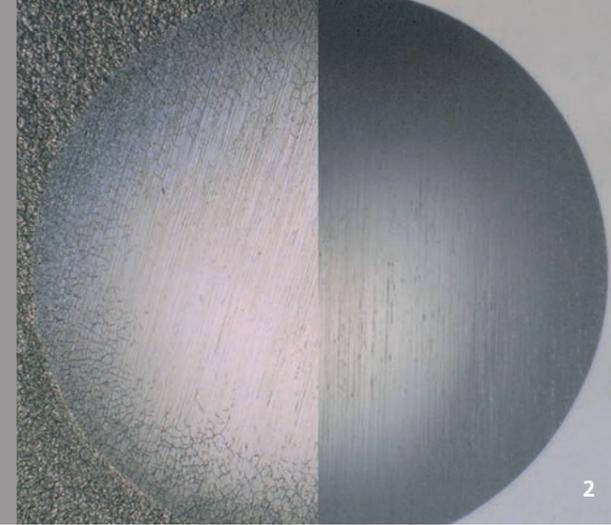
Anwendungsfelder

Sofern die Zugänglichkeit gegeben ist, können auch andere Bauteile mit komplexer 3D-Geometrie und anderen Verunreinigungen aus nahezu allen Branchen gereinigt werden, z. B. Reinigung von Spritzgussformen und Beschichtungskammern. Bei geeigneter Prozessführung können ggf. auch verschlissene Lacke oder Funktionsschichten (z. B. Antihaf-, Verschleißschutz- oder Korrosionsschutzschichten) entfernt werden, um diese effizient durch neue Funktionsschichten zu ersetzen.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Carsten Johnigk, DW: -672
carsten.johnigk@ilt.fraunhofer.de

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



HYBRIDE PROZESSKETTE ZUR FERTIGUNG VON GLASOPTIKEN

Aufgabenstellung

Die konventionelle Fertigung optischer Komponenten aus Glas erfolgt zumeist in komplexen Prozessketten aus immer feinstufigeren Schleif- und Polierschritten. Maßgeblich für die Notwendigkeit dieser gestaffelten Fertigung ist das spröde Bruchverhalten der Glaswerkstoffe, da durch die bei der mechanischen Bearbeitung wirkenden Kräfte winzige Tiefenschädigungen (subsurface damage SSD) unterhalb der bearbeiteten Randschicht entstehen. Die SSD-Tiefe bei der mechanischen Bearbeitung liegt in der Regel bei < 100 µm. SSD können mechanisch nur durch Abtrag entfernt werden. Dabei wird die aufgebrachte Kraft und somit die Tiefe neuer SSD auf Kosten der Abtragrate sukzessiv reduziert. In Folge dieses iterativen Prozesses ist die Fertigung von Optiken höchster Qualität mit hohen Durchlaufzeiten und Kosten verbunden.

Vorgehensweise

Das nahezu abtragfreie Ausheilen von SSD in Tiefen von bis zu 1000 µm durch eine Laserpolitur wurde bereits erfolgreich demonstriert. Ein einzelner Laserpolierschritt ersetzt mehrere Schleif- und Vorpplierstufen und kann so die Prozesszeit reduzieren und die Materialausbeute erhöhen. Hierzu wird das Laserpolieren in die Prozesskette, bestehend aus Grobschleifen, Laserpolieren und Korrekturpolieren, integriert und die Prozesszeit bis zur Erreichung optischer Standardqualität für N-BK7 und Quarzglasoptiken mit einer konventionellen Prozesskette verglichen. Ein Trade-off aus Glättung und thermischem Formverzug an der Schnittstelle Laserpolieren/Korrekturpolieren ist die Folge.



Ergebnis

Durch den Einsatz des Laserpolierens mit Prozesszeiten von wenigen Sekunden kann der für Quarzglas notwendige Materialabtrag von 40 µm (SSD-Tiefe) auf 5 µm (Formverzug) reduziert und somit die Dauer der Nachbearbeitung um ca. 70 Prozent reduziert werden. Aufgrund höherer thermischer Verformung beträgt die verbleibende Abtragtiefe für N-BK7 derzeit noch 16 µm (von 25 µm SSD-Tiefe), wodurch eine Reduktion der Polierzeit von ca. 30 Prozent erzielt wurde.

Anwendungsfelder

Die hybride Prozesskette zur Optikfertigung kann eingesetzt werden, um die Komplexität von Prozessketten zu reduzieren und so die Durchlaufzeiten und Stückkosten zu senken. Dies betrifft insbesondere die Fertigung von Asphären und Freiformflächen.

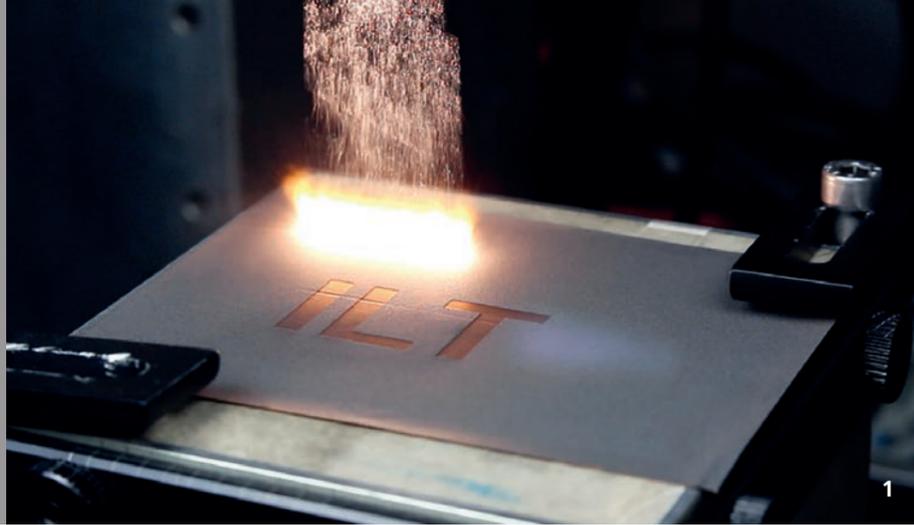
Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben HyoptO wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Förderkennzeichen IGF-20308 N durchgeführt.

Ansprechpartner

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

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

2 Geschliffene (links) und laserpolierte (rechts) Quarzglasoberfläche mit geätztem Kalottenschliff zur SSD-Detektion.
3 Laserpolierte Glasoptik.



FLEXIBLES BATTERIEDESIGN DURCH HOCHRATEN-LASERABLATION

Aufgabenstellung

Aufgrund steigender Marktdurchdringung und Erschließung neuer Anwendungsbereiche erfolgt eine stetige Nachfrage nach Lithium-Ionen-Akkus mit unterschiedlichen Geometrien. Neben der Aufgabe der Produktivitätssteigerung sehen sich Batteriehersteller zudem mit der Herausforderung konfrontiert, unterschiedlichste Zellformate auf einer Fertigungslinie zu produzieren. Die Beschichtung der wenige Mikrometer dünnen metallischen Trägerfolie mit dem sogenannten Aktivmaterial stellt dabei einen zentralen Fertigungsschritt dar. Wegen der anschließenden elektrischen Kontaktierung der Elektroden über sogenannte Tabs müssen Teilbereiche der Metallfolie unbeschichtet bleiben. Hierfür wird der Beschichtungsprozess bislang immer wieder unterbrochen und neu gestartet. Gefragt ist daher nicht nur eine schnellere, sondern auch eine flexiblere Elektrodenfertigung.

Vorgehensweise

Ein Lösungsansatz besteht darin, statt der technisch sehr aufwendigen Teilbeschichtung die gesamte Folie vollflächig zu beschichten, um anschließend selektiv die für die elektrische Kontaktierung notwendigen Stellen mit dem Laser wieder freizulegen. Diese Idee scheiterte bislang an der Produktivität des Laserabtrags. Auch die Qualität der Laserablation mittels Kurzpuls-Laser entsprach nicht den hohen Ansprüchen an eine gut zu schweißende Kontaktstelle. Zur Lösung dieses Ziel-

1 Selektiver Abtrag von Graphit-Anodenmaterial von einer 10 µm dünnen Kupferfolie.

konflikts verwendet das Fraunhofer ILT einen leistungsstarken Ultrakurzpuls(UKP)-Laser. Die Herausforderung besteht darin, die gesamte Schicht des Aktivmaterials mit nur einer Überfahrt rückstandsfrei zu entfernen, ohne dabei die dünne Metallfolie zu beschädigen.

Ergebnis

Mit dem vom Fraunhofer ILT entwickelten Prozess gelingt es, graphitbasiertes Anodenmaterial mit bis zu 1760 mm³/min von einer 10 Mikrometer dünnen Kupferfolie abzutragen, ohne diese dabei zu beschädigen. Bei heute üblichen Aktivmaterialschichtdicken entspricht dies einer Flächenrate von ca. 4 cm²/s. In naher Zukunft wird es möglich sein, die Abtragraten durch den Einsatz der neuen Generation von UKP-Lasersystemen mit Multi-kW-Ausgangsleistungen, wie sie derzeit im Fraunhofer Cluster of Excellence Advanced Photon Sources CAPS entwickelt werden, noch weiter zu steigern.

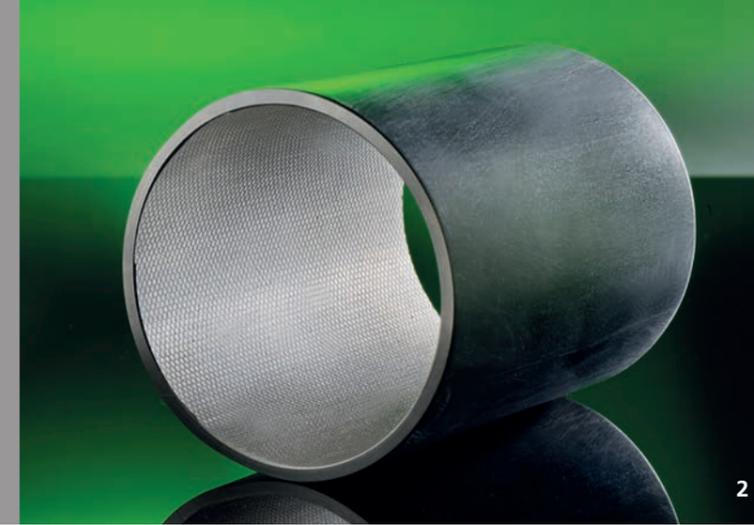
Anwendungsfelder

Die hochproduktive UKP-Laserablation ist insbesondere für die Batteriezellenfertigung von großem Interesse. Durch den flexiblen Fertigungsprozess lassen sich auch nicht-standardisierte Zellformate auf äußerst produktive Weise fertigen. Diese finden überwiegend in tragbaren elektronischen Endgeräten Einsatz, wo der Lithium-Ionen-Akku bei minimalem Bauraum an das Gerätedesign angepasst werden muss. Neben der Elektronikindustrie ist die hochproduktive UKP-Laserablation auf ausgedehnten Flächen auch für die Wasserstoff- oder die Automobilindustrie interessant.

Ansprechpartner

Dr. Karsten Lange, DW: -8442
karsten.lange@ilt.fraunhofer.de

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



MIKROSTRUKTURIERUNG MITTELS INNENBEARBEITUNGSOPTIK

Aufgabenstellung

Ein Anwendungsfeld der laserbasierten Mikrostrukturierung ist die Funktionalisierung von Oberflächen. Durch gezielte Erzeugung von spezifischen Oberflächenstrukturen können gewisse Oberflächeneigenschaften werkstoffunabhängig angepasst werden. Mikroskalige Oberflächenstrukturen können eingesetzt werden, um Reibung und Verschleiß bei mechanischer Beanspruchung zu minimieren, selbstreinigende oder antibakterielle Eigenschaften zu erzeugen, optische Eigenschaften zu ändern oder Oberflächen aero- oder fluid-dynamisch zu optimieren. Für viele Anwendungsfelder liegt die zu bearbeitende Oberfläche allerdings in einem Rohr oder einer Kavität, sodass die eingeschränkte Zugänglichkeit den Einsatz von Laserstrukturierung bislang verhindert.

Vorgehensweise

Zur Strukturierung innenliegender Oberflächen wurde eine spezielle Bearbeitungsoptik entwickelt. Die Optik ist für den Einsatz von Nanosekunden- oder UKP-Laserstrahlung konzipiert und kann in Kavitäten eintauchen sowie in bestehende Strukturierungsanlagen integriert werden. Besonders problematisch ist dabei die Vermeidung von Verschmutzungen des optischen Systems durch das abgetragene Material.

Ergebnis

Mit dem am Fraunhofer ILT realisierten System können Rohre oder andere Kavitäten von bis zu 400 mm Eintauchtiefe strukturiert werden. Aufgrund einer neu ausgelegten Lösung zum Schutz der optischen Komponenten kann die Optik für produktive Prozesse mit hohem Materialabtrag über einen vergleichsweise langen Zeitraum eingesetzt werden. Durch Verwendung einer auf Graustufen-Bitmaps basierten CAD/CAM-Lösung können auch komplexe Strukturen auf innenliegenden Oberflächen erzeugt werden.

Anwendungsfelder

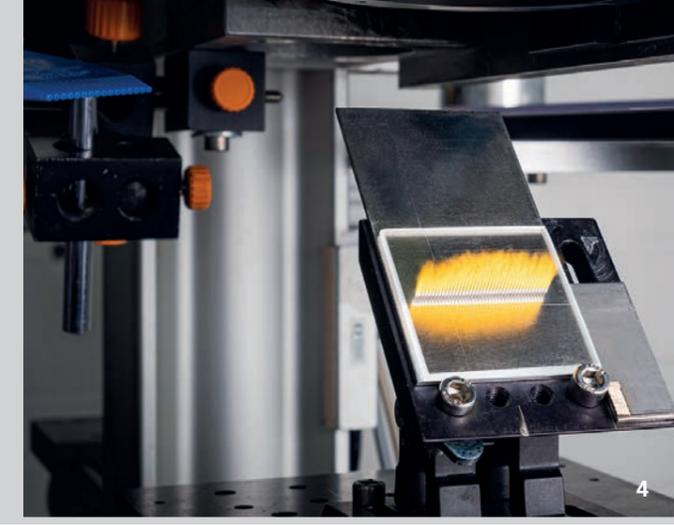
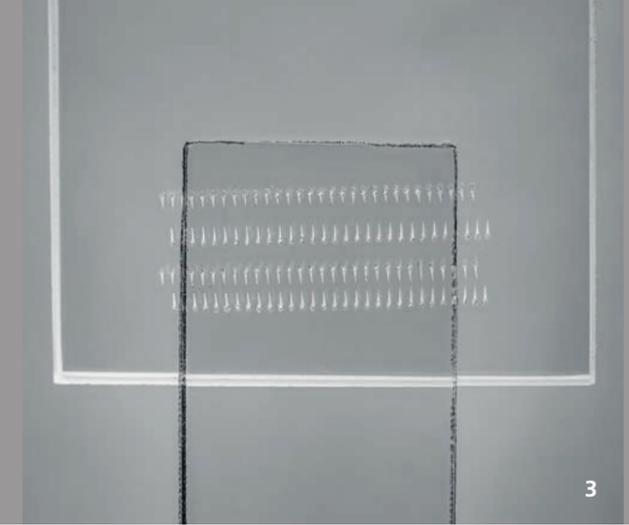
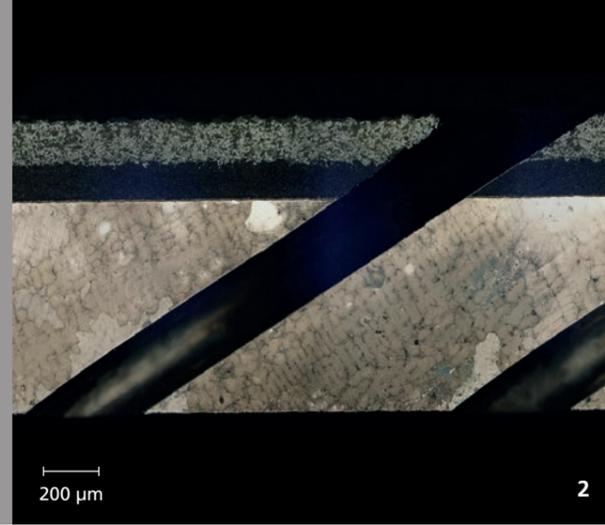
Die Anwendungsfelder liegen in der Optimierung von fluid-dynamischen Eigenschaften in besonders beanspruchten Rohrleitungen sowie der Erzeugung von innenliegenden selbstreinigenden Oberflächen und Strukturen zur Verschleißoptimierung für innenliegende Laufflächen. Weitere Anwendungsfelder sind das Entschichten oder Reinigen von schwer zugänglichen Stellen.

Ansprechpartner

Dr. Johannes Finger, DW: -472
johannes.finger@ilt.fraunhofer.de

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

2 Innenstrukturiertes Rohr.



PRÄZISE TIEFBOHRUNGEN MIT ULTRAKURZPULSLASERN

Aufgabenstellung

Tiefe Bohrungen mit hohem Aspektverhältnis können mit LangpulsLasern produktiv hergestellt werden. Jedoch entstehen dabei Defekte wie Schmelzschichten und Risse an der Bohrungswand. Außerdem kann eine gewisse Schwankung der Bohrungsdurchmesser nicht vermieden werden. Mittels ultrakurzgepulster Laserstrahlung können hochpräzise Bohrungen ohne Defekte erzeugt werden. Allerdings werden aktuell noch keine vergleichbaren Bohrtiefen und Aspektverhältnisse erreicht und auch die Produktivität ist über mehrere Größenordnungen geringer als beim Langpulsbohren.

Vorgehensweise

Umfangreiche Grundlagenuntersuchungen zum Abtrag bei hohen Fluenzen und hohen mittleren Leistungen legen die Grundlage für die Entwicklung von Tiefbohrprozessen mit ultrakurzgepulster (UKP) Laserstrahlung. Außerdem wurde eine neue Bohroptik am Fraunhofer ILT entwickelt und zum Patent angemeldet, welche deutlich größere Bohrtiefen und höhere Abtragraten ermöglicht.

1 Bearbeitung einer Turbinenschaufel.

2 Längsschliff einer UKP-gebohrten Probe.

Ergebnis

Auf Basis der Grundlagenuntersuchungen konnten sowohl ein geeigneter Prozessparameterbereich identifiziert als auch ein Auslegungstool für die neue Bohroptik entwickelt werden. Mit diesem werden für eine gewünschte Bohrungsgeometrie die benötigten optischen Komponenten und Prozessparameter bestimmt. Außerdem kann mithilfe des Tools vorab ermittelt werden, welcher Prozessparametersatz am produktivsten ist. Mit dieser sogenannten Tiefbohroptik können Bohrungen mit einem Durchmesser von 200–1000 µm mit einem Aspektverhältnis von bis zu 20 in Materialien wie z. B. Metalle oder Keramiken eingebracht werden. Außerdem können mit der Tiefbohroptik im gleichen Prozessschritt vor oder nach dem Bohren noch Shapes am Bohrungseintritt abgetragen werden.

Anwendungsfelder

Präzise, tiefe Mikrobohrungen werden in vielen Hochtechnologieanwendungen benötigt, wie z. B. Entlüftungsbohrungen für Werkzeugmatrizen, Kühlluftbohrungen in Gasturbinen oder Bohrungen als Schmiermittelzuführung für (Umform-) Werkzeuge. Außerdem können viele andere Bohrprozesse, die aktuell noch mit LangpulsLasern durchgeführt werden, von der erhöhten Präzision und Bohrlochqualität durch das UKP-Bohren profitieren.

Ansprechpartner

Dennis Haasler M.Sc., DW: -8321
dennis.haasler@ilt.fraunhofer.de

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

LASERBASIERTE HERSTELLUNG VON GLAS-KUNSTSTOFF- HYBRIDVERBINDUNGEN

Aufgabenstellung

Transparente Funktions- und Designelemente sind oftmals aus Glas- und Kunststoffmaterialien zusammengesetzt. Während Glasmaterialien kratzfest und temperaturunempfindlich sind, lassen sich Kunststoffe formflexibel verarbeiten. Durch die Kombination beider Werkstoffklassen können die materialspezifischen Vorteile kombiniert werden. Als Verbinder werden Klebstoffe oder Haftvermittler verwendet, jedoch sind diese oftmals nicht temperaturbeständig oder es entstehen mechanische Spannungen aufgrund unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten.

Vorgehensweise

Im Rahmen des NRW-Forschungsprojekts HyTraM in Kooperation mit den Industriepartnern Hella KGaA Hueck & Co. (Lippstadt), Simcon kunststofftechnische Software GmbH (Würselen) und Krallmann Pilot-Werkzeug GmbH (Hiddenhausen) wurde ein Fertigungsverfahren entwickelt, welches eine laserbasierte Verbindung beider Werkstoffe ermöglicht. Bei diesem zweistufigen Verfahren werden mittels Laserstrukturierung zunächst definierte Hinterschnitte im Glas erzeugt. Als Strahlquelle kommt hierfür je nach Anwendungsfall entweder ein CO₂- oder ein UKP-Laser zum Einsatz. Für den anschließenden Fügeprozess wird ein Thulium-Faserlaser verwendet, welcher im intrinsischen Absorptionsbereich der Kunststoffe Strahlung emittiert. Die Laserstrahlung durchdringt die Glasprobe und schmilzt den Kunststoff auf. Die Kunststoffschmelze fließt in die zuvor erzeugten Mikrostrukturen, sodass nach dem Abkühlen der Schmelze eine formschlüssige Verbindung entsteht.

Ergebnis

Die laserbasierte Herstellung von Glas-Kunststoff-Hybridverbindungen kommt ganz ohne den Einsatz von Zusatzstoffen wie z. B. Haftvermittler oder Klebstoffe aus. Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass die mechanische Festigkeit der Verbindungen entscheidend von der Strukturdichte und -ausrichtung abhängig ist. In zukünftigen Arbeiten sollen die strukturierten Glasproben mittels Spritzguss umspritzt werden, um dieses Verfahren im industriellen Umfeld etablieren zu können.

Anwendungsfelder

Glas-Kunststoff-Hybridverbindungen kommen überall dort zum Einsatz, wo die spezifischen Vorteile beider Werkstoffklassen genutzt werden sollen. Mögliche Anwendungsfelder sind beispielsweise Kfz-Scheinwerfer im Automobilbereich.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des NRW-Projekts HyTraM durchgeführt und aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) unter dem Kennzeichen EFRE-0801113 gefördert.

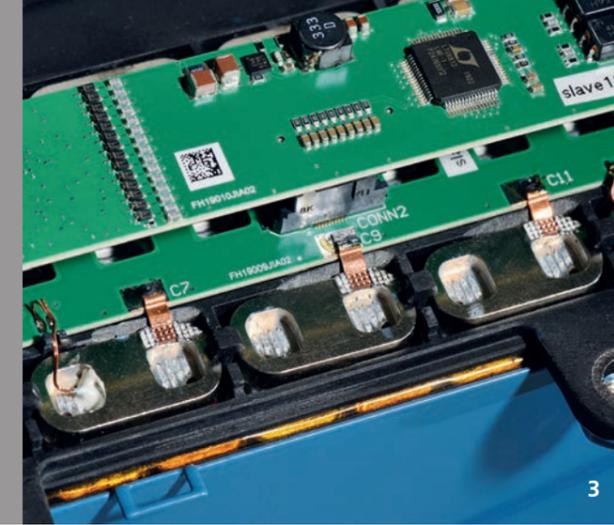
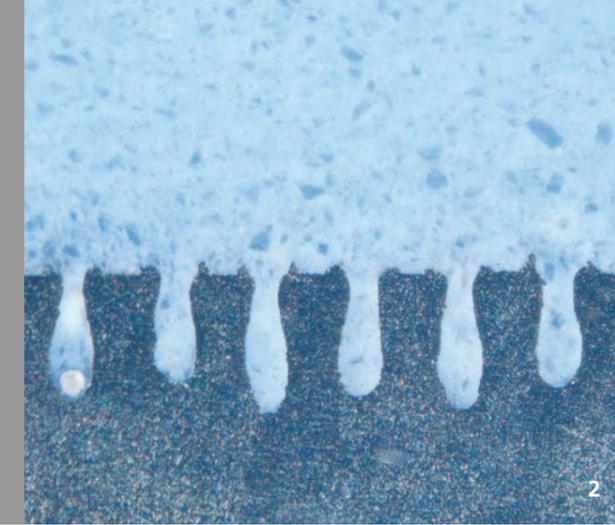
Ansprechpartner

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

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

3 Glas-Kunststoff-Hybridverbindung nach dem Fügeprozess.

4 Laserstrukturierung einer Glasprobe.



WIEDERVERWENDBARE KUNSTSTOFF-METALL-HYBRIDVERBINDUNG

Aufgabenstellung

Die Verbindung von artungleichen Werkstoffen stellt die Fertigungstechnik in nahezu allen Wirtschaftszweigen vor große Herausforderungen. Durch den kombinierten Einsatz verschiedener Werkstoffe in einem hybriden Verbund, wie beispielsweise Kunststoffe mit Metallen, können neben Gewichtseinsparungspotenzialen auch Funktionserweiterungen realisiert werden. Während sich Kunststoffe besonders durch ihr geringes Gewicht, ihren günstigen Preis und die fast unbeschränkte Formgebung auszeichnen, können Metalle aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften deutlich höheren mechanischen Belastungen ausgesetzt werden. Eine direkte stoffschlüssige Verbindung beider Werkstoffe scheidet jedoch bisher an der chemischen und physikalischen Unterschiedlichkeit. Eine Anbindung durch Formschluss oder die Verwendung von Zusatzwerkstoffen ist daher erforderlich. Eine stoffschlüssige Verbindung ist nach dem Fügen allerdings nur schwer wieder lösbar, wodurch eine sortenreine Trennung bzw. der Reparaturtausch einer Komponente erschwert wird.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wurde eine Prozesskette zur Verbindung von Kunststoff mit Metall entwickelt, bei der mittels Laserstrahlung zunächst Mikrostrukturen im metallischen Fügepartner erzeugt werden. Im nachfolgenden Laserfügeverfahren wird

- 1 Wiederverwendbares Elektronikgehäuse aus Aluminiumdruckguss mit PA6-Kunststoffdeckel.
2 Querschliff einer Aluminiumdruckgusslegierung.

der Kunststoff plastifiziert und durch Verkrallung in der Mikrostruktur formschlüssig angebunden. Diese Verbindung lässt sich durch eine lokale Erwärmung einfach wieder lösen, sodass eine Baugruppe sortenrein getrennt oder ein Reparaturtausch durchgeführt werden kann.

Ergebnis

Die untersuchte Zugscherverbindung besteht aus Aluminiumdruckguss und Polycarbonat (Makrolon®). Die gemessene Verbindungsfestigkeit beträgt unmittelbar nach dem Fügeprozess ca. 18,4 MPa. Der gemessene Festigkeitswert liegt im Bereich einer strukturellen Klebung. Nach dem Lösen der Verbindung durch die mechanische Prüfung ist das strukturierte Metall erneut mit Polycarbonat gefügt und im Anschluss getestet worden. Die ermittelte Festigkeit der Verbindung beträgt 18,8 MPa. Somit konnte nachgewiesen werden, dass die strukturierten Metallproben erneut ohne Festigkeitsverlust gefügt werden können.

Anwendungsfelder

Durch die Hybridisierung von Bauteilen werden die werkstoffspezifischen Vorteile unterschiedlicher Materialien kombiniert, sodass gleichzeitig leichte und steife Bauteile mit zusätzlichen Funktionen entstehen. Die laserbasierte Verbindung lässt sich auch mehrmals ohne Festigkeitsverlust fügen und bietet großes Potenzial in Bezug auf Nachhaltigkeit und Wiederverwendbarkeit. Der vorgestellte Ansatz ist besonders für die Luft- und Raumfahrtindustrie sowie den Automobilbau geeignet.

Ansprechpartner

Dipl.-Wirt.Ing. Christoph Engelmann, DW: -217
christoph.engelmann@ilt.fraunhofer.de

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

LASERSTRAHLSCHWEISSEN VON BATTERIEZELLEN FÜR HYBRIDFAHRZEUGE

Aufgabenstellung

Die Klimaziele der Europäischen Union stellen die Automobilbranche in Europa vor große Herausforderungen. Das EU-Projekt ADVICE soll die Akzeptanz und Verbreitung von Hybridfahrzeugen fördern. Dabei werden verschiedene Arten des Hybridantriebs untersucht und anhand von Demonstratorfahrzeugen weiterentwickelt. Im Rahmen des Projekts wird ein Hochleistungsbatteriesystem für einen VOLVO S90 entwickelt.

Vorgehensweise

Wenig Platz und hoher Leistungsbedarf sind hierbei die größten Herausforderungen. Der hohe Leistungs- bzw. Strombedarf beim Entladen und Aufladen durch Rekuperation wirkt sich auch auf die Auslegung des Laserstrahlprozesses zum Kontaktieren der Batteriezellen aus. Um die 186 prismatischen Zellen pro Modul mit geringstmöglichem elektrischem Widerstand zu verschalten, müssen große Anbindungsquerschnitte auf geringer Fläche erreicht werden. Gleichzeitig darf die thermisch empfindliche Batteriezelle durch die Erwärmung während des Schweißens nicht zu stark belastet werden.

Ergebnis

Durch die Simulation der thermischen Belastung können die Prozessführung optimiert und die auftretenden Maximaltemperaturen gesenkt werden. Mit dem resultierenden Laserstrahlschweißprozess konnten die Batteriezellen teilautomatisiert verschweißt werden. Um den notwendigen stromtragenden Querschnitt zu erreichen, werden vier parallele Schweißnähte mit jeweils rund 600 µm Nahtbreite im Überlapp eingebracht. Das aufgebaute Batteriesystem konnte von den Projektpartnern erfolgreich in das Fahrzeug integriert und getestet werden.

Anwendungsfelder

Das entwickelte System kann im Bereich der Elektromobilität und der Batterietechnik eingesetzt werden, um die Forschung auf diesem Gebiet zu unterstützen. Die Ergebnisse können außerdem auf Anwendungen mit hohen Anforderungen an die elektrische Stromtragfähigkeit der Verbindungen übertragen werden.

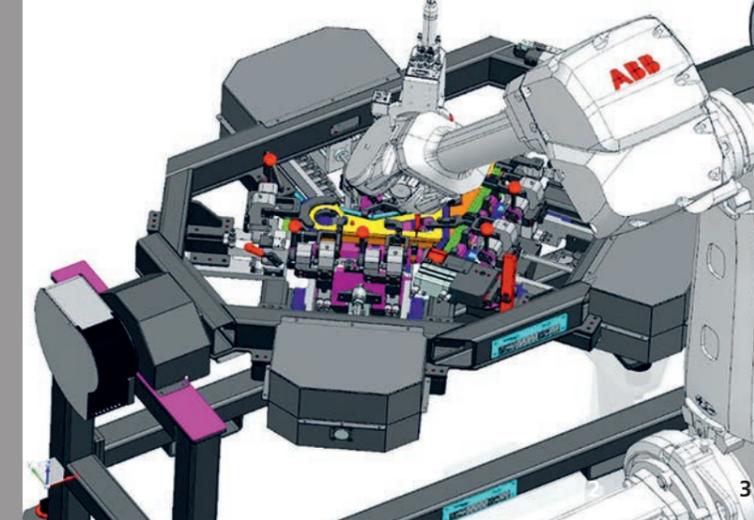
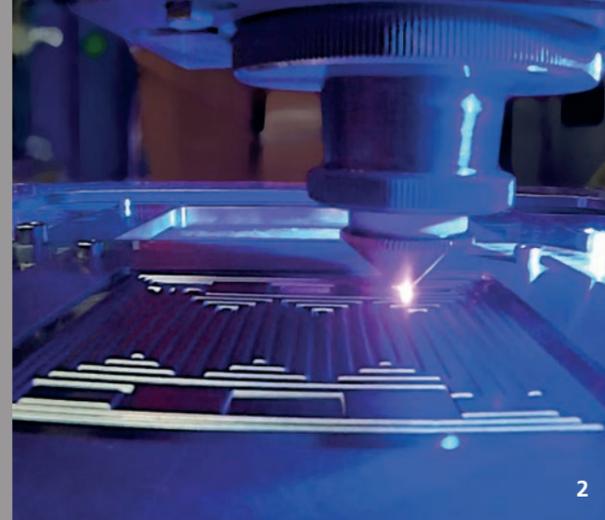
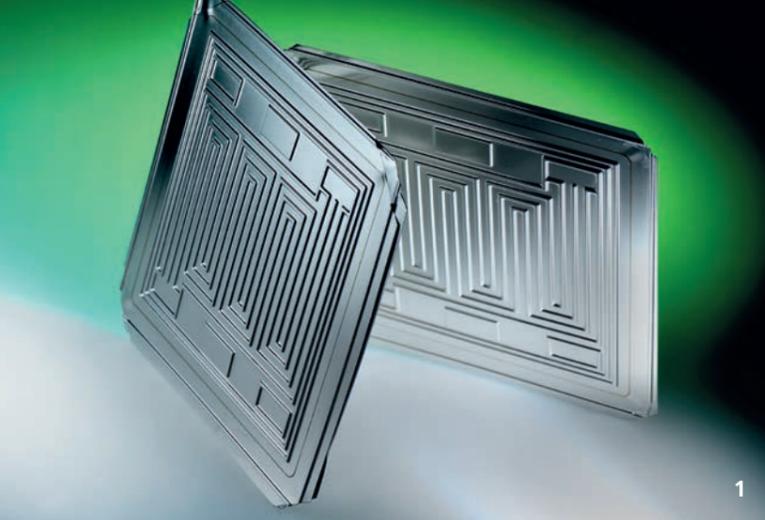
Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU-Projekts ADVICE unter dem Förderkennzeichen 724095 durchgeführt.

Ansprechpartner

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

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

- 3 Lasergeschweißte Batterieverbinder.
4 Batteriemodul für den Volvo S90 Hybrid.



HOCHGESCHWINDIGKEITS-SCHWEISSEN & -SCHNEIDEN VON BIPOLARPLATTEN AUS EDELSTAHL

Aufgabenstellung

In Brennstoffzellen werden Wasserstoff und Sauerstoff, räumlich getrennt, über elektrochemische Reaktionen unter Abgabe von elektrischer Energie und Wärme synthetisiert zu Wasser. Neben der Membran-Elektroden-Einheit ist die Bipolarplatte die zentrale Komponente der Wiederholeinheit eines Brennstoffzellenstacks. Die derzeitigen Produktionsschritte einer Platte erlauben insgesamt kein kosteneffizientes Gesamtkonzept bei langwierigen, batchweisen mit langen Transportwegen verbundenen Prozessen. Das Fraunhofer ILT ist im Projekt CoBiP durch die Entwicklung und Integration eines Rolle-zu-Rolle Laserschweiß- und Laserschneidmoduls daran beteiligt, eine innovative Gesamtlösung für das Fertigen von qualitativ hochwertigen Bipolarplatten zu schaffen.

Vorgehensweise

Die Herausforderung beim Laserstrahlmikroschweißen ist die geforderte Dichtheit der Schweißnähte eines Bipolarplattendesigns und die benötigte erhebliche Steigerung der Vorschubgeschwindigkeit. Beim Laserschneiden werden das scannergeführte Remoteschneiden wie auch das gasunterstützte Hochgeschwindigkeitsschneiden auf ihre Eignung untersucht, Bipolarplatten einlagig, doppellagig oder im Bereich der Kühlkanäle als Hohlstruktur zu schneiden.

1 Bipolarplatten mit verschweißter Außenkontur.

2 Laserstrahlschneiden von Bipolarplatten.

Zusätzlich muss durch ein neu zu entwickelndes Spannkonzep ein spaltfreies Andrücken zwischen den geformten Blechen ermöglicht werden.

Ergebnis

Mithilfe einer dem linearen Vorschub überlagerten Oszillationsbewegung lässt sich der Anbindungsquerschnitt an die technischen Anforderungen anpassen. Durch geeignete Wahl der verschiedenen Schweißparameter können fehlerfreie Schweißnähte unter Argonatmosphäre mit Vorschubgeschwindigkeiten bis zu 30 m/min erreicht werden. Für den Zuschnitt der Platten werden Geschwindigkeiten von weit über 100 m/min in grater Qualität erreicht, sodass beim Schneiden aufgrund der geringen Größe der Konturen die Dynamik des Achssystems die begrenzende Randbedingung stellt.

Anwendungsfelder

Das prozesssichere gasdichte Fügen und Konturieren von metallischen doppelwandigen Bipolarplatten mit hoher Prozessgeschwindigkeit ist die Grundlage für die effiziente wirtschaftliche Produktion von Bipolarplatten bzw. Brennstoffzellen.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Förderkennzeichen 03ETB020A durchgeführt.

Ansprechpartner

Elie Haddad M. Sc., DW: -8013
 elie.haddad@ilt.fraunhofer.de

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

MULTIFUNKTIONALER LASERROBOTER FÜR TRENNENDE, FÜGENDE UND ADDITIVE FERTIGUNG INKL. DIGITALEM ZWILLING

Aufgabenstellung

Die flexible Fertigung von Komponenten für den Elektrofahrzeugbau erfordert, speziell im Bereich kleiner und mittlerer Stückzahlen, die Anwendung multifunktionaler Werkzeuge. Deren Inbetriebnahme und die Produktionsvorbereitung werden durch einen digitalen Zwilling unterstützt, der zukünftig auch eine lückenlose Überwachung der Fertigung absichert.

Vorgehensweise

Ausgangspunkt sind die Entwicklung und der Aufbau eines flexiblen Laserbearbeitungskopfs, in dem die Funktionen für das Schneiden, Fügen und die Additive Fertigung integriert sind. Ein digitaler Zwilling bildet die Roboterkinematik und die komplette Anlagensteuerung ab – inklusive der SPS-programmierten Kopffunktionen und Spannvorrichtung. So wird eine virtuelle Inbetriebnahme und ein beschleunigter Wechsel der Prozesskette und des Produkts ermöglicht. Die Rückkopplung von Sensorsignalen der Hardware und des Prozesses dient zukünftig der Überwachung und Optimierung des Gesamtsystems.

Ergebnis

Im multifunktionalen Laserkopf sind die für die einzelnen Verfahren anzupassenden Strahlparameter durch eine variable Strahlformung einstellbar. Vorrichtungen für die Versorgung mit Arbeitsmedien und Zusatzwerkstoffen sowie zur Auskoppelung von Prozesssignalen sind integriert. Der digitale Zwilling der Laserroboterzelle ist weitgehend konfiguriert und gestattet nun die virtuelle Programmierung der SPS-gesteuerten Funktionen und die optimale Gestaltung der Fertigungsfolge.

Anwendungsfelder

Mit dieser Entwicklung wird erstmals ein Werkzeug für die Durchführung aller drei Fertigungsverfahren ohne Werkzeugwechsel zur Verfügung stehen. Die Virtualisierung ermöglicht eine beschleunigte Inbetriebnahme des Gesamtsystems und eine verminderte Fehleranfälligkeit in der Fertigungsvorbereitung. Anwendungen sind überall dort zu finden, wo es auf hohe Variantenvielfalt, schnelle Produktwechsel und agile Fertigung bei kleinen bis mittleren Stückzahlen ankommt. Die Entwicklung zielt auf die Fertigung von Elektrofahrzeugen ab, ist aber auch auf zahlreiche andere Produktklassen übertragbar.

Das Vorhaben MultiPROMobil wird aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes NRW unter dem Kennzeichen EFRE-0801253 gefördert.

Ansprechpartner

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

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

3 Simulation von Bauteil, Vorrichtung und Bearbeitungskopf im digitalen Zwilling.



SICHERES LASERSCHNEIDEN MIT MINIMALINVASIVER LEISTUNGSMODULATION

Aufgabenstellung

Die Überwachung und Regelung des Laserschneidprozesses sind essenzielle Methoden, um die Leistungsfähigkeit von Laserschneidanlagen zu steigern. So entstehen kontrollierte und sichere Prozesse, die selbst bei geringen Reserven stabil geführt werden können. Eine wesentliche Voraussetzung ist die zuverlässige Diagnose des Prozess- und Systemzustands in einem weiten Parameter- und Zustandsraum. Auch oder gerade unter variierenden Prozessbedingungen muss eine sichere Beurteilung mit einfachen diagnostischen Mitteln möglich sein. Hierfür bietet die am Fraunhofer ILT entwickelte Methode der minimalinvasiven Leistungsmodulation (MILM) hervorragende Möglichkeiten.

Vorgehensweise

Durch spezielle Modulationsmuster der Laserleistung werden im Prozesssignal Antworten induziert, die über eine einfache, koaxial beobachtende Photodiode detektiert werden. Die Analyse des Übertragungsverhaltens vom Eingangssignal (Laserleistung) zum Ausgangssignal (Photodiode) liefert eine deutlich treffendere und robustere Identifikation des Prozesszustands als eine Auswertung des Photodiodensignals eines nicht modulierten Prozesses mit klassischen Signalanalysemethoden. Der Prozess reagiert z. B. in einem kritischen

1 Entwicklungsarbeiten zur Prozessüberwachung mit minimalinvasiver Leistungsmodulation.

Prozesszustand nahe der Trenngrenze signifikant anders auf Leistungsänderungen als in einem stabilen Zustand. Die Modulationsstärke kann dabei so gering gewählt werden, dass keine störenden bzw. qualitätsmindernden Auswirkungen auf das Schnertergebnis auftreten. Die Erzeugung der Modulationsmuster erfolgt schneidparameterabhängig gesteuert oder durch die Rückkopplung des Photodiodensignals geregelt.

Ergebnis

Mithilfe der charakteristischen Antwortmuster des Photodiodensignals kann der Durchschneiderfolg auch bei sonst nicht eindeutig zu bewertenden Prozesssignalen, typisch z. B. beim Hochgeschwindigkeitsschneiden, sicher überwacht werden. Eine schnelle Prozessdatenverarbeitung auf Basis eines FPGA erlaubt kurze Reaktionszeiten im Bereich unter einer bis weniger Millisekunden in Echtzeit. Auch Standardschneidprozesse profitieren von MILM, da sich kritische Zustände rechtzeitig ankündigen und proaktiv vermieden werden.

Anwendungsfelder

Die Methode dient in der jetzigen Entwicklungsstufe der Überwachung von Laserschneidanlagen und wird durch die Rückkopplung auf die Prozessparameter zukünftig zu einer Prozessregelung erweitert. Dabei wird die Analyse der komplexen charakteristischen Muster auf Basis maschineller Lernalgorithmen eine zentrale Rolle spielen. Auch eine Übertragung der Methode auf das Laserschweißen ist vorgesehen.

Ansprechpartner

Dr. Frank Schneider, DW: -426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de

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



IDENTIFIKATION UND NUTZUNG VON AKUSTISCHEN RESONANZEN BEIM LASERSTRAHLSCHNEIDEN

Aufgabenstellung

Anhand von Highspeed-Videoanalysen des Schmelzfilms auf der Schneidfront wurde erkannt, dass die erzeugten Schnittflanken genau in den Bereichen die geringste Rautiefe besitzen, in denen der Schmelzfilm abwärts gerichtete, hochfrequente Wellen aufweist. Die zugehörigen Frequenzen sinken mit der zu schneidenden Blechdicke und es wird vermutet, dass sie in der Nähe akustischer Resonanzen der Gassäule in der Schnittfuge liegen. Ein innovativer Ansatz besteht in der Verstärkung und Nutzung dieses positiven Effekts. Dafür soll ein akustisch abgestimmtes Schneiddüsensdesign entwickelt werden, das die Ausbildung einer resonanten »Schneidpfeife« bewirkt und damit die erzielbare Schnittflankenqualität verbessert.

Vorgehensweise

Im ersten Schritt der Entwicklung einer Schneidpfeife wird der zylindrische Teil des Düsenaustritts angepasst. Seine Geometrie wurde nach den bekannten physikalischen Gesetzen der Akustik dimensioniert und ihre Wirkung anschließend mit einer Standarddüse verglichen. Zur Überprüfung des akustischen Signals beim Austritt des Gasstroms aus der Düse in den freien Raum wurde ein optisches Mikrofon verwendet. Des Weiteren sind Schnitte an einem Edelstahlblech der Dicke 6 mm mit einem Faserlaser bei 4 kW Ausgangleistung durchgeführt worden, wobei der Gasdruck variiert wurde.

Ergebnis

Die Untersuchungen bestätigen, dass eine gezielte Einstellung der akustischen Wellen durch die Anpassung der Düsengeometrie möglich ist. Bereits ohne die im nächsten Schritt geplante Berücksichtigung des Gesamtresonanzsystems Düsenfuge wurde der Maximalwert der Rautiefe Rz um 15 Prozent reduziert. Angestrebt ist zukünftig eine Halbierung der Rautiefe.

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.

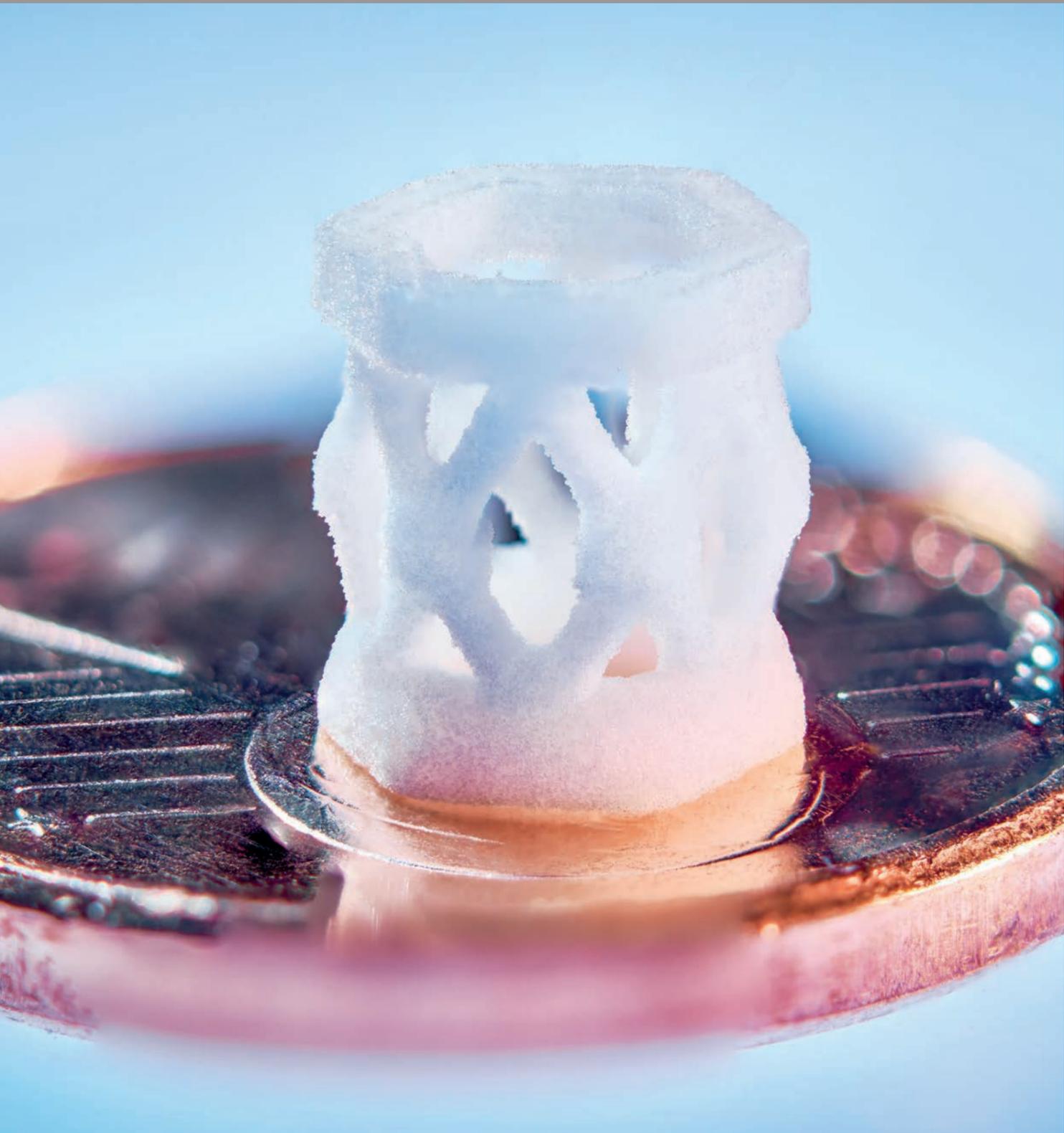
Ansprechpartner

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

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

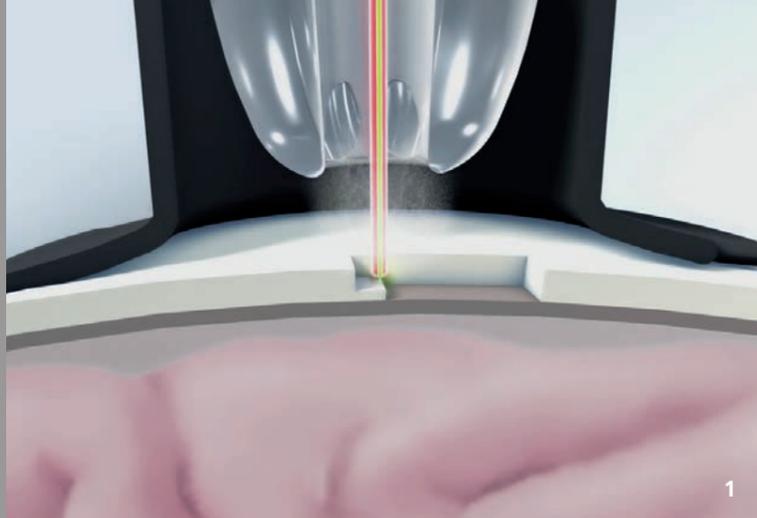
2 Highspeed-Videoografie des Schneidprozesses liefert neue Einblicke.

MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK



INHALT

Laserosteotom für Wachoperationen in der Neurochirurgie	72
Schneller Autofokus für die kontrastreiche Highspeed-Pupillometrie	73
ArchiTissue – 3D-Architektur biohybrider Herzklappen durch Additive Fertigung	74
Hochauflösender 3D-Druck durch Photovernetzung mit Scrolling-DLP	75
Selektives Lasersintern von bioresorbierbaren Scaffolds zur Knochenregeneration	76
Optische Prozessanalytik zur Charakterisierung von Nanopartikeln	77



1



100 µm

2



3

LASEROSTEOTOM FÜR WACHOPERATIONEN IN DER NEUROCHIRURGIE

Aufgabenstellung

In der Neurochirurgie wurden in den letzten Jahren neuartige Therapiemethoden entwickelt, die die Lebensqualität und Überlebensrate schwerkranker Patienten deutlich verbessern. Diese Methoden setzen voraus, dass der Patient im Wachzustand operiert wird, da während der Operation komplexe Funktionen wie z. B. das Sprechen getestet werden müssen. Bei der Wachoperation stellt das Entfernen von Knochen am Schädel mit Bohrern und Fräsen einen extrem belastenden Schritt für den wachen Patienten dar. Daher wird am Fraunhofer ILT in enger Zusammenarbeit mit Experten der Neurochirurgie ein Laserosteotom entwickelt, mit dem der Schädelknochen vibrationsfrei und geräuscharm eröffnet werden kann, um die psychische Belastung sowie die Verletzungsgefahr für den Patienten deutlich zu reduzieren.

Vorgehensweise

Für einen sicheren, vibrationsfreien und geräuscharmen Abtragprozess werden Bohrer und Fräse durch eine MIR-Laserstrahlquelle (mittleres Infrarot) ersetzt, die Nanosekundenpulse mit Pulsenergien im Millijoule-Bereich emittiert. Damit der Schneidprozess effizient und ohne thermische Gewebeschädigung verläuft, müssen die Laserpulse mit Kilohertzfrequenzen so entlang der Schnittlinie verteilt werden, dass

1 Applikator zur Umsetzung des Laserschneidprozesses am Schädelknochen.

2 Laserschnitt an einem Rinderbeinknochen mit einem Aspektverhältnis von 16:1.

eine zusammenhängende tiefe Schnittfuge entsteht. Diese Schneidfunktion realisiert ein Applikator mit integriertem 2D-Miniscanner zur Strahlführung, einer Fokussieroptik mit verstellbarer Fokusslage und einer Sprühnebeldüse zum Benetzen der Knochenoberfläche. Synchron zum Schneidprozess ermittelt ein OCT-Messstrahl (optical coherence tomography) die lokale Schneidtiefe und Restdicke des Knochens, um den Schneidprozess so zu regeln, dass er kurz vor dem Durchtrennen des Knochens gestoppt wird. Die Schnitttiefenregelung schützt so die unter dem Schädelknochen liegenden Strukturen des Gehirns.

Ergebnis

In systematischen Abtragexperimenten an Rinderknochenproben wurden Prozessparameter für einen effizienten Laserschneidprozess ermittelt. Die dabei erzielten Abtragraten lagen oberhalb von $dV/dt = 4 \text{ mm}^3/\text{s}$. Die maximale Schneidtiefe betrug 7 mm bei einer Schnittbreite von 2 mm. Darüber hinaus ist ein digitales Modell des Laserosteotoms entwickelt worden, mit dessen Hilfe der gesamte Operationsablauf simuliert und eine Hardwaresteuerung entwickelt werden kann.

Anwendungsfelder

Anwendungsfelder für das Laserosteotom sind Wachoperationen zur Behandlung komplexer Bewegungsstörungen. Wachoperationen gewinnen zudem in der chirurgischen Therapie von niedergradigen Gliomen (Hirntumore) zunehmend an Bedeutung. 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

SCHNELLER AUTOFOKUS FÜR DIE KONTRASTREICHE HIGH-SPEED-PUPILLOMETRIE

Aufgabenstellung

Zur diagnostischen Pupillometrie werden mithilfe einer Highspeed-Kamera 1000 Bilder pro Sekunde aufgenommen. Die Erfolgswahrscheinlichkeit einer diagnostischen Messung hängt dabei maßgeblich von der Prozessdauer ab, da das Aufhalten und Nichtbewegen des Auges eine konstante Konzentration benötigt. Dazu soll der der Messung vorangehende Scharfstellprozess innerhalb einer Sekunde abgeschlossen sein. Zur Vermeidung von Augenschäden ist die Belichtung des Auges limitiert. Dadurch und durch die kleine Belichtungszeit soll ein lichtstarkes ($F\# < 2,4$) sowie kontrastreiches ($MTF > 0,6 @30 \text{ lp/mm}$) Autofokussystem ausgelegt werden.

Vorgehensweise

Das System besteht aus drei Elementen: einem lichtstarken Zoomobjektiv, einer schnellen Fokussiereinheit sowie einem schnellen und präzisen Bildauswertalgorithmus, der die Brennweite der Fokussiereinheit regelt. Um eine größtmögliche Auflösung zu erzielen, wird ein optisches System ausgelegt, das die Sensorgröße der Kamera vollständig belichtet. Unter Verwendung von Katalogkomponenten wird ein günstiges, robustes und kontrastreiches System ausgelegt. Der mittlere Abstand zwischen Objektiv und Auge beträgt 45 mm und variiert individuell um $\pm 10 \text{ mm}$. Die Integration einer Flüssiglense ermöglicht die Änderung der Objektivbrennweite durch Einstellung der Linsenkrümmung. Die Stellgeschwindigkeit liegt im Bereich von Millisekunden bei einer einstellbaren Brennweite von -500 mm bis +330 mm.

Ergebnis

Durch die Kombination einer Flüssiglense mit einem kontrastreichen und lichtstarken Objektiv ($MTF > 0,7 @30 \text{ lp/mm}$; $F\# < 2,4$) steht nun ein leistungsstarkes optisches System für die medizinische Pupillometrie zur Verfügung. Die Robustheit des optischen Systems ermöglicht das justagefreie Haltern der Linsen durch Distanzhülsen in einem Rohr. Der softwareseitige Autofokus benötigt zur Bildauswertung und Fokussierung eine mittlere Fokussierdauer von weniger als 0,65 s. Somit wird das Zeitfenster für die anschließende diagnostische Messung im Vergleich zu einer manuellen Fokussierung um mehrere Sekunden vergrößert.

Anwendungsfelder

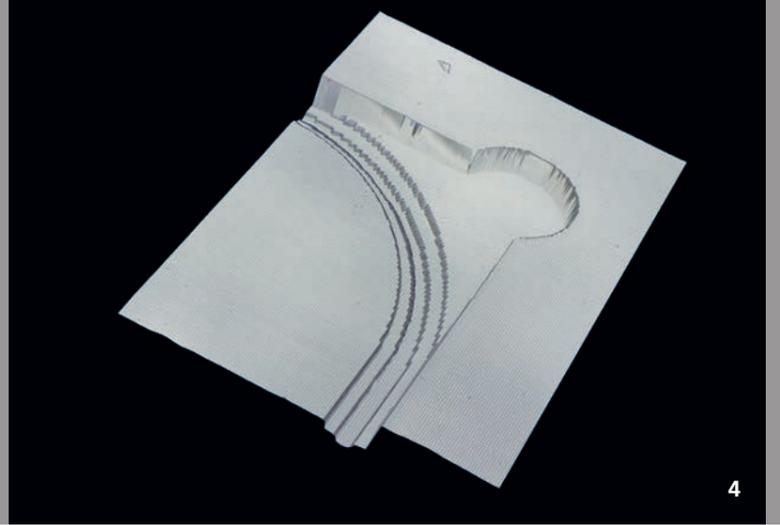
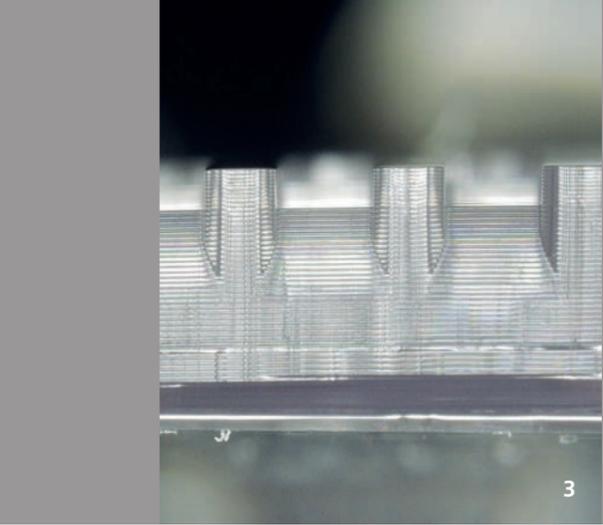
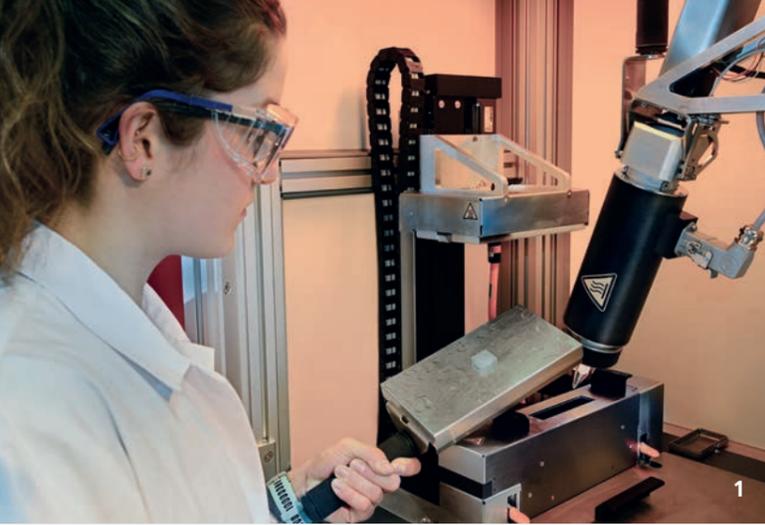
Der Autofokus ist in erster Linie für die medizinische Diagnostik ausgelegt. Weitere Anwendungsfelder finden sich in der polizeilichen Verkehrskontrolle, der Gesichtserkennung, der Kameraüberwachung sowie in der Überwachung der Fahrtüchtigkeit.

Ansprechpartner

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

Dipl.-Ing. Georg König, DW: -614
georg.koenig@tos.rwth-aachen.de

3 Highspeed-Pupillometrie in der Anwendung.



ARCHITISSUE – 3D-ARCHITEKTUR BIOHYBRIDER HERZKLAPPEN DURCH ADDITIVE FERTIGUNG

Aufgabenstellung

Mit steigender Lebenserwartung und Alterung der Gesellschaft treten auch vermehrt alterstypische Krankheitsbilder auf. Herzinsuffizienz ist eine der häufigsten Krankheiten im Alter, zu deren Ursache auch Erkrankungen oder Fehlfunktionen der Herzklappe zählen. Heutiger Herzklappenersatz, unabhängig davon ob biologischen oder technischen Ursprungs, ist mit Nachteilen verbunden. Biohybride Weichgewebeimplantate stellen hier eine vielversprechende Alternative dar. Die Kombination eines technisch haltbaren Stützgerüsts, welches mit patienteneigenen Zellen als biologischer Komponente umgeben ist, bietet das Potenzial eines spezifisch angepassten und gut verträglichen Herzklappenersatzes. Die Herstellung der benötigten 3D-Gerüststrukturen wird mithilfe der laserbasierten Stereolithographie erforscht.

Vorgehensweise

Zur Herstellung von 3D-Gerüststrukturen werden aktuelle Erkenntnisse der photoinitiatorfreien, photochemischen Polymerisation mit einem innovativen Stereolithographieprozess zur Verarbeitung von heißschmelzenden Photopolymeren kombiniert. Hochviskose Thiol-En-Photopolymere werden im Hinblick auf mechanische Stabilität und Elastizität sowie

1 Entnahme eines 3D-Gerüststrukturgrünlings aus der SLA-Anlage.

2 Lichtmikroskopische Aufnahme einer 3D-Gerüststruktur.

Biokompatibilität entwickelt und mit hochauflöser Stereolithographie verarbeitet. Zur Anpassung der mechanischen Eigenschaften der 3D-Gerüststrukturen werden verschiedene Elementarzellendesigns sowie deren räumliche Anordnung systematisch erforscht.

Ergebnis

Mittels Laserstereolithographie konnten 3D-Gerüststrukturen hergestellt und deren mechanische Eigenschaften sowohl durch die Auslegung der Gerüstarchitektur als auch durch die Zusammensetzung des Photopolymers angepasst werden. Die verwendeten Elementarzellen liegen dabei in einem Größenbereich von einigen Mikrometern bis zu wenigen Millimetern Kantenlänge. Mithilfe von Proliferations- und Zytotoxizitätstests wurde die Biokompatibilität der Polymere nachgewiesen.

Anwendungsfelder

Die Herstellung von biokompatiblen Gerüststrukturen findet hauptsächlich für neuartige Implantate in der regenerativen Medizin Anwendung sowie für organoide Testsysteme in der pharmazeutischen Industrie. Ferner eröffnet der Zugang zu 3D-mikrostrukturierten, polymeren Werkstoffen neue Möglichkeiten für die Herstellung von adaptiven Bauteilen in der Kunststoffbranche.

Das Projekt ArchiTissue wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unter dem Kennzeichen 403170227 gefördert.

Ansprechpartner

Klaus Kreuels M. Sc., DW: -8183
klaus.kreuels@ilt.rwth-aachen.de

Prof. Arnold Gillner, DW: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

HOCHAUFLÖSENDER 3D-DRUCK DURCH PHOTOVERNETZUNG MIT SCROLLING-DLP

Aufgabenstellung

Die Herstellung mikrofluidischer Chips für Diagnostikverfahren erfolgt üblicherweise im Spritzguss, was die Entwicklung neuer Chips langwierig und teuer macht. Bisher konnte mit 3D-Druckverfahren keine ausreichend hohe Auflösung unter wirtschaftlichen Bedingungen erzielt werden.

Vorgehensweise

In der Elektronikfertigung wird das Scrolling-DLP (Digital Light Processing)-Verfahren bereits zur Belichtung von Feinleiterbahnen mit einer Auflösung von einigen Mikrometern eingesetzt. Hier wird mit Fotolack in einer Schichtdicke von einigen Mikrometern bestrahlt. Am Fraunhofer ILT wurde das Scrolling-DLP-Verfahren für die Erfordernisse des 3D-Drucks angepasst und eine maschinentechnische Lösung erprobt, mit der Bauteile bis zu einigen Zentimetern Höhe hergestellt werden können.

Ergebnis

Das Bildfeld des DLP-Projektors beträgt etwa 10 x 20 mm² bei einer Pixelgröße von 10 µm. Durch die Bewegung (scrolling) des Projektors während der Belichtung kann eine große Fläche von z. B. 40 x 100 mm² so mit hoher Auflösung belichtet werden. Dabei werden die Bildinformationen zeilenweise synchron zur Bewegung durchgeschoben (scrolling), sodass eine übergangslose, homogene Belichtung der gesamten Fläche erzielt wird.

Anwendungsfelder

Das Verfahren ist besonders zur schnellen Entwicklung von diagnostischen Chips und Verfahren für die Schnelldiagnose von Krankheitserregern und umweltbelastenden Stoffen geeignet. Damit können preiswert erste Testmuster gefertigt werden, mit denen das Design der Chips und die Funktionalität des Ansatzes getestet werden können.

Dieses Vorhaben wurde mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Rahmen des NRW-geförderten Projekts HoPro3D unter dem Kennzeichen EFRE-0801252 gefördert.

Ansprechpartner

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

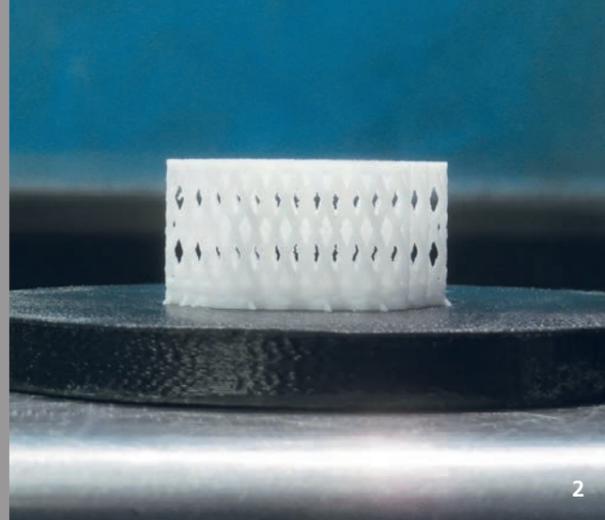
Dr. Martin Wehner, DW: -202
martin.wehner@ilt.fraunhofer.de

3 Seitenansicht eines hergestellten mikrofluidischen Chips.

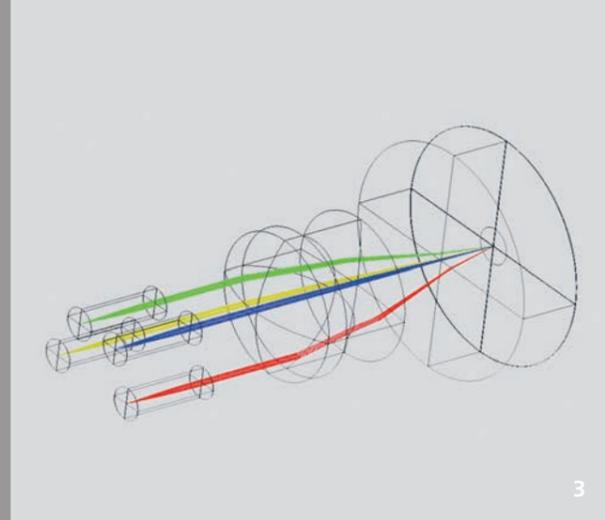
4 Mikrofluidische Kanalstruktur hergestellt mit einer Pixelgröße von 10 µm.



1



2



3



4

SELEKTIVES LASERSINTERN VON BIORESORBIERBAREN SCAFFOLDS ZUR KNOCHEN-REGENERATION

Aufgabenstellung

Um die Regeneration von Knochenknorpeldefekten und die Regeneration von Knochen über eine Knorpelzwischenphase zu induzieren, wird ein Zweikomponenten-Biomaterial (Mechano-Hybrid-Scaffold), bestehend aus einer weichen Kollagenkomponente mit gerichteter innerer Leitstruktur und bioaktiven Mikropartikeln, in Kombination mit einer resorbierbaren, mechanisch stützenden Sekundärstruktur entwickelt. Diese Sekundärstruktur soll durch einen Lasersinterprozess aus dem Material PCL (Polycaprolacton) additiv gefertigt werden, um eine einstellbare mechanische Stabilität zu ermöglichen.

Vorgehensweise

Zur Herstellung von Stützstrukturen aus PCL mittels selektivem Lasersintern ist zunächst die Ermittlung geeigneter Verfahrensparameter notwendig. Die Herausforderung liegt dabei insbesondere in der Fertigung von maximal feinen Strukturen, um in der Anwendung möglichst viel Volumen für Knochenwachstum zu bieten. Gleichzeitig muss die mechanische Stabilität durch eine hohe erzielte Dichte im Volumenmaterial gegeben sein. Für die Verfahrensentwicklung wird eine flexibel

anpassbare Laboranlage verwendet. Dadurch können neben den Prozessparametern auch weitere Randbedingungen wie der Pulverauftrag oder eine Deionisation des Pulvers untersucht werden.

Ergebnis

Mit optimierter Prozessführung und angepassten Verfahrensparametern können Stützstrukturen mit Strebendicken < 0,45 mm hergestellt werden. Für die Anwendung stellen sich jedoch Strukturen mit Strebendicken von 0,6–0,7 mm als vorteilhafter heraus. Dabei konnten Druckfestigkeiten der Strukturen von > 35 MPa erzielt werden. In Kombination mit Kollagen können Mechano-Hybrid-Scaffolds hergestellt werden. Diese konnten bereits in Tierversuchen erfolgreich getestet sowie darüber hinaus deren Biokompatibilität in vivo nachgewiesen werden.

Anwendungsfelder

Mechano-Hybrid-Scaffolds können zum Beispiel als Medizinprodukte zur Behandlung von osteochondralen Defekten oder zur Behandlung von Knochendefekten bzw. zur Wirbelkörperfusion eingesetzt werden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben ECHO wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 13XP5048C durchgeführt.

Ansprechpartner

Prof. Sebastian Bremen, DW: -537
sebastian.bremen@ilt.fraunhofer.de

1 Stützstruktur für Mechano-Hybrid-Scaffolds für Kleintiere.

2 Stützstruktur für Mechano-Hybrid-Scaffolds für Großtiere.

OPTISCHE PROZESSANALYTIK ZUR CHARAKTERISIERUNG VON NANOPARTIKELN

Aufgabenstellung

Im EU-Projekt PAT4Nano entwickelt das Fraunhofer ILT in Kooperation mit neun europäischen Partnern aus Forschung und Industrie neue Werkzeuge für die Echtzeitcharakterisierung von Nanosuspensionen. Im Zentrum stehen dabei Anwendungen aus den Bereichen Pharma, Farbstoffe und Feinchemikalien. Ausgehend von den Anforderungen der Anwender sollen messtechnische Verfahren zur Bestimmung der Größenverteilung von Nanopartikeln sowie deren chemischer Zusammensetzung entwickelt und im industriellen Umfeld getestet werden.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wird das Verfahren der dynamischen Lichtstreuung (DLS) eingesetzt, um aus der Diffusionsbewegung von Nanopartikeln deren Größe zu ermitteln. Damit das Verfahren auch im Prozess eingesetzt werden kann, wird optisch mit einer »Inline-Sonde« gemessen. Das DLS-Verfahren basiert auf der zeitlich aufgelösten Erfassung einfach gestreuter Photonen aus einem kleinen Messvolumen im Nano- bis Pikoliterbereich. Um die Methode auch in Suspensionen mit hoher Partikelkonzentration einsetzen zu können, müssen vielfach gestreute Photonen unterdrückt werden, da diese das Messsignal überlagern. Dies erfolgt mithilfe einer Kreuzkorrelation von Signalen aus zwei gleichartigen Streulichtanordnungen. Hierfür entwickelt das Fraunhofer ILT eine kompakte Optik und baut diese in eine Tauchsonde ein, mit der Nanosuspensionen in laufenden chemischen Prozessen ohne Probenahme charakterisiert werden können.

Ergebnis

Die vom Fraunhofer ILT patentrechtlich geschützte Inline-DLS-Sonde wurde im Hinblick auf ein verbessertes Strömungsverhalten weiterentwickelt. Dadurch können aufeinanderfolgende Messungen mit noch weiter reduzierten Querkontaminationen durchgeführt werden. Die Optik der Sonde für die Kreuzkorrelations-DLS-Methode wurde entwickelt, gefertigt und in eine Tauchsonde mit präziser Fokusverstellung integriert.

Anwendungsfelder

In chemischen, pharmakologischen und biotechnologischen Prozessen spielen Nanopartikel eine wichtige Rolle. Im PAT4Nano-Projekt stehen vor allem Dispersionsprozesse im Fokus. Anwendungsfelder sind die Vermahlung kristalliner pharmakologischer Wirkstoffe, die Herstellung von Tinten aus Farbpigmenten sowie die Produktion nanopartikulärer Feinchemikalien für z. B. Katalysatoren oder Batterien.

Das Projekt wird von der EU im Rahmen des FuE-Programms 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

3 Optiksimation für die Kreuzkorrelations-DLS-Sonde mit zwei Anregungs- und zwei Detektionskanälen.

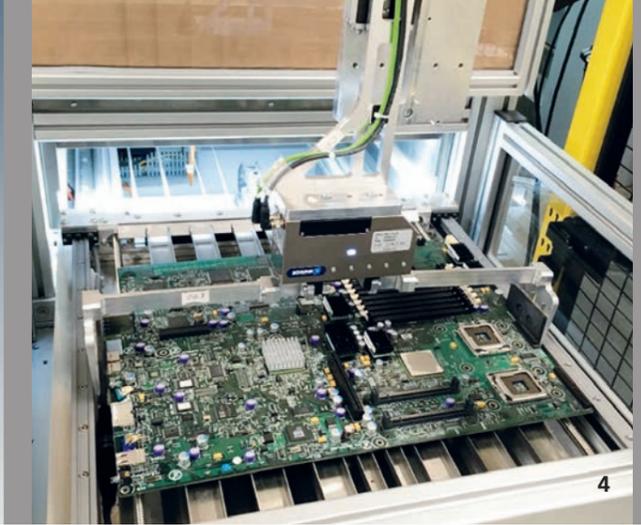
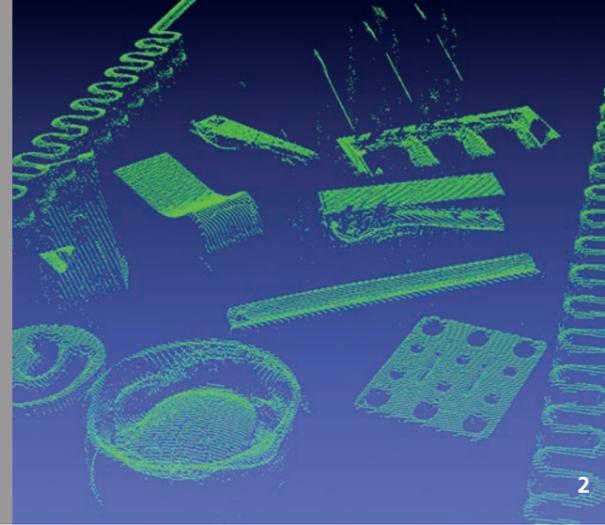
4 Kreuzkorrelations-DLS-Sonde.

LASERMESSTECHNIK UND EUV-TECHNOLOGIE



INHALT

Pilotanlage zur lasergestützten Sortierung von Sonderlegierungen	80
Demonstratoranlage zur Lasererkennung elektronischer Bauteile	81
Ortsgenaue Analyse leichter Elemente in Bohrkernen	82
Einschweißtiefenmessungen bei schneller Variation der Laserstrahlleistung	83
In-situ-Analyse von Laserbearbeitungsprozessen mittels Pump-Probe-Mikroskopie	84
Fourier-Ptychographie für die Fernfeldmikroskopie	85
EUV-Messtechnik für die industrielle Halbleiterfertigung	86
Kompakte und brillante UV-VIS-Lichtquelle für die Analytik	87



PILOTANLAGE ZUR LASERGESTÜTZTEN SORTIERUNG VON SONDERLEGIERUNGEN

Aufgabenstellung

Metalle sind wertvolle und zum Teil auch versorgungskritische Rohstoffe. Sie lassen sich ohne Qualitätsverlust recyceln, sofern sie in sortenreinen Fraktionen vorliegen. Die manuelle Sortierung von Altmetall ist jedoch nicht uneingeschränkt möglich. Darum wurde ein vollautomatisiertes Sortierverfahren für Sonderlegierungen entwickelt und in der Praxis validiert.

Vorgehensweise

Das vom Fraunhofer ILT entwickelte Verfahren zur laserspektroskopischen, berührungslosen und schnellen Multielementanalyse (LIBS) von Teilen auf einem bewegten Förderband bestimmt die Legierungsklasse von Altmetallstücken. Der patentierte Ansatz sorgt dafür, dass auch komplex geformte und verunreinigte Teile korrekt analysiert werden. Ein Delta-Roboter ergreift anschließend die Teile und führt sie – je nach ermittelter chemischer Zusammensetzung – der zugeordneten Sortierfraktion zu. Die geometrischen Informationen für die Laseranalyse und die robotische Austragung werden mit einem Laserlichtschnittsensor erfasst und mit automatischer Bildauswertung aus den 3D-Bildern berechnet.

1 Sortenreine Titanschrotte.
2 3D-Erfassung von Teilen auf einem Förderband.

Ergebnis

Zusammen mit Projektpartnern wurde eine Pilotanlage in einem industriellen Recyclingbetrieb aufgebaut und in Betrieb genommen. Diese wird seitdem zur Sortierung von Altmetallstückgut im industriellen Maßstab eingesetzt. Moderne Klassifikationsverfahren ermöglichen die Sortierung von Schnellarbeitsstählen, Titanlegierungen und Hartmetallen in insgesamt bis zu 21 Sortierfraktionen. Durch intelligente Kombination von Bildverarbeitung und Laserspektroskopie gelingt auch die Erkennung und korrekte Sortierung von Verbundmaterialien, beispielsweise eines HSS-Bohrers mit Stahlschaft.

Anwendungsfelder

Das hier etablierte Verfahren lässt sich auch auf andere Bereiche des Recyclings und der Materialprüfung übertragen. Die effiziente und nachhaltige Ressourcennutzung erfordert ein sortenreines Recycling in allen Bereichen und eine genaue Kenntnis der anfallenden Stoffströme. Die gemeinsame automatisierte Erfassung und Auswertung von Messdaten zur chemischen Zusammensetzung und zur Geometrie zeigen, wie Zukunftstechnologien, hier die intelligente Datenverarbeitung, die Anwendungspotenziale der lasergestützten Sortierung erheblich erweitern können.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 033R181B durchgeführt.

Ansprechpartner

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

Prof. Reinhard Noll, DW: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

DEMONSTRATORANLAGE ZUR LASERERKENNUNG ELEKTRONISCHER BAUTEILE

Aufgabenstellung

Moderne elektronische Geräte enthalten eine Vielzahl unterschiedlicher Materialien, von denen nur ein Teil am Ende der Nutzungsdauer in den heutigen Verwertungsverfahren zurückgewonnen wird. Weitere wertvolle Technologierohstoffe können jedoch in einer Kreislaufwirtschaft wiedergewonnen werden, wenn sie in Fraktionen mit hohen Konzentrationen der Zielmaterialien abgetrennt werden.

Vorgehensweise

Das Konsortium des EU-Projekts ADIR hat eine automatisierte Demonstrationsanlage für die gezielte Entnahme elektronischer Komponenten aus Altelektronik erarbeitet. Ein Kernpunkt ist dabei die Bereitstellung der Information, wo welche Komponenten mit welchen Inhaltsstoffen montiert sind. Diese Informationen werden mit Verfahren der Bildverarbeitung, 3D-Lasermessung und Laserspektroskopie gewonnen und in einer Datenbank abgelegt.

Ergebnis

Ein Inspektionssystem, das elektronische Platinen aus der Vorverarbeitung entgegennimmt, zunächst hochauflösende Farbbilder erstellt und dann die 3D-Höhenstruktur auf der Platine misst, wurde aufgebaut und in den Demonstrator integriert. Die Ergebnisse werden mit denen bekannter Platinen, die bereits in der Datenbank gespeichert sind, verglichen. Die Inhaltsstoffe unbekannter Bauteile werden mit Laser-Emissionsspektrometrie (LIBS) ermittelt und die Bauteile – unterstützt durch Bildverarbeitungssoftware – zur Festlegung

von Zielfraktionen bewertet. So entsteht ein digitales Abbild aller verarbeiteten Platinen, anhand dessen im nachfolgenden Prozessschritt die wertvollen Bauteile gezielt per Laserentlöten entnommen und sortiert werden können. In Feldversuchen in einem Recyclingbetrieb konnte das Verfahren bereits erfolgreich erprobt werden. Spezialisierte metallurgische Betriebe haben aus den angereicherten Sortierfraktionen Wertstoffe wie z. B. Tantal als Sekundärrohstoff gewonnen. Die effiziente Arbeitsweise des gesamten Recyclingkonzepts stellte das ADIR-Projektconsortium auf der Berliner Recycling- und Sekundärrohstoffkonferenz vom 2.–3. März 2020 und dem Mineral Recycling Forum vom 10.–11. März 2020 in Aachen anhand von rund 1000 zerlegten Mobiltelefonen und über 800 Leiterplatten vor.

Anwendungsfelder

Fehlende Informationen über den Aufbau und die stoffliche Zusammensetzung von Altgeräten sind häufig ein Hindernis für eine hochwertige Wiederverwertung der Rohstoffe. Hier kann die digital vernetzte optische Messtechnik die Lücke schließen und eine effiziente und ressourcenschonende Nutzung ermöglichen.

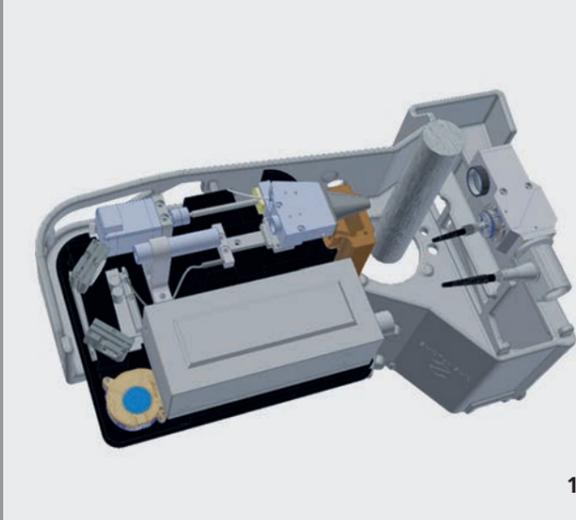
Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU-Projekts ADIR unter dem Förderkennzeichen 680449 durchgeführt.

Ansprechpartner

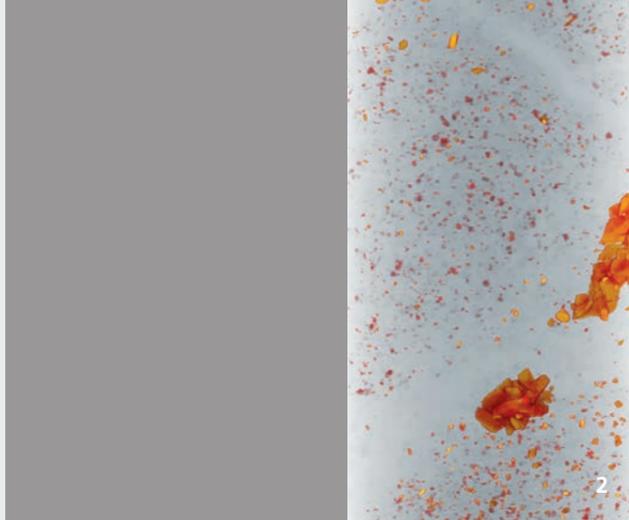
Dr. Cord Fricke-Begemann, DW: -196
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de

Prof. Reinhard Noll, DW: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

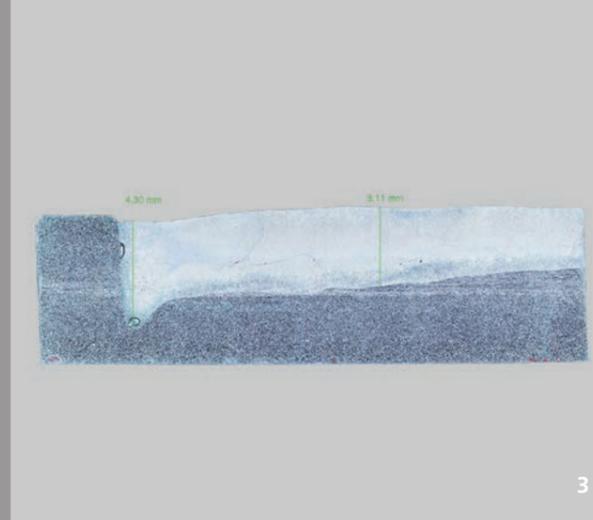
3 CAD-Zeichnung der Demonstrationsanlage.
4 Automatische Übergabe einer Platine an das Inspektionssystem.



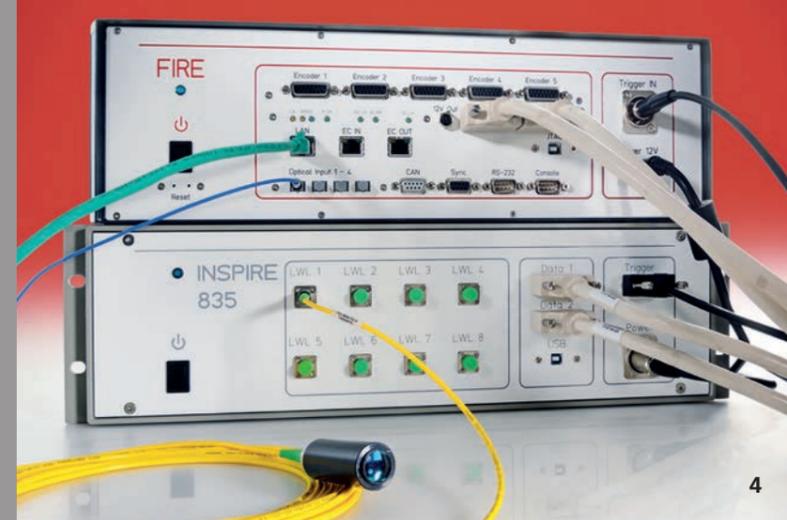
1



2



3



4

ORTSGENAUE ANALYSE LEICHTER ELEMENTE IN BOHRKERNEN

Aufgabenstellung

Bohrkerne werden bei der geologischen Erkundung gewonnen und müssen detailliert untersucht werden, um Gesteinsformationen zu identifizieren. Diese geben Hinweise auf Lagerstätten wertvoller Rohstoffe. Um die Untersuchungen automatisch durchführen zu können, wurden in den vergangenen Jahren Bohrkernscanner mit Röntgentechnologie entwickelt, die vor allem schwere Elemente detektieren können. Mit Laseranalytik sollen zusätzlich weitere Elemente und auch Mineralien erfasst werden.

Vorgehensweise

Mit der Laser-Emissionsspektroskopie LIBS können nahezu alle chemischen Elemente gemessen werden, einschließlich der leichten Elemente, die für die Beurteilung von Gesteinsproben von großer Bedeutung sind. Mit fokussierter Laseranregung kann eine ortsgenaue Analyse erreicht werden. Am Fraunhofer ILT wurde ein Messverfahren entwickelt, mit dem sich ein kompaktes Sensormodul aufbauen lässt. Mit einem zweiten auf der Laser-Raman-Spektroskopie beruhenden Messsystem können chemische Bindungen identifiziert werden. Einzelne Mineralien lassen sich so spezifisch nachweisen.

1 Lasersensor zur Integration in einen Bohrkernscanner.

2 3D-Repräsentation der chemischen

Zusammensetzung eines Bohrkerns (© Oreplore).

Ergebnis

Zur Integration der Laseranalytik in einen bestehenden industriellen Bohrkernscanner wurde ein Konzept entworfen, um die optischen Sensoren passgenau in den freien Bauräumen der Maschine anzuordnen. Damit können die Laserspektroskopischen Messungen gleichzeitig mit den Röntgenmessungen durchgeführt werden. Während der Bohrkern gedreht wird, fahren die Sensoren die gesamte Länge des Kerns ab und gewinnen so ein ortsaufgelöstes Bild seiner Zusammensetzung.

Anwendungsfelder

Mit dem kombinierten Messverfahren wird die Analyse von Bohrkernen, die bei jeder geologischen Erkundung gewonnen werden, beschleunigt und die Interpretation ihrer Zusammensetzung vereinfacht. Die geologischen Formationen am Untersuchungsort können so effizienter auf das Vorkommen wertvoller Rohstoffe oder auf Eigenschaften wie die Gesteinsstabilität hin untersucht werden.

Das Projekt demonstriert, wie sich kompakte Laserspektroskopische Sensoren in bestehende Systeme integrieren lassen und so deren Anwendungsmöglichkeiten erheblich erweitern.

Dieses Vorhaben wurde aus Mitteln des European Institute of Innovation and Technology EIT RawMaterials unter dem Kennzeichen 16275 gefördert.

Ansprechpartner

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

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

EINSCHWEISSTIEFEN-MESSUNGEN BEI SCHNELLER VARIATION DER LASERSTRAHLELEISTUNG

Aufgabenstellung

In Laserschweißprozessen werden Kamerasysteme und Pyrometer eingesetzt, um das Schmelzbad zu überwachen und den Bearbeitungsprozess zu dokumentieren. Darüber hinaus ist die Einschweißtiefe für viele Anwendungen ein wichtiger Prozessparameter. Sie hängt von gut kontrollierbaren Anlagenparametern wie der Laserstrahlleistung und der Vorschubgeschwindigkeit ab. Bei komplexen Bauteilgeometrien können variierende Abstände zwischen Schweißoptik und Werkstückoberfläche zu verschiedenen Spotdurchmessern und damit zu Schwankungen der Einschweißtiefe führen.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wurden inliniefähige, interferometrische Sensoren zur Geometriemessung mit höchsten Genauigkeitsanforderungen entwickelt. Diese Sensoren der »bd-x«-Familie sind bereits für die Inline-Dickenmessung an gewalzten Metallbändern und -folien erfolgreich in Betrieb genommen worden. Nun wurden diese erstmals unter verschiedenen Prozessbedingungen zur Messung der Einschweißtiefe beim Laserstrahlschweißen getestet. Bei fest eingestellten Vorschubgeschwindigkeiten zwischen 6 m/min und 14 m/min wurde die Laserstrahlleistung jeweils linear zwischen 0,5 kW und 6,0 kW variiert. Auf einer Verfahrstrecke von 40 mm betrug der Spotdurchmesser des Schweißlasers 600 µm. Der Messfleckdurchmesser der interferometrischen Sensorik lag bei 70 µm und wurde bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 8 m/min initial zum Keyhole ausgerichtet und während der gesamten Versuchsreihe nicht verändert.

Ergebnis

Bei Messungen mit einer Frequenz von 70 kHz lieferte die interferometrische Sensorik – je nach Vorschubgeschwindigkeit – 30 bis 60 Tiefenmesswerte pro Millimeter Verfahrstrecke. In Überlagerungsbildern zu mikroskopischen Querschliffaufnahmen konnten diese Messwerte der tatsächlichen Einschweißtiefe eindeutig zugeordnet werden.

Anwendungsfelder

In Verbindung mit der am Fraunhofer ILT entwickelten echtzeitfähigen Datenverarbeitungselektronik FIRE kann die interferometrische Sensorik zur Regelung von Produktionsprozessen eingesetzt werden, indem z. B. die Laserstrahlleistung während des Schweißprozesses angepasst wird. Mit einer Verzögerungszeit von nur 110 µs zwischen Messung und Ausgabe einer analogen Steuerspannung ist die interferometrische Sensorik zur schnellen und genauen Regelung von Schweißprozessen mit hohen Qualitätsanforderungen einsetzbar.

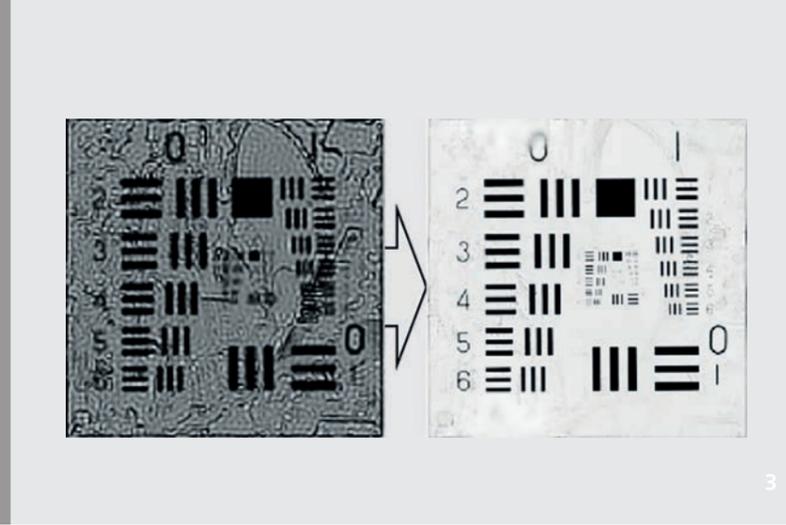
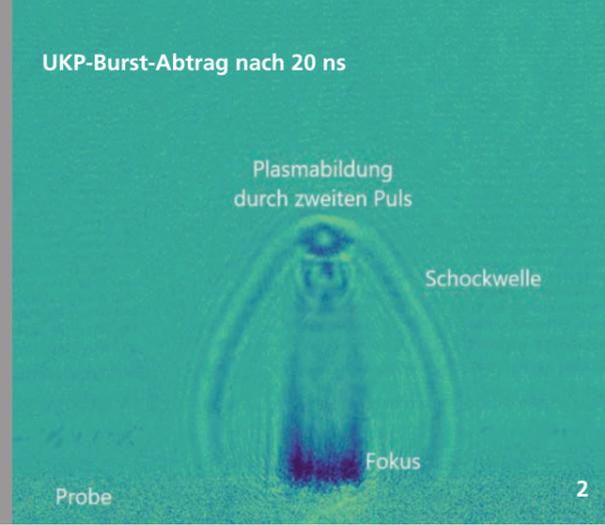
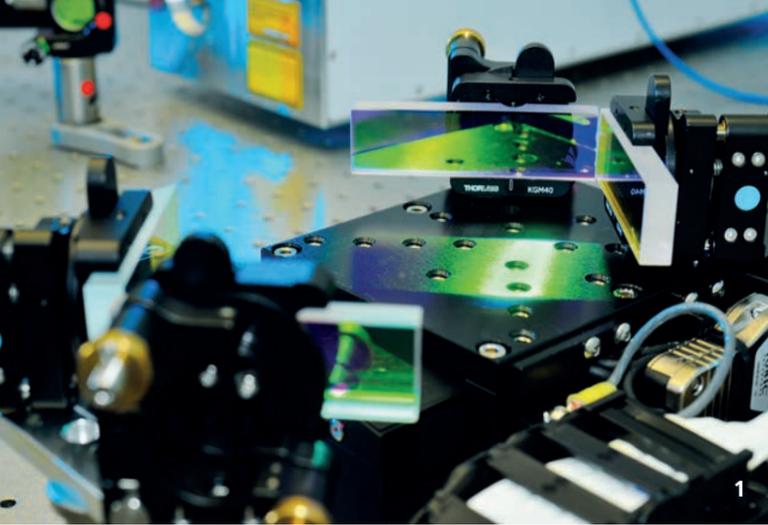
Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben INSPIRE wurde u. a. mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N14290 durchgeführt.

Ansprechpartner

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

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

3 Querschliffbild der Blindschweißung bei linearer Variation der Laserstrahlleistung.
4 »bd-4«-Sensorik und Datenverarbeitungselektronik.



IN-SITU-ANALYSE VON LASERBEARBEITUNGS-PROZESSEN MITTELS PUMP-PROBE-MIKROSKOPIE

Aufgabenstellung

Bearbeitungsprozesse mittels ultrakurz gepulster (UKP) Laserstrahlung liefern qualitativ hochwertige Ergebnisse, bieten derzeit im Vergleich zu konventionellen Verfahren jedoch eine geringe Produktivität. Ansätze zur Steigerung der Produktivität mithilfe von Hochleistungsstrahlquellen basieren auf der Verwendung von hohen Pulswiederholungsraten zur schnelleren Strahlableitung, dem Einsatz von Pulsbursts sowie der Erzeugung von Multistrahl zur Parallelbearbeitung. Bei der skalierten Materialbearbeitung können zusätzliche Akkumulations- und Abschirmungseffekte sowie eine veränderte Absorption auftreten. Um die Energiedeposition im Werkstück zu steuern, ist das Verständnis dieser Effekte unerlässlich. Die Pump-Probe-Mikroskopie bietet eine Analysemöglichkeit, um diese Anregungs-, Abschirmungs- und Akkumulationseffekte im Prozess zu beobachten.

Vorgehensweise

Zur Beobachtung von Akkumulationseffekten wird ein Pump-Probesystem mit hohen Repetitionsraten und Burst-Konfiguration realisiert. Der Probepuls wird zur Schattenfotografie der durch den Pumpimpuls erzeugten Modifikation genutzt. Die vom Projektpartner TRUMPF GmbH & Co. KG speziell entwickelten UKP-Strahlquellen ermöglichen dabei die Schattenfotografie-

aufnahmen über einen besonders weit ausgedehnten Beobachtungszeitraum. Zur schnellen Strahlableitung wird ein Mikroskanner des Projektpartners LightFab GmbH genutzt.

Ergebnis

Mit dem realisierten System können Abschirmungseffekte zwischen Burstpulsen auf Materialoberflächen mit einer Zeitauflösung von 300 fs analysiert werden. Im Volumen transparenter Materialien lassen sich zudem nichtlineare Absorptionseffekte untersuchen. Das System ist insbesondere für die Analyse der Puls-zu-Puls-Wechselwirkung für nahezu beliebig räumlich geformte Strahlverteilungen geeignet. Somit lassen sich unterschiedlichste maßgeschneiderte UKP-Abtragprozesse darstellen und in-situ analysieren.

Anwendungsfelder

Das System bietet eine hochauflösende räumliche und zeitliche Prozessdiagnostik für hochrepetitive UKP-Prozesse an Oberflächen von nahezu allen Werkstoffen und darüber hinaus im Volumen transparenter Materialien. Die Anwendungsgebiete reichen von großflächigen Entschichtungsprozessen für die Glasindustrie über die Skalierung zur Herstellung von Mikrofluidiken für die Medizintechnik bis hin zur Erstellung kleinster Geometrien für die Halbleiterindustrie oder Bauteile für quantentechnologische Endanwendungen. Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF im Rahmen der Förderinitiative »Femto Digital Photonic Production« (Femto DPP) unter dem Förderkennzeichen 13N13307 durchgeführt.

Ansprechpartner

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

Prof. Arnold Gillner, DW: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

FOURIER-PTYCHOGRAPHIE FÜR DIE FERNFELDMIKROSKOPIE

Aufgabenstellung

Mit Industrie 4.0 wird die Prozessüberwachung zu einem immer relevanteren Thema in nahezu allen industriellen Prozessen. In der Metallverarbeitung beispielsweise wird dazu oftmals die Lichtmikroskopie eingesetzt, um Oberflächen-defekte zu detektieren und zu analysieren. Die verwendeten Mikroskope sind jedoch kostspielig und der vollständige Scan eines makroskopischen Objekts ist äußerst zeitaufwendig.

Vorgehensweise

Das Ziel ist ein optischer Aufbau auf Basis der Fourier Ptychographie, der mithilfe eines Lasers und einer CCD-Kamera algorithmenbasiert Bilder erzeugen kann, die eine höhere Auflösung besitzen als konventionell über optische Verfahren erzeugte Bilder. Dies wird realisiert, indem eine Apertur mechanisch verschiedene Positionen abfährt und nach jeder Verschiebung eine niedrigaufgelöste Aufnahme erstellt. Aus der Summe dieser Aufnahmen lässt sich nun mittels eines Optimierungsverfahrens ein einzelnes, höher aufgelöstes Bild zurückrechnen. Somit können mit günstigen Komponenten und einem Arbeitsabstand von ca. 50 cm weitwinklige Aufnahmen generiert werden, deren Auflösung mit der von herkömmlichen Lichtmikroskopen konkurrieren kann.

Ergebnis

Zur Generierung des hochauflösenden Bilds wurde ein Optimierungsalgorithmus erfolgreich implementiert. Weiterhin wurde ein experimenteller Aufbau realisiert, mit dem bereits erste Auflösungssteigerungen erzielt werden konnten. Zukünftige Entwicklungen umfassen weitere Steigerungen durch Anpassungen von Messmethode und Algorithmus.

Anwendungsfelder

Das Verfahren kann bei allen industriellen Prozessen eingesetzt werden, die optische Methoden für eine Prozessüberwachung verwenden. Es ist insbesondere bei jenen Prozessen von Nutzen, die von mikroskopischen Aufnahmen profitieren, dabei aber den geringen Arbeitsabstand von herkömmlichen Mikroskopen nicht realisieren können.

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

Ansprechpartner

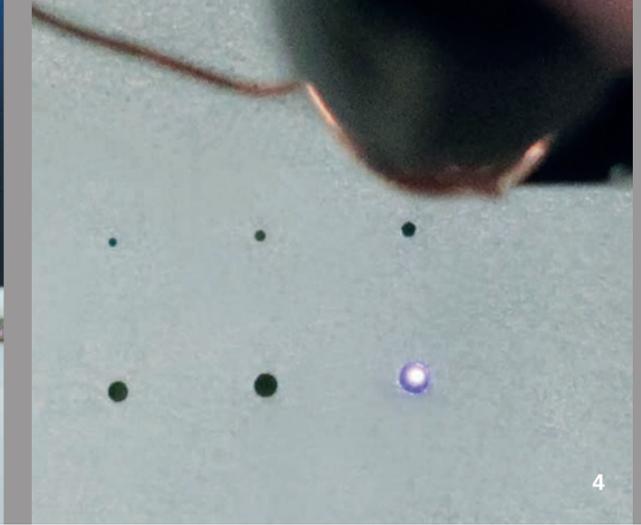
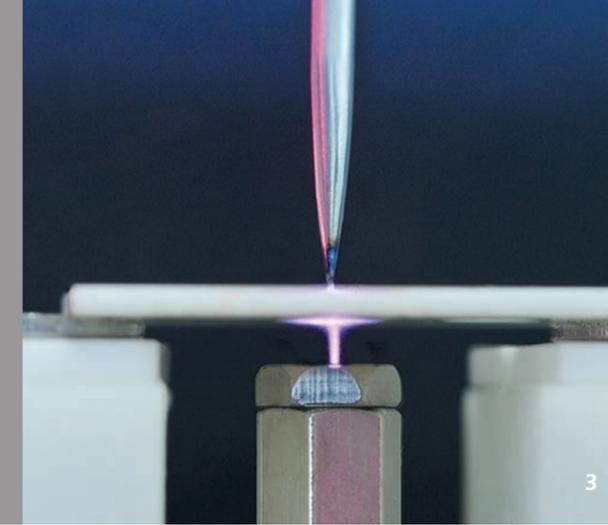
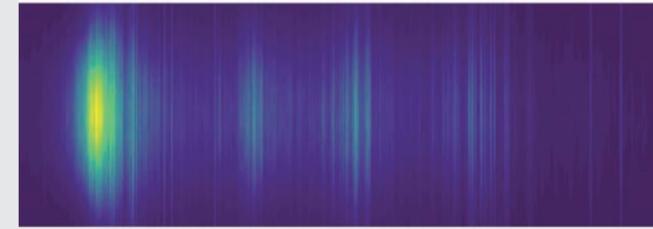
Paul Buske M. Sc., DW: -359
paul.buske@tos.rwth-aachen.de

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

3 Auflösungssteigerung durch iterativen Algorithmus.

1 Hochrepetitives Pump-Probe-System (Bearbeitungsstation).

2 In-situ-Analyse von Multispots.



EUV-MESSTECHNIK FÜR DIE INDUSTRIELLE HALBLEITERFERTIGUNG

Aufgabenstellung

Die industrielle Halbleiterfertigung von Microchips der neuesten Generation nutzt lithographische Verfahren, bei denen Strahlung immer kürzerer Wellenlänge, derzeit extremultraviolette (EUV-)Strahlung bei 13,5 nm, verwendet wird, um immer kleinere und komplexere Strukturanordnungen zu fertigen. Unterstützende messtechnische Verfahren sind erforderlich, die den daraus resultierenden steigenden Anforderungen gerecht werden. Die EUV-Messtechnik zeigt gegenüber anderen photonischen Messverfahren Vorteile, da sie hochsensitiv gegenüber Strukturen mit nanoskaligen Abmessungen ist, die im Resonanzbereich der Strahlung liegen. Auch lässt sich EUV-Strahlung für aktinische Messtechnik nutzen, das heißt Verfahren, die die gleichen Wellenlängen wie Lithographiesysteme verwenden.

Vorgehensweise

Mit einem EUV-Spektrometer wird der Reflexionsgrad von Materialproben und nanostrukturierten Proben im Wellenlängenbereich von 8 nm bis 17 nm unter verschiedenen Einfallswinkeln im streifenden Einfall gemessen. Aus den ermittelten Reflexionsgraden können mithilfe modellbasierter

Verfahren die optischen Konstanten sowie weitere geometrische und chemische Eigenschaften der Probe rekonstruiert werden. Dazu zählen die nanoskaligen Strukturabmessungen periodischer Oberflächenstrukturen, Schichtdicken und Rauheiten von Vielschichtsystemen sowie die Stöchiometrie und Dichte von Materialien.

Ergebnis

Die optischen Konstanten von neuartigen Materialien können im EUV-Spektralbereich von 8 nm bis 17 nm bestimmt werden. Die Charakterisierung nanoskaliger Gitterstrukturen und Vielschichtsysteme ist mit einer Auflösung im sub-nm Bereich möglich.

Anwendungsfelder

Die Entwicklung des Messverfahrens geht einher mit der neuesten Generationen von Halbleiterprodukten. Dabei werden z. B. neuartige Absorbermaterialien für die Maskenherstellung charakterisiert. Zudem eignet sich das EUV-Spektrometer durch seine kompakte Bauweise auch für die direkte Prozessüberwachung in der Halbleiterfertigung.

Die Arbeiten wurden durch die EU im Rahmen des ECSEL Joint Undertaking unter dem Kennzeichen 783247 sowie durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft e. V. (DFG) unter dem Kennzeichen 415848294 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 Experimenteller Aufbau des EUV-Spektrometers.

2 Aufgezeichnetes EUV-Spektrum.

KOMPACTE UND BRILLANTE UV-VIS-LICHTQUELLE FÜR DIE ANALYTIK

Aufgabenstellung

Barrierentladungen sind seit langem als effiziente Lichtquellen, z. B. als Excimerstrahler, im Einsatz. In solchen Quellen werden in einem Gas bei Atmosphärendruck und Anlegen einer gepulsten oder Wechselhochspannung kurzlebige Plasmafilamente erzeugt, die die elektrische Leistung effizient in Licht umwandeln. Eine möglichst brillante Strahlungsquelle sollte sich dann darstellen lassen, wenn das Licht entlang der Filamentachse ausgekoppelt werden kann und die Filamente immer an der gleichen Position gezündet werden. Ein solcher Ansatz wurde bisher noch nicht verfolgt.

Vorgehensweise

Zur Untersuchung der Lichterzeugung und Auskoppelbarkeit der Strahlung entlang der Filamentachse wurden erste Experimente durchgeführt. Das Elektrodensystem besteht dabei aus einer spitzen Elektrode und einer mit einer Öffnung versehenen, flachen Gegenelektrode. Die Spitze erlaubt dabei eine ortsfeste Zündung der Filamente. Durch die Öffnung der Gegenelektrode wird die Emission entlang der Achse ausgekoppelt und untersucht.

Ergebnis

Zunächst wurde die Machbarkeit einer ortsfesten Zündung der Filamente demonstriert. Bild 3 zeigt die Emission im zeitlichen Mittel, wobei ein Durchmesser von wenigen 100 µm erreicht wird. Bei Experimenten mit Umgebungsluft wurde gezeigt,

dass die Emission der intensiven Stickstofflinien zwischen 300 nm und 400 nm vergleichbar hoch aus axialer und seitlicher Beobachtungsrichtung ist. Für Excimerstrahlung ist dies ohnehin durch den Mechanismus der Lichterzeugung im Plasma gegeben.

Anwendungsfelder

Die Erzeugung von Einzelfilamententladungen erlaubt eine sehr kompakte Bauweise brillanter Lichtquellen, was insbesondere neue Anwendungen in der Online-Analytik ermöglicht. Ein Beispiel sind kompakte 2D-Fluoreszenzsonden, bei der in einem Array mehrerer Einzelfilamententladungen in Kombination mit Spektralfiltern verschiedene Wellenlängen zur Fluoreszenzanregung eines Messobjekts erzeugt werden. Aus der 2D-Intensitätsverteilung lassen sich Rückschlüsse auf z. B. in Wasser enthaltene Schadstoffe ziehen. Mithilfe dieser Technologie können deutlich mehr Informationen gewonnen werden als mit den heute in der Wasseranalytik verbreitet eingesetzten Absorptionsmessungen bei einer festen Wellenlänge.

Ansprechpartner

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

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

3 Seitenansicht einer Einzelfilamentbarrierentladung.

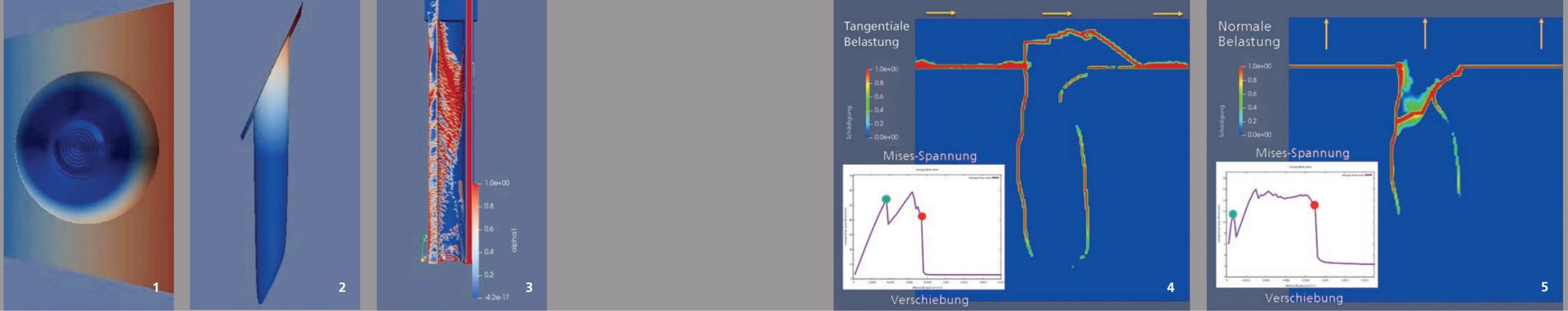
4 Einzelfilamentbarrierentladung in axialer Beobachtungsrichtung.

DIGITALISIERUNG



INHALT

Simulation der Stabilität eines wasserstrahlgeführten Laserstrahls	90
Simulation des Bondens von Metall-Kunststoff-Verbindungen	91
Reinforcement Learning zur Optimierung der Oberflächenrauheit beim LPBF	92
Digital Microservices für die schichtbasierte Laserproduktion	93
Virtual Lab – zentrale Datenstruktur gemäß der AM-Prozesskette	94
Scientific Data Hub	95



SIMULATION DER STABILITÄT EINES WASSERSTRAHL-GEFÜHRTEN LASERSTRAHLS

Aufgabenstellung

Das Bohren und Schneiden mit wasserstrahlgeführter Laserstrahlung ist ein etabliertes Fertigungsverfahren. Um ein besseres Verständnis der physikalischen Grenzen und der technischen Potenziale zu erreichen, werden moderne numerische Werkzeuge wie z. B. OpenFOAM eingesetzt, mit denen reduzierte Modelle entwickelt und Simulationen mit kleiner Berechnungszeit implementiert werden können. Die reduzierten Modelle werden mit experimentellen Daten kalibriert und können relevante Eigenschaften richtig beschreiben. Sie erlauben eine große Anzahl von Berechnungsergebnissen zur Vorhersage der geometrischen Form des Abtrags, der dynamischen Stabilität des Wasserstrahls und der thermomechanischen Belastung des Materials. Diese leistungsstarken, reduzierten Modelle werden zur Weiterentwicklung des Fertigungsverfahrens und für eine agile Produktentwicklung auf Basis einer datenbasierten »Prozesslandkarte« angewendet.

Vorgehensweise

Die sogenannte Volume-of-fluid (VoF)-Methode erlaubt die Berechnung der Strömung von mehrphasigen, interagierenden Phasen, also der flüssigen Phase eines Wasserstrahls, welcher die Laserstrahlung führt, und die den Gasstrahl umgebende Gasphase. Unter Berücksichtigung der Kompressibilität im

- 1,2 Simulation einer schrägen Bohrung, Seitenansicht (1) und Draufsicht (2).
- 3 Simulation der Strömung eines Wasserstrahls in einer Trepanierbohrung.

abströmenden Dampf und dem Umgebungsgas werden Stabilität und Reichweite des lichtleitenden Wasserstrahls in einer räumlich dreidimensionalen Abtragsvertiefung analysiert. Die Simulation wird mit einem parallelisierten OpenFOAM-Code durchgeführt, um die Berechnungszeit des dynamischen Vorgangs zu verkleinern. Mit einer automatischen Bildverarbeitung wird die Integrität des Wasserstrahls berechnet, um dessen Stabilitätsgrad im abgetragenen Hohlraum quantitativ zu charakterisieren. In einer mehrdimensionalen Prozesslandkarte wird der Stabilitätsgrad in Abhängigkeit der Parameter für das Fertigungsverfahren und die geometrischen Merkmale der Abtragsvertiefung dargestellt.

Ergebnis

Eine Simulation zusammen mit einer automatischen Nachbearbeitung zur Stabilitätsanalyse des Wasserstrahls in einen räumlich dreidimensionalen Hohlraum wird als Werkzeugkette organisiert. Die Stabilität des Wasserstrahls im Laser-Micro-Jet (LMJ)-Verfahren kann mit virtuellen Werkzeugen quantifiziert werden.

Anwendungsfelder

Die entwickelte dynamische Simulation einer Mehrphasenströmung und ihre Analysewerkzeuge werden angewendet, um die erreichbare Qualität des LMJ-Verfahrens zu bewerten und dessen Produktivität zu verbessern. Das virtuelle Werkzeug kann auf andere Fertigungsverfahren mit dominantem Abtrag durch Schmelze übertragen werden.

Ansprechpartner

Dr. Markus Nießen, DW: -8059
markus.niessen@ilt.fraunhofer.de

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

SIMULATION DES BONDENS VON METALL-KUNSTSTOFF-VERBINDUNGEN

Aufgabenstellung

Materialverbindungen aus Kunststoff und Metall werden zunehmend im Leichtbau oder bei Baugruppen aus Hybridmaterialien industriell angewendet. An Stellen, wo hohe mechanische Belastungen zum Tragen erforderlich sind, werden in der Regel Metalle eingesetzt. In vielen Komponenten können je nach Anforderung auch Kunststoffe verwendet werden, die dann mit weniger Gewicht punkten. Die Herausforderung solcher Materialkombinationen ist oft die Verbindungstechnik. Offene Fragen zum Laserstrahlbonden betreffen die Haftfestigkeit, das Verhalten des Interface zwischen Metall und Kunststoff während des Versagens und seine Beziehung zur Form des zu strukturierenden metallischen Verbindungspartners.

Vorgehensweise

Das Laserstrahlbonden besteht aus zwei Fertigungsschritten, nämlich dem Strukturieren des metallischen Fügepartners und das Wärmeleitungsfügen. Die Simulation des Strukturierens einer Metalloberfläche und die Bildauswertung von experimentellen Ergebnissen liefern die Eingabegrößen für die Berechnung der Festigkeit einer Verbindung. Die Kombination der mechanischen Eigenschaften von Metall, Interface und Kunststoff als linear elastisch, orthotrop linear elastisch und nichtlinear hyperelastisch bestimmt das Verhalten der Verbindung unter Belastung, das numerisch berechnet wird. Durch Berechnung der mechanischen Eigenschaften eines einzelnen Strukturelements als »Representative Volume Element RVE« etwa einer Linie werden auf kombinierte Strukturen etwa mehrere oder gekreuzte Linien übertragen.

Ergebnis

Die Tiefe, Breite und der Unterschnitt der strukturierten Oberfläche des Metalls sind relevante Merkmale für die geometrische Form des Metall-Kunststoff-Interface und bestimmen die erreichbare Festigkeit sowie das Verhalten während des Versagens. Die Ergebnisse für Belastung in tangentialer (Bild 4) und normaler Richtung (Bild 5) eröffnen ein grundlegend besseres Verständnis für den dominanten Einfluss der Festigkeit des Kunststoffs sowie der geometrischen Form der strukturierten Metalloberfläche und begründen die Kriterien für die Auslegung von Materialkombinationen und der Strukturparameter.

Anwendungsfelder

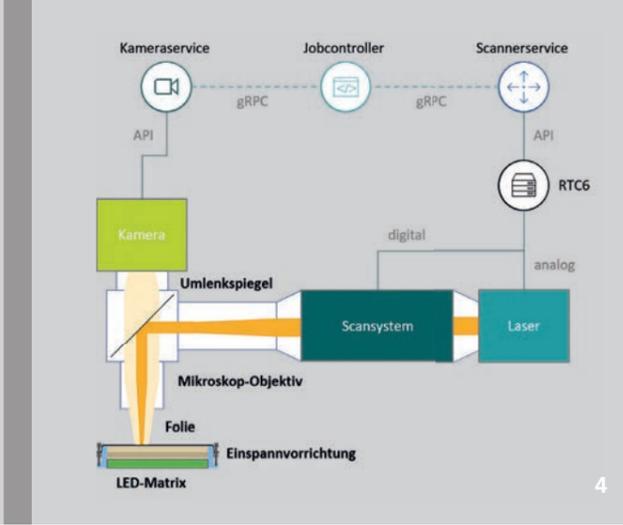
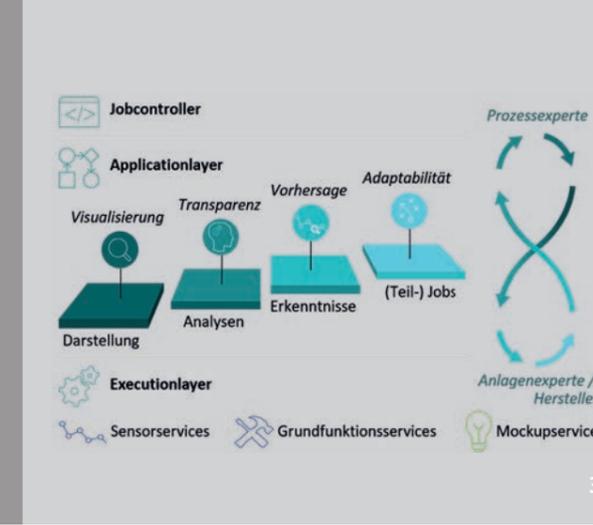
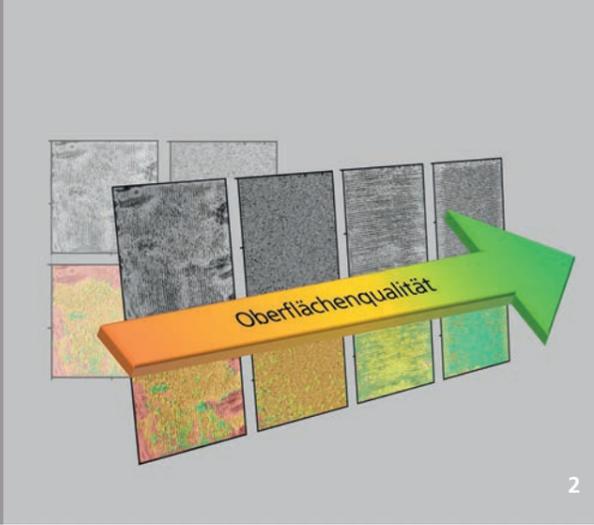
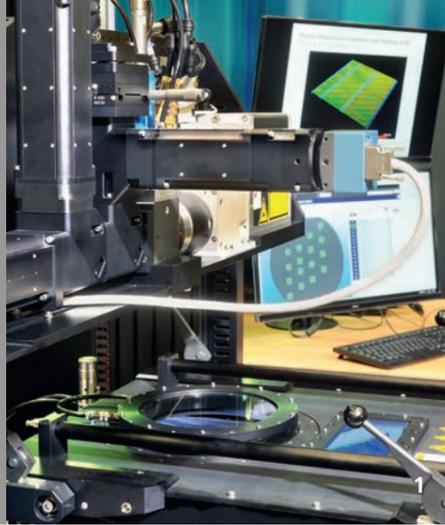
Die Vorgehensweise der mechanischen Simulation ist auf eine Vielzahl geschichteter (orthotroper) Strukturen übertragbar, wie z. B. auf Baugruppen, die elektrisch leitfähige und elektrisch isolierende Teile enthalten, oder auf Schichten zur Wärmedämmung für Turbinenkomponenten.

Ansprechpartner

Dr. Markus Nießen, DW: -8059
markus.niessen@ilt.fraunhofer.de

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

- 4 Einsetzendes Versagen (grün) und Bruch (rot) bei tangentialer Belastung.
- 5 Versagen unter Belastung in normaler Richtung (Pfeile).



REINFORCEMENT LEARNING ZUR OPTIMIERUNG DER OBERFLÄCHENRAUHEIT BEIM LPBF

Aufgabenstellung

Neben der Erkennung von Mustern in komplexen Datenströmen kann Künstliche Intelligenz weitere Beiträge zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und Qualität von Lasermaterialbearbeitungsprozessen leisten. Es zeigt sich in der Praxis immer wieder, dass es aufgrund unterschiedlichster Einflussgrößen zu ungewollten Abweichungen der Bauteiloberflächenqualität beim Laser Powder Bed Fusion (LPBF) kommt. Für einen Ausgleich solcher schichtübergreifenden Prozessabweichungen sind herkömmliche Regelsysteme aufgrund der während der Designphase getroffenen Annahmen häufig ungeeignet, um die komplexen Wechselwirkungsmechanismen in der Lasermaterialbearbeitung abzubilden.

Vorgehensweise

Abhilfe können Verfahren des maschinellen Lernens schaffen, indem ein in die Maschine integrierter KI-Algorithmus basierend auf realen Messdaten eine optimierte Strategie zur Erfüllung der definierten Prozessziele erlernt. Am Fraunhofer ILT wird dazu für das Laser Powder Bed Fusion (LPBF) ein Verfahren entwickelt, welches zunächst mithilfe eines Convolutional Neural Network (CNN) schichtweise die Oberflächenrauheit von LPBF-Bauteilen

anhand hochauflösender HDR-Kamerabilder der Bauteiloberfläche bewertet. Im nächsten Schritt wird Reinforcement Learning (RL) eingesetzt, um eine Strategie hinsichtlich der einzustellenden Prozessparameter für die nächste Bauteilschicht zu erlernen. Anhand der mittels CNN bewerteten Oberflächenbilddaten erlernt der Software-Agent die situationsangepasste Auswahl von Prozessparametern, welche eine möglichst geringe Oberflächenrauheit sowie eine geringe Anzahl an Oberflächendefekten zur Folge haben.

Ergebnis

Das Verfahren wird anhand realer Daten unter Laborbedingungen erprobt und zeigt Erfolge in Form einer erhöhten Oberflächenqualität bei einer geringen Anzahl von schichtweisen Parameteranpassungen. In weiteren Untersuchungen wird die Fähigkeit der automatischen und kontinuierlichen Adaption der erlernten Parameterstrategie an neue Prozesssituationen und Zielgrößen untersucht.

Anwendungsfelder

Das Verfahren ist grundsätzlich auf andere Bearbeitungsprozesse übertragbar und kann bei entsprechender Anpassung der Messtechnik auch zur Optimierung sowie zur Echtzeitregelung eines Prozesses eingesetzt werden.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU-Projekts QU4LITY unter dem Förderkennzeichen 825030 durchgeführt.

Ansprechpartner

Christian Knaak M. Sc., DW: -281
christian.knaak@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Peter Abels, DW: -428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

1 Experimenteller Aufbau

zur In-situ-Prozessbeobachtung beim LPBF.

2 KI-basierte Rauheitsanalyse

von LPBF-Bauteiloberflächen.

DIGITAL MICROSERVICES FÜR DIE SCHICHTBASIERTE LASERPRODUKTION

Aufgabenstellung

Die laserbasierte Fertigung profitiert von der Initiative Industrie 4.0 und der damit einhergehenden Digitalisierung der Anlagentechnik, welche eine verstärkte Flexibilisierung der Produktion ermöglicht. Der Laser, welcher sich durch seine präzise und schnelle Positionierung auszeichnet, kann durch individuelle Komposition digitaler Services positiv beeinflusst und in seinen Eigenschaften für die Produktion verbessert werden.

Vorgehensweise

Schichtbasierte Laserfertigungsverfahren wie Ultrakurzpuls (UKP)-Laserbearbeitung und Laser Powder Bed Fusion (LPBF) bieten die Möglichkeit, Imperfektionen zu erfassen und in der Nachfolgeschicht dynamisch darauf zu reagieren. Diese als digitale Services implementierte Verfahren können sowohl als Qualitätsüberwachung dienen oder zur Prozessregelung eingesetzt werden. Regelungsprozesse sind produkt-, prozess- und sensorabhängig und müssen daher dynamisch angepasst werden. Zur Realisierung wird das maschinelle Lernen angewendet. Ein KI-Algorithmus lernt basierend auf realen Messdaten eine Strategie zur Erzielung der gewünschten Prozessziele. Die gewählte Hardwareplattform ermöglicht das einfache Austauschen oder Updaten der Prozessziel-Agenten.

Ergebnis

In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University wurde eine Plattform entwickelt, die Regelalgorithmen dynamisch aus On-Premise-Datencentern oder der Cloud in die Bearbeitungsanlage lädt. Analyse-, Monitoring- und Regelungsservices lassen sich mit dieser Plattform automatisiert und in Sekunden abrufen. Diese Plattform ist auf unbegrenzt viele Anlagen skalierbar.

Der entwickelte Workflow unterstützt Developer bei der Entwicklung weiterer Services. Fehler in der Programmierung werden durch virtuelle Maschinenkomponenten frühzeitig erkannt und die Entwicklungszeiten dadurch reduziert. Die Plattform ermöglicht neue Geschäftsmodelle wie beispielsweise abonnementbasierte Vermietung von Analysealgorithmen.

Anwendungsfelder

Die Plattform ist auf andere Bearbeitungsprozesse übertragbar und kann bei entsprechender Anpassung auch für andere Prozesse Komponenten und Services anbieten.

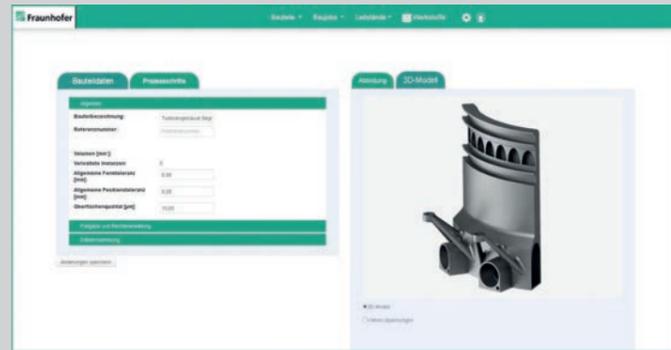
Ansprechpartner

Moritz Kröger M. Sc., Telefon: 0241 8040433
moritz.kroeger@ilt.rwth-aachen.de

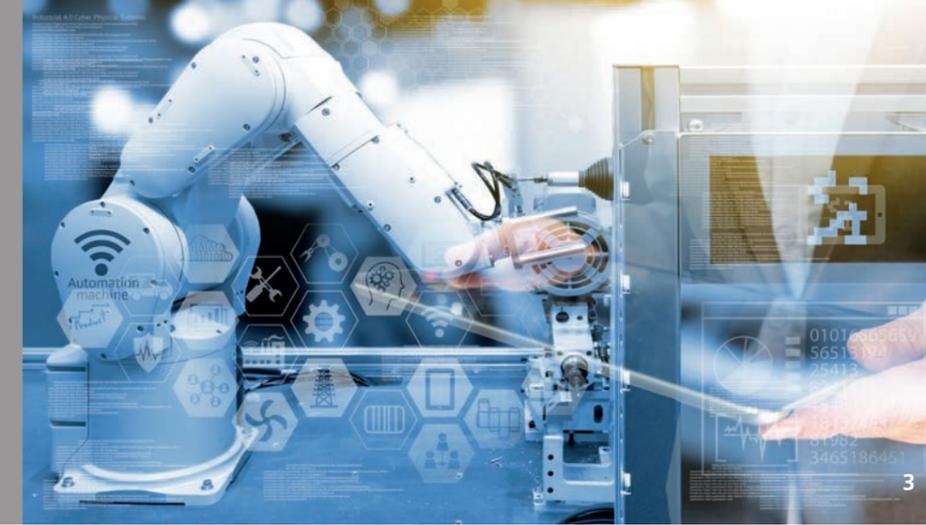
Dipl.-Ing. Peter Abels, DW: -428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

3 Schematische Darstellung des Services Frameworks zur Erfüllung verschiedener Industrie 4.0-Reifegrade.

4 Kommunikationsfluss zwischen Scanner- und Kameraservice im Rahmen einer adaptiven Steuerung für UKP.



2



3

VIRTUAL LAB – ZENTRALE DATENSTRUKTUR GEMÄSS DER AM-PROZESSKETTE

Aufgabenstellung

Im Fraunhofer-Fokusprojekt futureAM wurden durch Bündelung der Kompetenzen von vier Fraunhofer-Instituten Technologiesprünge entlang der gesamten Prozesskette der Additiven Fertigung erreicht. An den beteiligten Instituten existieren ein breites und tiefes Technologiewissen sowie eine einzigartige technische Ausstattung im Bereich der Additiven Fertigung. Ziel war, dieses Know-how über eine zentrale Datenstruktur digital verfügbar zu machen und die effiziente Kooperation der Institute zu ermöglichen. Dazu wurde die Entwicklung eines »Virtual Lab« forciert.

Vorgehensweise

Auf Basis der Anforderungen wurde eine verteilte Systemlösung umgesetzt, welche sich aus dem Virtual Lab selbst sowie mehreren institutsinternen Datenbankanzen (dezentral) zusammensetzt. Das Back-End des Virtual Lab basiert auf einem umfassenden Datenmodell. Die Grundlage für das Front-End des Virtual Lab bilden sogenannte Dashboards gemäß der Kernkompetenz der vier beteiligten Institute, nämlich Bauteilmanagement und Design (Fraunhofer IAPT), Prozess- und Maschinenüberwachung (Fraunhofer ILT), Pulver- und Materialcharakterisierung (Fraunhofer IWS) sowie Nachbearbeitung und Abnahme (Fraunhofer IWU).

Ergebnis

Jeder Entität (Maschine, Bauteil etc.) werden ein digitales Abbild und Verknüpfungen zu anderen Entitäten zugewiesen. Über das Virtual Lab sind damit die Zuordnung von Bauteilen zu Maschinen (z. B. abhängig von der Maschinenauslastung), die Anpassung relevanter Prozessparameter im Produktionsablauf (z. B. Prozessroute in Abhängigkeit der Maschinenverfügbarkeit) sowie die Berücksichtigung von Produkt- (Oberflächenqualität etc.) und Produktionszielen (Durchlaufzeiten, Lieferzeiten) möglich. So wird u. a. ein internes Produktgedächtnis realisiert, wodurch benötigte Stamm- und Bewegungsdaten entlang des Produktlebenszyklus abgebildet werden. Livedaten (z. B. Sensordaten) werden während der Fertigungs- und Nachbearbeitungsprozesse mittels OPC-UA abgefragt und über die Datenbankanzen der Institute im Virtual Lab publiziert.

Anwendungsfelder

Das Virtual Lab lässt sich als zentrale Plattform zwecks Datenverwaltung und -transfer entlang der gesamten AM-Prozesskette einsetzen und bildet dabei die Grundlage für eine effiziente Produktionsplanung und -überwachung.

Ansprechpartner

Niklas Prätzsch M. Sc., DW: -8174
niklas.praetzs@ilt.fraunhofer.de

Christian Tenbrock M. Sc., M. Sc., DW: -8350
christian.tenbrock@ilt.fraunhofer.de

1 Physisches Bauteil.
2 Digitale Bauteilakte.

SCIENTIFIC DATA HUB

Aufgabenstellung

Die Entwicklung neuer Lösungen in Design und Fertigung betrifft heute zunehmend interdisziplinäre Expertenteams. Die enge Kooperation unterschiedlicher Fachbereiche und die vielfältigen Alternativen für eine technische Lösung führen dabei zu einer Ansammlung von Daten, die mit klassischen Werkzeugen nicht sachgerecht strukturiert und gepflegt werden können. So müssen neue Materialien oder Prozesse noch während der Entwicklung an einen geänderten Bedarf angepasst werden.

Vorgehensweise

Kern einer integrierten Entwicklung ist die Nachvollziehbarkeit der Vorgehensweise, der erzeugten Daten und deren Auswertung. Idealerweise lässt sich die Entstehung des Erkenntnisgewinns zu jedem Zeitpunkt unter Ansicht der Randbedingungen nachvollziehen. Eine systematische Ablage von Versuchsergebnissen ist hierbei ebenso wichtig wie das Befolgen von Arbeitsabläufen bei der Versuchsdurchführung. Dabei muss die einfache Nutzung der Lösung stets im Vordergrund stehen.

Ergebnis

Das Konzept des Scientific Data Hub implementiert das Beste aus der Welt der Softwareentwicklung, der Erzeugung von Inhalten im Web und des systematischen Vorgehens in der wissenschaftlichen Forschung. An kritischen Punkten werden Arbeitsabläufe vorgegeben, bei Analysen Versionen gesichert und bei der Zusammenfassung Statusreports von allen Beteiligten gemeinsam festgeschrieben. Dies schafft eine Umgebung mit einem Maximum an Flexibilität und Nachvollziehbarkeit für eine nachhaltige Entwicklung der Fertigungstechnologien.

Anwendungsfelder

Die Prinzipien des Scientific Data Hub zielen im Wesentlichen auf die Lösung von Aufgabenstellungen im Bereich der Forschung und Entwicklung. Eine Übertragung auf den industriellen Bereich schafft darüber hinaus Potenziale für die kontinuierliche Verbesserung von Qualität und Effizienz in der Fertigung.

Ansprechpartner

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

Dipl.-Ing. Peter Abels, DW: -428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

3 Daten aus der Fertigung im zentralen Zugriff, © zapp2photo – stock.adobe.com.

QUANTENTECHNOLOGIE



INHALT

Quantenimaging mit nicht-detektierten Photonen im mittleren Infrarot	98
Charakterisierungsplatz für wellenleiterbasierte Photonenpaarquellen	99
Wellenleiter in Lithiumniobat für die Quantentechnologie	100



QUANTENIMAGING MIT NICHT-DETEKTIERTEN PHOTONEN IM MITTLEREN INFRAROT

Aufgabenstellung

Mittels parametrischer Fluoreszenz (spontaneous parametric down conversion SPDC) können verschränkte Photonenteile mit weit voneinander verschobenen Wellenlängen erzeugt werden. Im Rahmen des Fraunhofer-Leitprojekts QUILT wird untersucht, wie sich dies für bildgebende Messverfahren in schwer zugänglichen Wellenlängenbereichen nutzen lässt.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT werden im Rahmen von QUILT Quanteninterferometer entwickelt, die bildgebende Analysen im nahen (NIR) und mittleren Infrarot (MIR) erlauben. Hierbei können Messwellenlängen im Bereich von 1,5 bis größer 4,5 μm demonstriert werden. Die zugehörigen Detektionswellenlängen liegen im sichtbaren Spektralbereich und können mit hochentwickelten und kostengünstigen Kamerasystemen auf Siliziumbasis ausgewertet werden. Die für die Anwendung neu entwickelten Photonenteile basieren auf Lithiumniobat-Kristallen, die mit einem optisch-gepumpten Halbleiterscheibenlaser bei 532 nm angeregt werden.

¹ Nichtlinearer Interferometer für das Quantenimaging.

Ergebnis

In einem ersten Interferometer mit Messwellenlängen im nahen Infrarot konnten grundlegende Wirkzusammenhänge untersucht und Optimierungskriterien für die Performance der Systeme abgeleitet werden. Anschließend wurde ein MIR-Quanteninterferometer entwickelt, mit dem nun erstmals auch Abbildungen im mittleren Infrarot demonstriert werden konnten. Um dabei einen möglichst großen Wellenlängenbereich in einem einzigen Aufbau abzudecken, wird das Interferometer in einer speziellen Langpasskonfiguration mit breitbandig-beschichteten Optiken aufgebaut.

Obwohl die Beleuchtung mit extrem niedrigen Photonenteilen (~100.000.000 Photonen/Sekunde) erfolgt, können kurze Integrationszeiten der CMOS-Kamera – deutlich unterhalb einer Sekunde – zur Bildgebung verwendet werden. Aktuell werden auf Basis dieses Interferometers Methoden zur Bilderfassung mit optimierter Abbildungsqualität analysiert und weiterentwickelt.

Anwendungsfelder

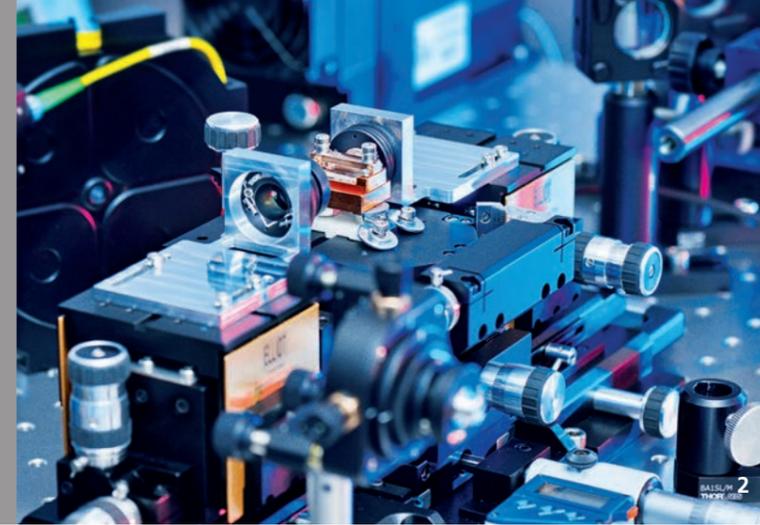
Mit dem bestehenden Setup sollen Anwendungsuntersuchungen u. a. im Bereich Life Science und Materialprüfung durchgeführt werden. Weiterhin werden die Ergebnisse dieser Arbeiten auf einen Demonstrator zur Quantenkohärenztomographie übertragen, der in industriellen Fertigungsprozessen eingesetzt werden soll.

Die Arbeiten werden im Rahmen des Leitprojekts QUILT 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



CHARAKTERISIERUNGSPLATZ FÜR WELLENLEITER-BASIERTE PHOTONENPAARQUELLEN

Aufgabenstellung

Quellen von Einzelphotonen und verschränkten Photonenteilen können zukünftig eine wichtige Rolle in der Quantenkommunikation und -bildgebung spielen. Zu ihrer Erzeugung kann die parametrische Fluoreszenz (spontaneous parametric down conversion SPDC) genutzt werden. Aufgrund ihrer geringen Abmessungen sind Quellen auf Basis von Wellenleiterstrukturen für die Anwendungsintegration besonders interessant. Die Optimierung solcher Strukturen erfordert die präzise Charakterisierung der Komponenten im Entwicklungsprozess.

Vorgehensweise

Im Rahmen des Fraunhofer-Projekts NESSiE wird am Fraunhofer ILT zu diesem Zweck ein Messplatz für Korrelationsmessungen von hochintegrierten SPDC-Quellen entwickelt, aufgebaut und seine Funktion anhand erster Messungen erprobt und optimiert. Der Laboraufbau ist so konzipiert, dass die Einkopplung des treibenden Laserstrahls, der Kristallhalter und die Photonendetektion modular ausgetauscht werden können. Dadurch kann der Aufbau flexibel für die Untersuchung unterschiedlicher Photonenteile eingesetzt werden.

Ergebnis

Für die Vermessung von Wellenleiterstrukturen mit lateralen Abmessungen von 10 μm und darunter ermöglicht das optische und mechanische Design des Messplatzes die beugungsbegrenzte Abbildung der Laserstrahlung und die präzise und langzeitstabile Positionierung des Wellenleiters im Submikrometer- und Mikroradbereich. Der Charakterisierungsplatz kann Emissionsraten im kHz-Bereich detektieren und das Umgebungslicht sowie das treibende, typischerweise um viele Größenordnungen stärkere Laserfeld diskriminieren. Zur Charakterisierung der Quellen werden die erzeugte Photonenteile, das Koinzidenz-zu-Rausch-Verhältnis sowie die Korrelationsfunktion zweiter Ordnung automatisiert vermessen.

Anwendungsfelder

Im Rahmen des Projekts NESSiE wurden am Fraunhofer CAP in Glasgow laserstrukturierte Wellenleiter in periodisch gepoltem Lithiumniobat als Komponente für SPDC-Quellen entwickelt und am Fraunhofer ILT charakterisiert. Für weitere Messungen werden AlGaAs-Wellenleiter des Fraunhofer IAF in Freiburg bereitgestellt.

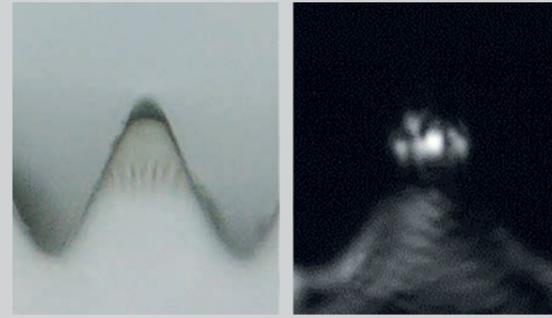
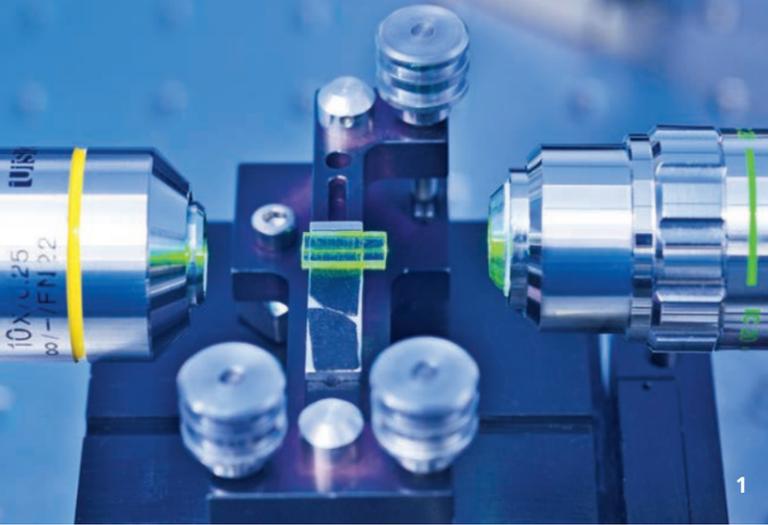
Dieses Projekt wird durch die Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen des Joint Capability Building Program JCAP gefördert.

Ansprechpartner

Martin Walochnik M. Sc., DW: -394
martin.walochnik@ilt.fraunhofer.de

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

² Charakterisierungsplatz.



KUNDENREFERENZENZEN

WELLENLEITER IN LITHIUMNIOBAT FÜR DIE QUANTENTECHNOLOGIE

Aufgabenstellung

Im Rahmen der zweiten Quantenrevolution sind durch die gezielte Ausnutzung fundamentaler Quanteneffekte neuartige Technologien entwickelt und erste Anwendungsbeispiele im Labormaßstab demonstriert worden. Um einen Transfer der entwickelten Technologien für ein breites Anwendungsspektrum zu gewährleisten, werden neue Herstellungsverfahren und Fertigungskonzepte zur Miniaturisierung und Integration von Quantensystemkomponenten auf Chipebene benötigt. Kernkomponenten stellen dabei optische Wellenleiter in nicht-linearen Medien wie Lithiumniobat dar, die eine optische Verknüpfung unterschiedlicher Baugruppen ermöglichen. Die Mikrostrukturierung mittels ultrakurz gepulster Laserstrahlung ermöglicht dabei die direkte Fertigung hochqualitativer Wellenleiter mit hoher Geometriefreiheit und Produktivität.

Vorgehensweise

Für die Herstellung der Wellenleiter in periodisch gepoltem Lithiumniobat wird ein zweistufiger Prozess mittels ultrakurz gepulster Laserstrahlung verwendet. Zunächst wird das Ausgangsmaterial mit Infrarot-Laserstrahlung wenige Mikrometer unterhalb der Oberfläche so modifiziert, dass dort eine Grenzfläche mit verringertem Brechungsindex erzeugt wird.

Anschließend erfolgt der Oberflächenabtrag zur Herstellung der geometrischen Außenkontur des Rippenwellenleiters mit Ultraviolett-Laserstrahlung.

Ergebnis

Die für die Herstellung der Wellenleiter relevanten Prozess- und Geometrieparameter wurden ermittelt. Die Grenzflächenstrukturierung mit einer Höhe von etwa 15 µm begrenzt räumlich die Führung des Modenfelds auf einen kleinen Bereich des Wellenleiters. Die geometrischen Anforderungen an Breiten und Höhen von jeweils 5–50 µm und einem Seitenwandwinkel von 60° wurden realisiert. Durch eine geeignete Entwicklung der Laserscanstrategie können komplexe Wellenleiternetzwerke hergestellt werden. Im Vergleich zu lithografischen Methoden ist die Laserstrukturierung dabei deutlich produktiver.

Anwendungsfelder

Wellenleiter in periodisch gepoltem Lithiumniobat ermöglichen eine effiziente optische Frequenzkonversion und sind integrierbar auf Chipebene. Sie können daher beispielsweise in optischen Netzwerktechnologien für das Wellenlängen-Multiplexing (WDM) oder im Bereich der Life Sciences für photonisch integrierte Chips (PIC) eingesetzt werden. Die Verwendbarkeit der Wellenleiter zur Erzeugung von verschränkten Photonen ist vielversprechend für Anwendungen wie die Quantenspektroskopie oder Quantenbildgebung.

Ansprechpartner

Sebastian Simeth M. Sc., DW: -358
sebastian.simeth@ilt.fraunhofer.de

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

1 Freistrahleinkopplung in den Wellenleiter.
2 Lichtmikroskopie und Modenführung eines Wellenleiters.



Stand Dezember 2020. Mit freundlicher Genehmigung der Kooperationspartner. Die aufgelisteten Firmen sind ein repräsentativer Ausschnitt aus der umfangreichen Kundenliste des Fraunhofer ILT.

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 75 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 29 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,8 Milliarden Euro. Davon fallen 2,4 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

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

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

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

DIE FORSCHUNGSFELDER

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

- Gesundheit und Umwelt
- Schutz und Sicherheit
- Mobilität und Transport
- Produktion und Dienstleistung
- Kommunikation und Wissen
- Energie und Rohstoffe



FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

Kompetenz durch Vernetzung

Der Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces bündelt die wissenschaftlichen und technischen Kompetenzen in der Fraunhofer-Gesellschaft zur Optik-, Laser-, Mess- und Oberflächentechnik. Die etwa 1900 Mitarbeitenden der sechs im Verbund organisierten Fraunhofer-Institute lösen komplexe anwendungsorientierte Kundenfragen auf höchstem wissenschaftlichen und technischen Niveau. Die Fraunhofer-Institute sind aber nicht nur Innovationspartner, sondern auch eine Quelle für den wissenschaftlich-technischen Nachwuchs. In Kooperation mit den Universitäten vor Ort bringt der wissenschaftliche Nachwuchs an den Fraunhofer-Instituten Wissenschaft und Wirtschaft zusammen.

www.light-and-surfaces.fraunhofer.de

Kontakt

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

1 © Fraunhofer IWS.

2 © Fraunhofer IOF.

3 © Fraunhofer FEP.

4 © Fraunhofer ILT.

5 © Fraunhofer IST.

6 © Fraunhofer IPM.

Kernkompetenzen des Verbunds

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

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

DIE INSTITUTE

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

Das Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP arbeitet an innovativen Lösungen auf den Arbeitsgebieten der Vakuumbeschichtung, der Oberflächenbehandlung und der organischen Halbleiter. Grundlage dieser Arbeiten sind die Kernkompetenzen Elektronenstrahltechnologie, Plasmagestützte Großflächen- und Präzisionsbeschichtung, Rolle-zu-Rolle Technologien, Entwicklung technologischer Schlüsselkomponenten sowie Technologien für organische Elektronik und IC-/Systemdesign. Fraunhofer FEP bietet damit ein breites Spektrum an Forschungs-, Entwicklungs- und Pilotfertigungsmöglichkeiten,

insbesondere für Behandlung, Sterilisation, Strukturierung und Veredelung von Oberflächen sowie für OLED-Mikrodisplays, organische und anorganische Sensoren, optische Filter und flexible OLED-Beleuchtung. Ziel ist, das Innovationspotenzial der Elektronenstrahl-, Plasmatechnik und organischen Elektronik für neuartige Produktionsprozesse und Bauelemente zu erschließen und es für unsere Kunden nutzbar zu machen.
www.fep.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Mit über 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ist das Fraunhofer ILT ein gefragter FuE-Partner der Industrie für die Entwicklung innovativer Laserstrahlquellen, Laserverfahren und Lasersysteme. Unsere Technologiefelder umfassen Laser und Optik, Lasermesstechnik und EUV-Technologie, Medizintechnik und Biophotonik, Digitalisierung, Quantentechnologie sowie Lasermaterialbearbeitung. Hierzu zählen u. a. das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie die Oberflächenbearbeitung, die Mikrofertigung und die Additive Fertigung. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagen-technik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik. www.ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

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

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM entwickelt maßgeschneiderte Messtechniken und Systeme für die Industrie. Dadurch ermöglicht das Institut seinen Kunden, den Energie- und Ressourceneinsatz zu minimieren und gleichzeitig Qualität und Zuverlässigkeit zu maximieren. Fraunhofer IPM macht Prozesse ökologischer und gleichzeitig ökonomischer. Langjährige Erfahrungen mit optischen Technologien bilden die Basis für Hightech-Lösungen in der Produktionskontrolle, der Objekt- und Formerfassung, der Gas- und Prozesstechnologie sowie im Bereich der thermischen Energiewandler.
www.ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

Das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST ist ein innovativer Partner für Forschung und Entwicklung in der Oberflächentechnik mit Kompetenzen in den zugehörigen Produkt- und Produktionssystemen. Ziel ist es, maßgeschneiderte Lösungen zu erarbeiten – vom Prototyp über wirtschaftliche Produktionsszenarien bis hin zur Skalierung auf industrielle Maßstäbe, und dies auch unter Maßgabe geschlossener Material- und Stoffkreisläufe. www.ist.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

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

STRATEGISCHE FRAUNHOFER-PROJEKTE

FRAUNHOFER ICON-PROJEKT »QFC-4-1QID«

Quantenbits ins Glasfasernetz bringen

Quantencomputer mittels Glasfasern über große Entfernungen vernetzen und dem Quanteninternet den Weg bereiten: Mit diesem Ziel starteten das niederländische Forschungszentrum QuTech und das Fraunhofer ILT am 1. September 2019 das ICON-Projekt QFC-4-1QID. Das Projekt bildet den Start einer langfristig angelegten, strategischen Partnerschaft der Forschungsinstitutionen, in der zunächst Quantenfrequenzkonverter für die Anbindung von Quantenprozessoren an Glasfasernetze entwickelt werden sollen. Eingesetzt wird die neue Technologie 2022 beim voraussichtlich weltweit ersten Quanteninternetdemonstrator.

Mit »ICON – International Cooperation and Networking« rief die Fraunhofer-Gesellschaft ein Förderprogramm ins Leben, das internationale Spitzenforscher zusammenbringt. Im Rahmen des Vorhabens »Low-Noise Frequency Converters for the First Quantum Internet Demonstrator – QFC-4-1QID« begann die Zusammenarbeit von Fraunhofer ILT und QuTech, dem Forschungszentrum für Quantentechnologien der Technischen Universität Delft und der Niederländischen Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung TNO.

Konverter für maßgeschneiderte Photonen

Die in den Niederlanden eingesetzten Quantenprozessoren basieren auf Diamantchips mit gezielt in das Kristallgitter eingebrachten Fehlstellen, den sogenannten Stickstoffvakanz- bzw. NV-Zentren. Diese Qubits emittieren Photonen mit einer Wellenlänge von 637 nm. Um zukünftig Quantencomputer mittels Glasfasern verlustarm über große Entfernungen vernetzen zu können, muss die Wellenlänge der Photonen

in den Bereich der optischen Telekommunikationsbänder (1.500 nm bis 1.600 nm) konvertiert werden. Bisher wurde lediglich das Grundprinzip entsprechender Quantenfrequenzkonverter (kurz QFC) demonstriert. Im Projekt untersuchen die Partner nun verschiedene Designkonzepte im Hinblick auf die erreichbaren Leistungsmerkmale und ihre Eignung für den Einsatz im Quanteninternetdemonstrator. Dazu wurde am Fraunhofer ILT nun ein Konverter im Labor aufgebaut, der aktuell für erste Tests optimiert wird, die im Frühjahr 2021 in einem Knoten in Delft stattfinden sollen. Gelingt es, QFC mit hoher Effizienz und gleichzeitig geringem Rauschen im Ausgangssignal zu entwickeln, haben die Partner eine wichtige Schlüsselkomponente für die Realisierung eines glasfaserbasierten Quanteninternets gefunden.

Auf dem Weg zum Quanteninternet

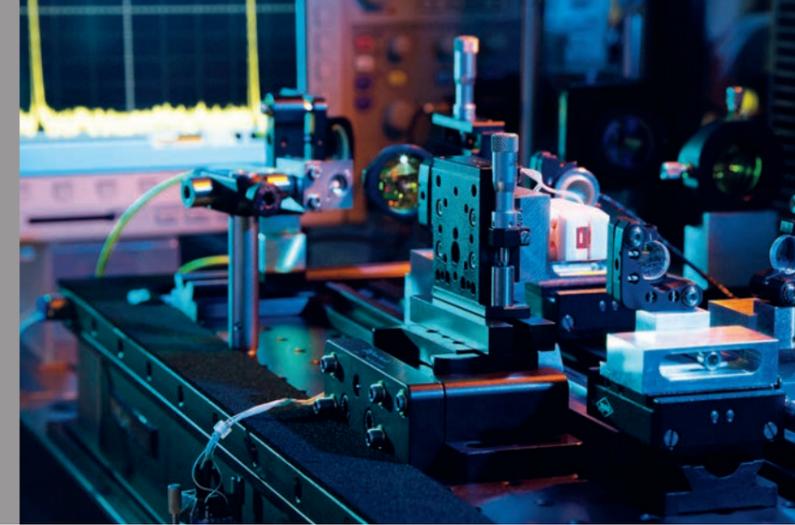
Der voraussichtlich weltweit erste Quanteninternetdemonstrator soll 2022 vier Städte in den Niederlanden verbinden. Mit dem Projekt QFC-4-1QID leistet die Fraunhofer-Gesellschaft einen Beitrag zu den technologischen Voraussetzungen für das erste Quanteninternet und positioniert sich als internationaler Forschungspartner im Bereich neuer Quantentechnologien.

Ansprechpartner im Fraunhofer ILT

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

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

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



ICON-Projekt QFC-4-1QID: OPO als Konzeptstudie eines rauscharmen Quantenfrequenzkonverters.

FRAUNHOFER-LEITPROJEKT »futureAM«

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

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

Strategische Ziele der Projektpartnerschaft

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

Handlungsfelder

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

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

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

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

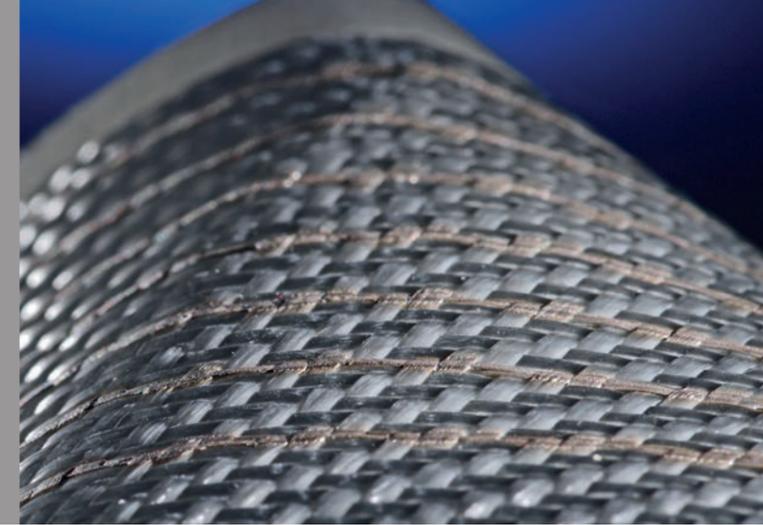
Ansprechpartner im Fraunhofer ILT

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

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

Weitere Informationen unter:
www.futuream.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-ALLIANZEN UND LEISTUNGSZENTREN



Additive Herstellung elektrischer Funktionsschichten in Faserverbundwerkstoffen.

FRAUNHOFER-LEITPROJEKT »GO BEYOND 4.0«

Den sechs Fraunhofer-Instituten ENAS, IFAM, ILT, IOF, ISC und IWU ist es gelungen, mit digitalen Druck- und Laserverfahren z. B. Leiterbahnen, Sensorik und Hightech-Beleuchtungsmodule individuell und bauteilintegriert herzustellen. Das Ergebnis: Individualisierung von Bauteilen in Massenproduktionsumgebungen mit neuen Möglichkeiten für Design, Materialersparnis und Gewichtsreduktion.

Anhand der drei Demonstratoren »Smart Door« – Fertigungsdomäne Automobilbau, »Smart Wing« – Fertigungsdomäne Luftfahrt und »Smart Luminaire« – Fertigungsdomäne Beleuchtung konnte die Einsatzfähigkeit digitaler Druck- und Laserverfahren gezeigt werden. Diese und weitere Anwendungsmöglichkeiten zeigt auch anschaulich der Film zum Leitprojekt »Go Beyond 4.0« (siehe: www.ilt.fraunhofer.de/de/mediathek/video-audio/zentren.html#GoBeyond40)

Ansprechpartner im Fraunhofer ILT

Dr. Christian Vedder
Telefon +49 241 8906-378
christian.vedder@ilt.fraunhofer.de

Weiterführende Informationen unter:
www.ilt.fraunhofer.de/de/cluster.html#GoBeyond40

FRAUNHOFER-ALLIANZEN

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

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

LEISTUNGSZENTREN

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

Fraunhofer-Leistungszentrum »Vernetzte Adaptive Produktion« in Aachen

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

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

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

»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

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.

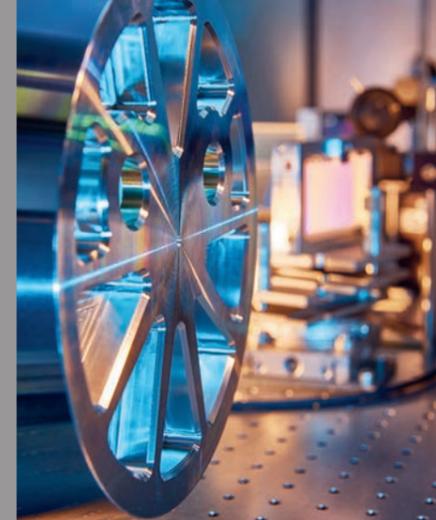
UKP-Laser für hochpräzise Anwendungen

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.

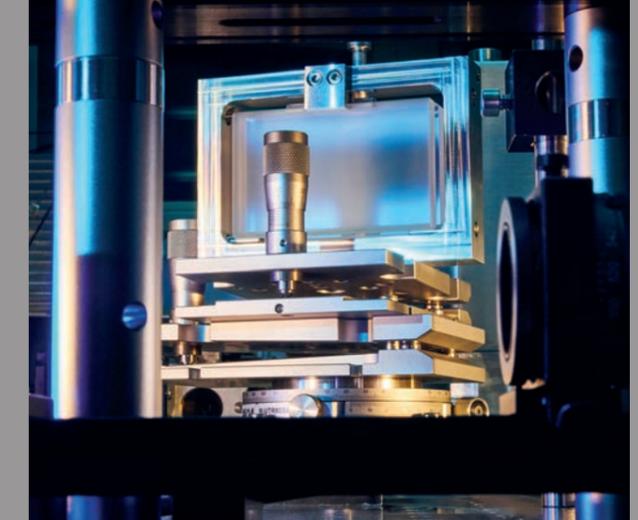
Für Anwendungen in der Mikromaterialbearbeitung haben UKP-Laser zwei wesentliche Vorteile: Einerseits können sie praktisch alle Materialien bearbeiten. Andererseits ist der Abtrag besonders präzise und dadurch schonend, da durch die ultraschnelle Wechselwirkung kaum Wärme im angrenzenden Material verbleibt. 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 Pulskompression.



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

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 Kenntniss 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 ihre theoretischen Kenntnisse in die Praxis umsetzen. Auch die universitäre Weiterbildung wird gemeinsam gestaltet. Lehre, Forschung und Innovation – das sind die Bausteine, mit denen die drei Lehrstühle und das Fraunhofer ILT Zukunft gestalten.

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT

Der Lehrstuhl für Lasertechnik ist seit 1985 an der RWTH Aachen University in der grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung in den Bereichen Lasermesstechnik, Strahlquellenentwicklung, 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. Die Leistungsfähigkeit von Faserlasern und diodengepumpten Festkörperlaser wird beispielsweise durch Koppeloptiken und Homogenisatoren für das Pumplicht bestimmt. Ein weiteres Forschungsthema sind Freiformoptiken für die innovative Strahlformung. Im Bereich Hochleistungsdiodenlaser werden mikro- und makrooptische Komponenten entwickelt und zu Systemen kombiniert. Weiterhin werden Montagetechniken optimiert.



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

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

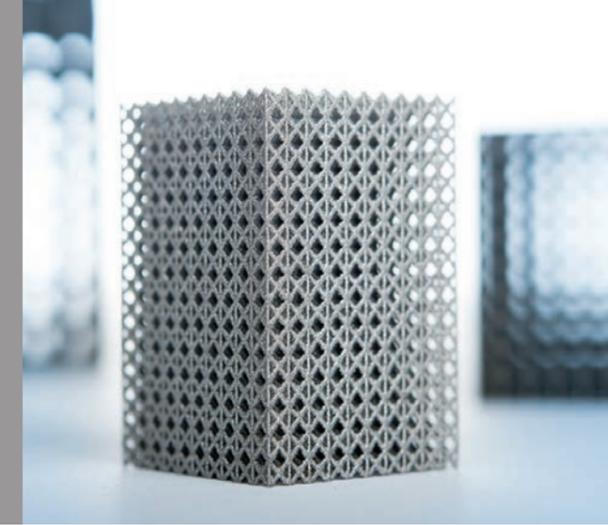
Lehrgebiet Hochleistungsverfahren der Fertigungstechnik und Additive Manufacturing an der FH Aachen

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 neuen industriellen Revolution gesprochen. Im Wesentlichen beruht dieses revolutionäre technologische Potenzial auf einer fundamentalen Änderung der Kostenfunktion für laserbasierte Fertigungsverfahren.

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

Forschungscampus Digital Photonic Production

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

Der Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University ging 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



Begegnungsfläche im lichtdurchfluteten Atrium des Industry Building DPP.

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 BMBF-geförderten Forschungscampus DPP wird eine neue Form der langfristigen und systematischen Kooperation zwischen RWTH Aachen University, Fraunhofer-Gesellschaft und Industrie etabliert. Ziel dieser Zusammenarbeit ist die komplementäre Bündelung der verschiedenen Ressourcen unter einem Dach zur gemeinsamen anwendungsorientierten Grundlagenforschung. Dies wird durch zwei zentrale Gebäude auf dem RWTH Aachen Campus ermöglicht: dem Industry Building DPP und dem Research Center DPP. Hier können die Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft gemeinsam unter einem Dach im Rahmen des Forschungscampus DPP forschen.

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).

Start der zweiten Förderphase

Der Aufbau des Forschungscampus DPP wird seit 2014 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF im Rahmen der Förderinitiative »Forschungscampus – öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen« unterstützt. Ende 2019 wurde der Forschungscampus DPP von einer unabhängigen Jury evaluiert und für eine zweite fünfjährige Förderphase empfohlen. Am 1. Oktober 2020 ist der Forschungscampus DPP mit nunmehr rund 30 Partnern und einer neuen inhaltlich angepassten Struktur in die zweite Förderphase gestartet. Mit den Kompetenzfeldern Digital, Photonic und Production sowie den Anwendungsfeldern Additive Production und Subtractive Production wird anwendungsnahe Grundlagenforschung zu Schlüsseltechnologien, -kompetenzen und -komponenten auf höchstem Niveau betrieben. Durch eine weiterentwickelte, flexible und agile Projektorganisation findet ein verstärkter und effizienter Austausch der Partner untereinander statt.

Kompetenzfeld Digital

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

Schwerpunkte des Kompetenzfelds Digital sind z. B. die Erforschung von integrierten, effizienten und ressourcenschonenden AM-Prozessen und deren Integration in industrielle Prozessketten sowie das automatisierte, algorithmische Design von filigranen Bauteilstrukturen sowohl für auftragende als auch für abtragende Fertigungsverfahren.

Kompetenzfeld Photonic

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

Innerhalb des Kompetenzfelds Photonic werden grundlegend neue Optik- und Scannerkonzepte erarbeitet, bewertet und prototypisch umgesetzt. Hier werden sowohl Optiken zur Multistrahlbearbeitung als auch zur anwendungsangepassten, örtlichen und zeitlichen Intensitätsverteilung erforscht.

Kompetenzfeld Production

- Systematische Kosten- und Nutzenbewertung
- Werkstoffentwicklung

Durch die hochpräzise Steuerbarkeit von Wechselwirkungszeiten bei laserbasierten Fertigungsverfahren kann der Wärmeintrag in Werkstoffe zielgerichtet genutzt werden. Das langfristige Ziel ist die Entwicklung einer auf die laserbasierten Fertigungsverfahren angepassten neuen Legierung, welche neben einer robusteren Verarbeitung auch verbesserte Eigenschaften hinsichtlich Korrosions- und Temperaturbeständigkeit aufweist.

Anwendungsfelder Additive Production und Subtractive Production

- Wechselwirkung
- Skalierung

Durch die Erforschung von Wechselwirkungsprozessen wird das grundlegende Prozessverständnis vertieft, was Voraussetzung dafür ist, Fertigungstechnologien robuster, präziser und produktiver zu gestalten. Hier werden nicht nur bestehende Prozesse charakterisiert, sondern auch neue Lösungen aus den Kompetenzfeldern integriert und validiert. Im Bereich Skalierung werden bestehende Prozesse aus der additiven und subtraktiven Fertigung hinsichtlich der Effizienzsteigerung analysiert. Sowohl Skalierungen der Prozessparameter als auch der Bauteilgröße und des möglichen Bearbeitungsfelds werden untersucht.

Agiles Projektmanagement im Forschungscampus

Derzeit 17 interdisziplinäre Sprintteams, bestehend aus je 3–8 Mitarbeitenden aus Wissenschaft und Wirtschaft, finden sich in regelmäßigen zweiwöchigen Sprints zusammen und setzen sich halbjährlich neue inhaltliche Ziele. Dabei greifen die Sprintteams auf die Ressourcen aus den Kompetenz- und Anwendungsfeldern zurück. Die Sprintteams präsentieren ihre Ergebnisse, ebenfalls halbjährlich, auf den Vollversammlungen des Forschungscampus DPP. Diese entwickeln sich so zu einem regelmäßigen »Marktplatz der Möglichkeiten« für alle Partner.

Ansprechpartner

Roman Flaig M. Sc.
Telefon +49 214 8906-646
roman.flraig@ilt.rwth-aachen.de

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

Weitere Informationen unter: www.forschungscampus-dpp.de

RWTH AACHEN CAMPUS



RWTH AACHEN CAMPUS

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

Forschungskatalysator und Innovationsgenerator

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

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

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

Stand und Entwicklung

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

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

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

Weitere Informationen unter: www.rwth-campus.com

CLUSTER PHOTONIK

Das Cluster Photonik, eines von sechs Startclustern auf dem RWTH Aachen Campus, ist spezialisiert auf die Erforschung und Entwicklung von Verfahren zur Erzeugung, Formung und Nutzung von Licht, insbesondere als Werkzeug für die industrielle Produktion. Der Laserstrahl kann im Vergleich zu anderen Werkzeugen präzise dosiert und gesteuert werden. Das Cluster Photonik wurde von Prof. Poprawe (Leiter des Fraunhofer ILT bis Ende September 2019) initiiert. Das große Areal bietet genügend Raum für einerseits die interdisziplinäre Kooperation von wissenschaftlichen Einrichtungen untereinander und andererseits für die enge strategische Zusammenarbeit von Unternehmen mit dem Fraunhofer ILT und den assoziierten Lehrstühlen der RWTH Aachen University. Insofern ist das Cluster Photonik die konsequente Weiterentwicklung des seit 1988 bestehenden Anwenderzentrums des Fraunhofer ILT, in dem ständig rund 10 Unternehmen als Gastfirmen des Instituts in eigenen Büros und Laboren vor Ort in engem Schulterschluss mit dem Fraunhofer ILT tätig waren.

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

Eine weitere durch den Bund und das Land NRW finanzierte Infrastruktur zur interdisziplinären universitären Kooperation im Bereich Digital Photonic Production 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. Der Forschungscampus DPP bietet derzeit knapp 30 Industriepartnern die Möglichkeit, gemeinsam unter einem Dach zu forschen. Hierzu zählen sowohl große Unternehmen wie TRUMPF, MTU oder Siemens als auch mittelständische Unternehmen und Spin-offs des Fraunhofer ILT. Das Cluster Photonik ist somit der ideale Ausgangspunkt für Forschung und Entwicklung, Aus- und Fortbildung, Innovation und Vernetzung im Bereich der optischen Technologien.

Ansprechpartner

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

- 1 Industry Building DPP (re.) und Research Center DPP (li.) im Cluster Photonik, © Forschungscampus DPP, Aachen.
- 2 Eingangsbereich des Industry Building DPP im Cluster Photonik, © Forschungscampus DPP, Aachen.

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.
- Aconity 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 Surface Solutions AG
- Saint-Gobain Sekurit Deutschland GmbH & Co. KG
- SCANLAB GmbH
- Siemens 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.

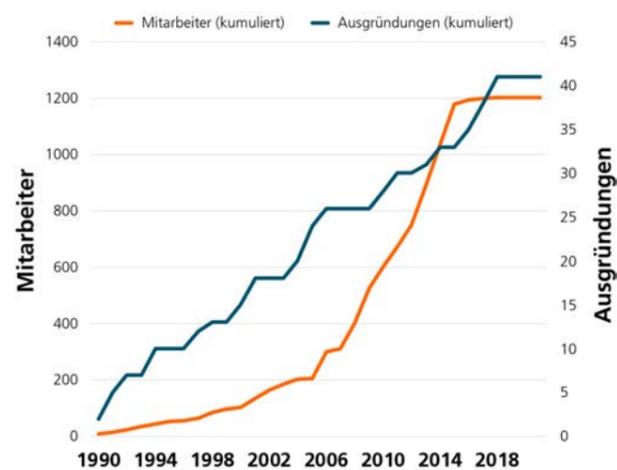
Der Forschungscampus DPP bildet die Plattform zum intensiven Austausch mit Unternehmen, Instituten und Beratern, die sich im Bereich der photonischen Produktion bewegen. Auch Co-Creation Areas und Open Innovation Konzepte werden am Forschungscampus bei Bedarf genutzt. Im Industry Building DPP auf dem 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.

Unterstützende Angebote

Neben den öffentlich geförderten Ausgründungsprogrammen haben die Spin-offs direkten Zugriff auf regionale Beratungsangebote wie von der AGIT oder der IHK Aachen. Diese koordiniert auch das rund 200 Mitglieder umfassende ehrenamtliche AC²-Beraternetzwerk.

Neben den regionalen Akteuren unterstützt die Fraunhofer Venture, eine Abteilung der Fraunhofer-Gesellschaft, die Wissenschaftler in der Weiterentwicklung und Umsetzung ihrer Ideen bis hin zur Marktreife. Das vielfältige Serviceangebot reicht von der Beratung und Optimierung eines Businessplans über die Unterstützung von Rechts- und Organisationsgestaltung bis hin zur Vermittlung von Investoren und Vorbereitung einer möglichen Beteiligung der Fraunhofer-Gesellschaft.

Ausgründungen seit 1990



SPIN-OFFS DES FRAUNHOFER ILT

Intensive Ausgründungskultur am Fraunhofer ILT

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT pflegt seit den frühen 90er Jahren eine intensive Ausgründungskultur. Dies ist im Wesentlichen durch die Erkenntnis geprägt, dass eine effiziente Vorgehensweise zur Einführung einer neuen Technologie in den Markt die unternehmerische Tätigkeit der maßgeblichen Promotoren der jeweiligen Technologie ist. Gründer sind zutiefst von ihrer Idee überzeugt und lassen sich von Bedenkenträgern oder administrativen Hürden selten bremsen. Gleichzeitig müssen sie so flexibel sein, dass sie ihr Geschäftsmodell dem Bedarf des Marktes ständig anpassen, ohne dabei ihre Kernidee aufzugeben. Innovative Gründer sind somit sowohl Impulsgeber in der Branche für neue technologische Lösungsansätze und Perspektiven als auch klassische Unternehmer, die eine nachhaltige Geschäftsentwicklung im Blick halten müssen.

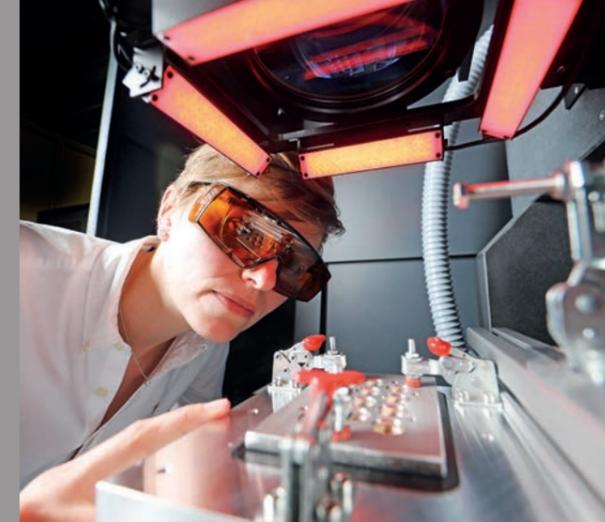
Diese Wesenszüge teilen sich die Ausgründer mit dem Namenspatron der Fraunhofer-Gesellschaft: Joseph von Fraunhofer, der Anfang des 19. Jahrhunderts als Forscher, Erfinder und Unternehmer hervortrat. Sein Aktionsspektrum reichte von der Entdeckung der später nach ihm benannten Fraunhofer-Linien im Sonnenspektrum über die Entwicklung neuer Bearbeitungsverfahren für die Linsenfertigung bis hin zur Leitung einer Glashütte. Insofern setzt das Fraunhofer ILT diese unternehmerische Tradition durch die Unterstützung ausgründungswilliger Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter fort, und das seit Bestehen des Instituts.

Spin-offs generieren Mehrwert für die Laserbranche

Rückblickend entstanden in den letzten 25 Jahren ein bis zwei Unternehmen pro Jahr. Damit liegt die Ausgründungsfrequenz des Instituts auf hohem Niveau. Rund 40 sogenannte Spin-offs agieren in der Lasertechnik und erzeugen nicht nur neue Umsätze sondern erweitern auch das Marktpotenzial der Branche. Sie tragen unmittelbar zum Wirtschaftswachstum bei.

Neben diesem finanziellen Aspekt sind die ausgegründeten Unternehmen attraktive Arbeitgeber, da sie sich in einer Branche bewegen, die seit Jahren herausragende Wachstumsraten aufweist. 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 Ultrakurzpulslaser handelt, die rund 40 Ausgründungen des Fraunhofer ILT decken ein weites Spektrum ab.

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 zur Zeit 35 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 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. Hartmut Frerichs (Geschäftsführer), der Vorsitzende Ulrich Berners und Dr. Bernd Schmidt (Schatzmeister) vertreten. Seit der Verabschiedung von Prof. Reinhart Poprawe Ende 2019 hält der neue Institutsleiter des Fraunhofer ILT Prof. Constantin Häfner das Amt des stellvertretenden Vorsitzenden 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. Hartmut Frerichs
Telefon +49 241 8906-420
hartmut.frerichs@akl-ev.de

Weitere Informationen unter: www.akl-ev.de

VERANSTALTUNGEN UND PUBLIKATIONEN

»Alles, im Kleinen und Großen,
beruht auf Weitersagen.«

Christian Morgenstern

PATENTE

PATENTERTEILUNGEN DEUTSCHLAND

DE 102013000407.1 Verfahren zur Verbesserung der Benetzbarkeit einer rotierenden Elektrode in einer Gasentladungslampe

DE 102016211471.9 Anordnung und Verfahren zur winkelaufgelösten Streulichtmessung mittels einer Wellenleiter-Sonde

DE 102018214715.9 Verfahren zum Abbau von Schadstoffen in Wasser

DE 102015215559.5 Verfahren zur hochauflösenden Abbildung eines Oberflächenbereiches bei streifendem Einfall der Messstrahlung

PATENTERTEILUNGEN EUROPA

EP 2234749B1 Verfahren zur Herstellung einer Lötverbindung zwischen zwei Bauteilen

EP 3347156 Parameter beim Auftragschweißen bei oszillierender Erstarrungsfront (Siemens Hauptanmelder)

EP 2750825B1 Verfahren zur Strukturierung einer Oberfläche

EP 3500419B1 Hybrider Werkstoffverbund zwischen einer Metalloberfläche und einer polymeren Materialoberfläche sowie Verfahren zur Herstellung des hybriden Werkstoffverbundes

EP 2917985B1 Optisch endgepumpter Slab-Verstärker mit verteilt angeordneten Pumpmodulen

EP 3463811 Verfahren und Vorrichtung zur generativen Fertigung von Bauteilen

EP 3528982 Verfahren zur werkzeuglosen Entfernung von Stützstrukturen bei der generativen Fertigung von Bauteilen

EP 3024407 Vorrichtung zur Thermokoagulation mittels Laserstrahlung

36

Bachelorarbeiten
in 2020

PATENTE

16 Erteilungen,
31 Anmeldungen
in 2020

130

wissenschaftliche
Veröffentlichungen
in 2020

58

Masterarbeiten
in 2020

PATENTE

PATENTERTEILUNGEN KOREA

KO 10 2132846 Machining device and method for laser machining a surface

KO 10 2193056 Method for removing brittle-hard material by means of laser radiation

KO 20 2193167 Laser processing apparatus

PATENTERTEILUNGEN USA

US 10835994 Method for joining two components in the region of a joint zone by means of at least one laser beam and method for generating a continuous joint seam

PATENTANMELDUNGEN DEUTSCHLAND

102020200237.1 Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Mehrschicht-Sensors und/oder Aktuators

102020200599.0 Verfahren und Vorrichtung zur Steigerung der Fertigungsgenauigkeit beim pulverbettbasierten Strahlschmelzen mit einem verfahrbaren Bearbeitungskopf

10202021207.5 Anordnung zur Materialbearbeitung mit einem Laserstrahl, insbesondere zum Laserstrahl-Bohren

102020102514.9 Anlage und Verfahren zur teil- oder vollautomatisierten Demontage von Geräten

102020201558.9 Vorrichtung zur Reinigung einer Plasma-Strahlungsquelle

102020204003.6 Verfahren und Vorrichtung zur generativen Fertigung durch pulverbettbasiertes Strahlschmelzen

102020114811.9 Verfahren zur Stützung von Bauteilbereichen bei der additiven Fertigung

102020208086.0 Bauteil aus einer Aluminium-Nickel-Legierung sowie Verfahren zu dessen Herstellung und dessen Verwendung

102020119702.0 Vorrichtung und Verfahren zur Abtastung einer Zielebene mit mehreren Laserstrahlen, insbesondere zur Lasermaterialbearbeitung

102020125425.3 Vorrichtung und Verfahren zur Skalierung der Laserstrahlquellen u.a. für parallelisierte Lasermaterialbearbeitungsprozesse

102020127431.9 Verfahren zur Herstellung einer kristallinen Siliziumschicht auf einem Substrat mit integrierten elektronischen Bauelementen

102020214259.9 Verfahren zum Polieren und Glätten mittels diskontinuierlichem Schmelzbad unter Einwirkung ultrakurz gepulster Laserstrahlung

102020131294.6 Verfahren zur Herstellung elektrischer Verbindungen hoher Stromtragfähigkeit sowie damit hergestellte elektrische Verbindung

102020133333.1 Verfahren und Vorrichtung zur Zug- und/oder Druckprüfung additiv gefertigter Proben

102020216597.1 Verfahren zur Erhöhung der Positioniergenauigkeit einer Bearbeitungsmaschine

102020134416.3 Verfahren zur Einstellung und/oder dynamischen Anpassung der Leistungsdichteverteilung von Laserstrahlung

102020134653.0 Justierbarer Optikkhalter für ein optisches Element

PATENTANMELDUNGEN EUROPA

PCT/EP2020/057115 Vorrichtung zur Erzeugung einer räumlich modulierbaren Leistungsdichteverteilung aus Laserstrahlung

PCT/EP2020/059882 Anlage zur Herstellung elektrischer Kontaktelemente mit selektiv veredelten elektrischen Kontaktflächen

PCT/EP2020/059856 Verfahren zur Terminierung optischer Strahlung sowie dafür ausgebildete optische Strahlfalle

20172131.3 Herstellung eines Kunststoff/Metall Verbundes durch direkte Applizierung eines schmelzflüssigen Metalls

PCT/EP2020/065207 Koaxiales Pulverdüsenspitzenmodul zur Oberflächenbearbeitung eines Werkstücks

PCT/EP2020/000107 Verfahren zum Bohren oder Schneiden durch Abtragen von schmelzfähigem oder verdampfungsfähigem Material eines Werkstücks

PCT/EP2020/065487 Vorrichtung und Verfahren zur Referenzierung und Kalibrierung einer Laseranlage

20178701.7 Verfahren zum Testen neuer Werkstoffzusammensetzungen für das pulverbettbasierte Laserschmelzen sowie dafür ausgebildete Vorrichtung

PCT/EP2020/069261 Verfahren zum Beschichten einer Oberfläche eines Substrates durch Laserauftragschweißen

PCT/EP2020/075065 Werkstoffzuführungsvorrichtung

PCT/EP2020/076588 Vorrichtung zur Bahngenaigkeitsbestimmung einer stationären Bearbeitungsmaschine mithilfe eines Laserlinienscanners

PCT/EP2020/081699 Verfahren zum Fügen einer elektrischen Zelle und elektrischer Speicher

PATENTANMELDUNGEN CHINA

PCT/EP2020/065207 Koaxiales Pulverdüsenspitzenmodul zur Oberflächenbearbeitung eines Werkstücks

PATENTANMELDUNGEN KOREA

KO 10 20207037414 Vorrichtung zur Laserbearbeitung schwer zugänglicher Werkstücke

DISSERTATIONEN

DISSERTATIONEN

10.2.2020 – Karl Eduard Felix Haeckel (Dr.-Ing.)
Reproduzierbarkeit des Laserstrahlschmelzens im Hinblick auf einen Einsatz in der automobilen Serienproduktion

14.2.2020 – Philipp Lott (Dr.-Ing.)
Carbonisierung von Polyacrylnitrilfasern mittels Diodenlaserstrahlung

18.2.2020 – Laura Bürger (Dr.-Ing.)
Charakterisierung der Oberflächentopographie von Laser Powder Bed Fusion erzeugten IN718-Proben

15.5.2020 – SiljaKatharina Rittinghaus (Dr.-Ing.)
Laserauftragschweißen von γ -Titanaluminiden als Verfahren der Additiven Fertigung

5.6.2020 – Paul Josef Heinen (Dr.-Ing.)
Prozessfähigkeitserhöhung und Fehlerreduktion beim Laserstrahl-Mikroschweißen mit örtlicher Leistungsmodulation

15.6.2020 – Annika Völl (Dr.-Ing.)
Methodik zur Ermittlung und Realisierung anwendungsangepasster Intensitätsverteilungen für die Werkstoffbearbeitung mit Laserstrahlung

16.6.2020 – André Häusler (Dr.-Ing.)
Präzisionserhöhung beim Laserstrahl-Mikroschweißen durch angepasstes Energiemanagement

16.7.2020 – Sascha Engelhardt (Dr. rer. nat)
Zweiphotoneninduzierte Vernetzung zur Generierung mikroskaliger Zellumgebungen

28.8.2020 – Maximilian Schniedenharn (Dr.-Ing.)
Einfluss von Fokushift und Prozessnebenprodukten auf den Laser Powder Bed Fusion Prozess

1.9.2020 – Kira Martina van der Straeten (Dr.-Ing.)
Laserbasiertes Fügen von Kunststoff-Metall-Hybridverbindungen mittels selbstorganisierter Mikrostrukturen

4.9.2020 – Markus Herper (Dr. rer. nat.)
Eignung von VECSEL-Strahlquellen für 3D-LiDAR-Applikationen

22.9.2020 – Chao He (Dr.-Ing.)
High-precision and Complex Geometry Helical Drilling by Adapted Energy Deposition

6.11.2020 – Marcel Prochnau (Dr.-Ing.)
Integration von Gestaltungsprinzipien der Industrie 4.0 bei der Montage optischer Systeme

27.11.2020 – Judith Kumstel (Dr.-Ing)
Steigerung der Flächenrate beim Laserpolieren von Stahlwerkstoffen

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

12./13.2.2020

LSE 2020 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 und der Anteil der Lasertechnik in der Fertigung wird noch zunehmen.

Folgende Themen wurden beim zweiten vom Fraunhofer ILT organisierten Lasersymposium Elektromobilität LSE 2020 beleuchtet und durch Referenten aus Industrie und Forschung präsentiert:

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



Prof. Arnold Gillner auf der LSE 2020.



Live-Vorführungen während der LSE 2020.

9.9.2020

LKH₂ Laserkolloquium Wasserstoff Online-Veranstaltung

Mit der Energiewende und im Zuge der globalen Herausforderungen des Klimawandels wird die Nutzung von regenerativen Energiequellen immer wichtiger. Hier steht die Verwendung von Wasserstoff durch Brennstoffzellen im Mittelpunkt zukunftsorientierter Forschung und Entwicklung. Schon heute sind zur Herstellung von Brennstoffzellen hocheffiziente Laserverfahren für die gesamte Prozesskette verfügbar. Aufgrund der großen Flexibilität und des hohen Automatisierungsgrads wird der Anteil der Lasertechnik in der Fertigung noch stetig zunehmen. 60 Experten aus Industrie und Wissenschaft nahmen an der Online-Veranstaltung teil. Folgende Themen wurden beim ersten vom Fraunhofer ILT organisierten Laserkolloquium Wasserstoff LKH₂ 2020 beleuchtet:

- Prozesssicheres Schneiden von vorgeformten Bipolarplatten
- Wasserstoffdichtes Laserstrahlschweißen von metall- und kunststoffbasierten Bipolarplatten für Brennstoffzellen
- Prozessüberwachungssysteme in Großserienproduktionen
- Prozesskette zur Produktion von Brennstoffzellen

16./17.9.2020

LaP Conference on Laser Polishing Online-Veranstaltung

Die »4th Conference on Laser Polishing – LaP 2020« fand ebenfalls erstmals virtuell statt. Ziel der Konferenz war es, wissenschaftliche und anwendungsbezogene Ergebnisse zum Laserpolieren zu präsentieren und die weltweit auf diesem Gebiet tätigen Experten zusammenzubringen. Das Networking trägt dazu bei, dass neue wissenschaftliche Kooperationen – insbesondere auf internationaler Ebene – angestoßen werden.



3. EFFILAS-Verbandstagung in Aachen.

Die folgenden Fokusthemen wurden behandelt:

- Laser polishing of metals (functional and design surfaces, additive manufactured parts, dies, tools)
- Laser polishing of glass and laser-based processes for manufacturing optical surfaces
- Machines and CAM-NC for laser polishing of metals

29./30.9.2020

3. EffiLAS-Verbandstagung

Wesentliche Ziele von effizienten Hochleistungslaserstrahlquellen sind eine Steigerung von Effizienz, Ausgangsleistung, Pulsenergie, Brillanz und Zuverlässigkeit, eine Reduktion von Kosten und Systemkomplexität sowie die Erschließung neuer Wellenlängenbereiche, die für Anwendungen in der Produktion, der Messtechnik oder den Umwelt- und Lebenswissenschaften relevant sind. Mögliche Konzepte für effiziente Strahlquellen wie z. B. innovative Dioden- und Mikrochiplaser oder diodengepumpte Festkörperlaser (DPSSL), Scheiben- und Faserlaser wurden auf der 3. EffiLAS-Verbandstagung über zwei Tage hinweg im Aachener Quellenhof diskutiert. Die vom Fraunhofer ILT organisierte Veranstaltung bot den Teilnehmerinnen und Teilnehmern neben einer Vielzahl an Vorträgen und Podiumsdiskussionen auch eine Laborführung am Fraunhofer ILT.

1.12.2020 bis 16.11.2021

Digital Aachen Polymer Optics Days

Online-Veranstaltungsreihe (1. Quartal)

Das Spektrum optischer Kunststoffkomponenten erweitert sich stetig um neue Herstellungstechnologien, Materialien und Produkte. Die Ziel der etablierten Aachen Polymer Optics Days ist es, sowohl materialeitige als auch technologieorientierte sowie anwendungsbezogene Aspekte aufzugreifen und vor dem Hintergrund von aktuellen Trends und Fragen im Themenfeld Kunststoffoptik zu beleuchten.

Die Online-Session »Injection molded optics« ist die Auftaktveranstaltung der Online-Veranstaltungsreihe »Digital Aachen Polymer Optics Days«, die sich aus den Inhalten der gleichnamigen Präsenzkonferenz zusammensetzt. Die Präsenzveranstaltung, die für Oktober 2020 geplant war, wurde aufgrund der Sicherheitsmaßnahmen im Rahmen der Coronaviruspandemie abgesagt. Von Dezember 2020 bis November 2021 finden nun Online-Sessions quartalsweise zu folgenden Themen statt:

- Injection molded optics (1. Dezember 2020)
- 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 Online-Sessions richten sich an ein Publikum aus Wissenschaft und Industrie und bieten neben zahlreichen Fachvorträgen auch eine Netzwerk- und Diskussionsrunde. 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 University



Fraunhofer ILT auf dem BMBF-Gemeinschaftsstand der Photonics West 2020.



Gut besucht: Fraunhofer ILT-Gemeinschaftsstand auf der LASER China.

MESSEN UND AUSSTELLUNGEN

1.–6.2.2020, San Francisco, USA

Photonics West 2020

Internationale Fachmesse für Optik und Photonik

Das Fraunhofer ILT war auf dem großen BMBF-Gemeinschaftsstand mit den folgenden Vorträgen und Highlights vertreten:

- High power and high precision laser manufacturing from UV to IR: state of the art and future challenges
- Picosecond laser source at 3.4 microns for laser material processing of polymers
- Highly stable, high power hybrid fiber and Innoslab amplifier for narrow linewidth signals
- Bragg gratings in active multimode XLMA fibers for highpower kW-class fiber lasers
- High-precision ultrashort pulsed laser processing of metal foils using an advanced multibeam optic
- Laser polishing using ultrashort pulse laser

Auf der Photonics West 2020 in San Francisco verlieh Prof. Constantin Häfner außerdem den PRISM Award der International Society for Optics and Photonics SPIE an das französische Start-up-Unternehmen Outsight für ihre 3D Semantic Camera-Technologie.

3.–5.7.2020, Shanghai, China

LASER World of PHOTONICS China

Internationale Fachmesse für Optik und Photonik

Das Fraunhofer ILT präsentierte über seinen strategischen Partner Acunity GmbH seine technologischen Entwicklungen auf der LASER World of PHOTONICS China. Folgende Themen standen im Mittelpunkt:

- New helical drilling optics with smart sensor systems and automated adjustment
- Materials processing using ultrashort pulsed laser
- Multi-beam laser processing
- Laser metal deposition and cladding

28.9.2020

Virtuelle Ausstellung Batterietagung NRW

Online-Veranstaltung

Teilnehmer und Aussteller 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 zu KI-Integration. Das Fraunhofer ILT beteiligte sich an der konferenzbegleitenden Online-Ausstellung.

8.10.2020

Hydrogen Online Conference HOC

Wasserstoff wird der Energieträger der Zukunft sein und aus diesem Grund nahmen Tausende Führungskräfte, Ingenieur*innen, Wissenschaftler*innen und politische Entscheidungsträger am 8. Oktober 2020 virtuell an der Hydrogen Online Conference HOC teil. Das Fraunhofer ILT beteiligte sich an der konferenzbegleitenden Online-Ausstellung.



Verleihung des SPIE PRISM Awards auf der Photonics West 2020.

INFORMATIONEN

26.–29.10.2020

Fraunhofer Solution Days

Online – Das digitale Fraunhofer-Event im Herbst 2020

Im Rahmen der Fraunhofer Solution Days wurden vier Themengebiete mit hoher Relevanz für die Innovationskraft Deutschlands und Europas aufgegriffen:

- Gesundheitswirtschaft – neue medizinische Verfahren
- Digitale Wirtschaft – Daten intelligent und souverän nutzen
- Optimierung von Produktionsprozessen im Anlagen- und Maschinenbau
- Mobilität – Antriebe und Verkehrswege von morgen

Die Besucherinnen und Besucher konnten sich online Vorträge zu aktuellen Technologie-Highlights anhören, die Aussteller virtuell besuchen und sich mittels Live-Chats mit ihnen austauschen. Das Fraunhofer ILT beteiligte sich mit einem Online-Stand an den Fraunhofer Solution Days.

Zu den vorgestellten Forschungsergebnissen zählten:

- Das fühlende Bauteil aus dem Drucker
- Der gedruckte Miniatur-Aktuator
- Skalierbare AM-Prozesse
- CAPS – Advanced Photon Sources



Virtueller Fraunhofer ILT-Stand bei den Fraunhofer Solution Days.

10.–12.11.2020

formnext connect

Online-Veranstaltung

Auf der formnext 2020 stellte das Fraunhofer ILT online innovative Ergebnisse vor:

- Additive Fertigung von Großbauteilen mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF)
- »PETIT« als modulare und miniaturisierte Prozesskammer
- Adaptive Prozessführung beim Laser Powder Bed Fusion (LPBF)
- Sensorintegration in LPBF-Bauteile
- Fraunhofer-Leitprojekt futureAM

16.–19.11.2020

COMPAMED 2020

High-Tech Solutions for Medical Technology

Online-Veranstaltung

Auf der COMPAMED präsentierte sich das Fraunhofer ILT im virtuellen Forum und stellte zu den nachfolgenden Themen aus:

- Lasergestützte Prozesskette zur Herstellung eines Mikrofluidik-Chips
- Maßgeschneiderte Glas- und Mikrofluidikbauteile
- Prototyping von 3D-Mikrofluidik-Chips aus Quarzglas
- Kundenspezifische Durchflusssytmeter und Cell Sorter für die Diagnostik
- Folienbearbeitung

Highlight war die laserbasierte Prozesskette zur Herstellung eines mikrofluidischen Chips.

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

→ www.ilt.fraunhofer.de

Jahresbericht 2020 online



Weiterführende Online-Rubriken

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

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Steinbachstraße 15, 52074 Aachen

Telefon +49 241 8906-0

Fax +49 241 8906-121

info@ilt.fraunhofer.de

IMPRESSUM

Redaktion

Dipl.-Phys. Axel Bauer (verantw.)
M.A. Petra Nolis
Stefanie Flock

Ansprechpartner

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

Gestaltung und Produktion

Dipl.-Des. Andrea Croll
www.andrea-croll.de

Bildnachweis

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 2021.

