



Forschen für eine nachhaltige Zukunft

Jahresbericht 2023

Kontakt

Fraunhofer-Institut
für Lasertechnik ILT
Steinbachstraße 15
52074 Aachen

Telefon +49 241 8906-0
info@ilt.fraunhofer.de

www.ilt.fraunhofer.de

Grußwort



Liebe Leserinnen und Leser,

die Lasertechnik spannt einen Bogen vom Nano- und Mikrometerbereich bis zur Erkundung des Weltalls. Das Wechselspiel der Dimensionen gründet auf den einzigartigen Eigenschaften des Lasers: Er kann Energie richten, auf kleinste Volumina konzentrieren und dabei präzise abgegrenzte Energiedichten schaffen. Sein Licht entschlüsselt Materialzusammensetzungen, liefert mikroskopische Einblicke und überträgt gigantische Datenvolumina um den Globus.

In welche Dimensionen unsere Forschung am Fraunhofer ILT im Jahr 2023 vorgedrungen ist, lesen Sie auf den folgenden Seiten. Neben unserem Kerngeschäft in der Materialbearbeitung und Laserentwicklung haben wir den Aufbruch in neue Anwendungsfelder der Lasertechnik und Optik forciert: Cyber-Photonik ebnet durch die Verbindung von Laserverfahren, Data-Science und Künstlicher Intelligenz den Weg in die digitale photonische Produktion. Und als Secondary Sources erzeugen Laser Röntgen-, EUV- und Teilchenstrahlung für Anwendungen in der Halbleiter- oder Medizintechnik. Während sich diese Felder schon heute dynamisch entwickeln, verfolgen wir in der Quantentechnologie und der Energiegewinnung aus der Kernfusion langfristige Strategien; im Zentrum stehen weltweit führende Lasertechnologien und Know-how des Fraunhofer ILT und seines Partnernetzwerks.

Um das immense Marktvolumen dieser Zukunftsfelder zu erschließen, bedarf es neuer Liefer- und Prozessketten. Die Photonikbranche muss sich neu erfinden. Das gilt insbesondere für die laserbasierte Trägheitsfusion, die ein faszinierendes Zusammenspiel der Dimensionen bietet: Gepulste Hochenergielaser von der Größe dreier Fußballfelder konzentrieren nur für Nanosekunden zwei Megajoule Energie auf stecknadelkopfkleine Kügelchen mit Gemisch der Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium. Die erzeugten Temperaturen und Drücke lassen den Wasserstoff zu Helium verschmelzen und enorme Energiemengen freisetzen.

Bis zur kommerziellen Nutzung dieser Technologie liegt noch viel Arbeit vor uns. Doch 2023 war auch für uns ein Jahr des Aufbruchs. Wir sind Teil des multi-institutionellen Projekts STARFIRE Hub, das mit Unterstützung der US-Regierung unter der Leitung des Lawrence Livermore National Laboratory die laserbasierte Trägheitsfusion auf ein neues Niveau heben soll. Zudem sind wir federführend an der Expertenkommission für Fusion des BMBF beteiligt, die zeitgleich mit der weltweit ersten Zündung eines Fusionsplasmas in den USA Ende 2022 eingerichtet wurde und die Bundesregierung seither berät.

In der Quantentechnologie sind wir ebenfalls vorne dabei. Photonische Lösungen unseres Instituts kontrollieren einzelne Atome in Quantencomputern und -sensoren, mit QuTech in Delft schaffen wir in einer strategischen Partnerschaft Grundlagen für ein Quanteninternet und unsere Lasertechnik hat bereits den Austausch verschränkter Quanten über klassische Telekomfasern zwischen Delft und Den Haag ermöglicht. Ein dritter Quantenknoten entsteht nun in Aachen. Um diesen Markt in seinen ökonomischen, politischen und gesellschaftlichen Dimensionen zu entwickeln, hat die Landesregierung NRW das Fraunhofer ILT mit der Koordination der Roadmap Quantentechnologien für NRW betraut.

Für uns bergen die skizzierten Trends jede Menge Faszination! Das Fraunhofer ILT hat sich in einem umfassenden Strategie- und Strukturprozess zukunftsorientiert aufgestellt. Die neue Struktur verleiht der Verknüpfung von Marktintelligenz und Technologieexpertise noch mehr Gewicht. Als ONE-Team stecken wir voller innovativer Ideen, die wir gemeinsam mit Ihnen realisieren möchten. Wenn wir Ihr Interesse geweckt haben, sprechen Sie unsere Expertinnen und Experten gerne direkt an! Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme.

Ihr

Prof. Dr. rer. nat. Constantin Häfner

Inhalt

Grußwort	3
Daten und Fakten	6
Unser Leitbild	6
Das Institut im Profil	8
Ansprechpartner	10
Kuratorium	11
Organigramm	12
Das Fraunhofer ILT in Zahlen	14
Spotlights 2023	16
Strategic Mission Initiative Quantentechnik	18
Forschungsmärkte	20
Forschungsergebnisse 2023	22
Data Science und Messtechnik	24
Oberflächentechnik und Formabtrag	32
Lasermesstechnik und Biophotonik	40
Fügen und Trennen	46
Laserauftragschweißen	54
Laser Powder Bed Fusion	60
Laser und Optische Systeme	68
Netzwerke und Cluster	80
Fraunhofer-Netzwerke	80
Fusionstechnologie	82
Innovationscluster am Standort Aachen	84
Lasertechnik an der RWTH Aachen University	86
Forschungscampus DPP und RWTH Aachen Campus	88
Ausgründungen	90
Kundenreferenzen	91
Standortinitiativen – Battery und Hydrogen Lab	92
Netzwerke und Verbände	94
Nachwuchsförderung	96
Veranstaltungen und Publikationen	98
Messen	98
Tagungen	100
Patente und Dissertationen	103
Zuwendungsgeber	105
Impressum	106



Unser Leitbild

Wir entfesseln die Vielseitigkeit der Lasertechnik und treiben die langfristige Entwicklung eines komplexen Technologietrends voran.

Mission

Wir betreiben angewandte Auftragsforschung. Das heißt, wir setzen originäre Ideen zu innovativen und disruptiven Lösungen um, befähigen unsere Partner zur Entwicklung kompetitiver Lösungen komplexer Technologieherausforderungen und steigern so die Wettbewerbsfähigkeit unserer Kunden. Wir bilden exzellente und kompetente Experten aus und tragen so zur Wettbewerbsfähigkeit des Industrie- und Wissenschaftsstandorts Deutschland bei.

Kunden

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

Chancen

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

Faszination Laser

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

Mitarbeitende

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

Stärken

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

Führungsstil

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

Position

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

Daten und Fakten 2023

19

erteilte Patente

48,5

Millionen €
Gesamthaushalt

552

Mitarbeitende

52 %

Stammpersonal
Wissenschaft, Technik,
Verwaltung

48 %

Wiss. Hilfskräfte,
Auszubildende,
Externe

Das Institut im Profil

Fraunhofer ILT – steht seit über 35 Jahren für gebündeltes Know-how im Bereich Lasertechnik

Partner für Innovationen

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 Garanten für langfristige Partnerschaften. Die zahlreichen Kunden des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT stammen aus Branchen wie dem Automobil- und Maschinenbau, der Chemie und der Elektrotechnik, dem Flugzeugbau, der Feinmechanik, der Medizintechnik und der Optik. Mit über 550 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, mehr als 19 500 m² Nettogrundfläche und über 40 Ausgründungen zählt das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten seines Fachgebiets.



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

Unter einem Dach bietet das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT Forschung und Entwicklung, Systemaufbau und Qualitätssicherung, Beratung und Ausbildung. Zur Bearbeitung der Forschungs- und Entwicklungsaufträge stehen zahlreiche industrielle Lasersysteme verschiedener Hersteller sowie eine umfangreiche Infrastruktur zur Verfügung. Im angrenzenden Forschungscampus Digital Photonic Production DPP arbeiten mit dem Fraunhofer ILT kooperierende Unternehmen in eigenen Labors und Büroräumen. Grundlage für diese spezielle Form des Technologietransfers ist ein langfristiger Kooperationsvertrag mit dem Institut im Bereich der Forschung und Entwicklung. Der Mehrwert liegt in der Nutzung der technischen Infra-

struktur und dem Informationsaustausch mit den Experten vor Ort. Neben etablierten Laserherstellern und innovativen Laseranwendern finden hier Neugründer aus dem Bereich des Sonderanlagenbaus, der Laserfertigungstechnik, der Lasermesstechnik und der Quantentechnologie ein geeignetes Umfeld zur industriellen Umsetzung ihrer Ideen.

Das Fraunhofer ILT ist eingebunden in die Fraunhofer-Gesellschaft, die mit 76 Instituten, knapp 32 000 Mitarbeitenden und 3,4 Milliarden Euro Forschungsvolumen jährlich zu den führenden Forschungseinrichtungen in Deutschland zählt.

Wir eröffnen Perspektiven

Die Leistungsangebote des Fraunhofer ILT decken ein weites Themenspektrum in der Lasertechnik ab: Kunden aus Forschung und Industrie profitieren von umfangreicher Expertise und wertvollem Know-how in den Bereichen Laser, Optische Systeme, Quantentechnologie, Lasermesstechnik, Additive Fertigung, Oberflächentechnik, Fügen, Trennen, Digitalisierung, EUV und Plasmatechnik sowie Medizintechnik.

Unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickeln applikationsangepasste optische Komponenten, Lasersysteme und Laserstrahlquellen mit maßgeschneiderten Ausgangsleistungen sowie räumlichen, zeitlichen und spektralen Eigenschaften. Das Spektrum reicht von Freiformoptiken über abstimmbare Laser, Dioden- und Festkörperlaser bis hin zu Faser- und Ultrakurzpulslasern (UKP-Lasern).



Leistungsspektrum des Fraunhofer ILT Alumni-Netzwerk

- 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

Um unseren Kunden Lösungen aus einer Hand anbieten zu können und unsere Experten international zu vernetzen, pflegen wir Kooperationen mit in- und ausländischen Unternehmen und Forschungszentren der Laserbranche. Auch die Vernetzung zu Universitäten, Verbänden, IHKs, Prüfanstalten und Forschungsministerien wird systematisch zum Nutzen unserer Partner betrieben.

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. 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 500 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. Von ehemaligen Mitarbeitenden wurden in 30 Jahren über 40 Firmen gegründet. Durch den Transfer von »innovativen Köpfen« in die Industrie und Wissenschaft leistet das Fraunhofer ILT einen direkten gesellschaftlichen Nutzen. Neben dem Alumni-Netzwerk »Aix-Laser-People« bündelt der 1990 von ILT-Führungskräften gegründete Verein »Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V.« die thematischen Interessen derjenigen, die weiterhin im Bereich der Lasertechnik tätig sind.

Mit über 550 Mitarbeitenden und mehr als 19.500 m² Nettogrundfläche zählt das Fraunhofer ILT weltweit zu den bedeutendsten Forschungsinstituten im Bereich der Lasertechnik.

Ansprechpartner Alumni-Netzwerk

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

Ansprechpartner



Prof. Constantin Häfner
Institutsleiter
constantin.haefner@
ilt.fraunhofer.de



Prof. Peter Loosen
Stellv. Institutsleiter
peter.loosen@
ilt.fraunhofer.de



Dr. Vasvija Alagic-Keller MBA
Kaufmännische Direktorin /
Verwaltung & Infrastruktur
vasvija.alagic@
ilt.fraunhofer.de



Dipl.-Phys. Axel Bauer
Marketing & Kommunikation
axel.bauer@
ilt.fraunhofer.de



Wolfgang Fiedler M. Sc.
Qualitätsmanagement
wolfgang.fiedler@
ilt.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. Gerd Bongard
IT-Management
gerd.bongard@
ilt.fraunhofer.de



Prof. Arnold Gillner
Business Development
Forschungsmärkte
arnold.gillner@
ilt.fraunhofer.de



Prof. Carlo Holly
Data Science & Messtechnik
carlo.holly@
ilt.fraunhofer.de



**Dipl.-Ing. Hans-Dieter
Hoffmann**
Laser und Optische Systeme
hansdieter.hoffmann@
ilt.fraunhofer.de



Dr. Achim Lenenbach
Lasermesstechnik
& Biophotonik
achim.lenenbach@
ilt.fraunhofer.de



Dr. Alexander Olowinsky
Fügen & Trennen
alexander.olowinsky@
ilt.fraunhofer.de



Dr. Christian Vedder
Oberflächentechnik
& Formabtrag
christian.vedder@
ilt.fraunhofer.de



Dr. Tim Lantzsch
Laser Powder Bed Fusion
tim.lantzsch@
ilt.fraunhofer.de



Dr. Thomas Schopphoven
Laserauftragschweißen
thomas.schopphoven@
ilt.fraunhofer.de



Kuratorium – gut beraten!

Das Kuratorium berät die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung und fördert die Kontakte zur Industrie und zu forschungsinteressierten Organisationen. In 2023 konnten Dr. Nicole de Boer, Isabel Hartung und Dr. Jan Suhren neu für das Kuratorium gewonnen werden.

Mitglieder 2023

Dr. Joseph Pankert	TRUMPF Photonic Components GmbH (Vorsitzender)
Dr. Reinhold E. Achatz	International Data Spaces Association
Carl F. Baasel	Physiker
Dr. Nicole de Boer	Bayern Innovativ GmbH
Dipl.-Volksw. Isabel Hartung	Senior Advisor
Dipl.-Ing. Frank C. Herzog	HZG Group
Prof. Ursula Keller	ETH Zürich
Dipl.-Ing. Volker Krause	Laserline GmbH
Michael Lebrecht B. Sc.	Mercedes-Benz AG
Prof. Gerd Marowsky	Advanced Microfluidic Systems GmbH
Manfred Nettekoven	Kanzler der RWTH Aachen University
Dr. Stefan Ruppik	Coherent
Dr. Torsten Scheller	JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH
Dr. Ulrich Steegmüller	ams-OSRAM International GmbH
Dr. Jan Suhren	Bundesministerium für Bildung und Forschung
Prof. Christiane Vaeßen	Honorarkonsulin des Königreichs der Niederlande
Dr. Hagen Zimer	TRUMPF Laser GmbH

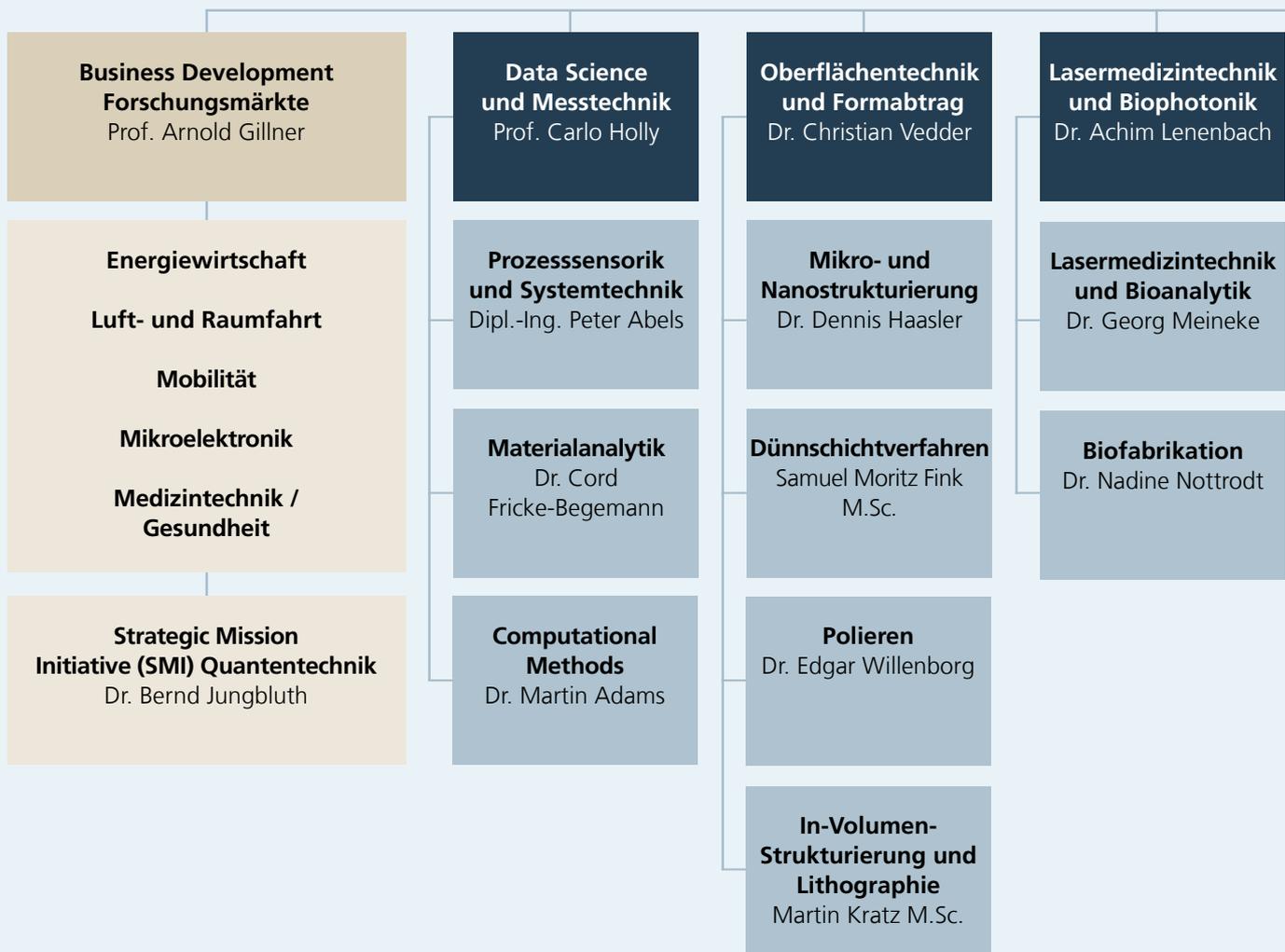
Die 38. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 16. und 17. November 2023 im Fraunhofer ILT in Aachen statt.

Organigramm

Institutsleitung Fraunhofer ILT

Marketing und Kommunikation
Dipl.-Phys. Axel Bauer

Unternehmensentwicklung

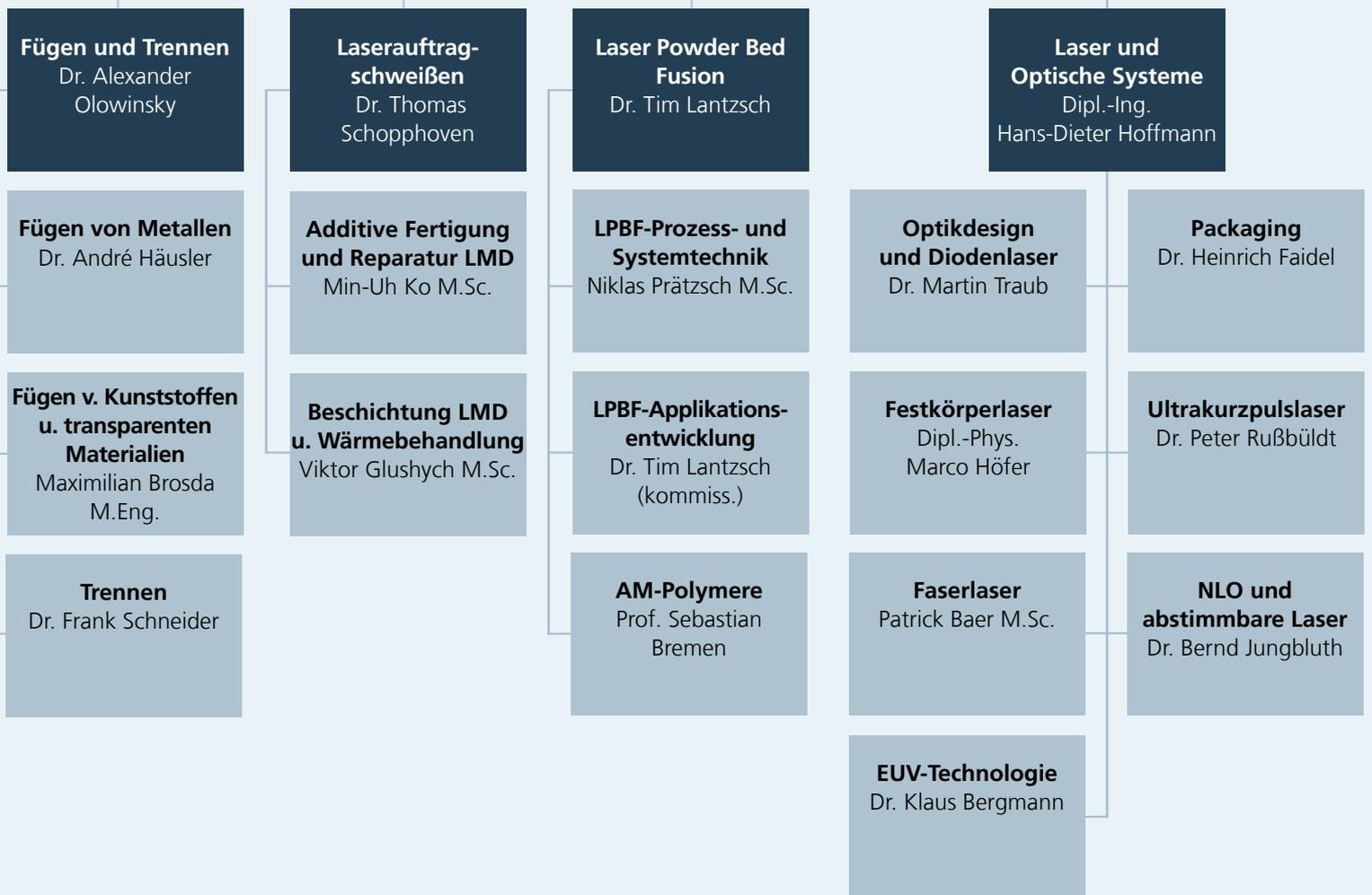


Stand: August 2024

Prof. Constantin Häfner (Leiter)
 Prof. Peter Loosen (stellv. Leiter bis 29.2.2024), Dr. Jochen Stollenwerk (stellv. Leiter ab 1.3.2024)
 Dr. Vasvija Alagic-Keller (kaufm. Direktorin)

Verwaltung und Infrastruktur
 Dr. Vasvija Alagic-Keller

Informationstechnologie / Verwaltung / Konstruktion und Werkstätten



Das Fraunhofer ILT in Zahlen

Personal 2023

Anzahl

Stammpersonal	287
Wissenschaftler*innen und Ingenieur*innen	194
Mitarbeiter*innen der technischen Infrastruktur	39
Verwaltungsangestellte	54
Weitere Mitarbeiter*innen	265
Wissenschaftliche Hilfskräfte	205
Externe Mitarbeitende	57
Auszubildende	3
Mitarbeiter*innen am Fraunhofer ILT, gesamt	552

Aufwendungen 2023

Mio €

Personalaufwendungen	25,2
Sachaufwendungen	18,2
Aufwendungen Betriebshaushalt	43,4
Investitionen	5,1

Erträge 2023

Mio €

Erträge aus der Industrie	17,6
Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	17,5
Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	13,4
Erträge Gesamthaushalt	48,5
Fraunhofer Industrie ρ_{Ind}	40,7 %

Personal 2023



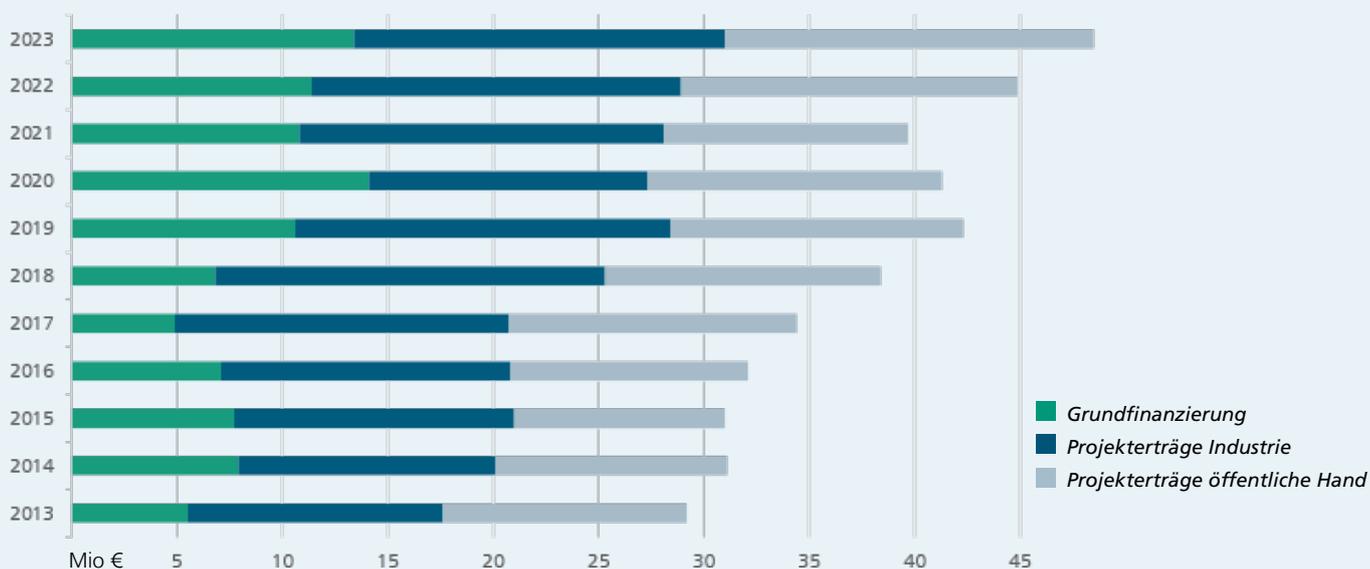
- 35 % *Wissenschaftler*innen*
- 10 % *Verwaltungsangestellte*
- 7 % *Technische Infrastruktur*
- 37 % *wissenschaftliche Hilfskräfte*
- 11 % *Auszubildende / Externe Mitarbeitende*

Aufwendungen 2023



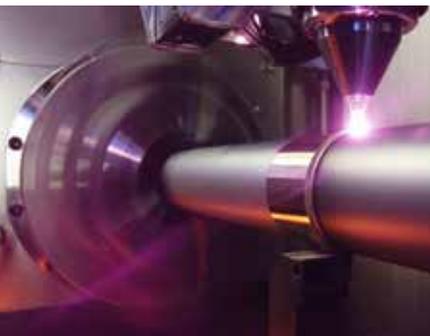
- 52 % *Personalaufwendungen*
- 38 % *Sachaufwendungen*
- 10 % *Investitionen*

Erträge der letzten 10 Jahre



Spotlights 2023

Im Folgenden finden Sie eine Auswahl an Themen, die das breite Spektrum unserer FuE-Aktivitäten zeigen: Für die Industrie entwickeln wir u. a. laserbasierte Verfahren zum simultanen Beschichten und Zerspanen, Recycling von Feuerfestmaterialien, Einsparen von Rohstoffen in der Automobilproduktion oder zur Ermittlung von Daten für Klimamodelle.



Wirtschaftliche und technologische Vorteile insbesondere beim Auftragen schwer zerspanbarer, hochfester Beschichtungen durch die SMaC-Technologie.

Kombiverfahren: Auftragen und simultan Zerspanen

Mechanische Bearbeitung und das Extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen EHLA in einem Bearbeitungsschritt kombiniert: Das sogenannte Simultane Beschichten und Zerspanen, kurz SMaC, verkürzt die Bearbeitungszeiten um mehr als 60 Prozent und ermöglicht eine effiziente, wirtschaftliche Aufbringung von korrosions- und verschleißbeständigen Beschichtungen. SMaC kann in verschiedenen Branchen wie der Energiewirtschaft, der Mobilitätsbranche und der chemischen Industrie eingesetzt werden. Das Verfahren hat auch ökologische Vorteile, denn Bauteile bleiben länger im Einsatz als bislang. Es bietet zudem Potenzial für die Herstellung von Brems Scheibenbeschichtungen und Multimaterialschichten in der Batterietechnik. <https://s.fhg.de/V2L>
Kontakt: viktor.glushych@ilt.fraunhofer.de

Nachhaltige Mobilität in der Kälte

Das finnische Startup Aurora Powertrains hat den eSled, ein elektrisches Schneemobil, entwickelt und mit kältefesten Batterien ausgestattet. Für die Fügetechnik der Batterien hat Aurora Powertrains die Expertise zum Laserschweißen des Fraunhofer ILT aus Aachen genutzt.

Zum Einsatz kommen Lithium-Ionen-NMC-Pouch-Zellen mit 0,2 mm dünnen elektrischen Kupfer-Aluminium-Kontakten. Die Forschenden entwickelten einen maßgeschneiderten Laserschweißprozess für den Einsatz auf kleinstem Raum. Die Batterien haben eine hohe Energiedichte und sind wasser- und staubdicht. Das neuartige Batteriekonzept ist skalierbar und eignet sich nicht nur für Schneemobile, sondern auch für Arbeitsmaschinen, Energiespeicher und größere Fahrzeuge wie Lastkraftwagen. <https://s.fhg.de/fLA>
Kontakt: alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

Recycling von Feuerfestmaterialien vermeidet 800 000 Tonnen CO₂

Weltweit fallen jährlich etwa 32 Millionen Tonnen gebrauchte Feuerfestmaterialien an, von denen nur ein Bruchteil recycelt wird. Das Fraunhofer ILT ist an der Entwicklung einer automatischen Sortieranlage der wertvollen Rohstoffe beteiligt. Dabei wird die Laser-induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) eingesetzt. Bei der sortenreinen Trennung im werkstofflichen Recycling wurde diese bereits erfolgreich erprobt. Die Multielementanalyse wird nun auf Feuerfestmaterialien übertragen und erkennt mithilfe von KI deren Zusammensetzung. Der mögliche Recyclinganteil der Branche kann dadurch von bislang 7–30 Prozent auf 90 Prozent gesteigert werden. <https://s.fhg.de/5hL>
Kontakt: cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de



1 Das mobile LIDAR-System liefert Klimadaten in Echtzeit.
2 Elektrisches Schneemobil eSled mit kältefesten Batterien,
© Aurora Powertrains.

Nachhaltigere Fertigung durch grünen Laser

Kupfer ist das wichtigste Material für die Fertigung von Kernkomponenten für die E-Mobilität. Ein Forschungsteam von DESY, dem Helmholtz-Zentrum Hereon, TRUMPF und dem Fraunhofer ILT hat untersucht, welche Parameter zum Laserschweißen von Hochleistungselektronik relevant sind. Hochgeschwindigkeitsaufnahmen am Teilchenbeschleuniger belegen: Beim Einsatz eines Lasers mit grüner Wellenlänge entsteht weit aus weniger Ausschuss, es lassen sich signifikant Rohstoffe einsparen.

<https://s.fhg.de/Rp9>

Kontakt: alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

Neue Laser für die Klimaforschung

Klimamodelle benötigen präzise Daten aus der Atmosphäre. Ein Team des Fraunhofer ILT und des Leibniz-Instituts für Atmosphärenphysik IAP hat ein kompaktes und portables LIDAR (Light Detection And Ranging)-System entwickelt, das in Höhen von bis zu 100 km einzelne Atome ansteuern kann. LIDAR-Systeme schießen dafür Laserstrahlen in den Himmel und ermöglichen die präzise Ermittlung von Wind- und Temperaturdaten. Die Projektpartner wollen das LIDAR-System in einem nächsten Schritt in die Industrie überführen.

<https://s.fhg.de/Y7X>

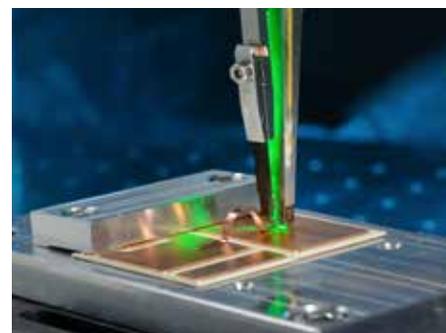
Kontakt: michael.strotkamp@ilt.fraunhofer.de

Integrierte Sensortechnologie in der Additiven Fertigung

Die exakte Zustandserfassung von Maschinen und Bauteilen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Zum Sammeln ausreichender Datenmengen hat das Fraunhofer ILT eine Sensorinfrastruktur für intelligente Industrieanwendungen entwickelt. Additiv gefertigte Sensoren werden während des LPBF (Laser Powder Bed Fusion)-Herstellungsprozesses von Bauteilen nahtlos in diese eingebunden. Echtzeitdaten liefern dabei aufschlussreiche Informationen über die Belastung innerhalb des Bauteils – ein wichtiges Element der Predictive Maintenance. Hier eröffnet sich ein großes Anwendungsspektrum, beispielsweise im Werkzeug- und Maschinenbau, in der Automobilindustrie sowie in der Luft- und Raumfahrttechnik.

<https://s.fhg.de/625>

Kontakt: samuel.fink@ilt.fraunhofer.de



1 In einem Messerkopf integrierte, additiv gefertigte Dehnungsmessstreifen.
2 Laserstrahlschweißen von Metallkeramiksubstraten mit grüner Laserstrahlung.

Den Zukunftsmarkt Quantentechnologien strategisch angehen

Dr. Bernd Jungbluth, Leiter des strategischen Programms Quantentechnologien am Fraunhofer ILT, gibt Einblicke in laufende Forschungsprojekte, den Status des Aachener Knotenpunkts im grenzüberschreitenden Quanteninternet und in seine Pläne für die Quanten-Roadmap NRW.

Herr Dr. Jungbluth, was macht Quantentechnologie für das Fraunhofer ILT zum strategischen Zukunftsfeld?

Wir sind heute in der Lage, kleinste mikroskopische Systeme zu beherrschen und einzelne Atome, Ionen und Photonen zu präparieren, kontrollieren und auszulesen. Ein zentrales Werkzeug dafür ist der Laser. Diesen Zutritt zu den Gesetzmäßigkeiten der Quantenmechanik können wir nutzen, um neue Maßstäbe in der Sensorik, Bildgebung, in der sicheren Kommunikation oder im Computing zu setzen. Die Quantentechnologie bereichert den ingenieurtechnischen Werkzeugkasten ungemein!

Welche Rolle spielt das Fraunhofer ILT dabei?

Die Fraunhofer-Gesellschaft hat den Transfer der Quantentechnologien in die Industrie seit 2016 auf der Agenda. Wir waren aufgrund der zentralen Rolle von Lasern und Photonen früh involviert und haben in einer Fraunhofer ILT-internen Taskforce analysiert, welche Chancen und Bedarfe sich aus dieser Technologie ableiten, welche Kompetenzen wir schon haben und wo wir nachlegen müssen. Als die Bundesregierung 2021 die Forschungsförderung für Quantentechnologien forciert hat, konnten wir uns sehr gezielt und erfolgreich für öffentlich geförderte Projekte bewerben, in die wir nun unser Know-how einbringen.

Welche Anwendungen stehen im Mittelpunkt?

Zwei aktuell laufende Projekte mit BMBF-Förderung widmen sich der quantenbasierten Optical Coherence Tomography (OCT). Es geht um präzise Einblicke in Keramiken oder in Gewebe für die medizinische Diagnostik. Der Clou: Wir können Photonen verschiedener Wellenlängen miteinander verschränken. Durch die laut Einstein »spukhafte« Verschränkung bleiben die Eigenschaften dieser Photonenpaare trotz räumlicher Trennung so eng korreliert, dass die Messung des einen genügt, um den Zustand des anderen zu kennen. Die Paare erzeugen wir mithilfe von Lasern und nichtlinearer Optik. Wir können damit in Wellenlängenbereichen messen, in denen die Detektion bisher kompliziert ist. Wir arbeiten außerdem im BMBF-geförderten »Leuchtturmprojekt für die quantenbasierte Messtechnik« in einem großen Konsortium mit, dass die OCT-Technologie für die Tumorerkennung nutzbar machen möchte. Daneben entwickeln wir Komponenten für photonische Quantencomputer, etwa per Selective Laser Etching gefertigte Ionenfallen oder unser Rydberg Tweezer Array zur optimalen Strahlverteilung in einem Rydberg-Computer. Es splittet Licht aus vier Ausgängen in 2000 einzelne Beamlets, um 2000 Qubits bereitzustellen.

Aktuell entsteht in Aachen ein Knoten für das Quanteninternet. Was hat es damit auf sich?

Hintergrund ist unsere strategische Partnerschaft mit QuTech im niederländischen Delft. Sie ist ein Paradebeispiel dafür, wie unser Institut wichtige Technologiebausteine beisteuert und etablierte Methoden aus der Entwicklung laseroptischer Systeme auf neue Technologien überträgt: Optikdesign, Packaging, Algorithmik und Komponenten wie der nahezu rauschfreie

»Die Quantentechnologie bereichert den ingenieurtechnischen Werkzeugkasten ungemein!«

Dr. Bernd Jungbluth



Quantenfrequenzkonverter auf Basis von nichtlinearer Optik, der zum Verschränkungs austausch über klassische Telekomfasern zwischen Delft und Den Haag beiträgt. Das ist laut QuTech nur dank der Lasertechnik des Fraunhofer ILT möglich. Im nächsten Schritt bauen wir gemeinsam einen weiteren Knoten in Aachen auf. Er dient zunächst als Plattform für Tests und Weiterentwicklungen photonischer Komponenten. Die Integration solcher Knoten ist ein spannendes Innovationsfeld – und am Ende wollen wir hier in Aachen natürlich auch selbst möglichst früh Teil eines globalen Netzwerks werden, welches wir unter anderem mit unseren europäischen Partnern in der Quantum Internet Alliance vorantreiben.

Welche Rolle spielen Netzwerke bei der Erschließung der Quantenwelten?

Vernetztes Denken ist seit jeher der Schlüssel zum Erfolg des Fraunhofer ILT. Wir bleiben ein Institut für Lasertechnik, streben aber enge Kooperationen mit Akteuren aus den Quantentechnologien an. Im Austausch mit ihnen können wir unsere Lösungskompetenz optimal einbringen. Beispiele dafür sind das Quantenkompetenznetzwerk Nordrhein-Westfalen und die Koordination der Quanten-Roadmap für das Land, die das Fraunhofer ILT jüngst übernommen hat.

Wie bewerten Sie den Status-Quo?

De facto haben wir in NRW bereits ein sehr fruchtbares Quanten-Ökosystem mit Lehrstühlen an zehn Hochschulen, darunter Siegen, Paderborn, Bonn und Aachen, dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), dem Forschungszentrum Jülich,

diversen Fraunhofer-Instituten und einer Fülle an innovativen kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), Spin-Offs und Start-ups. Bei Letzteren reicht das Spektrum von skalierbaren halbleiterbasierten Quantencomputern, die die junge Aachener ARQUE Systems GmbH entwickelt, über Ionenfallen-basierte Quantencomputer der Siegener eleQtron GmbH bis zur Pixel Photonics GmbH aus Münster, welche die Einzelphotonendetektion mit supraleitenden Nanodrähten und photonisch integrierten Schaltkreisen (PICs) vorantreibt. Viele Akteure haben ihren Sitz in der Laserregion Aachen.

Im Roadmapping-Prozess arbeiten wir eng mit der Geschäftsstelle von EIN Quantum NRW und dem Forschungszentrum Jülich zusammen. Wir möchten möglichst viele Akteure einbinden und laden Interessierte ein, Know-how und Ideen einzubringen. Als Ankerpunkt schwebt uns ein Center for Quantum Science and Engineering QSE im Rheinischen Revier vor. Wenn wir die vorhandenen Kräfte bündeln, dann können und werden Quantentechnologien einen wichtigen Beitrag zum Strukturwandel unserer Region leisten.

Kontakt

Dr. Bernd Jungbluth
Leiter Strategisches Programm
Quantentechnologien
Tel +49 241 8906-414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de

Forschungsmärkte

Das Fraunhofer ILT liefert innovative und auf Branchen zugeschnittene Entwicklungen. Für die Forschungsmärkte Energiewirtschaft, Mikroelektronik, Medizintechnik und Gesundheit, Mobilität sowie Luft- und Raumfahrt vereint das Institut seine Kompetenzen abteilungsübergreifend und profitiert von Synergieeffekten.

Forschungsmärkte

- Energiewirtschaft
- Luft- und Raumfahrt
- Mobilität
- Mikroelektronik
- Medizintechnik und Gesundheit

Unterschiedliche Branchen – ein Werkzeug: ob für die Diagnose oder Therapie in der Medizintechnik, leistungsfähige Elektronikkomponenten für die Energieversorgung von morgen oder nachhaltige Messsysteme für die Umweltanalytik. Die Vernetzung unterschiedlicher Expertisen führt zu Symbiosen und innovativen Laserlösungen für neue Produkte sowie kundenspezifische Antworten auf Fertigungsfragen.

Für den Markt Mobilität bietet das Fraunhofer ILT innovative Fertigungsverfahren für Leichtbauwerkstoffe, Multi-Materialsysteme und Hochleistungs-3D-Druckverfahren, um individuelle Bauteile zu fertigen und neue Prozesskettenansätze zu entwickeln. Auch für den Bereich Energiewirtschaft arbeitet das Institut an leistungsfähigen Prozesstechniken. Damit lassen sich Effizienz und Leistung von erneuerbaren Energiesystemen verbessern und konventionelle Energiesysteme optimieren.

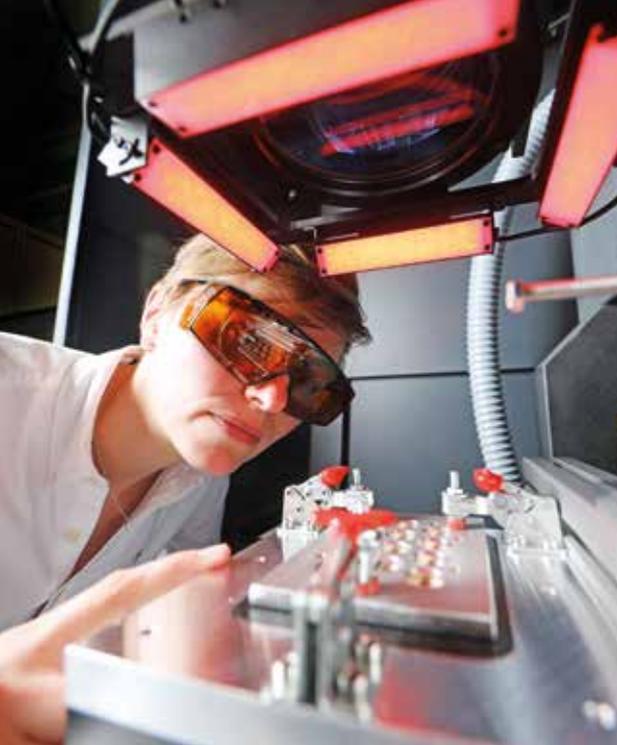
Personalisierte Patientenlösungen in der Medizintechnik

Medizintechnik erlebt derzeit einen schnellen Wandel mit neuen Schwerpunkten wie Künstlicher Intelligenz (KI), vernetzten Gesundheitsgeräten und personalisierter Medizin. Dabei entstehen neue Herausforderungen und Fragen: Es geht um Datensicherheit und Datenschutz, um Vertrauen und Akzeptanz der Patienten sowie die Finanzierbarkeit von aufwendigen Therapien.

Zu den technologischen Herausforderungen der Medizintechnik zählen aktuell das Tissue-Engineering, neue Bildgebung, individualisierte Implantattechnik und die patientenspezifische Medikation. Das Fraunhofer ILT entwickelt in diesem Zusammenhang innovative Messmethoden für berührungsfreie medizinische Anwendungen mit dem Laser und adressiert Fragen der personalisierten Medizin für Multiplexdiagnosen durch Lab-on-a-chip-Lösungen und 3D-gedruckte Prothesen.

Miniaturisierung auf Nanoebene

In der Mikroelektronikindustrie geben derzeit Trends wie Miniaturisierung, 3D-Integration, heterogene Integration und KI den Ton an. Fortschritte im Quantencomputing, neue Materialien, flexible Elektronik, ökologische und soziale Nachhaltigkeit sowie



© CNES / Illustration David DUCROS, 2016.

Datensicherheit ermöglichen und erfordern grundlegend neue Konzepte. Ein zentraler Faktor ist dabei Energieeffizienz, insbesondere mit Blick auf den zunehmenden Einsatz mobiler Geräte und das Internet der Dinge (IoT). Das Fraunhofer ILT entwickelt und evaluiert Strahlquellen zur EUV-Lithographie für solche Mikroelektronik sowie die entsprechende Messtechnik.

Innovative Elektronikkomponenten für leistungsstarke Batteriesysteme

Neben der Strukturierung im Nanometerbereich spielt die Aufbau- und Verbindungstechnik für leistungsfähige Elektronikkomponenten eine entscheidende Rolle. Gemeinsam mit Industriepartnern entwickelt das Fraunhofer ILT neue Verbindungstechniken für die Batteriekontaktierung und IGBT-Leistungsbauteile, um sie in leistungsfähige Fertigungssysteme zu integrieren.

Weitere Kompetenzen des Fraunhofer ILT liegen in der Strukturierung und Funktionalisierung von Oberflächen sowie in der 3D-Volumenstrukturierung. So lassen sich durch selektives Laserätzen mikroskopische Strukturen in Glas- oder Saphirsubstrate einbringen und mikrofluidische Systeme für biochemische Analysen realisieren.

Luftfahrtindustrie unter Druck

Luftfahrtunternehmen suchen nach umweltfreundlicheren Antriebssystemen, nachhaltigen Kraftstoffen und energieeffizienten Technologien. Insbesondere der Turbinenbau bietet viele Ansätze für technische Optimierung und Kostenersparnis. Neuartiges Turbinendesign, leichtere Turbinenschaufeln, optimierte Kühlung und günstige Reparaturverfahren sind nur einige Beispiele. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer ILT setzen hier vor allem auf Additive Fertigung. Die neuen additiven Fertigungsverfahren eignen sich auch zur Lösung von Wartungs- und Reparaturproblemen.

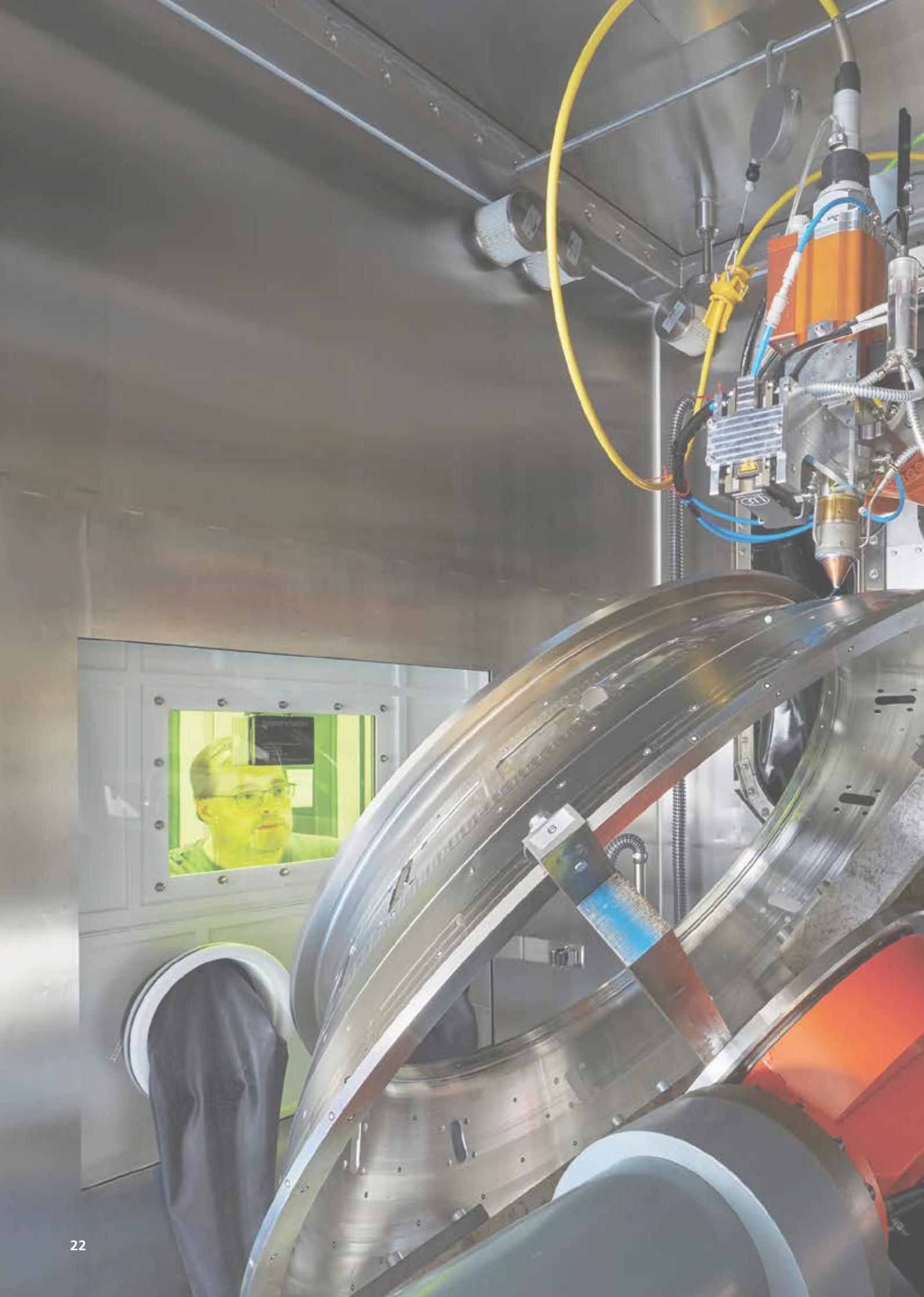
Robuste Lasertechnik für Umweltsatelliten

Im Bereich satellitengestützter Messsysteme für die Umweltanalytik bietet das Fraunhofer ILT leistungsstarke, schmalbandige Lasersysteme, mit denen Forschende die Konzentrationen von Gasbestandteilen der Atmosphäre mit hoher Genauigkeit detektieren. Das Institut hat gemeinsam mit Partnern wie dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR, der Airbus Group, der TESAT Spacecom oder der European Space Agency ESA eine eigene Technologieplattform für satellitengestützte Lasersysteme entwickelt.

»Die Vernetzung unterschiedlicher Expertisen führt zu Symbiosen und innovativen Laserlösungen für neue Produkte.«

Kontakt

Prof. Arnold Gillner
Abteilungsleiter Business
Development Forschungsmärkte
Telefon +49 241 89806-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Forschungsergebnisse 2023

Das Fraunhofer ILT zählt weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten im Bereich Laserentwicklung und Laseranwendung. Kunden aus Forschung und Industrie profitieren von umfangreicher Expertise und wertvollem Know-how in den Bereichen Laser, Optische Systeme, Quantentechnologie, Lasermesstechnik, Additive Fertigung, Oberflächentechnik, Fügen und Trennen, Digitalisierung, EUV und Plasmatechnik sowie Medizintechnik. Unsere Kernkompetenzen umfassen die Entwicklung neuer Laserstrahlquellen und -komponenten, Lasermess- und Prüftechnik sowie Laserfertigungstechnik. Im Folgenden finden Sie einen Auszug unserer aktuellen Forschungsprojekte:

- Abteilung Data Science und Messtechnik
 - Gruppe Prozesssensorik und Systemtechnik
 - Gruppe Materialanalytik
 - Gruppe Computational Methods
- Abteilung Oberflächentechnik und Formabtrag
 - Gruppe Mikro- und Nanostrukturierung
 - Gruppe Dünnschichtverfahren
 - Gruppe Polieren
 - Gruppe In-Volumen-Strukturierung und Lithographie
- Abteilung Lasermedizintechnik und Biophotonik
 - Gruppe Lasermedizintechnik und Bioanalytik
 - Gruppe Biofabrikation
- Abteilung Fügen und Trennen
 - Gruppe Fügen von Metallen
 - Gruppe Fügen von Kunststoffen und transparenten Materialien
 - Gruppe Trennen
- Abteilung Laserauftragschweißen
 - Gruppe Additive Fertigung und Reparatur LMD
 - Gruppe Beschichtung LMD und Wärmebehandlung
- Abteilung Laser Powder Bed Fusion
 - Gruppe LPBF-Prozess- und Systemtechnik
 - Gruppe LPBF-Applikationsentwicklung
 - Gruppe AM-Polymere
- Abteilung Laser und Optische Systeme
 - Gruppe Optikdesign und Diodenlaser
 - Gruppe Festkörperlaser
 - Gruppe Faserlaser
 - Gruppe EUV-Technologie
 - Gruppe Packaging
 - Gruppe Ultrakurzpulslaser
 - Gruppe NLO und abstimmbare Laser



Data Driven Innovation – Verbindung von realer und digitaler Welt



Das interdisziplinäre Team erforscht und entwickelt Modelle, Software und Systeme für die Verknüpfung von realer und digitaler Welt zur Erschließung intelligenter cyber-photonischer Systeme in der Produktion und digitaler Geschäftsmodelle. Neue Methoden und Algorithmen basierend auf Künstlicher Intelligenz spielen eine zentrale Rolle für Prozessüberwachung, selbstlernende Anlagen und in der Messtechnik.

In der Abteilung Data Science und Messtechnik wird ein ganzheitlicher Ansatz zur Steigerung von Produktivität, Effizienz und Qualität für die laserbasierte Fertigung und Analytik verfolgt. Wir erforschen und entwickeln digitale Lösungen in Verbindung mit maßgeschneiderten Laserstrahlquellen, optischen Systemen, Sensoren und Anlagentechnik zur Realisierung innovativer Produktions- und Messsysteme. Dazu werden Methoden aus der Künstlichen Intelligenz zur Analyse von Sensor- und Bilddaten sowie zur adaptiven Prozessführung für selbstlernende Lasersysteme eingesetzt. Im Bereich der Materialanalytik entwickeln wir Systeme zur Klassifikation von Materialien für das Recycling und die Kreislaufwirtschaft. Für unsere Kunden ermöglichen wir mit unseren Kompetenzen in Data Science, Modellierung und Messtechnik disruptive Innovationen und die Digitalisierung in der Photonik.



Kontakt

Prof. Carlo Holly
Abteilungsleiter
Telefon +49 241 8906-142
carlo.holly@ilt.fraunhofer.de

Abteilung Data Science und Messtechnik

- Prozesssensorik und Systemtechnik
- Materialanalytik
- Computational Methods

Einsatz Künstlicher Intelligenz in der bildbasierten Prozessüberwachung

Konventionelle Methoden der Bildverarbeitung müssen beim Einsatz im Bereich der Prozessüberwachung auf eine spezifische Applikation genau zugeschnitten werden. Bei normaler Streuung der Bildeigenschaften können sie daher leicht unpräzise und unzuverlässig werden. Zur Überwindung dieser Nachteile wird am Fraunhofer ILT ein neuer Weg in der bildbasierten Prozessüberwachung beschritten.

Semantische Segmentierung in der Prozessüberwachung

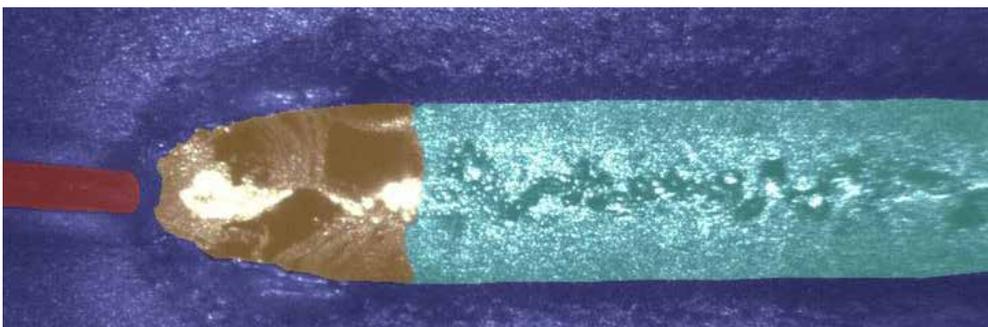
Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) eignen sich hervorragend für Bildklassifizierungsaufgaben und kommen in vielen Bereichen zum Einsatz. Für die bildbasierte Prozessüberwachung werden tiefe Neuronale Netze zur semantischen Segmentierung von Prozessbildern verwendet. Das hierfür eingesetzte tiefe Neuronale Netz ordnet hierbei jeden Pixel des Eingangsbilds einer semantischen, für den Prozess üblichen Region zu. Beispielsweise werden alle Pixel, die ein Schmelzbad zusammenhängend abbilden, einer Region zugeordnet und die des Fülldrahts, der Schweißnaht usw. einer weiteren

jeweils eigenen Region. Die Informationen aus dieser Bildsegmentierung eröffnen gleichzeitig viele Optionen für die Prozessüberwachung.

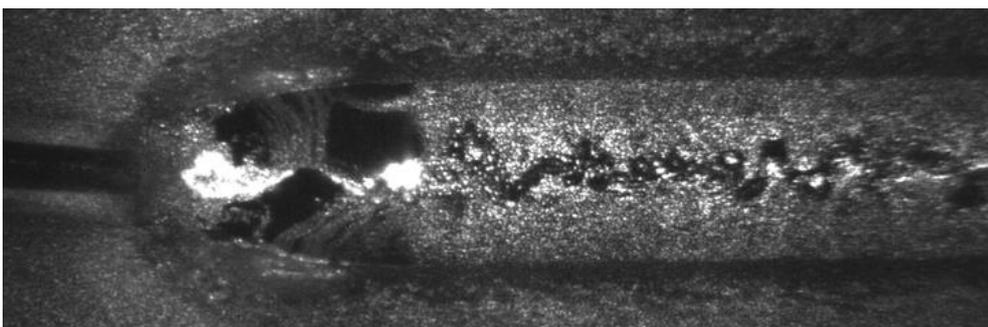
Quantitative Größen aus dem Prozess

Einerseits können direkt quantitative Größen wie Länge und Breite des Schmelzbads oder Positionen des Fülldrahts automatisiert und insbesondere simultan bestimmt werden. Dies ermöglicht eine automatisierte Dokumentation des Prozesses und erlaubt die Korrelation mit Aussagen zur Prozessqualität. Andererseits erlaubt die semantische Segmentierung auch eine In-situ-Prozessregelung. Hierfür müssen das Neuronale Netz und die übergeordnete Datenverarbeitung die Prozessbilder in »Echtzeit« verarbeiten können. Das künstliche Neuronale Netz des vom Fraunhofer ILT entwickelten Systems leistet die Verarbeitung von mehr als 100 Bildern pro Sekunde ohne besondere Hardwareanforderungen.

Autor: Dipl.-Ing. Stefan Mann, stefan.mann@ilt.fraunhofer.de



1 Kamerabild eines Laserlötprozesses.
2 Segmentierung des Kamerabilds.





AIRISE – KI-Anwendungen in der Fertigung

1 Qualitätsbewertung auf Basis von Fertigungsdaten, © Stephen Dawson / Unsplash.
2 Laserstrahlschneiden in der Fertigung, © Clayton Cardinali / Unsplash.

Mehr Effizienz durch KI in der Fertigung

Die Effizienz in der Fertigung wird wesentlich von Fertigungs- und Nebenzeiten bestimmt. Dabei stehen die Vermeidung von Fehlern und das frühzeitige Erkennen von Qualitätsabweichungen im Fokus. Beide Aspekte profitieren sehr vom Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI). So kann die Nutzung vorkonditionierter Modelle mit minimalem Training schnell zu ersten Ergebnissen führen. In vielen Fällen sind jedoch die Identifikation von Datenquellen und die Auswahl und Anwendung im industriellen Umfeld herausfordernd.

Individuelle Unterstützung bei der Anwendung

Das AIRISE-Projekt unterstützt Anwender durch die Ermittlung geeigneter Datenquellen über die Implementation von Sensordaten und Datenschnittstellen bis hin zur Nutzung der KI-basierten Analyseergebnisse zur Optimierung der Produktion. Dabei stehen über die Wertschöpfungskette hinweg die Definition der Zielstellung und die Überprüfung des Erfolgs im Zentrum der Aktivitäten.

KI in der Fertigung

Ingenieure mit Kompetenzen sowohl in der Fertigung als auch in KI betrachten die aktuelle Situation und die Problemstellung und skizzieren einen Lösungsansatz, den sie dann gemeinsam mit den Mitarbeitern des Unternehmens verfolgen.

Die gemeinsame Entwicklung von KI-Anwendungen stärkt dabei die beteiligten Mitarbeiter und das gesamte Unternehmen. So werden alle Personen involviert, auf die sich die Einführung der avisierten Lösung auswirkt. Dieser Prozess ist angelehnt an das auf europäischer Ebene entwickelte ALTAI-Verfahren und ist im Rahmen von AIRISE speziell auf die Umgebungsbedingungen und Bedürfnisse von produzierenden kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) abgestimmt.

Zugang zu diesem Programm erhalten Unternehmen über öffentliche Ausschreibungen auf www.airise.eu. AIRISE wird seitens der EU mit Mitteln aus dem Forschungsprogramm Horizon Europe unter dem Förderkennzeichen GA 101092312 unterstützt.

Autor: Ulrich Thombansen M. Sc., ulrich.thombansen@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

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

Scannende LIBS-Messungen zur Detektion der Elementverteilung in Althandys

Die nachhaltige Verwertung von Elektronik am Ende der Nutzungsdauer im Sinne der Kreislaufwirtschaft stellt weiterhin ein ungelöstes Problem dar. Während Kupfer und Edelmetalle aus Platinen schon größtenteils zurückgewonnen werden, gehen viele weitere Bestandteile verloren. Hierzu gehören auch Technologiemetalle wie Tantal, Wolfram oder die Elemente der Seltenen Erden. Diese verleihen elektronischen Bauteilen ihre hohe Leistungsfähigkeit und spezifische Funktionalität, bilden jedoch jeweils nur einen geringen Anteil der Gesamtmasse des Elektroschrotts. Um auch diese wertvollen Stoffe wiedergewinnen zu können, müssen sie den Platinen gezielt entnommen werden. Die dafür benötigten Informationen stehen z. B. seitens der Hersteller auf absehbare Zeit nicht zur Verfügung. Handys werden zwar meist nur einige Jahre benutzt, anschließend jedoch noch lange zuhause gelagert, bis sie schließlich entsorgt werden. Dadurch gelangen überwiegend Geräte in das Recycling, die 10 bis 25 Jahre alt sind.

Digitaler Zwilling für das werkstoffliche Recycling

Um die gezielte Entnahme und Verwertung von elektronischen Bauteilen zu ermöglichen, hat das Fraunhofer ILT ein Verfahren entwickelt, mit dem die chemische Zusammensetzung der Bauteile im eingebauten Zustand gemessen wird. In Kombination

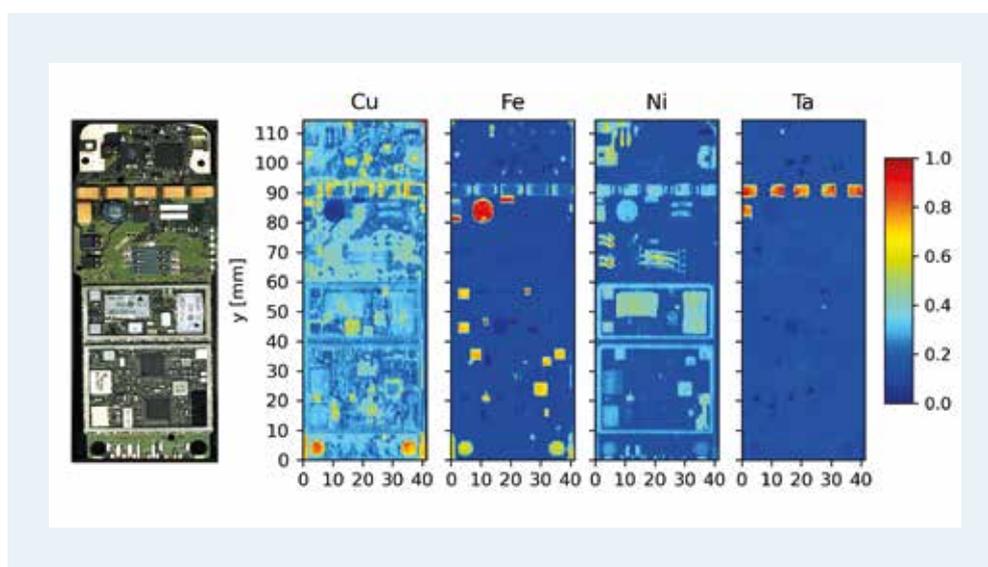
mit weiteren für das Recycling relevanten Informationen entsteht so ein digitaler Zwilling für jedes Gerätemodell, welcher die benötigten Daten für eine automatisierte maschinelle Verarbeitung der Altgeräte bereitstellt.

LIBS zeigt die Inhaltsstoffe

Die Platinen werden mit dem am Fraunhofer ILT entwickelten scannenden Laser-Emissionsspektrometrie-System (engl. laser-induced breakdown spectroscopy LIBS) Punkt für Punkt und Bauteil für Bauteil untersucht. An jeder Position wird in Sekundenbruchteilen eine Multi-Elementanalyse vorgenommen, die zu Element-Landkarten für jedes Metall kombiniert werden. Der Laser untersucht dabei nicht nur das an der Oberfläche liegende Material, sondern dringt so tief in die Bauteile ein, dass auch innenliegende Strukturen und Elemente von den Messungen erfasst werden.

Dieses Vorhaben wurde mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) unter dem Förderkennzeichen EFRE 0802005 durchgeführt.

*Autor: Dr. Cord Fricke-Begemann,
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de*



1 Mit LIBS gemessene Element-Landkarten einer Handyplatine.



1 LIBS-Messungen von Stahlspänen.

Inline-LIBS-Sensor in der Metall-Recyclingindustrie

Die Gewinnung von Metallen aus geologischen Lagerstätten ist für einen erheblichen Anteil des weltweiten Ressourcen- und Energieverbrauchs verantwortlich. Die Rückgewinnung aus metallhaltigen Sekundärmaterialien hat dagegen ein enormes Einsparpotenzial. Wichtig für die effiziente Prozessführung im Schmelzprozess ist die richtige Einstellung der Zusammensetzung des Einsatzmaterials. Vereinzelte Schrottteile lassen sich mit dem Verfahren der Laser-Emissionsspektrometrie (engl. laser-induced breakdown spectroscopy LIBS) schnell und genau analysieren und nach Metallen und sogar einzelnen Legierungen sortieren. Die dafür benötigte Technologie hat das Fraunhofer ILT in den vergangenen Jahren maßgeblich mitentwickelt. Es gibt jedoch eine Vielzahl an Materialien, die sich nicht für eine automatische Sortierung eignen.

Monitoring variabler Stoffströme

Das Fraunhofer ILT hat in Zusammenarbeit mit Projektpartnern einen LIBS-Sensor für den Einsatz in bestehenden Recyclingprozessen entwickelt und erprobt. Die kontinuierliche automatische Beprobung durch den LIBS-Prozess wird dabei mit einer vorgeschalteten optischen Geometrieerfassung kombiniert. Durch die intelligente Auswertung der Oberflächenstruktur kann ein Raster von Messpunkten so über das Material verteilt werden, dass jeder Laserpuls gezielt appliziert werden und dabei eine möglichst repräsentative Erfassung seiner Zusammensetzung erfolgen kann.

Erprobung in der Metallindustrie

Der entwickelte Inline-LIBS-Sensor wurde bereits erfolgreich in Betrieben erprobt, die im industriellen Maßstab Altmaterial einschmelzen, um daraus die Basismetalle Stahl, Aluminium und Blei zurückzugewinnen. Durch die schnelle Erfassung der Zusammensetzung von feinkörnigen Schüttgütern, z. B. in Transportbehältern oder auf Förderbändern, können die vielfältigen metallischen und metallhaltigen Einsatzmaterialien wie beispielsweise Schlacken schon direkt bei Anlieferung chemisch charakterisiert und anschließend modellbasiert für den Ofenprozess optimiert zusammengestellt werden.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU-Projekts REVaMP unter dem Förderkennzeichen 869882 durchgeführt.

Autor: Dr. Cord Fricke-Begemann
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

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

First-Time-Right-Produktion durch Bayes'sche Prozessoptimierung

Industrieunternehmen, die Laser in der Fertigung einsetzen, sind zunehmend bestrebt, KI-Anwendungen oder Prozesssimulationen in ihre eigene Wertschöpfungskette zu integrieren und sie für eine schnelle, sichere und optimierte Maschineneinstellung zu nutzen. Bayes'sche Optimierer, Gaußsche Prozessregressoren und reduzierte Prozessmodelle ermöglichen die Entwicklung digitaler Werkzeuge für eine schnelle, interaktive Prozessauslegung und -optimierung.

Potenzial für Zeit- und Kostenersparnis

Bei der Einführung eines neuen Fertigungsprozesses oder bei der Verwendung neuer Materialien wird üblicherweise eine statistische Versuchsplanung zur Auslegung, Optimierung und Fehleranalyse durchgeführt. Diese Vorgehensweise ist im Allgemeinen zeit- und kostenintensiv. Durch das Zusammenspiel von Simulation, Bayes'scher Optimierung und smarter Systemtechnik können Prozessparameter schnell und automatisiert bestimmt werden.

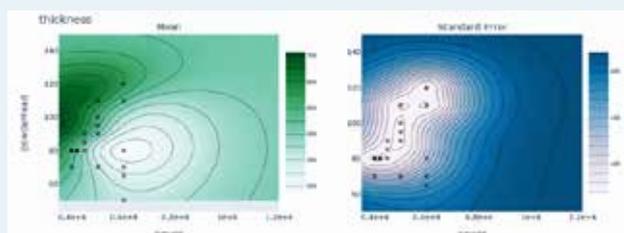
Bayes'sche Optimierer basieren auf Gaußschen Prozessregressoren und ermöglichen eine effiziente Lösung von inversen Aufgaben, die beispielsweise bei der Suche optimaler Prozessparameter auftreten. Die Gaußschen

Prozessregressoren können durch Daten aus Simulationen oder Experimenten aufgebaut werden. Dabei werden die zu untersuchenden Parametersätze durch den Bayes'schen Optimierer unter Berücksichtigung vorhandener Daten sowie statistischer Unsicherheiten bestimmt, sodass deutlich weniger Auswertungen als bei der klassischen Versuchsplanung benötigt werden. Durch den Einsatz einer smarten Systemtechnik können Modelle automatisiert kalibriert oder Prozessregressoren automatisiert erstellt werden.

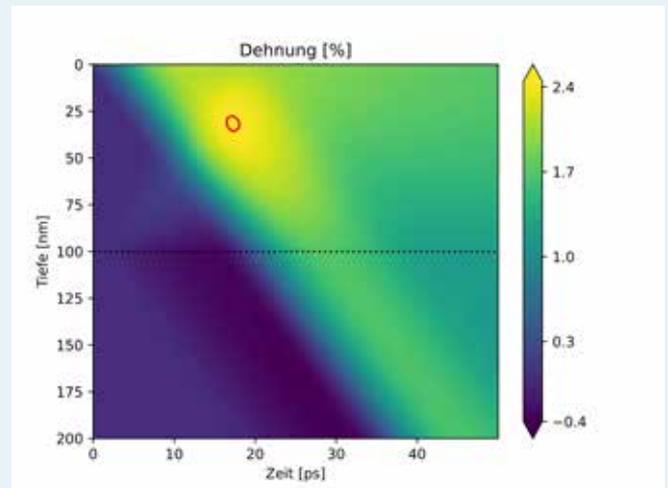
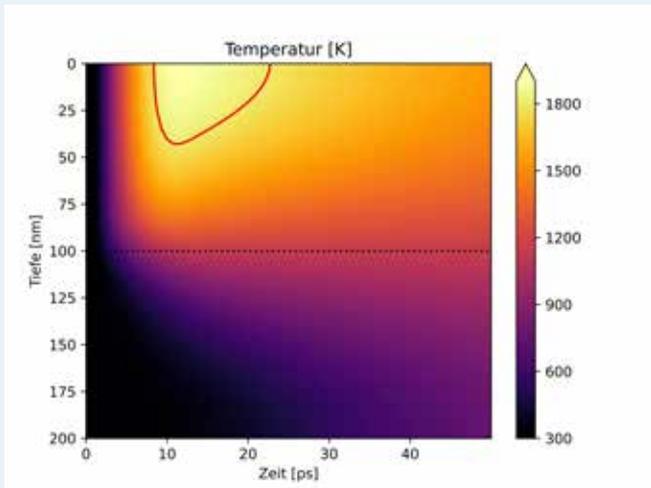
Realisierung und Anwendungen

Bayes'sche Optimierer und Gaußsche Prozessregressoren wurden am Fraunhofer ILT für zwei laserbasierte Prozesse entwickelt. Für das Strukturieren von Metallen mit ultrakurzen Laserpulsen wurden eine automatisierte Modellkalibrierung und ein modelbasierter Bayes'scher Optimierer realisiert. Für das Hochleistungs-Laserauftragsschweißen (HIP-LMD) wurde ein Bayes'scher Prozessoptimierer auf Basis eines »man in the loop«-Ansatzes entwickelt, der eine experimentbasierte Auslegung und Optimierung ermöglicht.

Autor: Dr. Markus Niessen, markus.niessen@ilt.fraunhofer.de



1 HIP-LMD-Prozess.
2 Ermittelte Parameter eines HIP-LMD-Prozessregressors.



1 Simulierte Temperaturverteilung in einer transparenten Dünnschicht.
2 Simulierte Dehnungsverteilung in einer transparenten Dünnschicht.

Simulationsgestützte Analyse der Ablation dünner transparenter Schichten

Präzise Lasermaterialbearbeitung von dünnen, transparenten und halbleitenden Schichten ist für die Display- und Halbleiterindustrie essenziell, um die stetig wachsende Auflösung von Displays und die sinkende Größe von integrierten Schaltkreisen realisieren zu können. Abhängig von der Anwendung bestehen die Schichten beispielsweise aus Low- κ -Materialien, Indium Zinn Oxid (ITO), Siliziumdioxid (SiO_2) oder Siliziumnitrid (Si_3N_4) mit Schichtdicken im Bereich einiger 10 Nanometer bis weniger Mikrometer. Die Modellierung des Ablationsprozesses ermöglicht eine schnellere Prozessauslegung für die schädigungsarme Laserbearbeitung der Schichtsysteme (z. B. für Wafer-Vereinzelung oder OLED-Displays) und die Identifikation der grundlegenden physikalischen Prozesse.

Modell zur Simulation der Ablationsdynamik

Um die zugrundeliegenden physikalischen Prozesse zu identifizieren, wurde ein Modell entwickelt, welches die optischen, thermischen und mechanischen Eigenschaften der Dünnschichten während und nach der Bestrahlung durch ultrakurze Laserpulse abbildet. Die optischen Eigenschaften von transparenten Halbleitern und Dielektrika hängen stark von der freien Elektronendichte im Material ab. Die freie Elektronendichte wird während der Bestrahlung mittels intensiver ultrakurz gepulster Laserstrahlung durch die Ionisation des bestrahlten Materials maßgeblich geändert. Mithilfe der sich während des Laserpulses ändernden optischen Eigenschaften wurde der in das Material eingebrachte Energiebeitrag bestimmt und die daraus resultierende Erwärmung und thermische Dehnungen im Material modelliert.

Identifikation der Ablationsmechanismen

Mithilfe des entwickelten Modells lassen sich die Temperatur- und die mechanischen Spannungsverteilungen im Material vorhersagen. Überschreiten die mechanischen Spannungen einen materialspezifischen Schwellwert, ist der Abtrag mechanisch dominiert. Analog dazu lässt sich für einen thermisch dominierten Abtrag ein Ablationskriterium durch das Erreichen der Schmelz- oder Verdampfungstemperatur definieren. Die Ablationskriterien sind in den Abbildungen bei den rot eingezeichneten Bereichen erfüllt.

Die grundlegenden Überlegungen dieser Arbeiten wurden im Rahmen eines DFG-Projekts am Lehr- und Forschungsgebiet NLD der RWTH Aachen University unter dem Förderkennzeichen 423531130 durchgeführt.

Autor: *Dorian Kürschner M. Sc.*,
dorian.kuerschner@nld.rwth-aachen.de



Kontakt

Dr. Martin Adams
Gruppenleiter Computational Methods
Telefon +49 241 8906-509
martin.adams@ilt.fraunhofer.de

Funktionale Oberflächen und Schichten durch Lasermaterialbearbeitung

Das Fraunhofer ILT-Team entwickelt innovative Verfahren für die Lasermaterialbearbeitung sowie die entsprechende Systemtechnik, um anwendungsspezifische Lösungen für anspruchsvolle Aufgabenstellungen aus den unterschiedlichsten Branchen zu realisieren. Die Hauptbereiche liegen hier in der laserbasierten Mikro- und Nanostrukturierung, den Dünnschichtverfahren und dem Polieren.

Mithilfe neuester Laserstrahlkonzepte können maßgeschneiderte Bauteiloberflächen erzielt werden. Leistungsfähige Ultrakurzpulslasersysteme werden mit Multistrahloptiken kombiniert, um die Produktivität bei höchster Oberflächenqualität zu steigern. Neben der Oberflächenpolitur und dem gezielten Abtrag von Schichten werden auch Ansätze zur lasergestützten Bauteilbeschichtung realisiert, welche neue Materialkombinationen und Energieeinsparungen in der Produktion ermöglichen. Inlinefähige und automatisierbare Verfahren stehen dabei ebenso im Fokus wie die Skalierung, Mehrachsbearbeitung und Realisierung laserbasierter Prozessketten. Die Anwendungsgebiete reichen von der Energietechnik, Elektromobilität, Luft- und Raumfahrttechnik, Medizintechnik und dem Werkzeug- und Formenbau bis hin zur Mikroelektronik, Optik und Quantentechnologie.



Kontakt

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

Abteilung Oberflächentechnik und Formabtrag

- Mikro- und Nanostrukturierung
- Dünnschichtverfahren
- Polieren
- In-Volumen-Strukturierung und Lithographie

3D-Direktlaserlithographie auf großformatigen komplexen Oberflächen

Photolithographie spielt eine Schlüsselrolle in der Mikro- und Nanofertigung mit einem breiten Spektrum von Anwendungen und einer herausragenden Bedeutung für die moderne Industrie. Während die lithographische Strukturierung üblicherweise auf flachen Substraten durchgeführt wird (z. B. Computerchips), gibt es zahlreiche Anwendungen, bei denen Schaltkreise oder schaltungsähnliche Strukturen auf gekrümmten Oberflächen hergestellt werden (z. B. gekrümmte Wellenleiter, Mikrooptiken oder flexible Elektronik). Für die Herstellung dieser Bauteile ist eine Lackmaske zwingend erforderlich, um ausgewählte Bereiche während der nachfolgenden Ätz-, Abscheidungs- oder Implantationsvorgänge abzudecken. Die klassische photomaskenbasierte Lithographie ist bei stark gekrümmten Substraten nicht mehr möglich. Die Erzeugung von Lackmasken für reproduzierbare Freiformstrukturen auf gekrümmten Oberflächen ist daher eine besondere Herausforderung.

3D-Lithographie mittels 5-Achs-Anlage

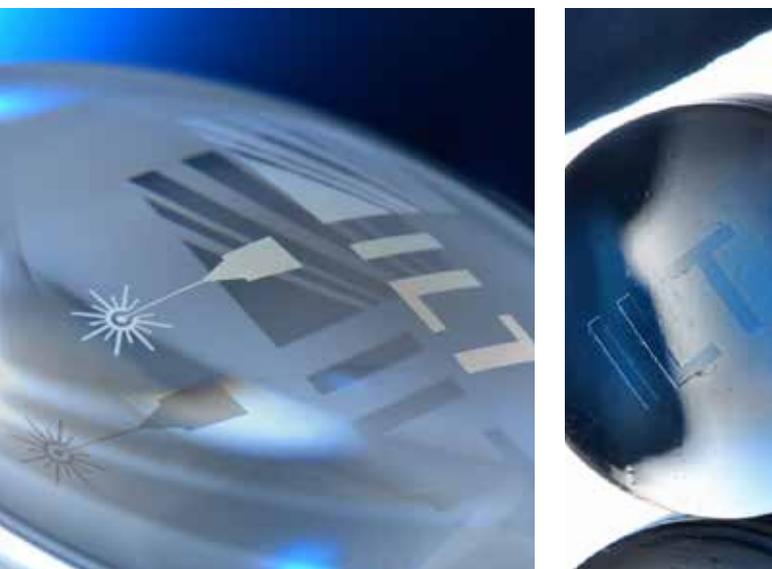
Als neue Lösung für die photomaskenlose Lithographie auf komplexen Oberflächen wurde am Fraunhofer ILT ein 3D-Direktlaserlithographiesystem aufgebaut. Dieses erlaubt die präzise Ausrichtung des durch eine UV-Laserdiode erzeugten Laserstrahls senkrecht zur gekrümmten Oberfläche während des gesamten Belichtungsprozesses in einer 5-Achs-Anlage.

Außerdem ist eine Sprühbeschichtungseinheit in das System integriert, um eine homogene Lackschicht auf komplexen Substraten zu erzeugen. Des Weiteren ist eine Kamera-Erkennungseinheit installiert, die eine präzise Substrat-Masken-Ausrichtung für aufeinanderfolgende photolithographische Schritte ermöglicht.

Herstellung von dreidimensionalen optoelektronischen Bauelementen

Mithilfe dieses 3D-Direktlaserlithographiesystems ist es gelungen, auf großformatigen stark gekrümmten Oberflächen homogene Lackschichten mit weniger als 5 Prozent Lackdickenvariation zu erzeugen und Strukturen mit einer Auflösung von 5 μm mit hoher Kantenqualität zu schreiben. Außerdem erreicht die optische Overlaykontrolle eine Genauigkeit von unter 5 μm . Dies stellt einen wichtigen Schritt auf dem Weg zur industriellen Produktion dreidimensionaler, optoelektronischer Bauelemente dar.

Autor: Julian Hürtgen M. Sc., julian.huertgen@ilt.fraunhofer.de



1 Metallstruktur auf 100 mm-Linse mit 103 mm Krümmungsradius.

2 Erzeugte Lackmaske auf 1-Zoll-Linse mit 23 mm Krümmungsradius.



Kontakt

Martin Kratz M. Sc.
Gruppenleiter In-Volumen-Strukturierung
und Lithographie
Telefon +49 241 8906-581
martin.kratz@ilt.fraunhofer.de



1 1 x 8-Teilstrahl-Array.
2 MultiFlex-Anlage am
Fraunhofer ILT.

MultiFlex – Multistrahlbearbeitung nicht-periodischer Strukturen

Die Lasermaterialbearbeitung mit Ultrakurzpuls (UKP)-Lasern ist ein hervorragendes Verfahren zur präzisen und schmelzfreien Bearbeitung von fast beliebigen Werkstoffen. Sie ermöglicht einen Abtrag nahezu ohne thermischen Einfluss. Dies macht die UKP-Laserbearbeitung interessant für viele industrielle Einsatzfelder, u. a. den Werkzeugbau. Ein großer Nachteil liegt in der hohen Prozesszeit im Vergleich zu beispielsweise dem Abtrag mittels Nanosekunden-Laserstrahlung. Eine gängige Methode, um diesen Nachteil auszugleichen, liegt in der Bearbeitung mit mehreren Teilstrahlen, der sogenannten Multistrahlbearbeitung. Die klassische Variante ist dabei auf periodische Strukturen eingeschränkt, da mit den einzelnen Teilstrahlen Parallelbearbeitungen mit einem festen räumlichen Abstand durchgeführt werden. Mit MultiFlex wird diese Einschränkung aufgehoben.

Individuell modulierbare Teilstrahlen für die Multistrahlbearbeitung

Um die Limitation auf periodische Strukturen zu umgehen, wird jeder Teilstrahl durch einen separaten akusto-optischen Modulator (AOM) gelenkt. Mit diesem kann der Teilstrahl pulsgenau entweder in eine Strahlfalle abgelenkt oder zum Scanner durchgelassen, also aus- oder eingeschaltet, werden. Die Ansteuerung der einzelnen AOMs sowie die Synchronisation mit der Laserstrahlquelle erfolgt über ein dafür entwickeltes FPGA-Modul. Damit kann eine Strahlmatrix z. B. aus 8 x 8 Teilstrahlen, ähnlich wie bei einem Punktmatrix-Drucker, über das Werkstück bewegt werden, wobei nur die Teilstrahlen

eingeschaltet werden, die an der jeweiligen Stelle zur Bearbeitung gebraucht werden. Dieses Schaltmuster für die AOMs muss vorher in einer dafür entwickelten Software berechnet werden. Alle Teilkomponenten sind in einer industrietypischen Lasermaterialbearbeitungsanlage verbaut.

Skalierung mittels nicht-periodischer Multistrahlbearbeitung

Die Verwendung der MultiFlex-Technologie zur nicht-periodischen Multistrahlbearbeitung mit 64 individuell modulierbaren Teilstrahlen ermöglicht eine Steigerung der Produktivität um einen Faktor von etwa 30 im Vergleich zur Einzelstrahlbearbeitung. Der genaue Faktor hängt individuell von der zu bearbeitenden Geometrie ab. Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU-Projekts MultiFlex unter dem Förderkennzeichen 825201 durchgeführt.

Autor: Marcel Kniffler M. Sc., marcel.kniffler@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

Dr. Dennis Haasler
Gruppenleiter Mikro- und Nanostrukturierung
Telefon +49 241 8906-8321
dennis.haasler@ilt.fraunhofer.de

Laserbasierte Herstellung von Korrosionsschutzschichten für PEM-Brennstoffzellen

Die steigende Nachfrage nach Wasserstofftechnologien erfordert die Entwicklung moderner Fertigungsverfahren mit sehr hohen Taktzahlen. In diesem Zusammenhang steht momentan besonders die PEM-Brennstoffzelle (Polymer-Elektrolyt-Membran) im Fokus der aktuellen Forschung und Entwicklung. Eine zentrale Komponente einer PEM-Brennstoffzelle stellen die Bipolarplatten (BPP) dar. Sie bestehen entweder aus Edelstahl oder Verbundwerkstoffen und dienen, neben ihrer Funktion als strukturgebende Komponente, als Stromsammler, verteilen die gasförmigen Edukte (H_2 und O_2) und führen das entstehende Prozesswasser ab. Die aggressiven chemischen Bedingungen in einer Brennstoffzelle führen jedoch zur Korrosion der metallischen BPPs. Um der Korrosion entgegenzuwirken und die Lebensdauer der Brennstoffzellen damit zu verlängern, können Beschichtungen aufgebracht werden. Gleichzeitig muss jedoch eine hohe elektrische Leitfähigkeit erhalten bleiben, um eine hohe Effizienz des Systems zu ermöglichen. Konventionell erfolgt die Beschichtung mittels chemischer oder physikalischer Gasphasenabscheidung in Vakuumanlagen. Dabei kommen vor allem korrosionsbeständige Edelmetalle (z. B. Platin) oder Kohlenstoffe zum Einsatz. Vor allem die kurzen Taktzeiten und großen Stückzahlen stellen in der vakuumbasierten industriellen Fertigung ein Problem dar. Es werden komplexe Beschichtungsanlagen benötigt und hohe Materialkosten erzeugt.

Korrosionsschutzschichten auf Kohlenstoffbasis

Im Rahmen des Forschungsprojekts H2GO entwickelt das Fraunhofer ILT ein laserbasiertes Verfahren, welches die Herstellung von neuartigen Korrosionsschutzschichten auf Kohlenstoffbasis ermöglicht. Dabei wird eine Präkursorlösung auf die BPPs aufgesprüht und getrocknet. Durch die anschließende Bearbeitung mit einem Laser wird diese Präkursorschicht in eine leitfähige und korrosionsbeständige Kohlenstoffmodifikation umgewandelt. Die Bearbeitung erfolgt im Gegensatz zur etablierten Gasphasenabscheidung in Raumluft und erfordert kein Vakuum. Dadurch wird eine Integration in eine kontinuierliche Fertigungsstraße erheblich vereinfacht.

Effizienzsteigerung bei der PEM-Fertigung

Durch den Verzicht auf aufwendige Vakuumverfahren und die Verwendung von günstigen und gut verfügbaren Materialien kann das Verfahren einen Beitrag dazu leisten, den stetig wachsenden Markt der PEM-Brennstoffzellen zu bedienen.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr unter dem Förderkennzeichen 03B11027A durchgeführt.

Autor: Julius Funke M. Sc., julius.funke@ilt.fraunhofer.de



1 Laserfunktionalisierung einer beschichteten Bipolarplatte.
2 Materialausstoß der Sprühdüse.



1 Antihaftbeschichtung
auf CFK-Walze.

Laserbasierte Herstellung von Hochleistungs-Antihaftbeschichtungen

Leichtbauwalzen aus CFK werden zunehmend als Ersatz von konventionellen Walzen aus Stahl oder Aluminium in der Industrie verwendet. Aufgrund der Gewichtseinsparung kann der Energieverbrauch in der Anwendung minimiert und die Lebensdauer von Walzen, Motoren und Lagern effektiv gesteigert werden. Für diese Leichtbauwalzen werden oft funktionale Beschichtungen benötigt, um die Leistungsfähigkeit der Lauroberflächen zu verbessern. Gängige Hochleistungs-Antihaftbeschichtungen basieren entweder auf Sol-Gel-Systemen oder Hochleistungspolymeren wie z. B. PEEK (Polyetheretherketon). Diese Materialien müssen nach dem Auftrag auf die CFK-Walzen jedoch thermisch nachbehandelt werden. Dieser Prozessschritt erfordert Temperaturen zwischen 200 und 400 °C, was über der Schädigungsgrenze der CFK-Walzen (ca. 120 °C) liegt. Aufgrund dieser Einschränkung können die angestrebten Antihafteigenschaften mit herkömmlichen ofenbasierten Verfahren nicht erreicht werden, da das Bauteil auf eine zu hohe Funktionalisierungstemperatur gebracht werden müsste.

Kombination von Hochleistungs-Antihaftbeschichtungen und CFK-Walzen

Das Fraunhofer ILT hat ein Laserverfahren entwickelt, welches die Deposition von Sol-Gel- und PEEK-basierten Hochleistungsschichten auf temperaturempfindlichen CFK-Walzen ermöglicht. Die von der Rhenotherm Kunststoffbeschichtungs GmbH entwickelten anwendungsspezifischen Materialien werden in einem ersten Schritt auf die Walzen aufgesprüht und getrocknet. Die thermische Funktionalisierung erfolgt mittels Diodenlaserstrahlbearbeitung, wobei eine definierte

Oberflächentemperatur über eine pyrometrische Temperaturmessung mit automatischer Regelung der Laserleistung erreicht wird. Durch die örtlich und zeitlich hoch aufgelöste Energieeinbringung können dabei die notwendigen Funktionalisierungstemperaturen in den Antihaftschichten kurzzeitig erzielt werden, ohne das Substrat thermisch zu schädigen.

Energieeinsparung durch leichte CFK-Walzen

Solche beschichteten Leichtbauwalzen können in Produktionsanlagen im Bereich der Hygieneartikelherstellung, der Verpackungsindustrie sowie der Automobilindustrie eingesetzt werden und leisten durch das geringe Gewicht einen Beitrag zur Energieeinsparung in industriellen Verfahren. Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 03LB3051B durchgeführt.

Autor: Samuel Fink M. Sc, samuel.fink@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

Samuel Moritz Fink M. Sc.
Gruppenleiter Dünnschichtverfahren
Telefon +49 241 8906-624
samuel.fink@ilt.fraunhofer.de

Laser Beam Figuring – Laserbasierte Formkorrektur von Quarzglas-Optiken

Die Fertigung optischer Komponenten aus Glas in kleinen bis mittleren Stückzahlen erfolgt in der Regel durch Schleifen und Polieren mit immer feiner werdendem Materialabtrag. Dieser die Oberflächengüte bestimmende Prozess wird bei hochpräzisen Optiken durch eine zonale oder lokale Korrekturpolitur ergänzt. Besonders bei geometrisch komplexen Optiken mit Asphären- oder Freiformflächen erfordert das Korrekturpolieren mittels konventioneller Fertigungsmethoden sehr lange Bearbeitungszeiten und verursacht hohe Prozesskosten.

Hohe Prozessgeschwindigkeiten und formunabhängige Oberflächenqualitäten

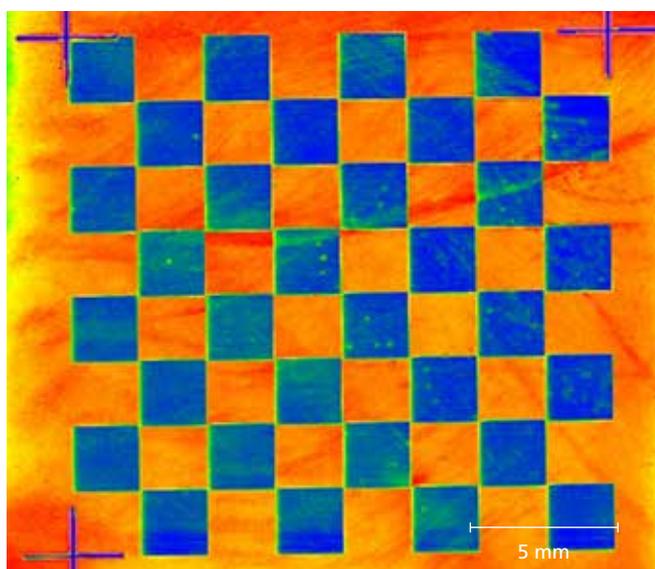
Aktuelle Ansätze zur laserbasierten Bearbeitung optischer Oberflächen versprechen hohe Prozessgeschwindigkeiten und formunabhängige Oberflächenqualitäten. Die Anwendbarkeit eines solchen Verfahrens zur Korrekturpolitur, das auf Materialabtrag nahe der Verdampfungstemperatur basiert, konnte bereits an ebenen Oberflächen demonstriert werden. Ziel dieses sogenannten Laser Beam Figuring ist die Entwicklung einer schnellen und kostengünstigen, laserbasierten Korrekturpolitur für hochpräzise Asphären und Freiformoptiken aus Quarzglas. Zur Korrektur von Form, nieder- und mittelfrequenten Fehlern muss ein gezielter lokaler Glasabtrag von weniger als 10 nm Abtragtiefe mit einer lateralen Auflösung von ca. 50 µm erreicht werden, ohne dabei die Rauheit signifikant zu erhöhen.

Leistungsstabilisierte CO₂-Laserstrahlung wird dazu mittels akusto-optischen Modulatoren (AOM) zu µs-Pulsen moduliert. Die Abtragtiefe ist dabei eine Funktion der Pulsdauer. Da jedem Puls über die Steuerungssoftware eine individuelle Pulsdauer zugewiesen werden kann, kann die Abtragtiefe hochgenau und lokal angepasst werden.

Perspektive für das laserbasierte Fertigungsverfahren

Mit dem entwickelten Versuchsaufbau konnten reproduzierbare Abtragtiefen von wenigen Nanometern bis zu einigen 100 nm mit einer lateralen Auflösung von ca. 50 µm auf planen Quarzglasoberflächen erzielt werden. Bei einer Repetitionsrate von 8 kHz und einer Pulsdauer von 42 µs wird eine Abtragrate von bis zu 97 mm³/h erreicht. Exemplarisch konnte gezeigt werden, dass der mittelfrequente Fehler einer ebenen Probe von einer Flächenrauheit mit 0,647 nm auf 0,388 nm reduziert werden kann (Feldgröße 16 x 16 mm²). Weitere Untersuchungen zur Reduzierung von Form, nieder- und mittelfrequenten Fehlern laufen und zeigen die Perspektive, ein neues laserbasiertes Fertigungsverfahren für die Fertigung von Optiken aus Glas zu etablieren. Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben »Laser Beam Figuring« wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen IGF-21672 N durchgeführt.

Autor: Emrah Uluz M. Sc., emrah.uluz@ilt.fraunhofer.de



1 Weißlichtinterferometrie-Aufnahme von Parameter- und Referenzfeldern (Chessboard) in Falschfarbendarstellung. Mittlere Abtragtiefe der blauen Felder im Vergleich zu den orangen: 11,0 nm ± 0,9 nm.



1 Industrielle 3D-Laserpolieranlage.
2 In-situ-Weißlichtinterfero-
metriemessung.

KI-basierte, automatisierte Bestimmung der Verfahrensparameter beim Laserpolieren

Wie bei vielen Laserprozessen erfordert die Bestimmung geeigneter Verfahrensparameter auch beim Laserpolieren von Metallen Expertenwissen und einen hohen Personalaufwand. Bei wechselnden Werkstoffen und bei größeren Änderungen der Ausgangsrauheit müssen die Verfahrensparameter experimentell angepasst oder neu ermittelt werden. Die beim Laserpolieren entstehenden Oberflächenstrukturen wie z. B. Einbrandkerben, Aufwölbungen oder Martensitnadeln limitieren dabei die minimal erreichbare Rauheit. Durch eine gezielte Anpassung der Verfahrensparameter lassen sich die Oberflächenstrukturen jedoch erheblich reduzieren. Dazu werden die Testoberflächen zunächst poliert. Prozessexperten führen anschließend Topographiemessungen mittels Weißlichtinterferometrie durch und analysieren diese auf Oberflächenstrukturen, was mit erheblichem Aufwand verbunden ist.

Selbstlernende, automatisierte Laserpolieranlage

Zur Automatisierung der Verfahrensparameterentwicklung wird zusammen mit der Karl H. Arnold Maschinenfabrik GmbH & Co. KG ein Weißlichtinterferometer in eine Laserpolieranlage integriert. Eine neu entwickelte Steuerungssoftware (Work-Flow-Controller) koordiniert Laserpolieranlage, Laser und Optik sowie Weißlichtinterferometer und ermöglicht so einen automatisierten Ablauf aus Versuchsplanung, Laserpolitur und anschließender In-situ-Messung. Aufgenommene Topographiebilder werden mittels KI-unterstützter Analysesoftware auf Rauheitsmerkmale sowie Oberflächenstrukturen überprüft.

Mithilfe eines speziell für das Laserpolieren von Metallen entwickelten Moduls werden Verfahrensparameter bewertet und dem Benutzer vorgefiltert bereitgestellt.

Klassifizierung von Oberflächenstrukturen mit KI

Mit der automatisierten Laserpolieranlage lassen sich bereits heute bis zu 50 Prozent Arbeitszeit gegenüber der konventionellen Verfahrensparameterentwicklung einsparen. Erstmals wurde dazu ein KI-Modul zur Klassifizierung von Oberflächenstrukturen auf einem Datensatz von über 2500 Topographiebildern trainiert. Bisherige Ergebnisse zeigen eine Genauigkeit von über 95 Prozent bei Einzelstrukturerkennung und bis zu 82 Prozent bei Strukturüberlagerungen. Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben »3+2 AI La-Pol« wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01DM21003B durchgeführt.

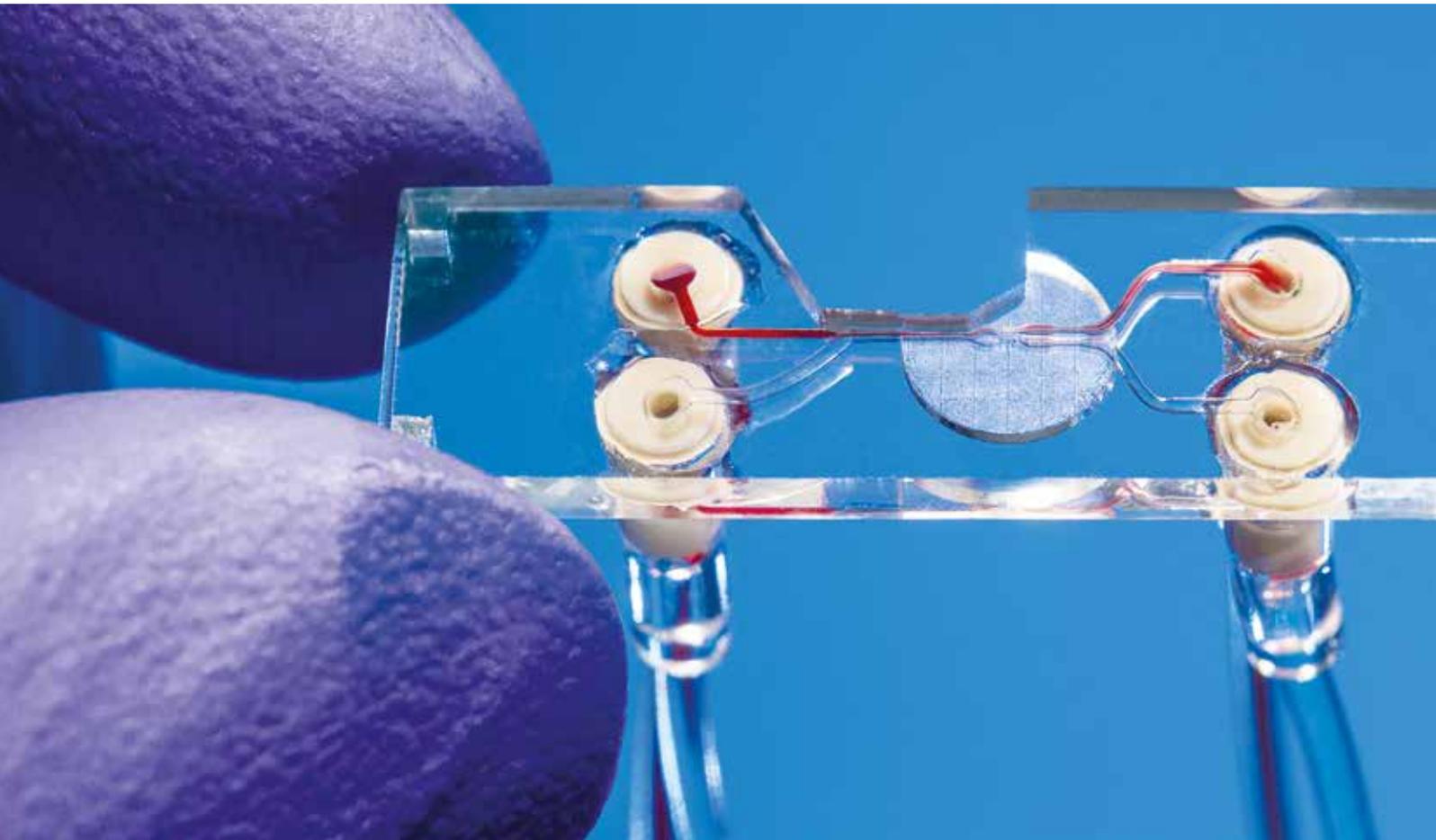
Autor: Sven Linden M. Sc., sven.linden@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

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

Lasertechnik für die Präzisionsmedizin und eine gesunde Umwelt



Das interdisziplinäre Team des Fraunhofer ILT mit lasertechnischer, biologischer und klinischer Expertise entwickelt laserbasierte Lösungen für medizinische Anwendungen und die biomedizinische Forschung. Das Forschungsportfolio deckt hochpräzise laserchirurgische Systeme, Geräte für die In-vitro-Diagnostik und Umweltanalytik sowie innovative stereolithographische Verfahren und Bioprintingprozesse ab.

Im Bereich der Laserchirurgie stehen Prozesse und Systeme zum Schneiden von Hartgewebe für minimalinvasive Eingriffe in der Neurochirurgie im Fokus. Darüber hinaus entwickeln wir diagnostische Verfahren auf der Basis von mikrofluidischen Sortier- und -nachweissystemen zur Differenzierung und Separation von Pathogenen sowie diagnostischen Partikeln für die Infektionsdiagnostik. Kunden aus der biomedizinischen Forschung bieten wir innovative Laserprozesse zum gezielten Transfer einzelner Zellen auf Diagnostik-Chips. Außerdem verfügen wir über patentierte stereolithographische Verfahren, welche die automatisierte Herstellung von individualisierten Medizinprodukten erlauben.



Kontakt

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

Abteilung Lasermedizintechnik und Biophotonik

- Lasermedizintechnik und Bioanalytik
- Biofabrikation

2D-Fluoreszenzsonde für das Inline-Wasser- und Abwassermonitoring

Für die Überwachung von Wasseraufbereitungsprozessen in Kläranlagen werden aktuell 24-Stunden-Mischproben verwendet. Dabei sammelt ein Probennehmer einen Tag lang kontinuierlich Abwasser, die anschließende Analyse erfolgt im Labor. Mittels nasschemischer Verfahren können aus den Proben wichtige Abwasserparameter wie der TOC-Wert (Total Organic Carbon) oder der BOD-Wert (Biological Oxygen Demand) ermittelt werden. Diese Parameter sind für die Überwachung und Regelung der Klärwerksprozesse bedeutsam und repräsentieren die organische Schmutzfracht. Optische Inline-Methoden, die diese Abwasserparameter zuverlässig und mit hoher Zeitauflösung zur Verfügung stellen, sind derzeit nicht verfügbar. Zur Verbesserung der Klärprozesse ist es jedoch erforderlich, diese Summenparameter kontinuierlich und in Echtzeit zur Verfügung zu stellen. Selbst bei stark schwankender Zusammensetzung des Zulaufs könnte so eine gleichbleibend hohe Aufbereitungsqualität des Abwassers sichergestellt werden. Bestimmte Aufbereitungsschritte wie z. B. eine Ozonierung des Abwassers wären so zielgerichtet und messdatenbasiert steuerbar.

Inline-Monitoring statt 24-Stunden-Mischproben

Mithilfe einer neuartigen spektroskopischen Messsonde sollen daher wichtige Summenparameter wie der TOC- oder der BOD-Wert zukünftig in Echtzeit für Überwachungsaufgaben

im Klärwerk ermittelt werden. Zum Einsatz kommt dabei die 2D-Fluoreszenzspektroskopie, die sich im Labor zur Abwassercharakterisierung bewährt hat, jedoch nicht als inlinefähiges Verfahren zur Verfügung steht. Diese spektroskopische Methode basiert auf der Aufnahme von Fluoreszenzspektren bei verschiedenen Anregungswellenlängen, sodass man eine zweidimensionale Anregungsemissionsmatrix erhält. In Verbindung mit multivariaten Analysemethoden können aus den Fluoreszenzspektren Informationen zur Überwachung der Klärprozesse ermittelt werden.

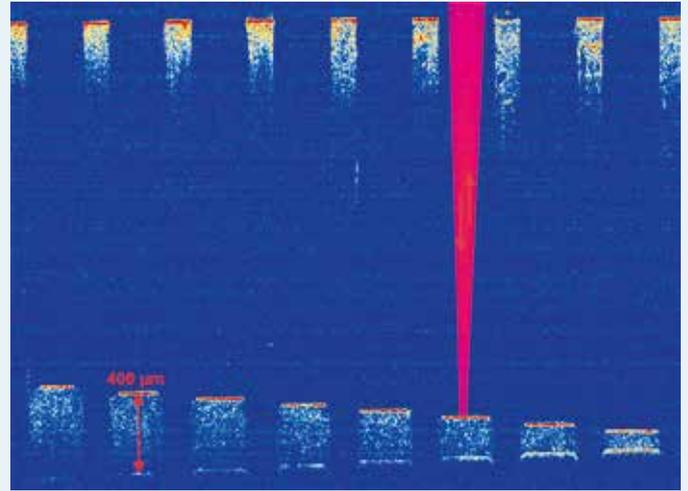
Inline-2D-Fluoreszenzsonde

Die erste Version einer inlinefähigen Tauchsonde wurde am Fraunhofer ILT realisiert und soll nun gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung im Rahmen des Forschungsprojekts »AIX-Watch« für den Einsatz im Klärwerk qualifiziert und optimiert werden. Hierfür wird ein applikationsspezifisches Auswerteverfahren auf Basis multivariater Datenanalyse entwickelt. Das Vorhaben wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03RU2U014F gefördert.

Autor: Dr. Christoph Janzen, christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de



1 Kläranlage Aachen-Soers des Wasserverbands Eifel-Rur (WVER), © WVER.
2 Tauchsonde für 2D-Fluoreszenzspektroskopie.



1 Laserschnitt an kompaktem Rinderbeinknochen.
2 OCT-Restdickenmessung an dünnen Knochenlamellen.

OCT-überwachte Laserosteotomie für mikrochirurgische Eingriffe

Lasersysteme für sichere Osteotomien

Schneiden und Entfernen von Knochengewebe bei chirurgischen Eingriffen erfolgen nach heutigem Stand der Technik mit mechanischen Werkzeugen wie Bohrern, Fräsen oder Meißeln. Diese Instrumente sind in Bezug auf ihre Genauigkeit, Automatisierbarkeit und Patientensicherheit insbesondere bei Knochenentfernungen in der Nähe kritischer Strukturen stark eingeschränkt. Eine laserbasierte Osteotomie verspricht hingegen konstante Schneidgeschwindigkeiten bei erhöhter Präzision und verbessertem kosmetischen Ergebnis. Durch die Überlagerung eines optischen Messprozesses kann der Laserabtrag zudem online überwacht und geregelt und dadurch die Patientensicherheit erhöht werden. Darüber hinaus ist die Kombination des Laserprozesses mit einem robotischen System möglich.

Echtzeit-Restdickenmessung zur automatisierten Regelung des Laserschneidprozesses

Die Strahlung des Schneidlasers wird mit einem kompakten Applikator auf die Knochenoberfläche fokussiert. Der Laserapplikator kann über ein motorisiertes Positioniersystem, einen robotischen Arm oder auch händisch über das Operationsgebiet geführt werden. Durch das interferometrische Messverfahren der optischen Kohärenztomographie (OCT) wird die Restdicke des Knochens in Echtzeit gemessen, wobei der Messstrahl im Laserapplikator koaxial zum Schneidlaserstrahl überlagert ist. Neben der Inline-Messung der Restdicke wird ein 3D-Oberflächenprofil von der Schnittfuge erstellt und die lokale Abtragsrate an Inhomogenitäten im Knochen angepasst.

OCT-Messungen am Knochengewebe

Im Rahmen des Projekts STELLA wurde ein OCT-Sensor mit einer Zentralwellenlänge von 835 nm und einer Messfrequenz von bis zu 80 kHz entwickelt. Mit diesem Sensor kann eine maximale Knochenrestdicke von bis zu 400 µm an kompaktem Knochengewebe gemessen werden. Über den Laserapplikator wurden am Schädelknochen eines Schafs erfolgreich 3D-Oberflächenprofile von lasergenerierten Schnittfugen aufgenommen. Ein Laserosteotom mit interferometrischer Prozessüberwachung ist sowohl zur Schädelöffnung als auch für die Wirbelsäulen- sowie die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie interessant.

Das Projekt wird von der Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen des Forschungsprogramms ATTRACT gefördert.

Autorin: *Christina Giesen M. Sc., christina.giesen@ilt.fraunhofer.de*



Kontakt

Dr. Georg Meineke
Gruppenleiter Lasermedizintechnik
und Bioanalytik
Telefon +49 241 8906-8084
georg.meineke@ilt.fraunhofer.de

Volumetrischer 3D-Druck zur Herstellung von polymeren Freiformlinsen

Freiformlinsen sind optische Elemente mit einer nicht rotations-symmetrischen Oberfläche. Zumeist ist die geometrische Form komplex, wodurch in der Anwendung z. B. komplexe Lichtfelder erzeugt oder Abbildungsfehler minimiert werden können. Badbasierte Photopolymerisationsverfahren überzeugen durch höchste Genauigkeit und Oberflächengüte und stellen eine kostengünstige Alternative zu konventionellen Herstellungsprozessen von Freiformlinsen dar. Während in schichtbasierten Stereolithographieverfahren häufig optische Defekte an den Grenzschichten entstehen, wird diese Fehlerquelle im volumetrischen 3D-Druck durch kontinuierliche Prozessführung vermieden.

Anlagentechnik und Prozessführung

Der Ausgangsstoff für den volumetrischen 3D-Druck sind fließfähige Photoharze in Glasküvetten. Ein 2-Wellenlängen-Photoinitiatorsystem ermöglicht die räumliche Kontrolle des Polymerisationsgeschehens. Die Polymerisation findet dabei ausschließlich in den Überlagerungsbereichen eines 2D-Laserlichtschnitts der ersten aktivierenden Wellenlänge ($\lambda = 405 \text{ nm}$) und dem zum Lichtschnitt orthogonal angeordneten 2D-Bild eines Flächenbelichters des zweiten polymerisierenden Wellenlängenspektrums ($\lambda = 500\text{--}700 \text{ nm}$) statt. Das ermöglicht eine quasikontinuierliche In-Volumen-Bearbeitung. Die Herstellung von Bauteilen in der Größenordnung einiger Zentimeter

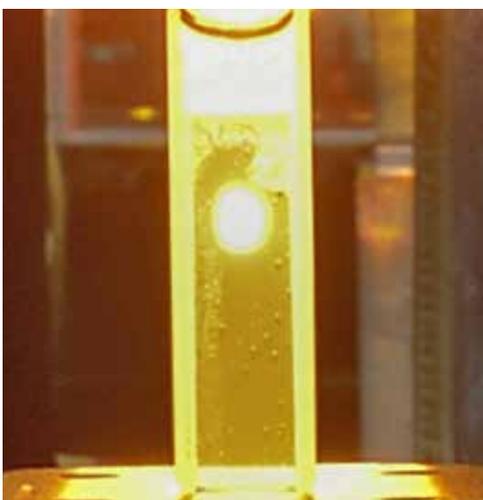
ist innerhalb weniger Minuten möglich und somit um das 3- bis 10-fache schneller als schichtbasierte stereolithographische Herstellungsverfahren. Entscheidend für die Druckgeschwindigkeit sind das eingesetzte Photoharz, dessen Viskosität und Reaktivität sowie die Absinkgeschwindigkeit der Bauteile in der Küvette. Diese mannigfaltigen Prozessparameter erschweren eine In-situ-Prozessentwicklung.

Ex-situ-Charakterisierung der Photoharze

Um einerseits die Eignung neuer Materialformulierungen für den volumetrischen 3D-Druck zu ermitteln und andererseits Materialentwicklungszyklen zu beschleunigen, wurde am Fraunhofer ILT ein Charakterisierungsverfahren entwickelt. Hierzu ist ein Rheometer mit einer 2-Wellenlängen-Belichtungseinheit zur Untersuchung der Absinkgeschwindigkeit, Reaktivität und Viskosität von Photoharzen ausgestattet worden. Damit kann ein Prozessfenster definiert und die In-situ-Prozessentwicklung neuer Materialien deutlich beschleunigt werden.

Die Arbeiten wurden in einem Kooperationsprojekt des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) unter dem Förderkennzeichen KK5099507BRO durchgeführt.

*Autor: Maximilian Flesch M. Sc.,
maximilian.flesch@ilt.fraunhofer.de*



1 Belichtung beim volumetrischen 3D-Druck.



1 Mikroreaktionsgefäße.
2 Anlage zur Zellisolation.

Isolation von B-Zellen mittels laserbasiertem Zelldruck

Stand der Technik und Anwendung

Wenn Patienten an einem Virus wie z. B. SARS-CoV-2 erkranken, führt dies zu einer Immunantwort und der Bildung von pathogenspezifischen Rezeptoren auf körpereigenen Immunzellen (B-Zellen). Das Vorliegen eines solchen Rezeptors gibt Auskunft über den Immunstatus der betroffenen Patienten nach Infektion oder Impfung. Um zukünftig bei einer Epidemie schnell Auskunft über die Immunisierung in der Bevölkerung geben zu können, ist das Screening großer Patientenkohorten mit zeit- und kostenintensiven Verfahren erforderlich. Das BMBF-Projekt »B-Zell-Immun« strebt daher die Entwicklung einer miniaturisierten Prozesskette an, die die schnelle Analyse von vielen 100.000 Proben in Mikrogefäßen ermöglicht.

Prozesskette und Lösungsweg

Durch den Projektpartner LPKF werden Mikroreaktionsgefäße mit einem Durchmesser von 200–400 µm zur Verfügung gestellt. Diese Gefäße effizient in einem nadelbasierten Ansatz zu befüllen, stellt heute ein noch ungelöstes Problem dar. Daher entwickelt das Fraunhofer ILT einen laserbasierten Prozess, der einerseits die Befüllung der Mikroreaktionsgefäße mit Zellkulturmedium mit einer Rate von bis zu 1 kHz und andererseits die Vereinzelung der B-Zellen aus einer Patientenprobe in diese Gefäße ermöglicht. Im Anschluss werden die Proben durch die klinischen Partner der Medizinischen Hochschule Hannover analysiert.

Erfolgreicher Materialtransfer für die Zellanalyse

Das Fraunhofer ILT hat gezeigt, dass Mikroreaktionsgefäße in Glas mit einem Durchmesser von bis zu 200 µm zuverlässig und ohne Kontamination der Nachbargeschichten mit Zellkulturmedium befüllt werden können. Diese Materialvorlage bildet die Basis für die anschließende Isolation einzelner Zellen in den Mikroreaktionsgefäßen. Dazu wird ein laserinduzierter Vorwärtstransfer (LIFT) mit einer MIR-Laserstrahlquelle der Emissionswellenlänge $\lambda = 2,94 \mu\text{m}$ eingesetzt, um Wasser zu verdampfen und einen Mikrojet auszulösen. Dieses Mikrodosierverfahren kann mit Raten von bis zu 1 kHz kontaktfrei und ohne Nadeln drucken. Der Transfer einzelner Zellen in Mikroreaktionsgefäße wurde ebenfalls bereits gezeigt und wird nun auf B-Zellen übertragen. Das diesem Bericht zugrundeliegende Verbundprojekt »B-Zell-Immun« wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 13GW0590D durchgeführt.

Autor: Richard Lensing M. Sc., richard.lensing@ilt.fraunhofer.de.



Kontakt

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



Fügen und Trennen – nicht
nur eine Frage der Einstellung

Die Fraunhofer ILT-Laserexpertinnen und -experten der Abteilung Fügen und Trennen untersuchen ein weites Feld der Lasermaterialbearbeitung. Eine große Werkstoffvielfalt von Metall über Kunststoff bis Holz und Glas sowie eine große Bandbreite der Werkstückdimensionen von dicken Blechen bis zu dünnen Folien zeichnen die Anwendungen aus.

Die laserbasierte Verbindungstechnik mit Schwerpunkt auf der elektrischen Kontaktierung für Energiespeicher und Leistungselektronik umfasst neben dem Laserstrahlschweißen und -löten auch Prozesse wie das Kunststoffschweißen oder das Glasfritbenden. Für das Laserstrahlschneiden werden Prozesse und prozessspezifische Komponenten wie Optiken, Schneiddüsen und Kontrollsysteme entwickelt. Neben Hochleistungsverfahren wie dem High-Speed-Cutting und dem Dickblechschneiden stehen integrierte Anwendungen im Fokus, die Schneiden, Schweißen und additive Pulververfahren kombinieren. Die Anwendungsgebiete reichen hier von der Batterietechnik über die Fertigung von Brennstoffzellen bis zur Verpackungs- und Textiltechnik. Wir bieten Anwendern maßgeschneiderte Lösungen von der Machbarkeitsstudie bis hin zur vollständigen individuellen Maschine.



Kontakt

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

Abteilung Fügen und Trennen

- Fügen von Metallen
- Fügen von Kunststoffen und transparenten Materialien
- Trennen

Laserstrahllöten mit 450 nm sichtbarer Wellenlänge

Industriell werden zum Laserstrahllöten elektronischer Bauteile und Bauteilgruppen serienmäßig Laser im infraroten Wellenlängenbereich eingesetzt (808–940 nm). In diesem Wellenlängenbereich beträgt der Absorptionsgrad des Lotmaterials im festen Zustand ca. 30–50 Prozent. Dieser Umstand beschränkt die erreichbare Effizienz des Laserfertigungsverfahrens. Im Forschungsprojekt BlueSold wurde in den vergangenen zwei Jahren ein Laserfertigungsverfahren zum Laserstrahllöten mit 450 nm Wellenlänge (blau) erarbeitet und erforscht.

Mehr Effizienz durch den Einsatz von blauen Wellenlängen

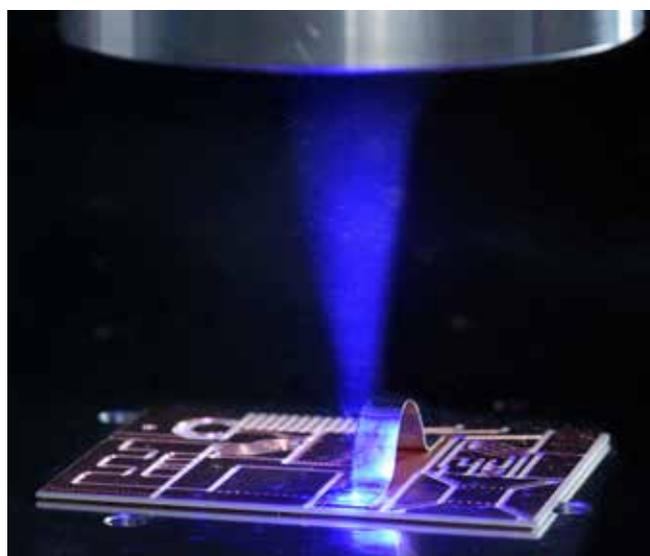
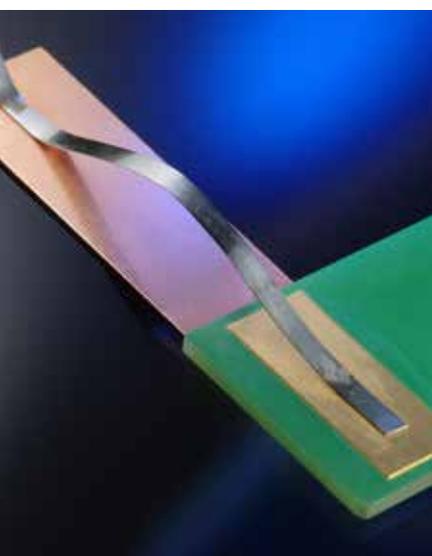
Zur Umsetzung einer kostengünstigen und industriellen Lösung wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Mergenthaler GmbH eine eigens dafür konzipierte Laserstrahlquelle entwickelt. Dies ermöglicht die exakte Abstimmung der Laserstrahleigenschaften auf den benötigten Lötprozess. Durch Einsatz der blauen Wellenlänge kann der Absorptionsgrad im festen Materialzustand auf 40–60 Prozent gesteigert werden. Zur Prozessentwicklung wurden Untersuchungsmethoden mittels Hochgeschwindigkeitskameras und zusätzlich In-situ-Röntgenuntersuchungen am Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY durchgeführt. So konnten verschiedene Lotmaterialien auf ihre

Loteigenschaften und die Verwendbarkeit im Einsatz mit der neuartigen Laserstrahlquelle untersucht werden. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der inneren Qualität der Lotstelle sowie den Aufschmelz- und Benetzungseigenschaften auf den eingesetzten PC-Boards.

Höhere Produktivität durch Parallelisierung

Laserstrahlösungen mittels 450 nm Wellenlänge können aufgrund der erhöhten Absorption schneller und energieeffizienter durchgeführt werden. Dieser Umstand wird in Zukunft genutzt, um im Projekt SoLaVi mittels eines Spatial Light Modulators (SLM) die Laserstrahlung auf das Werkstück zu applizieren. Mithilfe des SLM kann der Laserstrahl punktgenau in einzelne Teilstrahlen aufgeteilt werden, um somit mehrere Lötstellen gleichzeitig zu bearbeiten. Dadurch kann der Vorteil der erhöhten Laserstrahlabsorption der 450 nm Wellenlänge noch weiter gesteigert werden, um noch effizientere Lötprozesse zu entwickeln.

Autor: André Häusler, andre.haeusler@ilt.fraunhofer.de



1 Laserstrahlötung.
2 Highspeed-Aufnahme einer Laserstrahlötung.



1 Aufbau mit zwei
RAYLASE AS-Fiber 30.
2 Schweißen einer
Bipolarplatte.

Doppelstrahlschweißen von metallischen Bipolarplatten

Wasserstoff gilt als Energieträger der Zukunft. Kernstück der sogenannten PEM (Polymer-Elektrolyt-Membran)-Brennstoffzelle ist die Bipolarplatte. Diese ist für wichtige Aufgaben wie z. B. die Medienverteilung und Versorgung, darunter Wasserstoff als Reaktionsmedium, zuständig. Die metallische Bipolarplatte eignet sich aufgrund des geringeren Gewichts zur mobilen Anwendung. Diese besteht aus zwei umgeformten, metallischen Folien, die zusammengefügt werden müssen. Hierbei entstehen hohe Qualitäts- und Taktzeitanforderungen. Laserschweißen eignet sich aufgrund der großen Prozessgeschwindigkeit für diese Anwendung. Ab einer Vorschubgeschwindigkeit von 500 mm/s (30 m/min) treten allerdings erste Humping-Erscheinungen auf. Humping ist ein Nahtdefekt, der sich in Form von periodischen Schmelzanhäufungen auf der Nahtoberfläche manifestiert. Die Nahtqualität wird dadurch nachteilig beeinflusst und die Prozessgeschwindigkeit stark eingegrenzt.

Zwei Laserstrahlen auf einem Werkstück

Mit einem Single-mode-Faserlaser, emittierend im NIR (1070 nm) Bereich, können hochqualitative Nähte bei einer Prozessgeschwindigkeit von 30 m/min realisiert werden. Ein Lösungsansatz, um die Produktionstaktzeit zu reduzieren und gleichzeitig diese Nahtqualität beizubehalten, besteht darin, zwei Bearbeitungsköpfe zu verknüpfen. Für diesen Aufbau werden zwei AxialScanFiber30-Scanner der Firma RAYLASE

verwendet. Außerdem kommen zwei weitere Laser mit jeweils einer maximalen Ausgangsleistung von 1000 W zum Einsatz. Beide Laserstrahlen können gleichzeitig angeschaltet werden.

Verringerung der Taktzeit

Die Bearbeitungsdauer einer typischen Schweißkontur für eine Bipolarplatte beträgt bei der Nutzung von nur einem Bearbeitungsstrahl ca. 4,6 Sekunden. Die Bearbeitungsdauer mit dem Doppelstrahlschweißen beträgt hingegen nur ca. 2,4 Sekunden. Eine Reduzierung von ca. 48 Prozent kann somit erreicht werden. Ein weiterer Vorteil bietet sich durch die Möglichkeit der Nutzung von den zwei Strahlen auf einem Punkt im Überlappungsbereich der beiden Scanfelder. Dadurch können weitere Untersuchungen zur Vermeidung von Humping unternommen werden.

Autor: Elie Haddad M. Sc., elie.haddad@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

Dr. André Häusler
Gruppenleiter Fügen von Metallen
Telefon +49 241 8906-640
andre.haeusler@ilt.fraunhofer.de

Prozesskette zur Herstellung hybrider Medizinprodukte

Medizinische Injektionsfläschchen werden in der Regel mit sogenannten Bördelkappen verschlossen, deren Aluminiumkomponente für einen dauerhaften Verschluss sorgt. Eine aufgedruckte Kunststoffkomponente erlaubt die einfache Öffnung des Fläschchens. Derzeit werden beide Komponenten in getrennten Fertigungsprozessen hergestellt und anschließend verpresst.

Kürzere Fertigungskette

Um die Fertigungskette zu verkürzen, wird in einer Laseranlage ein Rolle-zu-Rolle-Aufbau integriert, der ein Aluminiumband durch den Bearbeitungsbereich des Lasers führt. Dabei werden die Prozesse des Laserschneidens und Laserstrukturierens zur Erzeugung einer Oberflächenstruktur und einer Sollbruchstelle kombiniert. Anschließend werden die Metallrunden durch einen Roboter entnommen und in eine Spritzgießmaschine eingelegt. Im kombinierten Tiefzieh- und Hinter-spritzprozess werden die Bördelkappen finalisiert.

Das Projekt MeKuMed

Im Rahmen des Projekts MeKuMed kann gezeigt werden, dass durch die Variation der Laserparameter und der Strukturordnung definierte Abzugskräfte für das Öffnen der Bördelkappe erzielt werden, um so die Handhabung zu vereinfachen und

einen sicheren Umgang zu gewährleisten. Die automatisierte Blechbearbeitung mittels Laser und die Verwendung eines Kombinationswerkzeugs in der Spritzgießmaschine tragen zu einer Vereinfachung der Prozesskette sowie einer kürzeren Prozesszeit bei.

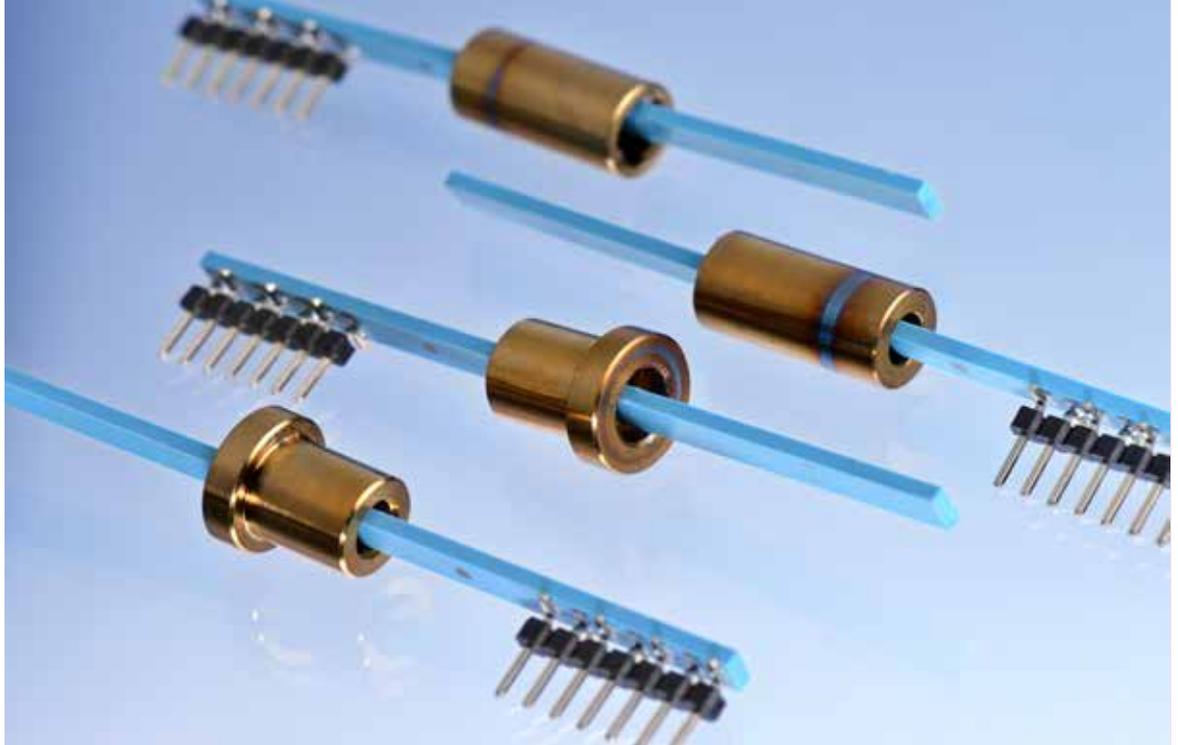
Durch das Projekt MeKuMed sollen Metall-Kunststoff-Hybridverbindungen mittels Laserstrukturierung im Anwendungsfeld Medizintechnik demonstriert werden. Neben dem Fraunhofer ILT sind die folgenden Projektpartner beteiligt: KraussMaffei Technologies GmbH (Projektkoordinator), Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung der RWTH Aachen University, Röchling Medical Solutions SE, SimpaTec GmbH, Pulsar Photonics GmbH und Siegfried Hofmann GmbH.

Das Projekt »Werkstoffgerechte und kosteneffektive Fertigung von Metall/Kunststoff-Hybridbauteilen für die Anwendung in der Medizintechnik – MeKuMed« wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 03XP0291 gefördert.

*Autor: Christoph Wortmann M. Sc.,
christoph.wortmann@ilt.fraunhofer.de*



*1 Prozessschritte vom Blech zur Bördelkappe.
2 Laserstrukturierte Bördelkappe.*



Laserbasiert hergestellte
Druckglasdurchführungen für LTCC.

Druckglasdurchführungen für temperaturempfindliche Komponenten

Beim Aufbau hermetischer Verkapselungen werden häufig Druckglasdurchführungen als Kontaktierungsschnittstelle zwischen Sensoreinheit und Auswerteelektronik verwendet, da diese hohen Temperaturen, hohem Druck und aggressiven Medien standhalten. Sie setzen sich aus einem Metall-Außenenteil (Fassung), einem Glasformteil und meist metallischen Innenleitern zusammen. Herkömmlich erfolgt die Herstellung in einem mehrstündigen Ofenprozess, bei dem alle Bestandteile auf Schmelztemperatur ($> 400\text{ °C}$) des Glases erwärmt werden. Für metallische Innenleiter ist der Ofenprozess unproblematisch. Tritt aber an deren Stelle eine Mehrlagenkeramik aus LTCC mit integrierten Strukturen und temperaturempfindlichen Elementen, so ist ein Ofenprozess ungeeignet. Dann ist ein Herstellungsverfahren gefordert, bei dem die thermische Belastung minimiert und die kritische thermische Zerstörungsschwelle der Einzelkomponenten nicht überschritten wird.

Laser statt Ofen

Anders als ein Ofen ermöglicht der Laser einen lokalen Energieeintrag, sodass die Temperaturlast für temperaturempfindliche Komponenten reduziert und eine Schädigung vermieden werden kann. Die vom Laser emittierte Strahlung wird auf die metallische Fassung fokussiert. Die von der Fassung absorbierte Strahlungsenergie wird in Wärmeenergie umgesetzt, was zu einem raschen Temperaturanstieg führt. Über Wärmeleitung gelangt ein Teil der Wärme in den Glaskörper, der die Fassung und die durchzuführende LTCC-Keramik gleichermaßen benetzt, sobald die Schmelztemperatur des Glases erreicht ist.

Auf diese Weise werden druckbeständige und heliumdichte Verbindungen erzeugt. (Druckbeständigkeit $> 800\text{ bar}$, Leckrate im Bereich von 10^{-9} bis $10^{-10}\text{ mbar}\cdot\text{l/s}$).

Lokaler Energieeintrag senkt thermische Belastung

Untersuchungen haben ergeben, dass die LTCC-Keramik im Benetzungsbereich am stärksten thermisch durch den Laserprozess belastet wird. Hier stellen sich Temperaturen ein, die der Schmelztemperatur des Glases gleichkommen. Mit zunehmendem Abstand in longitudinaler Richtung fällt die Temperatur bis auf unter 100 °C ab. Dort bleibt die Funktionstüchtigkeit temperaturempfindlicher Komponenten erhalten. Die Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

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



Kontakt

Maximilian Brosda M. Eng.

Gruppenleiter Fügen von Kunststoffen
und transparenten Materialien

Telefon +49 241 8906-208

maximilian.brosda@ilt.fraunhofer.de

Laserbasierte Vereinzelung von Batterieelektroden

Laserbasierte Trennverfahren halten zunehmend Einzug in die Großserienfertigung von Batterieelektroden. Typische Aufgabenstellungen liegen im Bereich des Längsteilens von Coils (Slitting), des Ausschneidens von Kontaktfahnen (Notching) und des Vereinzelns der Elektroden. Zu den Vorteilen des Verfahrens zählen aufgrund der werkzeugungebundenen Fertigung die hohe Konturfreiheit und Flexibilität bei variierendem Elektrodendesign sowie der hohe Automatisierungsgrad und die geringe Wartungsintensität der Lasersysteme. Aktuelle Herausforderungen bestehen darin, einen hohen Durchsatz bei gleichbleibend hoher Schnittqualität und Prozessstabilität zu ermöglichen sowie den Lasereinsatz in die sensible Produktionsumgebung für Elektrodenmaterial zu integrieren.

Prozess- und Anlagenentwicklung

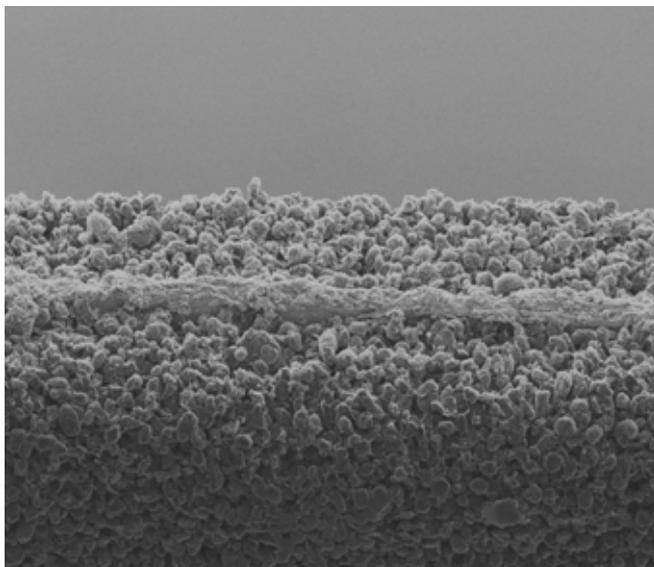
Um diesen Herausforderungen zu begegnen, entwickelt das Fraunhofer ILT gemeinsam mit Partnern aus der Industrie und Forschung innovative Konzepte und Verfahren u. a. zur Strahlformung, Prozessüberwachung und -regelung. Zu diesem Zweck wurde eine Laserschneidanlage realisiert, die die wesentlichen Bedingungen der industriellen Rolle-zu-Rolle-Produktion in Laborumgebung abbildet. Die Anlage ist flexibel umrüstbar, ermöglicht eine umfassende Prozessüberwachung sowie die Evaluierung von durchsatzoptimierten

Maschinenkonzepten. In der Grundkonfiguration ist sie in der Lage, z. B. Anodenfolien mit einer Geschwindigkeit von 5 m/s in höchster Qualität zu trennen. Die REM-Aufnahme zeigt die erreichte Schnittqualität (Blickwinkel: 45 °). Die Dicke der Kupferfolie beträgt 10 µm, die der Beschichtung jeweils 70 µm. Zum Einsatz kam ein Grundmode-Faserlaser im CW-Betrieb. Für kleine Konturen oder anspruchsvollere Materialien wird modulierte oder gepulste Strahlung eingesetzt. Für diese Prozesse steht im Fraunhofer ILT-Applikationslabor ein breites Spektrum an Strahlquellen von CW-Lasern mit einer Modulationsfrequenz bis 100 kHz bis zu UKP-Lasern mit 400 W Leistung zur Verfügung.

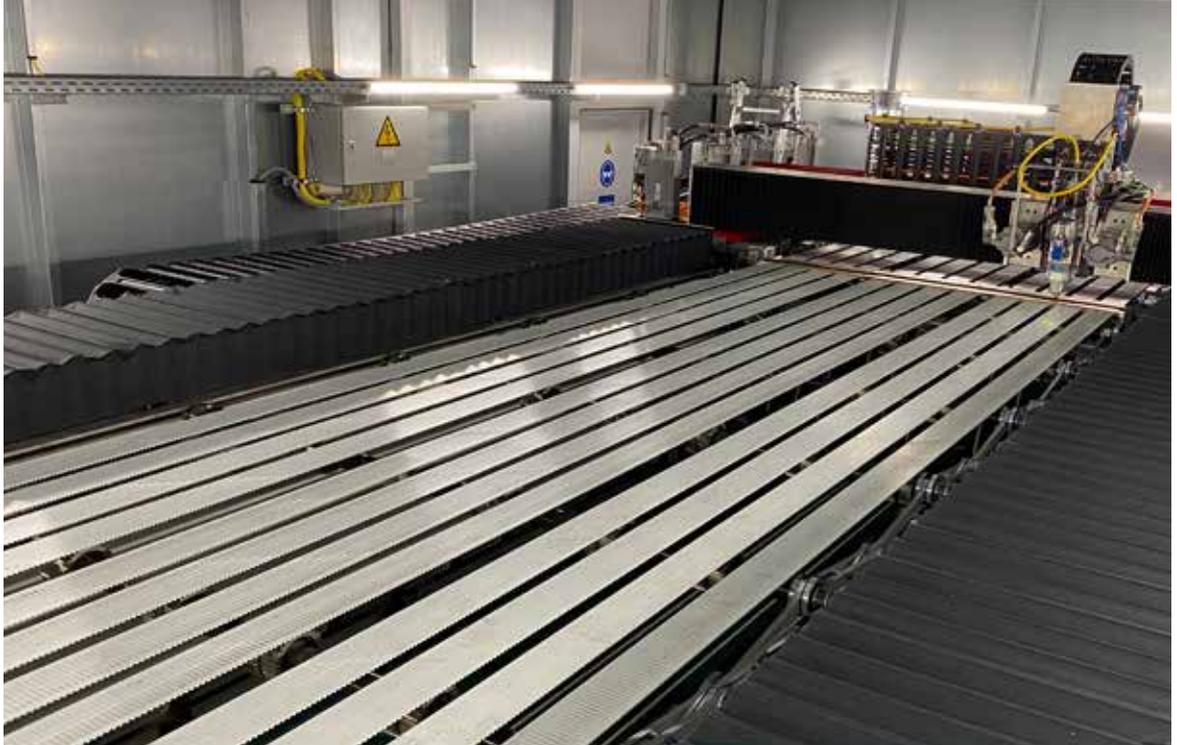
Sicherer Betrieb bei hohen Trenngeschwindigkeiten

Im Bereich der Prozessüberwachung und -regelung liegt der Fokus auf der Erzeugung relevanter Prozesssignale, die eine inlinefähige und robuste Bestimmung des Prozesszustands ermöglichen. So soll eine hohe Prozesssicherheit auch bei Geschwindigkeiten knapp unterhalb der Trenngrenze ermöglicht werden.

*Autor: Dipl.-Phys. Stoyan Stoyanov,
stoyan.stoyanov@ilt.fraunhofer.de*



REM-Aufnahme der Schnittkante an einer graphit-beschichteten Anodenfolie (Gesamtdicke: 150 µm).



Laser Blanking-Demonstratoranlage DIPOOL.

Prozessüberwachung für das Laser Blanking und Laserschweißen mit KI

Der Zuschnitt von Platinen für die Automobilproduktion mit Laserstrahlung ausgehend von Coil-Material, das sogenannte Laser Blanking, ist gegenüber dem Einsatz von Stanzen eine sehr effiziente Methode, ressourcenschonend und flexibel zu produzieren, u. a. aufgrund der Reduzierung des Verschnitts und der Flexibilität beim Nesting in der kontinuierlichen Fertigung. Gerade bei kontinuierlich ablaufenden Prozessen ist eine große Zuverlässigkeit essenziell, da die Folgen eines unerkannten Schnittabbrisses und der damit verbundene Anlagenstillstand aufwendiger zu beheben sind als das Ausschleusen einzelner Fehlteile bei Einzelplatinen. Dies gilt auch für andere Applikationen von der Rolle wie z. B. bei der Herstellung von Bipolarplatten oder Batterieelektroden. Eine Überwachung mit einer KI-basierten Analyse der Prozesssignale hilft, Prozessgrenzen frühzeitig zu erkennen und Sicherheitsreserven kleiner bemessen zu können, sodass die Produktivität der Anlagen steigt.

Intelligente Lasermaschinen

In einer Demonstrator-Laser-Blanking-Anlage, die beim DIPOOL-Projektpartner der Firma Dreher aufgebaut wird, erfolgt auf Basis einer Zeitreihenanalyse von Photodiodensignalen eine KI-Auswertung des Prozesszustands in Echtzeit. Unter den unterschiedlichen getesteten Methoden des maschinellen Lernens zeigen Convolutional Neural Networks (CNN) für diesen Einsatz die besten Ergebnisse. Mithilfe eines Prozessrechners mit FPGA beträgt die Zykluszeit für Datenerfassung, Vorverarbeitung und Inferenz 1–2 Millisekunden und ist somit ausreichend schnell für den Hochgeschwindigkeitsschneidprozess.

Ein perfektes Duo: KI und MILM

Die minimalinvasive Lasermodulation (MILM) ist entscheidend für eine hohe Datenqualität, die eine zuverlässige Inferenz erst ermöglicht, und führt zu charakteristischen, gut interpretierbaren Antwortsignalen, mit denen auch die Erkennung eines kurzzeitigen Überschreitens der Trenngrenze sichergestellt werden kann. Eine analoge Zielsetzung wird beim Laserstrahlschweißen zur Detektion von Prozessabweichungen und Schweißnahtunregelmäßigkeiten verfolgt. Zur Steigerung des Informationsgehalts werden im Rahmen des Projekts DIPOOL bei dieser Anwendung die Prozessdaten multispektral erfasst und zur Erkennung der Durchschweißgrenze verwertet. Das Verbundprojekt DIPOOL wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung in der Fördermaßnahme ProLern (Kennzeichen 02P20A000) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

Autor: Gerald Kolter M. Sc., gerald.kolter@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

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

Laserauftragschweißen für nachhaltige Lösungen in Beschichtung, Reparatur und Additiver Fertigung

In der Abteilung Laserauftragschweißen des Fraunhofer ILT wird das pulver- und drahtbasierte Laserauftragschweißen sowie die dazugehörige Anlagen- und Systemtechnik seit über 35 Jahren konsequent für immer neue Anwendungsfelder und Branchen weiter erforscht und entwickelt.

Ein breites Spektrum an verfügbarer Anlagentechnik, Analysekapazitäten sowie weitreichendes Entwicklungs-Know-how für diverse Anwenderbranchen, wie z. B. der Luftfahrt, Automotive oder Energie, erlauben die effiziente Durchführung unterschiedlicher Projekte. Unser Leistungsangebot erstreckt sich von der Ideenfindung und Beratung über die Entwicklung angepasster Prozesse sowie Systemtechnik und Prozessüberwachung bis hin zum Prozesstransfer auf Kundenanlagen. Die Prozessspezifikationen reichen von hocheffizienten und robusten Beschichtungen, Wiederaufbereitung von verschlissenen Komponenten bis hin zur konturnahen Additiven Fertigung von kompletten Bauteilen. Durch die einfache Adaptierbarkeit und Flexibilität für unterschiedliche Anwendungsfelder sowie die einfache Integrierbarkeit in bestehende Prozessketten ist das Verfahren insbesondere für klein- und mittelständische Betriebe attraktiv.



Kontakt

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

Abteilung Laserauftragschweißen

- Additive Fertigung und Reparatur LMD
- Beschichtung LMD und Wärmebehandlung

Validierung des EHLA3D-Verfahrens auf einer 5-Achs-CNC-Anlage

Das Extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (EHLA) ist eine spezielle Variante des Laserauftragschweißens, die sich u. a. durch eine Prozessgeschwindigkeit von bis zu 200 m/min und die Verarbeitbarkeit von schwer schweißbaren Metallen auszeichnet. Für die Beschichtung von Walzen oder anderen rotationssymmetrischen Komponenten haben sich zahlreiche unterschiedliche Systeme im Markt etabliert, bei denen die großen erforderlichen Vorschubgeschwindigkeiten durch Rotation erzeugt werden. Zur Nutzung der verfahrenstechnischen Alleinstellungsmerkmale und Vorteile des Verfahrens in drei Dimensionen, etwa für die Freiformbeschichtung oder endkonturnahe Additive Fertigung (EHLA3D), sind hochdynamische Handhabungssysteme erforderlich. Gemeinsam mit der Firma ponticon GmbH wurde in den vergangenen Jahren bereits erfolgreich ein Tripod-System entwickelt und in den Markt eingeführt, das mit einer stationären Bearbeitungsoptik und einem beweglichen Bearbeitungstisch arbeitet.

Industriekooperation mit Makino Asia

In Zusammenarbeit mit der Firma Makino Asia Pte Ltd wurde nun ein weiteres Anlagenkonzept für das EHLA3D-Verfahren mit einer beweglichen Bearbeitungsoptik entwickelt und validiert. Dazu hat Makino Asia eine

CNC-Anlage modifiziert und das Fraunhofer ILT die Prozesse für die Werkstoffe IN718 und M2 qualifiziert. Außerdem wurden mögliche Einflüsse durch hochdynamische Werkzeugbahnen der Bearbeitungsoptik auf den Pulvergasstrahl systematisch untersucht.

Modifizierte 5-Achs-CNC-Anlage für das EHLA3D-Verfahren

Die Highspeed-Aufnahmen belegen keine messbaren Einflüsse der dynamischen Bahnbewegungen auf den Pulvergasstrahl bei Vorschubgeschwindigkeiten von bis zu 30 m/min. Weiterhin konnte im mehrjährigen, hochdynamischen Betrieb der CNC-Maschine erfolgreich die gleichbleibend hohe Qualität und Präzision der eingesetzten Komponenten und Systemtechnik gezeigt werden, wie z. B. Bearbeitungsoptik oder Lichtleitkabel. Das Konzept einer modifizierten CNC-Anlage kann daher zuverlässig für den EHLA3D-Betrieb eingesetzt werden. In Kombination mit dem Dreh-/Kipptisch können Freiformoberflächen bearbeitet und komplexere Überhanggeometrien hergestellt werden.

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



1 EHLA3D 5-Achs-CNC-Anlage.
2 Individualisierter AI-Flansch.



Additive Herstellung einer Raketendüse für die Raumfahrt

Neben politischen Klimaschutzauflagen steht die Raumfahrt-industrie aufgrund der aufstrebenden, internationalen Konkurrenz unter steigendem Kostendruck. Um die Wettbewerbsfähigkeit Europas zu erhalten, kooperieren die ArianeGroup sowie 17 weitere Partner in einem EU-Projekt zur Entwicklung von kostengünstigen und klimaneutraleren Raumfahrtkomponenten der nächsten Raketengenerationen. Das Fraunhofer ILT ist dabei mit der Prozessentwicklung und dem Aufbau eines Raketendüsensdemonstrators mit Originalgröße im Meterbereich mittels Laserauftragschweißen (engl.: Laser Material Deposition LMD) beteiligt. Die konventionelle Fertigung der Schubdüsen für Trägerraketen beinhaltet mehrstufige Prozessschritte und Bearbeitungsstationen, die in hohen Kosten und zeitlichen Aufwänden resultieren. Das Ziel ist es, diese durch die Additive Fertigung mittels LA erheblich zu reduzieren.

Skalierbare Bauräume durch die LA-Technologie

Im Rahmen der Prozessentwicklung wurden verschiedene Bahnplanungsstrategien zum Aufbau der erforderlichen Kühlkanalstrukturen untersucht. In den nachfolgenden Schritten sollen die Erkenntnisse durch den Aufbau immer größerer Segmente und Probenkörper zur Validierung des Herstellungsprozesses und der Materialeigenschaften weiterentwickelt werden. Nach erfolgreicher Validierung erfolgt der Aufbau eines Fertigungsdemonstrators mit den entsprechenden Abmaßen der realen Komponente. Der große sowie flexibel skalierbare Bauraum der LMD-Technologie erlaubt dabei die effiziente Additive Fertigung solcher Großbauteile.

Aufbau von Kühlkanälen mit dünnwandigen Wandstärken

Bei der Prozessparameterentwicklung wurde der Aufbau der Heißgaswand mit geringen Wandstärken umgesetzt, sodass eine effiziente Kühlung der Schubdüse gewährleistet werden kann. Für die unterschiedlichen Wandstärken, welche für eine effiziente Düsenwand mit Kühlkanalstruktur notwendig sind, werden verschiedene Parameter und Aufbaustrategien untersucht und weiterentwickelt, um größere Düsenstrukturen herzustellen. Das laufende Vorhaben ENLIGHTEN wird im Rahmen des EU-Programms HORIZON-CL4-2021-SPACE-01-21 durch die European Health and Digital Executive Agency (HADEA) gefördert (<https://project-enlighten.eu>).

Autor: Dipl.-Ing. Jochen Kittel, jochen.kittel@ilt.fraunhofer.de

*1 Dünnwandige Kühlkanalproben.
2 CAD-Modell des zu fertigenden Demonstrators,
© ArianeGroup.*



Kontakt

Min-Uh Ko M. Sc.
Gruppenleiter Additive Fertigung
und Reparatur LMD
Telefon +49 241 8906-8441
min-uh.ko@ilt.fraunhofer.de

Simultanbearbeitung durch Kombination von EHLA und Drehen

EHLA als Alternative zur galvanischen Beschichtung

Mit dem Extremen Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (EHLA) hat das Fraunhofer ILT eine zukunftsweisende Alternative zum Hartverchromen entwickelt. Die hohe Ressourceneffizienz, Materialvielfalt und der Verzicht auf umweltschädliche Chemikalien zählen neben der sehr hohen Haftfestigkeit der aufgetragenen Beschichtungen zu den Vorteilen dieses Verfahrens. Seit 2015 findet EHLA Anwendung in der Industrie, beispielsweise zur Beschichtung von Hydraulikkomponenten. Die Notwendigkeit der mechanischen Nachbearbeitung der EHLA-Beschichtungen stellt jedoch einen Mehraufwand dar und wirkt sich auf die Produktivität und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens aus. Gerade bei hochharten Beschichtungswerkstoffen für Verschleißschutzanwendungen ist die mechanische Nachbearbeitung besonders aufwendig und kostenintensiv. Eine innovative Lösung bietet das hauptzeitparallele Beschichten und Zerspanen.

Beschichten und Zerspanen in einem Prozessschritt

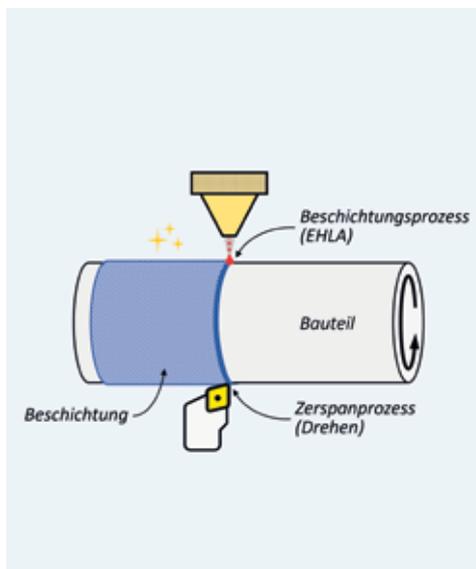
Beim hauptzeitparallelen Beschichten und Zerspanen handelt es sich um eine Verfahrenskombination, bei der ein Bauteil gleichzeitig beschichtet und zerspanend bearbeitet wird.

Eine Ausführungsvariante der vom Fraunhofer ILT zum Patent angemeldeten Fertigungstechnologie ist das Simultaneous Machining and Coating (SMaC), welches das EHLA-Verfahren mit dem Drehen in einem Prozessschritt kombiniert und damit die schnelle Erzeugung von Beschichtungen mit hoher Oberflächengüte ermöglicht.

Wirtschaftliche und technologische Vorteile durch Simultanbearbeitung

Neben erheblichen Kosteneinsparungen durch verkürzte Fertigungszeiten und geringere Investitionskosten bietet das neue Verfahren auch technologische Vorteile. Durch werkzeugseitig eingeführte Druckspannungen können thermisch induzierte Zugspannungen in der Beschichtung gezielt kompensiert und Schichtdefekte vermieden werden. Unmittelbar nach dem Laserauftragschweißen ist die Härte des Beschichtungswerkstoffes aufgrund der Prozesswärme verringert. Insbesondere bei der Herstellung von hochharten Beschichtungen zum Korrosions- und Verschleißschutz wird somit die Zerspanbarkeit des Werkstoffes in der simultan stattfindenden mechanischen Nachbearbeitung verbessert und der Werkzeugverschleiß reduziert.

Autor: Viktor Glushych M. Sc., viktor.glushych@ilt.fraunhofer.de



1 SMaC: Simultanbearbeitung mittels EHLA und Drehen.
2 Funktionsweise des SMaC-Verfahrens.



1 Plattenabschnitt
mit CuSn10-Schicht.
2 CuSn10 EHLA-Prozess.

Herstellung von bleifreien Gleitlagerschichten mittels EHLA

Im Maschinenbau zählen Gleitlager zu den am häufigsten genutzten Lagerarten. Im Einsatz sind die Funktionsflächen in der Regel durch einen dünnen Ölfilm voneinander getrennt. Gängige Werkstoffe für Gleitschichten sind Bronzen oder Weißmetalllegierungen, wie sie z. B. bei Kolbentrommeln in hochleistungsfähigen Axialkolbenpumpen zum Einsatz kommen. Hierbei werden Bleibronzen mit großem Übermaß in einem energieintensiven Verfahren auf die relevanten Flächen von Stahlgrundkörpern aufgegossen. Die notwendige Nacharbeit des verzunderten Bauteils führt zu einem erheblichen Verlust an Rohmaterial. Blei ist zudem in hohem Maße gesundheitsschädlich und unterliegt Restriktionen gemäß der EU-Verordnung 2015/628 (REACH). Deswegen strebt die Industrie danach, Bleibronzen durch bleifreie Gleitlagerwerkstoffe zu ersetzen und die gesamte Fertigungsprozesskette nachhaltig umzugestalten. Am Beispiel von Kolbentrommeln wird in dem Forschungsvorhaben ERBE in Zusammenarbeit mit den Firmen ADMOS Gleitlager und Rosswag Engineering eine energieeffiziente Fertigungsprozesskette zur Aufbringung eines bleifreien Gleitlagerwerkstoffs durch das Extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (EHLA) entwickelt und untersucht.

Vorteile durch den Einsatz von EHLA

Als ein wirtschaftliches, umwelt- und ressourcenschonendes Verfahren zur Herstellung von schmelzmetallurgisch angebondenen Schichten ist EHLA für diese Anwendung besonders vorteilhaft. Im Rahmen des Projekts werden unterschiedliche bleifreie Bronzen zu Pulverwerkstoff verdüst und mittels EHLA verarbeitet. Unter Variation der Prozessparameter werden

Schichten auf C45R-Platten aufgeschweißt, metallographisch analysiert und Härtemessungen durchgeführt. Auf Basis ausgewählter Parametersätze werden Proben für die Bindungsfestigkeitstests nach Chalmers hergestellt und geprüft.

EHLA-Schichten mit höherer Haftfestigkeit

Mit der Legierung CuSn10 können fest haftende, rissfreie und nahezu porenfreie Schichten hergestellt werden. Es konnte gezeigt werden, dass EHLA-Schichten aus CuSn10 im Vergleich zu konventionell gegossenen Gleitschichten eine um etwa 37 Prozent höhere Haftfestigkeit (35 MPa) aufweisen. Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben KMU-ERBE wird im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung in Zusammenarbeit mit dem Projektträger DLR unter dem Förderkennzeichen 01LY2109A durchgeführt.

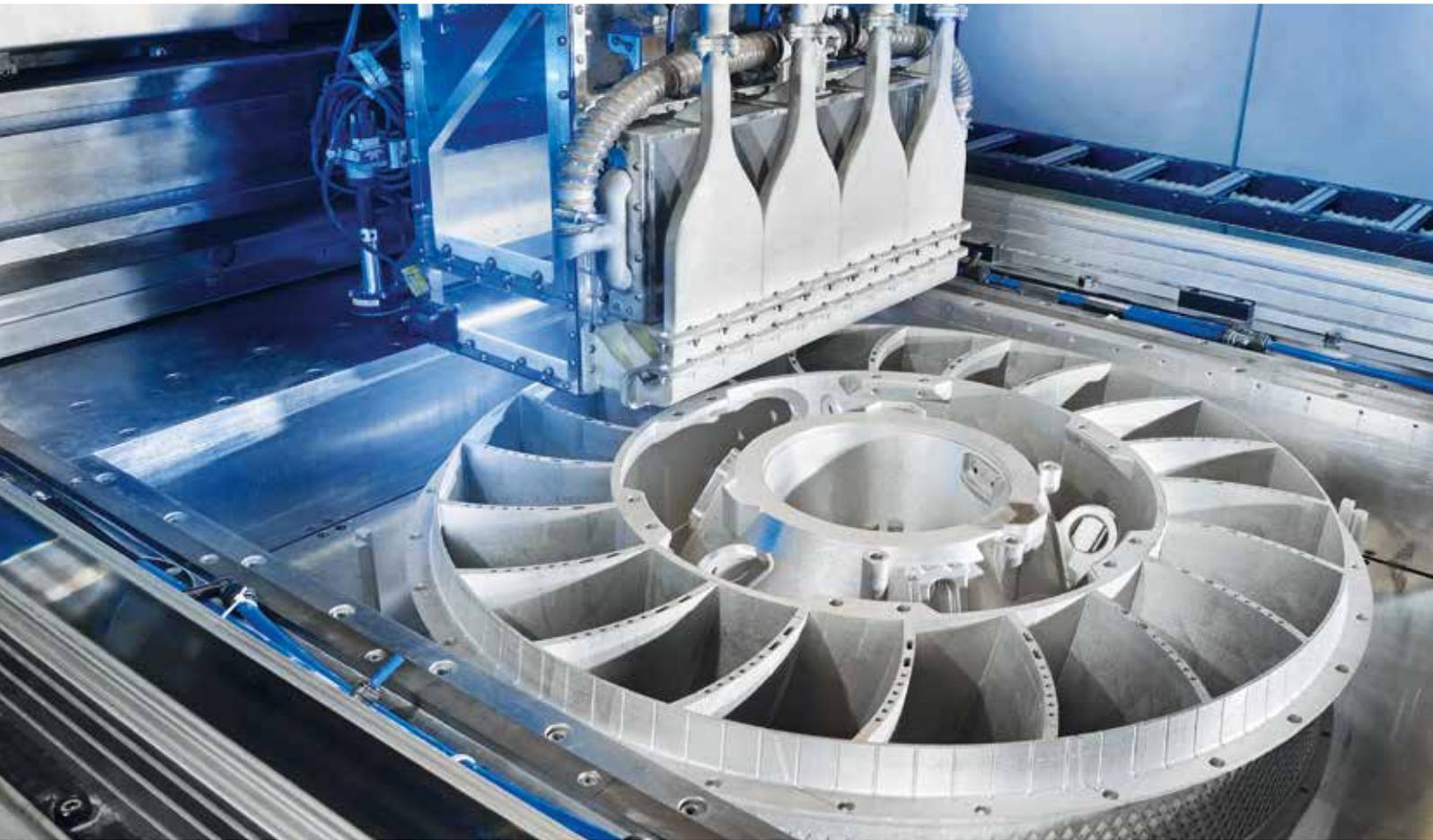
*Autorin: Dipl.-Ing. Stefanie Linnenbrink,
stefanie.linnenbrink@ilt.fraunhofer.de*



Kontakt

Viktor Glushych M. Sc.
Gruppenleiter Beschichtung LMD
und Wärmebehandlung
Telefon +49 241 8906-152
viktor.glushych@ilt.fraunhofer.de

Innovative LPBF-Lösungen für die Additive Fertigung



Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Abteilung Laser Powder Bed Fusion (LPBF) entwickeln innovative Lösungen für den industriellen 3D-Druck. Das Technologiespektrum reicht von der Prozessführung und Systemtechnik bis hin zur Qualifikation des LPBF für die additive Serienfertigung von Funktionsbauteilen aus metall- und polymerbasierten Hochleistungswerkstoffen.

Im Bereich der Prozess- und Systemtechnik stehen sowohl die Implementierung von Steuerungs- und Monitoringlösungen zur bauteil- und applikationsangepassten LPBF-Prozessführung als auch die Umsetzung kundenspezifischer Maschinenkomponenten und Gesamtsysteme für die Additive Fertigung im Fokus der Forschung. Die Applikationsentwicklung beschäftigt sich mit dem Transfer innovativer additiver Fertigungstechnologien in die industrielle Produktion und deckt dabei Themen vom fertigungsgerechten Design über die Funktions- und Sensorintegration in Bauteile bis hin zur ganzheitlichen Life-Cycle-Analyse für additive Fertigungsketten ab. Das breite Technologieportfolio wird durch laserbasierte Fertigungslösungen für Polymere abgerundet, die in Kooperation mit der FH Aachen – University of Applied Sciences erforscht werden.



Kontakt

Dr. Tim Lantzsch
Abteilungsleiter
Telefon +49 241 8906-193
tim.lantzsch@ilt.fraunhofer.de

Abteilung Laser Powder Bed Fusion

- LPBF-Prozess- und Systemtechnik
- LPBF-Anwendungsentwicklung
- AM-Polymere

Erweiterte Infrastruktur für das LPBF von Hochleistungswerkstoffen

Fraunhofer ILT erweitert LPBF-Infrastruktur

Durch die Möglichkeit, geometrisch nahezu beliebig komplexe Bauteile herstellen zu können, findet das additive Fertigungsverfahren Laser Powder Bed Fusion (LPBF) in zahlreichen Industriezweigen Anwendung. Aufgrund der einzigartigen Prozessbedingungen wird das LPBF auch als alternative Herstellungsrouten für Komponenten aus verschiedenen Hochleistungswerkstoffen untersucht. Viele dieser Hochleistungswerkstoffe können Legierungselemente aufweisen, die für den Menschen, besonders in der für das LPBF notwendigen Pulverform, gesundheitskritisch sein können. Im Rahmen des Projekts »Additive Fertigung von Zerspanwerkzeugen aus Wolframkarbid-Kobalt (AM von WC-Co)« wurde daher die Infrastruktur des Fraunhofer ILT umfassend erweitert, um entsprechende Werkstoffe sicher erforschen zu können.

Technische Alleinstellungsmerkmale

Im Rahmen der technischen Maßnahmen wurde eine Raum-in-Raum-Lösung in den Laboren des Fraunhofer ILT realisiert. Durch einen permanenten Unterdruck und eine Personenschleuse wird verhindert, dass gesundheitskritisches Material den Raum verlässt. Die abgesaugte Luft wird über mehrere

HEPA-Filterstufen mit einem Abscheidegrad von 99,995 Prozent gefiltert. Diese technischen Maßnahmen werden um eine persönliche Schutzausrüstung mit aktiven Atemfiltergeräten und einem regelmäßigen toxikologischen Screening für alle im Raum tätigen Mitarbeiter ergänzt. Durch die modulare LPBF-Laboranlage besteht die größtmögliche Flexibilität bei der Untersuchung kobalthaltiger Hartmetalle und anderer in Pulverform gesundheitskritischer Werkstoffe. So wurde die LPBF-Anlage u. a. mit unterschiedlichen Vorheizsystemen ausgestattet, die eine Prozesstemperatur > 900 °C ermöglichen.

LPBF von WC-Co Hartmetall

Mit dieser Infrastruktur konnten im Rahmen des Projekts »AM von WC-Co« erfolgreich Zerspanwerkzeuge mit innenliegenden Kühlkanälen aus WC-Co gefertigt werden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) unter der Vertragsnummer IGF-20805 N gefördert.

*Autor: Andreas Vogelpoth M. Sc.,
andreas.vogelpoth@ilt.fraunhofer.de*



1 Raum-in-Raum-Lösung in den LPBF-Laboren des Fraunhofer ILT.
2 LPBF gefertigte Zerspanwerkzeug-Rohlinge aus WC12-Co.



Vollelektrisches Konzeptflugzeug,
angetrieben durch Brennstoffzellen,
© Airbus Group.

Laser Powder Bed Fusion für die nachhaltige Luftfahrt von morgen

Wie kann die Luftfahrt grüner gestaltet werden?

Vor dem Hintergrund der sich zunehmend verschärfenden Klimakrise rückt der Luftverkehrssektor bei der Reduzierung der CO₂-Emissionen zunehmend in den Fokus. Die Forschungsinitiative TIRIKA im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz greift diese Thematik auf. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Weiterentwicklung von Materialien und Technologien, die notwendig sind, um emissionsloses Fliegen realisieren zu können. Die Nutzung von Wasserstoff als Energieträger ist ein vielversprechender Ansatz, jedoch entstehen dadurch erhebliche Belastungen für die verwendeten Bauteile, sodass deren Langlebigkeit, Sicherheit und Funktionalität beeinträchtigt werden können. Mit dem additiven Fertigungsverfahren Laser Powder Bed Fusion (LPBF) können Hochleistungswerkstoffe verarbeitet werden, welche wasserstoffreichen Umgebungen standhalten. Dabei können die große geometrische Gestaltungsfreiheit sowie die Möglichkeit zur Funktionsintegration beim LPBF ausgenutzt werden.

Der Ansatz des Fraunhofer ILT

Am Fraunhofer ILT werden zwei TIRIKA-Arbeitspakete parallel bearbeitet. Zum einen wird der LPBF-Prozess für neuartige, hochfeste Aluminiumlegierungen für die Anwendung in wasserstoffreichen Umgebungen untersucht. Zum anderen werden sensorbasierte Ansätze zur Detektion von Bauteildefekten während des laufenden LPBF-Prozesses untersucht. So kann

die Funktionalität der gefertigten Komponenten sichergestellt und der Aufwand der meist langwierigen und kostenintensiven nachgelagerten Qualitätskontrolle durch die Nutzung von LPBF-Prozessbeobachtungsdaten reduziert werden.

Das zeigen die ersten Ergebnisse

Am Fraunhofer ILT wurde der LPBF-Prozess zur Verarbeitung der beiden hochfesten Aluminiumlegierungen Custalloy und Scancromal® qualifiziert. Dabei wird eine relative Bauteildichte größer 99,5 Prozent bei einer Aufbaurrate größer 100 cm³/h erreicht. Untersuchungen zu den mechanischen Eigenschaften beider Werkstoffe sowie einer Wärmebehandlungsrouten folgen. Mit der eingesetzten Prozesssensorik werden qualitätsrelevante Defekte (z. B. Inklusionen von Fremdpartikeln mit Größen von bis zu 400 µm) sowohl im Pulverbett als auch im Schmelzprozess detektiert.

Autor: Luke Schüller M. Sc., luke.schueller@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

Niklas Prätzsch M. Sc.

Gruppenleiter

LPBF-Prozess- und Systemtechnik

Telefon +49 241 8906-8174

niklas.praetzsch@ilt.fraunhofer.de

Hybride Additive Fertigung mittels LPBF für Reparaturanwendungen

Das additive Fertigungsverfahren Laser Powder Bed Fusion (LPBF) wird bereits im industriellen Maßstab zur Kleinserienfertigung hochkomplexer Bauteile angewendet. Insbesondere die Realisierung von Leichtbaupotenzialen, z. B. durch Topologieoptimierung, sowie die Möglichkeit der Funktionsintegration (z. B. Sensorik) wecken großes Interesse bei industriellen Anwendern. Bei hybriden additiven Fertigungsverfahren erfolgt das schichtweise Umschmelzen ausgehend von einem konventionell gefertigten Grundkörper, sodass das Gesamtbauteil teils aus einem konventionell gefertigten und dem additiv gefertigten Bauteilbereich besteht. Hierdurch können prinzipiell Fertigungskosten und Prozesszeiten gesenkt werden, da das kosten- und zeitintensive LPBF-Verfahren nur für kritische Bauteilbereiche bzw. Funktionsflächen angewendet wird. Zudem erlaubt die hybride Additive Fertigung die Reparatur von Bauteilen (z. B. Turbinenschaufeln oder Werkzeugen), was sowohl die ökologische als auch die ökonomische Bilanz der Bauteilherstellung erheblich verbessern kann.

Herausforderungen der hybriden Additiven Fertigung

Bei der hybriden Additiven Fertigung dient der Grundkörper des Bauteils als Substrat für den LPBF-Fertigungsprozess. Zur Sicherstellung der Funktionalität des Gesamtbauteils ist eine stoffschlüssige, versatzfreie Anbindung zwischen den

Bauteilbereichen entscheidend. Um dies zu gewährleisten, ist eine präzise Referenzierung der Koordinatensysteme von Bauteil, Maschine und Laser-Scanner-System entscheidend.

Ergebnisse und zukünftige Forschungsaktivitäten

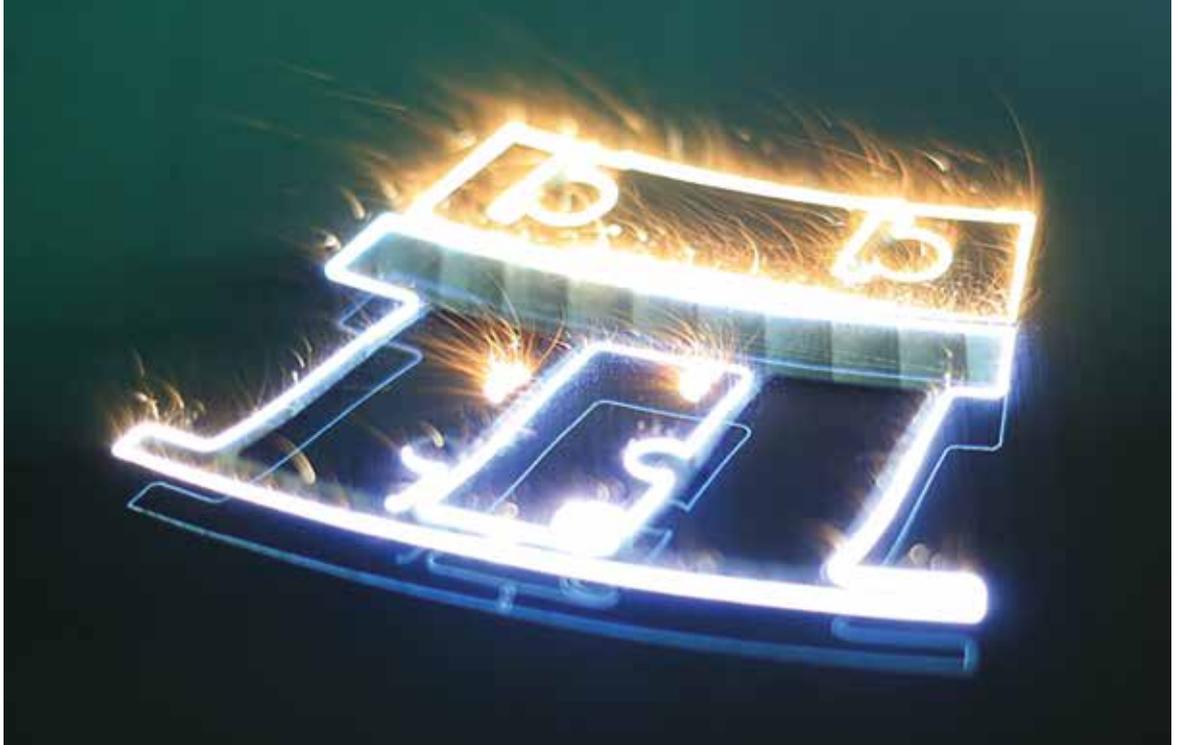
Zunächst wurde ein kamerabasiertes Referenzierungssystem hinsichtlich der Positioniergenauigkeit evaluiert und anhand der Reparatur von Turbinenschaufeln demonstriert. Durch manuelle Referenzierung der Bauteilbereiche wurde sowohl eine stoffschlüssige Anbindung als auch eine präzise geometrische Ausrichtung zwischen den Bauteilen sichergestellt.

In zukünftigen Arbeiten sollen maschinenunabhängige, adaptive Referenzierungssysteme evaluiert werden. Die Referenzierung basiert bei diesen Systemen auf 3D-Scans der zu reparierenden Bauteile. Das System passt dabei automatisiert die LPBF-Fertigungsgeometrie auf die tatsächliche Geometrie der möglicherweise im Betrieb verformten Bauteile an.

*Autorin: Lara Charlotte Bolten M. Eng.,
lara.bolten@ilt.fraunhofer.de*



1 Übergang zwischen LPBF-Bereich (oben) und gegossenem Grundbauteil.
2 Mikrostruktur der Anbindungszone zwischen Grundwerkstoff und LPBF-Bereich.



*Belichtung eines
Inlet Guide Vane (IGV)
im LPBF-Prozess.*

Ökologisch nachhaltige Luftfahrt durch Additive Fertigung

Im Mobilitätssektor trägt die kommerzielle Luftfahrt erheblich zu den verursachten Treibhausgasemissionen bei. Mangels Alternativen, besonders auf langen und interkontinentalen Strecken, steigen die Bestrebungen in Industrie und Forschung, den Luftverkehr nachhaltiger zu gestalten. Dabei können die Entwicklung und Verbreitung neuer Technologien wie der Additiven Fertigung einen entscheidenden Beitrag leisten. Additive Fertigungsverfahren zeichnen sich durch eine hohe Ressourceneffizienz bei gleichzeitig hoher Gewichtseinsparung durch Topologieoptimierung aus.

Die Abteilung Laser Powder Bed Fusion des Fraunhofer ILT beteiligt sich in diesem Kontext am EU-Forschungsprogramm »Clean Sky 2«, dessen Ziel es ist, die ökologischen Auswirkungen der Luftfahrt auf unseren Lebensraum erheblich zu reduzieren.

Entwicklung von Modellen für die ökologische Bilanzierung der Additiven Fertigung

Die Bewertung des ökologischen Einflusses findet über Life Cycle Assessment statt. Bei ökologischen Analysen werden zunächst die erforderlichen Stoff- und Energieströme bei der Bauteilfertigung für die notwendigen Subprozesse, z. B. den Laser Powder Bed Fusion-Prozess, erfasst. Zusammen mit Partnern werden während der Fertigung Primärdaten für das

Life Cycle Inventory (LCI) auf Anlagenebene erfasst. Auf Basis dieser Daten werden anschließend Modelle der Prozessketten, vom Rohmaterial bis hin zum Recycling des Bauteils, aufgebaut. Anhand der erarbeiteten Modelle können relevante Emittenten identifiziert und durch nachhaltige Alternativen substituiert werden.

Bewertung des ökologischen Fußabdrucks für additiv gefertigte Luftfahrtkomponenten

Die ökologischen Analysen werden für mehrere Anwendungsfälle und Materialien aufgebaut und ausgewertet. Durch die hohen Freiheitsgrade bei der Fertigung, die hohe Recyclingrate des Pulvermaterials und die Gewichtseinsparungen zeigen die Analysen, dass die Additive Fertigung, trotz des großen Energieverbrauchs während des Fertigungsschritts, einen kleineren ökologischen Fußabdruck als konventionelle Fertigungsrouten aufweist. Besonders im Bereich der Reparaturanwendungen stellen die additiven Fertigungsverfahren folglich eine ökologisch nachhaltige Alternative zu konventionellen Verfahren dar.

*Autor: Christian Weiß M. Sc.,
christian.weiss@ilt.fraunhofer.de*

Kostengünstige HIP-Nachbehandlung von Aluminiumwerkstoffen

Aluminiumwerkstoffe sind aufgrund der geringen Dichte für die Additive Fertigung von Leichtbaukomponenten mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF) von großem Interesse. Ökonomische Aspekte verhindern allerdings die breite industrielle Anwendung. Eine signifikante Steigerung der Aufbauraten ist prozesstechnisch durch große Schichtdicken, Laserstrahldurchmesser und Laserleistungen möglich. Diese begünstigen jedoch die Bildung von Defekten wie Gasporen und resultieren damit in verringerten relativen Bauteildichten und unzureichenden Dauerfestigkeitseigenschaften.

Nachbehandlung mittels heiß-isostatischem Pressen (HIP)

Im HIP-Prozess werden durch Druck- und Temperaturbeaufschlagung innere Defekte im Bauteil wie Gasporen, Anbindungsfehler und Risse durch Diffusionsvorgänge, plastische Verformung sowie Kriechen verschlossen. Hierdurch können insbesondere die Dauerfestigkeitseigenschaften des Werkstoffs signifikant verbessert werden. Konventionelle HIP-Anlagen verwenden Gase als Wirkmedium und Temperaturen zwischen 800 °C und 1000 °C während des Pressvorgangs. Entsprechende gasbasierte HIP-Nachbehandlungen sind folglich sehr kostenintensiv und nur für hochschmelzende Werkstoffe wie z. B. Titan-, Stahl- oder Nickelbasislegierungen ökonomisch

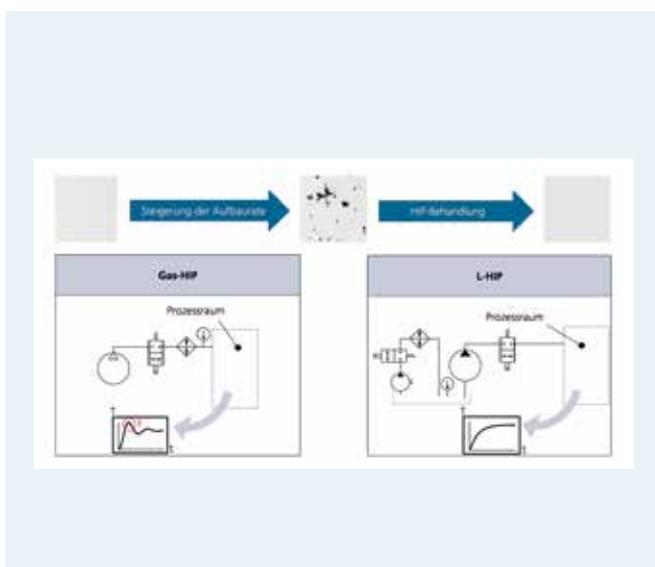
sinnvoll. Aluminiumlegierungen können aufgrund der niedrigen Schmelztemperatur bisher nicht mittels HIP-Verfahren nachbehandelt werden.

Entwicklung des flüssigkeitsbasierten HIP-Verfahrens

Durch Verwendung flüssiger statt gasförmiger Wirkmedien soll im Rahmen eines aktuellen FuE-Vorhabens in Zusammenarbeit mit dem ifas der RWTH Aachen University ein kostengünstiges HIP-Verfahren entwickelt werden, das aufgrund kleinerer Haltezeiten, Prozesstemperaturen und Energieverbräuche auch für Aluminiumlegierungen anwendbar ist. Die Kombination des hochproduktiven LPBF-Prozesses mit dem kostengünstigen, flüssigkeitsbasierten HIP-Verfahren soll die Gesamtfertigungskosten von LPBF-Bauteilen aus Aluminium signifikant reduzieren.

Das FuE-Vorhaben L-HEAT wird von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert.

Autor: Thomas Laag M. Sc, thomas.laag@ilt.fraunhofer.de.



Vergleich des konventionellen Gas-HIP- und flüssigkeitsbasierten L-HIP-Verfahrens.



Kontakt

Dr. Tim Lantzsch
 Gruppenleiter (kommiss.)
 LPBF-Applikationsentwicklung
 Telefon +49 241 8906-193
tim.lantzsch@ilt.fraunhofer.de



*Treffen der Bündnispartner
an der FH Aachen.*

WIR!-Bündnis LASER.region.AACHEN

Was ist das Bündnis LASER.region.AACHEN?

Das WIR!-Bündnis LASER.region.AACHEN ist ein Förderprojekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, das den Strukturwandel im größten Braunkohlerevier Europas vorantreibt. Durch die Herstellung und Nutzung neuer laserbasierter Produktionslösungen werden nachhaltig Arbeitsplätze und wirtschaftliche Erfolgsfaktoren für die LASER.region.AACHEN geschaffen. Das WIR!-Bündnis LASER.region.AACHEN vernetzt zahlreiche Wissensgebiete, Branchen und Technologien. Die Zusammenarbeit von über 50 Industriepartnern aus allen Bereichen der Lasertechnik, Fraunhofer ILT, RWTH Aachen University und FH Aachen als Forschungseinrichtungen sowie Bildungs-, Förderungs- und Sozialpartnern bietet dazu optimale Voraussetzungen.

Welche Innovationsprojekte werden im Rahmen des Bündnisses durchgeführt?

Im Bündnis LASER.region.AACHEN werden neue Verfahren und Produkte, gemeinsame Technologieplattformen, Dienstleistungskonzepte sowie neue Aus- und Weiterbildungskonzepte geschaffen und im Rahmen von unterschiedlichen Projekten entwickelt. Im Projekt »Strategieentwicklung« werden die strategischen Ziele des Bündnisses definiert und in eine Strategie überführt. Im Rahmen von Workshops und Treffen zwischen Forschungs- und Industriepartnern werden Forschungsthemen für gemeinsame Projekte definiert. Im Projekt »Kombinierte Laserverfahren (KoLa)« werden

Schnittstellen für unterschiedliche laserbasierte Prozesse systematisch detektiert und Lösungsansätze zur verbesserten datenbasierten Verknüpfung entwickelt, um eine durchgängige digitale laserbasierte Prozesskette zu entwickeln. Das Projekt »Zugängliche Lasermaterialbearbeitung durch erklärbare künstliche Intelligenz (ZuLeKi)« beinhaltet die Erprobung von KI-Ansätzen für die Lasermaterialbearbeitung, die nicht spezialisierten Fachkräften den Einsatz von KI im Mittelstand ermöglichen, um z. B. Maschinenzustandsdaten und Prozessdaten zur Qualitätssicherung von laserbasierten Prozessen einzusetzen. Die Nutzbarmachung neuer innovativer optischer Komponenten für die angepasste Laserstrahlformung ist Ziel des Projekts »Fortschrittliche optische Elemente für eine angepasste Strahlformung (FortOP)«. Insbesondere leicht integrierbare Konzepte für die Lasermaterialbearbeitung sind ein Fokus dieses Projekts.

Das WIR!-Bündnis LASER.region.AACHEN ist ein Förderprojekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.



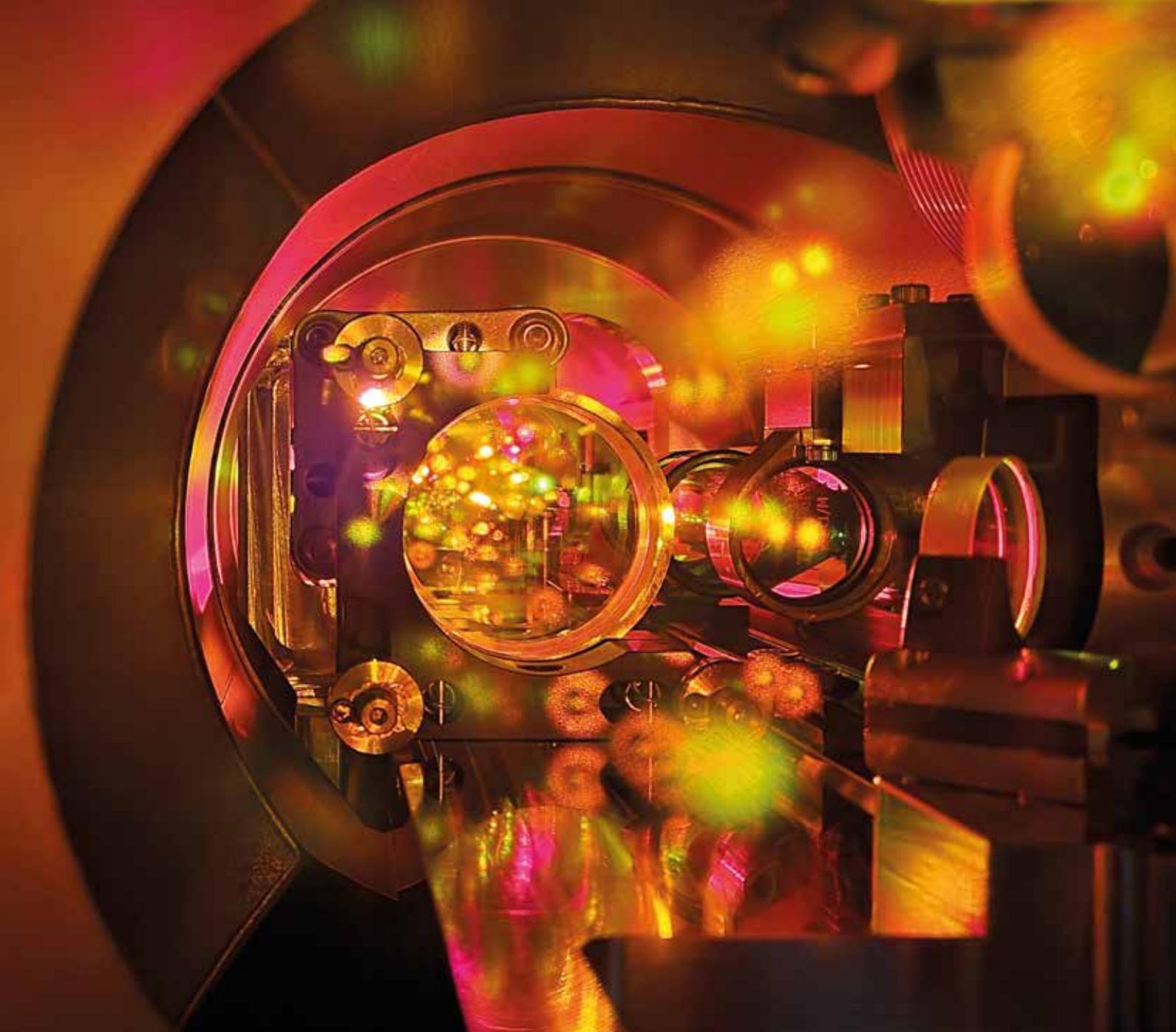
Kontakt

Prof. Sebastian Bremen
Gruppenleiter AM-Polymere
Telefon +49 241 8906-537
sebastian.bremen@ilt.fraunhofer.de

Innovative Strahlquellen, optische Komponenten und Systeme

Die erfahrenen Teams in sieben spezialisierten Arbeitsgruppen entwickeln Laseroptiken und Strahlquellen mit maßgeschneiderten räumlichen, zeitlichen und spektralen Eigenschaften sowie Ausgangsleistungen von Pikowatt bis Terawatt. Das Spektrum reicht von Diodenlasern, Festkörper- und Faserlasern bis hin zu Sekundär- und Entladungsquellen. Dazu gehören auch die Entwicklung und der Einsatz sowohl proprietärer als auch kommerzieller Software für die Auslegung und Simulation von Strahlquellen und optischen Systemen.

In unseren laufenden Projekten werden die aktuellen Bedarfe von Gesellschaft und Industrie wiedergespiegelt. So werden z. B. LIDAR-Quellen für die Klima- und Umweltforschung sowie die Wettervorhersage entwickelt. Diese Strahlquellen werden bodengestützt, auf Hubschraubern und Flugzeugen sowie satellitengestützt eingesetzt. Im Bereich der Quantentechnologie werden Quantenfrequenzkonverter und optische Systeme für Quantencomputer und Quantensensorik entwickelt. Einen weiteren Schwerpunkt stellen EUV-Quellen und -Systeme für die Halbleiterfertigung dar. Kurz- und Ultrakurzpulsstrahlquellen werden für die ultrapräzise Hochratenfertigung und die Erzeugung von Sekundärstrahlung für messtechnische Anwendungen entwickelt.



Kontakt

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

Abteilung Laser und Optische Systeme

- Optikdesign und Diodenlaser
- Festkörperlaser
- Faserlaser
- EUV-Technologie
- Packaging
- Ultrakurzpulslaser
- NLO und abstimmbare Laser

Hochdynamisches, optisches Pinzettenarray für das Quantum-Computing

Die Entwicklung der auf Neutralatomen basierenden Quantencomputerplattform hat in den letzten Jahren rasante Fortschritte gemacht. Der Ansatz basiert auf der Anordnung optischer Pinzetten (Optical Tweezer Array) und Rydberg-Gattern, dessen Skalierbarkeit einen deutlichen Vorteil gegenüber anderen Konzepten darstellt. Am Fraunhofer ILT wird hierfür eine Anordnung von 20 x 100 optischen Pinzetten entwickelt und realisiert, die eine räumliche Manipulation der Q-Bits in einer Raumrichtung zulässt.

Optikdesign

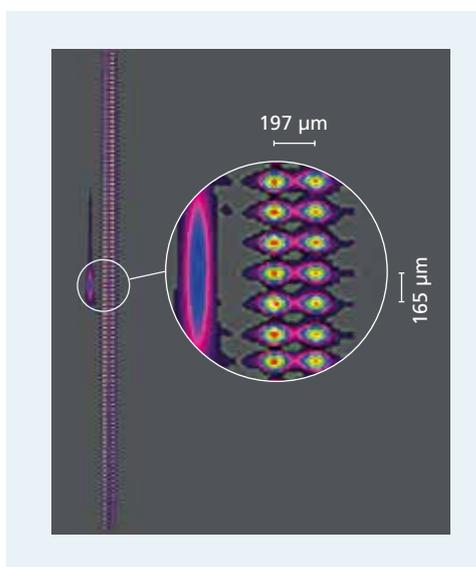
Mittels Raytracing-Simulationen wurde für den Projektpartner Universität Stuttgart im Rahmen des BMBF-Projekts QRydDemo (www.thequantumlaend.de) ein optisches System entwickelt, bei dem Laserstrahlung (592 nm) aus vier Singlemode-PC-Fasern auf 20 Kanäle aufgeteilt wird. Jeder Kanal enthält einen akusto-optischen Deflektor (AOD) zur Erzeugung einer Spalte von 100 Teilstrahlen. Die 20 Spalten werden räumlich zusammengeführt, sodass im Zwischenbild eine regelmäßige, telezentrische Anordnung von 2000 Laserfoki erzeugt wird. Das Zwischenbild wird durch eine zweistufige, telezentrische Relay-Optik um den Faktor 50 verkleinert in einer Vakuumkammer abgebildet. Hierdurch entsteht ein Array mit 20 x 100 regelmäßig angeordneten Laserfoki mit 1,2 µm Durchmesser

und 3,5 µm Abstand, das als optisches Pinzetten- bzw. als Rydberg-Atomfallen-Array genutzt wird. Dabei können die Abstände der Laserfoki in horizontaler Richtung durch Modulation des AOD-Steuersignals auf der Mikrosekunden-Zeitskala variiert werden, womit eine hochdynamische Q-Bit-Konnektivität realisiert wird.

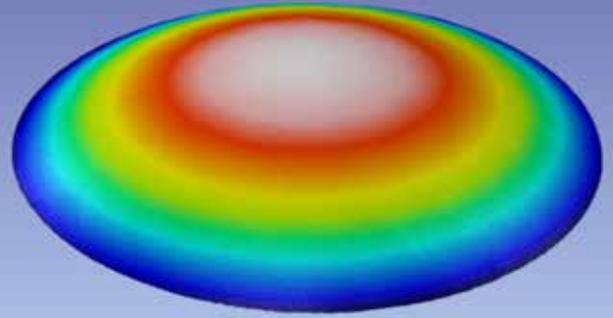
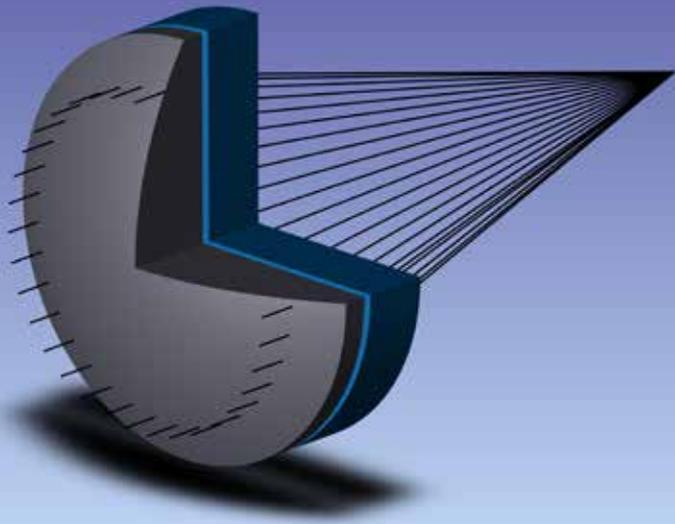
Verifikation des optischen Modells

Die Vorhersagen des optischen Modells wurden zunächst an einem Demonstratorsystem überprüft, welches über zwei Spalten mit jeweils 100 Laserfoki im Zwischenbild verfügt. Durch eine ausführliche Charakterisierung des Demonstratorsystems konnten sowohl die erwarteten Eigenschaften der Laserfoki wie Durchmesser, Abstand und Telezentrie als auch die Robustheit des Gesamtsystems gegenüber Bauteiltoleranzen bestätigt werden. Das übergeordnete Forschungsprojekt QRydDemo wird im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung durchgeführt.

*Autor: Dr. Thomas Westphalen,
thomas.westphalen@ilt.fraunhofer.de*



*1 Labordemonstrator für die Erzeugung von 2 x 100 Laserfoki.
2 Gemessene Leistungsdichteverteilung in der Zwischenbildebene des Labordemonstrators (Linienabstand: 200 µm).*



Datenkette für die digitale Fertigung individualisierter Optiken

Optik und Optikanwendungen sind Querschnittsthemen über viele Märkte hinweg, von Kameras und LIDAR-Sensoren für das autonome Fahren bis hin zur satellitengestützten Messung von Klimagasen. Die Kernkomponenten optischer Aufbauten sind präzise Optiken, die zunehmend durch eine fortschreitende Individualisierung, komplexere Geometrien und immer kürzere Produktentwicklungszyklen geprägt werden. Klassische subtraktive Fertigungstechnologien, wie Schleifen und Polieren, stoßen technologie- und skalierungsbedingt zunehmend an ihre Grenzen. Die Fertigungs- und Lieferzeiten individualisierter Optiken betragen häufig mehrere Wochen bis Monate.

Laserbasierte Optikfertigung

Gemeinsam mit dem Fraunhofer IPT und IST wird eine digitalisierte und laserbasierte Fertigungskette entwickelt. Das Ziel des PREPARE-Projekts OPTICS48 ist die Fertigung individualisierter Optiken innerhalb von 48 Stunden. Die Grundlage für die Fertigungskette bilden Rohlinge, die mittels Glasumformung in hoher Stückzahl günstig herstellbar sind. Mit den laserbasierten Fertigungsschritten der Formgebung und -änderung durch Abtrag, Politur und Präzisionsformkorrektur werden aus diesen Rohlingen die kundenspezifischen Optiken gefertigt. Die digitale Steuerung der Laserprozesse ermöglicht dabei die Individualisierung jeder einzelnen Optik, ohne dass dabei zusätzliche Kosten entstehen. Mit dem anschließenden Auftragen einer Anti-Reflex-Beschichtung wird die gesamte Wertschöpfung eines optischen Elements aus Glas abgedeckt.

Teilautomatisierte Auslegung eines achromatischen Zweilinsers

In einem ersten Schritt wurden das teilautomatisierte Optikdesign eines asphärischen, achromatischen Zweilinsers und der digitale Schatten der beschriebenen Fertigungskette über einen Webserver verknüpft. Basierend auf der Brennweite und dem zu korrigierenden Wellenlängenpaar wird der Achromat aus N-BK7- und P-SF69-Rohlingen berechnet. Anschließend wird die Abtragsdauer des Formänderungsprozesses unter Einhaltung der Anforderungen an die Abbildungsqualität minimiert. Ein User Interface des Webservers ermöglicht den Download aller für den Fertigungs- und Beschichtungsprozess notwendigen Daten, wie z. B. Winkelverteilung der ein- und austretenden Strahlung. Für die durchgängige Verfolgung der Produktion werden über einen Upload die in der Fertigung entstandenen Messungen mit dem Achromaten verknüpft.

Autor: Lucas Warnecke M. Sc., lucas.warnecke@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

Dr. Martin Traub

Gruppenleiter Optikdesign und Diodenlaser
Telefon +49 241 8906-342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de

Rauscharme Faserverstärker für die Quantentechnologie

Laserstrahlquellen sind eine Schlüsseltechnologie für viele Anwendungen, u. a. im Bereich der Quantentechnologie. Die dabei genutzten Laserstrahlquellen müssen typischerweise hohen Anforderungen genügen, da beispielsweise Strahlung einer bestimmten Wellenlänge mit hoher Leistungsstabilität genutzt werden soll, um atomare Übergänge zu adressieren oder einen Spinzustand auslesen zu können. Faserlaser können hierfür eine geeignete Technologie sein, da durch aktive Dotanten wie z. B. Ytterbium, Erbium, Thulium oder Holmium ein breites Spektrum an Wellenlängen um 1 μm , 1,5 μm oder 2 μm direkt erzeugt oder verstärkt werden kann. Um den Wellenlängenbereich zu erweitern und neue Applikationen zu ermöglichen, werden am Fraunhofer ILT im Rahmen des Projekts »Innoquant« spektral schmalbandige Faserverstärker mit Neodym-dotierten Fasern für Wellenlängen um 922 nm entwickelt. Übergeordnetes Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung einer Technologieplattform als Kombination aus Faserlaser und anschließender Frequenzkonversion für den potenziellen Einsatz im Weltraum.

Neodym-dotierte Faserverstärker

Zur Verstärkung schmalbandiger Strahlung mit einer Wellenlänge von 922 nm und zur Erhaltung der Polarisation wird ein Faserverstärker basierend auf polarisationserhaltenden, Neodym-dotierten Fasern entwickelt und experimentell realisiert. Für ein möglichst kompaktes und weltraumtaugliches Design wird der Faserverstärker monolithisch umgesetzt.

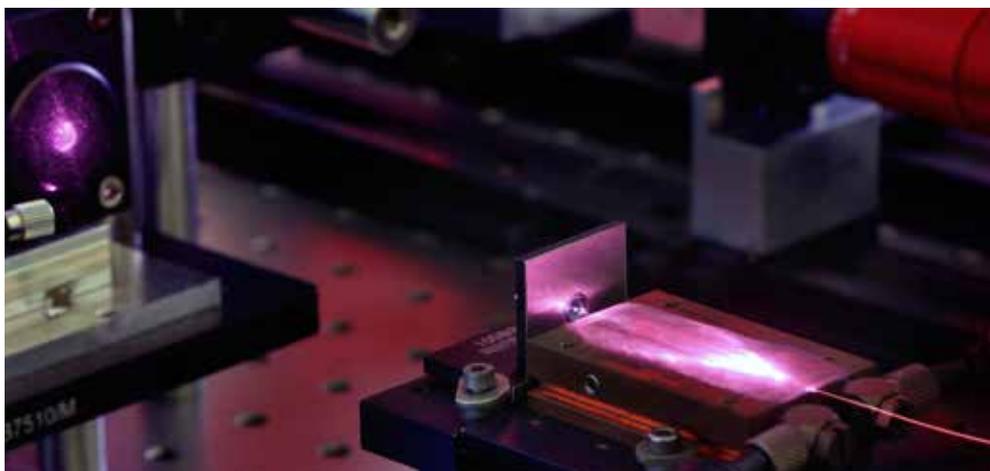
Technologieplattform für den Einsatz im Weltraum

Mithilfe des Neodym-dotierten Faserverstärkers wurde bei einer Wellenlänge von 922 nm linear polarisierte Strahlung mit einer Ausgangsleistung von mehr als 1 W mit einer spektralen Linienbreite von < 80 kHz demonstriert. Weiterhin konnten auch höhere Ausgangsleistungen > 2 W demonstriert werden, wobei die in der Faser auftretenden Degradationseffekte berücksichtigt werden müssen. Zur weiteren Leistungsskalierung sollen daher zusätzliche Faserverstärkerstufen genutzt werden, deren Funktionalität aktuell untersucht wird.

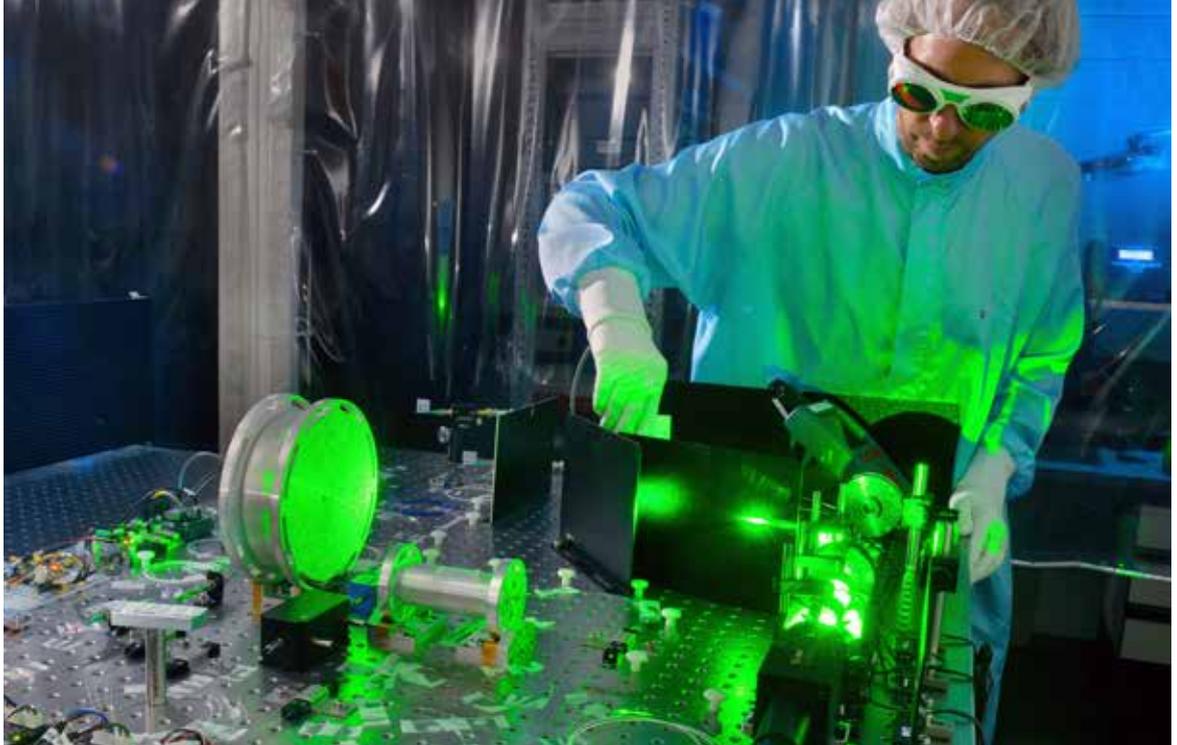
Während der Faserverstärker in Form eines Elegant-Breadboard-Aufbaus realisiert wurde, wird aktuell ein kompaktes mechanisches Design entwickelt, um die Technologieplattform für den Einsatz im Weltraum weiterzuentwickeln.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt (DLR) unter dem Förderkennzeichen 50RP2190A durchgeführt.

Autor: Patrick Baer M. Sc., patrick.baer@ilt.fraunhofer.de



*Neodym-dotierter
Faserverstärker für das
Projekt »Innoquant«.*



1 Labordemonstrator des frequenzkonvertierten Faserlasers.

Frequenzkonvertierter Faserverstärker zur Atmosphärenforschung

Stickoxide spielen eine wichtige Rolle in der Atmosphärenchemie und deren Messung liefert u. a. Erkenntnisse für die Luftqualität sowie zum Verständnis des Klimawandels. Am Forschungszentrum Jülich wird am Institut für Energie und Klimaforschung die troposphärische Photochemie mithilfe modernster physikalischer Messtechnik untersucht. Zur laserinduzierten Fluoreszenzmessung von Stickoxiden in der Atmosphäre soll dafür vom Fraunhofer ILT eine entsprechende Strahlquelle realisiert und dazu ein bestehendes Laserkonzept zunächst evaluiert und angepasst bzw. verbessert werden. Anschließend soll ein Labordemonstrator aufgebaut werden, der in der Lage ist, durch die Kombination eines Faserverstärkers mit einer Frequenzkonversionseinheit die erforderliche gepulste Strahlung mit Wellenlängen im tiefen Ultraviolett-Bereich mit Spitzenleistungen von $> 1,5$ W bei 215 nm zu liefern.

Laserkonzept

Der realisierte Labordemonstrator besteht aus einem polarisierten, dreistufigen Faserverstärker mit einer Linienbreite von < 10 MHz und einer dreistufigen Frequenzkonversion vom infraroten Wellenlängenbereich zum tiefen Ultraviolett. Der Faserverstärker wird dabei mit einer DFB-Diode bei 1074 nm geseedet, die zur Pulserzeugung der 2–3 ns langen Pulse mit einem elektrisch gepulsten Halbleiterverstärker vor- und anschließend in einem kerngepumpten, regenerativen und in zwei mantelgepumpten linearen Faserverstärkern nachverstärkt wird. Die einzelnen Verstärkerstufen sind durch Faraday-Isolatoren voneinander separiert. Die nötige Ausgangswellenlänge wird mit

einer darauffolgenden Frequenzkonversionseinheit bestehend aus einer Frequenzverdopplung von 1074 zu 537 nm und zweistufiger Summenfrequenzerzeugung über 358 zu 215 nm erreicht.

Ergebnisse

Durch Anpassungen und Optimierungen des Faserverstärkerdesigns konnten alle Zielparameter erfolgreich nachgewiesen und die Spitzenleistung im Infraroten verdreifacht und dadurch im tiefen Ultraviolett überproportional auf $> 6,5$ W angehoben werden. Der Labordemonstrator wurde an das Forschungszentrum Jülich geliefert und kann dort in Zukunft für experimentelle Studien verwendet werden. Diese Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung als Teil der FONA-Strategie »Research for Sustainability« im Projekt »ACTRIS-D: National Facilities« gefördert.

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



Kontakt

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

Hochintegrierte rauscharme Quantenfrequenzkonverter

Quanteninternet

Die Nutzung von Quantencomputern verspricht eine Revolution in der Informationsverarbeitung. Die Verschränkung solcher Computer in einem Quantennetzwerk potenziert ihre Rechenleistung und ermöglicht dem Nutzer einen inhärent sicheren Zugriff mit vergleichsweise einfachen Endgeräten und über größere Entfernungen hinweg. Im Rahmen wissenschaftlich geprägter Forschungsvorhaben wetteifern weltweit führende Entwicklerteams beim Aufbau erster Netzwerkdemonstratoren. Der Austausch der Quanteninformation erfolgt dabei mittels einzelner Photonen über Glasfasern. Um diese verlustarm in Glasfasern zu transmittieren, werden Quantenfrequenzkonverter (QFC) benötigt, die die Wellenlänge der Photonen ins Telekomband konvertieren. Entscheidend ist dabei ein möglichst gutes Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SNR). Für den Verschränkungs-austausch zwischen Stickstofffehlstellen in Diamant, sog. NV-Zentren-Qubits, hat das Fraunhofer ILT den Stand der Technik beim SNR in der Vergangenheit bereits mit dem sog. NORA-QFC um gleich 2 Größenordnungen verbessert. Die Fraunhofer ILT-Technologie wird aktuell auch von QuTech für den Verschränkungs-austausch zwischen Delft und Den Haag eingesetzt.

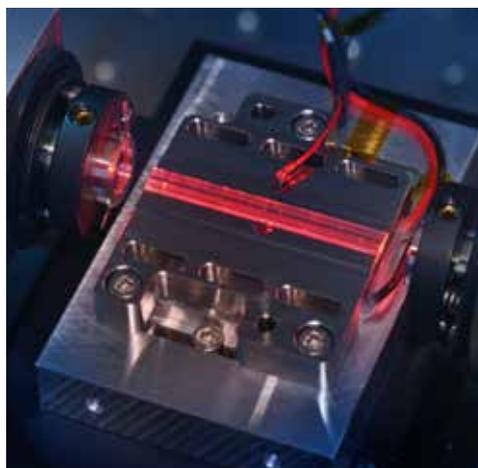
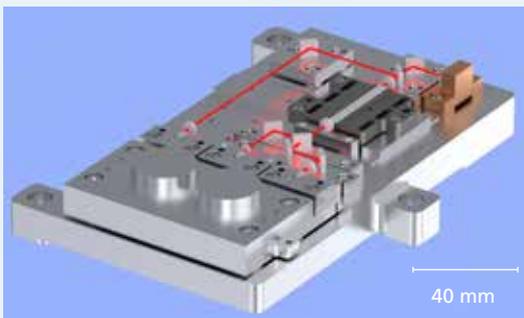
Quantenfrequenzkonverter der nächsten Generation

Im BMBF-Projekt HIFI (FKZ 13N15925) arbeitet das Fraunhofer ILT mit Partnern aus Industrie und Forschung an der Entwicklung eines alternativen QFC-Konzepts, das zukünftig in großer Stückzahl kostengünstig und hochintegriert umgesetzt werden kann. Der Konverter basiert auf nichtlinear-optischer Differenzfrequenzmischung in einem periodisch gepolten Lithiumniobatwellenleiter. Neu ist, dass die Konversion von 637 nm nach 1587 nm mit einer Laserwellenlänge von 2128 nm als zweistufiger Prozess innerhalb eines einzelnen nichtlinearen Devices umgesetzt wird, wodurch eine gute Effizienz (26 Prozent) und sehr geringes Rauschen (2,2 Hz/pm) auf kleinstem Bauraum realisiert werden konnten. Die Performance erreicht damit etwa das Niveau des NORA-QFC und zeigt weiteres Optimierungspotenzial.

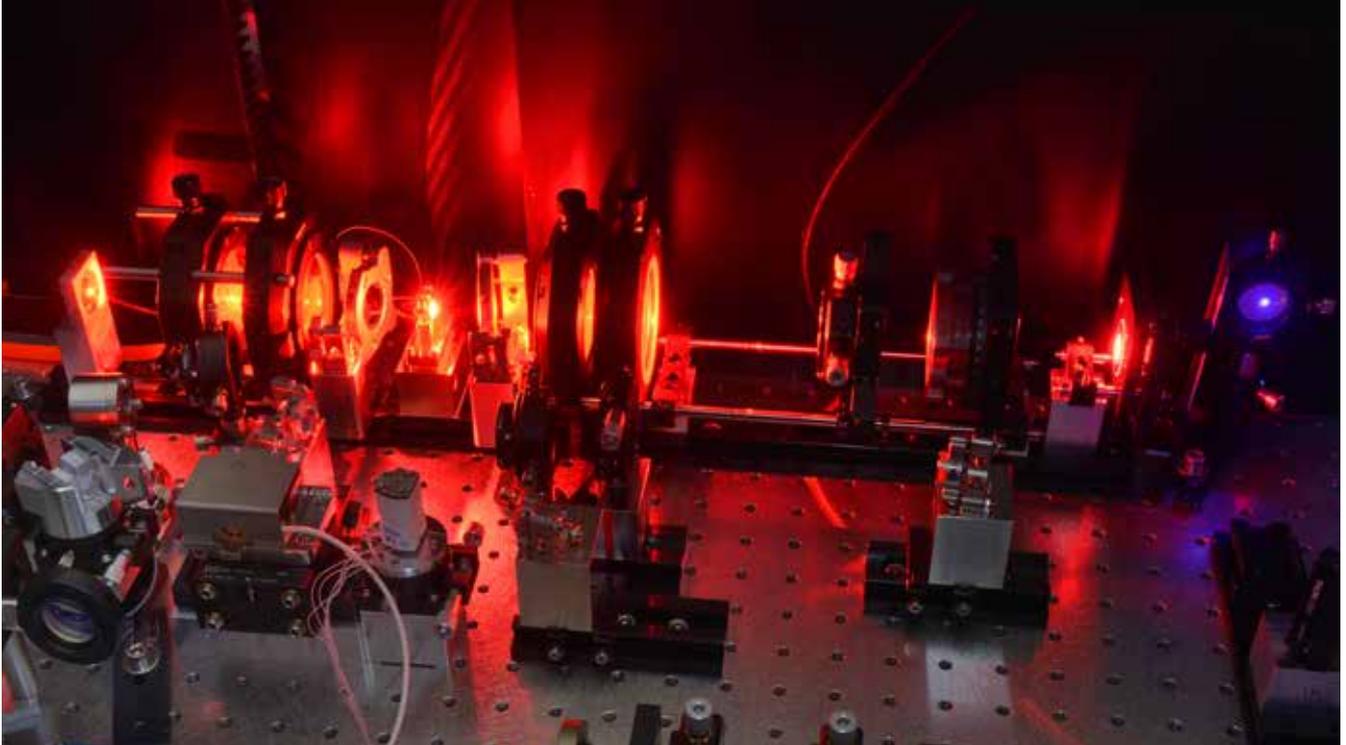
Marktnahe Umsetzung

Die Kombination aus kompakter Ausführung und weiterhin sehr niedrigem Rauschen macht die neue QFC-Technologie zu einer spannenden Alternative für die marktnahe Umsetzung. Dazu wird am Fraunhofer ILT jetzt im Rahmen des HIFI-Projekts die Anlagentechnik etabliert, um zusammen mit den Partnern die notwendigen Fertigungsprozesse vor Ort in Aachen zu entwickeln.

Autor: Hans Huber M. Sc., hans.huber@ilt.fraunhofer.de



*1 CAD-Modell für die integrierte Umsetzung.
2 Laboraufbau.*



*Diodengepumpter Alexandritlaser
mit UV-Emission im Laboraufbau.*

Hocheffizienter UV-Laser für tageslichtfähiges Atmosphären-LIDAR

Aufgrund der zunehmenden Auswirkungen anthropogener Emissionen auf das Klima steigt die Bedeutung des Verständnisses und der Überwachung der Atmosphärenvorgänge. Das Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik (IAP) konzentriert sich auf die Messung von Wind- und Temperaturprofilen der Atmosphäre bis in eine Höhe von 120 km. Dabei werden hauptsächlich mobile Resonanz-LIDAR-Systeme eingesetzt. Durch den Einsatz mehrerer solcher Systeme mit überlappenden Beobachtungsbereichen entsteht ein Netzwerk mit unerreichter Auflösung und Flächenabdeckung. Diese Daten werden teilweise unter schwierigen Umweltbedingungen, wie in Polar- oder Tropengebieten, an entlegenen Orten kontinuierlich über lange Zeiträume gesammelt. Daher müssen die LIDAR-Systeme robust, kompakt und leicht zu transportieren sein sowie autonom und wartungsarm funktionieren. Die Nutzung von angepassten Wellenlängen im UV-Bereich ermöglicht eine Messung unter Tageslichtbedingungen ohne verminderte Auflösung durch den solaren Hintergrund.

Konzept für effiziente Frequenzkonversion

Auf Basis eines bereits in kompakten LIDAR-Systemen erprobten diodengepumpten Alexandritlasers wurde ein Konzept erarbeitet, welches weiterhin die hohen spektralen Anforderungen erfüllt. Durch eine effiziente Frequenzverdopplung wurde die Zielwellenlänge im UV, der Eisenresonanz bei 386 nm, erreicht und die Eignung als LIDAR-Emitter nachgewiesen.

Umsetzung in LIDAR-System für Messkampagne

Der Laser erzielt im UV eine mittlere Leistung von 1,5 W bei 500 Hz mit einer sehr hohen elektrooptischen Effizienz von 2 Prozent. Die Linienbreite ist durch Seeding und Kavitätälängenregelung extrem schmalbandig, um die Resonanzlinie abzuscannen. Es werden zwei Prototypen aufgebaut, die in zwei LIDAR-Systeme integriert und mit europaweiten Messungen getestet werden. Durch die Abstimbarkeit des Alexandritlasers können zudem mit geringem Aufwand weitere Resonanzwellenlängen im UV adressiert werden, wodurch der Höhenbereich noch erweitert und selbst die Auswirkungen von Weltraumwetter auf die Atmosphäre direkt gemessen werden können.

Die Arbeiten werden im Rahmen des EU-Projekts EULIAA unter dem Förderkennzeichen 101086317 durchgeführt.

Autorin: Sarah Scheuer M. Eng., sarah.scheuer@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

Dr. Bernd Jungbluth
Gruppenleiter NLO und abstimmbare Laser
Telefon +49 241 8906-414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de

MERLIN – Aufbau von Flughardware für den Satelliteneinsatz

Das Fraunhofer ILT 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 kompakte Lasersystem muss unempfindlich gegen starke Vibrations- und Temperaturwechsellasten sein. Um eine mehr als dreijährige Lebensdauer in einem geschlossenen Gehäuse sicherzustellen, ist auf ausgasende Materialien zur Vermeidung von Kontamination zu verzichten.

Aufbau von Flughardware

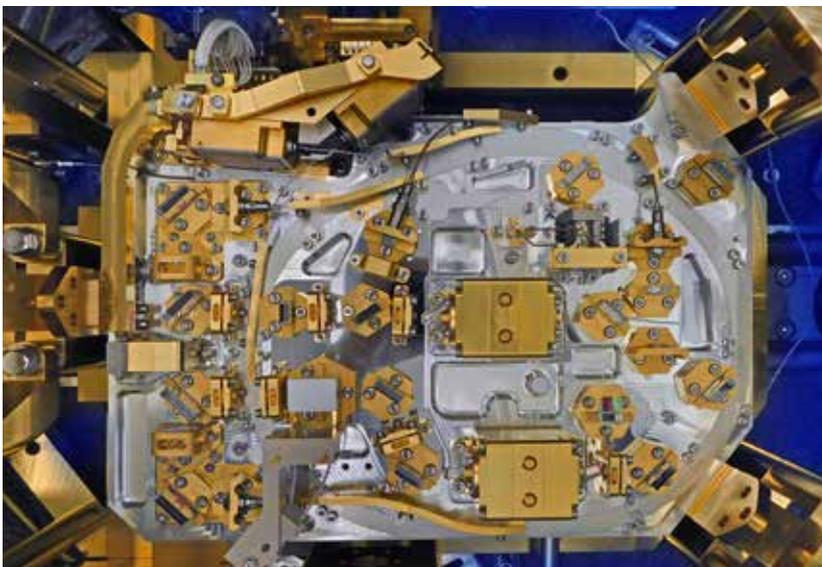
Nach dem erfolgreich abgeschlossenen Critical Design Review (CDR) und der abgeschlossenen Qualifikation der optischen und elektrischen Komponenten und Baugruppen erfolgt der Aufbau der Laser Optical Bench samt seiner Komponenten.

Das Fraunhofer ILT baut zwei Modelle auf, das Engineering Qualification Model (EQM) und das Flight Model (FM). Das EQM dient dem Test und der Qualifikation des Gesamtsystems, während das FM für den Start ins All vorgesehen ist. Die Schlüsseltechnologie für den erfolgreichen Betrieb eines Lasers im All ist die Stabilität der einzelnen optischen Mounts, die das Fraunhofer ILT mittels Löttechnologie herstellt. Das Ergebnis sind wartungsfreie Lasersysteme, die auch nach Jahren thermomechanischer Belastungen weder Einbußen bei der Performance zeigen noch Nachjustage benötigen.

Fertigstellung des EQM in 2024

Der Oszillator und Verstärker des EQM sind fertiggestellt und erfüllen alle Anforderungen. Die letzte Stufe, der Frequenzkonverter, ist bereits fertig aufgebaut und qualifiziert. Nach dessen Einbau und finaler Justage erfolgt die Integration der gesamten Laser Optical Bench in das Gehäuse sowie die Tests mit dem Gesamtsystem. Parallel hat der Aufbau des FM begonnen. Die Arbeiten werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem FKZ 50EP1601 gefördert und erfolgen im Auftrag der DLR Raumfahrtagentur im Unterauftrag von Airbus Defence and Space GmbH.

*Autorin: Jana Ammersbach M. Sc.,
jana.ammersbach@ilt.fraunhofer.de*



Fertiggestellter Oszillator des EQM-Modells.



*Integrierte Pockelszelle für
Weltraumanwendungen.*

Pockelszelle für Weltraumanwendungen

Der Einsatz von Lasersystemen im Weltraum, z. B. LIDAR für die Atmosphärenforschung, erfordert mechanisch und thermisch stabile optomechanische Komponenten. Aufgrund der BBO-Kristalleigenschaften ist die Realisierung der Pockelszelle eine besondere Aufgabe. Neben der Montage des Kristalls stellen thermische Lasten von -30 °C bis $+50\text{ °C}$ und mechanische Lasten von bis zu 20 G_{rms} eine Herausforderung dar. Des Weiteren soll die Montage ohne organische Stoffe erfolgen. Für den Aufbau der Pockelszelle wird deshalb eine am Fraunhofer ILT entwickelte Löttechnik eingesetzt.

Aufbau der Pockelszelle

Der BBO-Kristall wird in einem Keramikgehäuse mit speziellen Gitterstrukturen aus Stahl eingelötet. Um die mechanischen Spannungen im Kristall zu reduzieren, kommt ein Weichlot zum Einsatz. Weiterhin werden die Verspannungen durch die Geometrie der Lötverbindung reduziert. Anschließend wird das Keramikgehäuse auf einen Halter gelötet und per Pick & Align-Verfahren im Lasersystem justiert.

Pockelszellenkonzept erfolgreich umgesetzt

Die Gesamtbaugruppe bestehend aus Pockelszelle und Halter hat ein umfangreiches Qualifikationsprogramm durchlaufen. Neben elektro-optischen Untersuchungen sind Spannungsanalysen des Kristalls sowie Kapazitäts- und

Induktivitätsmessungen durchgeführt worden. Während dieser Testreihe sind alle Kriterien erfüllt worden. Bei den Umwelttests lag die Positionsabweichung unter den geforderten $100\text{ }\mu\text{rad}$. Abschließend wurde die Pockelszelle einem Überspannungstest mit 5 kV Gleichstrom und einem Langzeittest mit 6.21 GShots unterzogen. An der Gesamtbaugruppe, insbesondere am Kristall, konnten keine Beschädigungen detektiert werden. Nach der erfolgreichen Qualifikation wurde die Pockelszelle ins MERLIN-EQM-System eingebaut. Das Pockelszellenkonzept kann bei Hochleistungsanwendungen oder bei Einsatz von Lasersystemen unter harschen Umweltbedingungen eingesetzt werden. Die Arbeiten werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem FKZ 50EP1601 gefördert und erfolgen im Auftrag des DLR-Raumfahrtmanagements im Unterauftrag von Airbus Defence and Space GmbH.

Autor: Witalij Wirz M. Eng., witalij.wirz@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

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

Modellierung von Yb:YAG-basierten INNOSLAB-Ultrakurzpulsverstärkern

Während Yb:YAG-basierte INNOSLAB-Ultrakurzpulsverstärker bei Leistungen bis in den multi-kW-Bereich in Fast-Axis nahezu beugungsbegrenzte Strahlqualität erreichen, erfordert die Realisierung guter Strahlqualitäten in Slow-Axis erheblichen experimentellen Optimierungsaufwand. Eine Vielzahl von Anwendungen mit Hochleistungs-UKP-Lasern erfordert eine beugungsbegrenzte Strahlqualität, sodass deren Optimierung von großer Bedeutung ist. Die Strahlqualität wird von diversen sich wechselseitig beeinflussenden Effekten bestimmt. Zum Verständnis und zur Optimierung der Strahlqualität ist daher eine Modellierung dieser Effekte und ihrer Kopplung notwendig.

Aufbau des Modells

Am Fraunhofer ILT wird ein modulares, multiphysikalisches Modell des Yb:YAG-basierten INNOSLAB-Verstärkers entwickelt, das Pumpquelle, Verstärkerstrahlengang, Kristall, Wärmesenke mit thermischer Kontaktierung, Kühlgeometrie und parasitäres Lasern umfasst. Das Modell wird mit experimentellen Daten verglichen und optimiert.

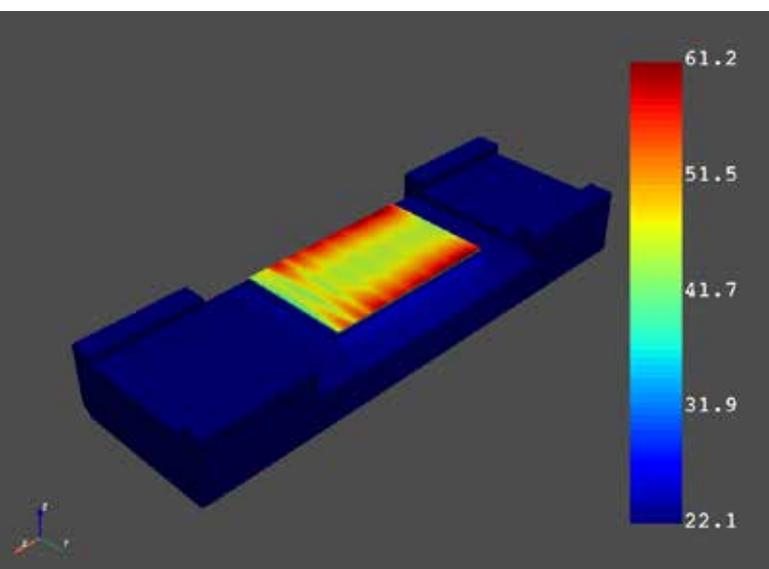
Laufende Forschungsarbeiten

Bei bestehenden Lasern in der 500-W-Klasse liefert das Modell gute Übereinstimmung mit dem Experiment hinsichtlich Kennlinie, Strahlqualität, charakteristischen Strukturen in den Ausgangsstrahlprofilen sowie Schwellen für parasitäres Lasern. Die Anwendung des Modells zur Optimierung von in Entwicklung befindlichen Strahlquellen in der multi-kW-Klasse ist Gegenstand laufender Forschungsarbeiten.

Aufgrund seiner Modularität kann das Modell auch für die Modellierung anderer Laserkonzepte und Geometrien adaptiert werden. Teile des Modells werden bereits bei der Modellierung von Strahlquellen basierend auf gasgekühlten Plattenstapeln für die Fusionsforschung eingesetzt.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des Fraunhofer Cluster of Excellence Advanced Photon Sources – CAPS gefördert.

Autor: Jan Schulte M. Sc., jan.schulte@ilt.fraunhofer.de

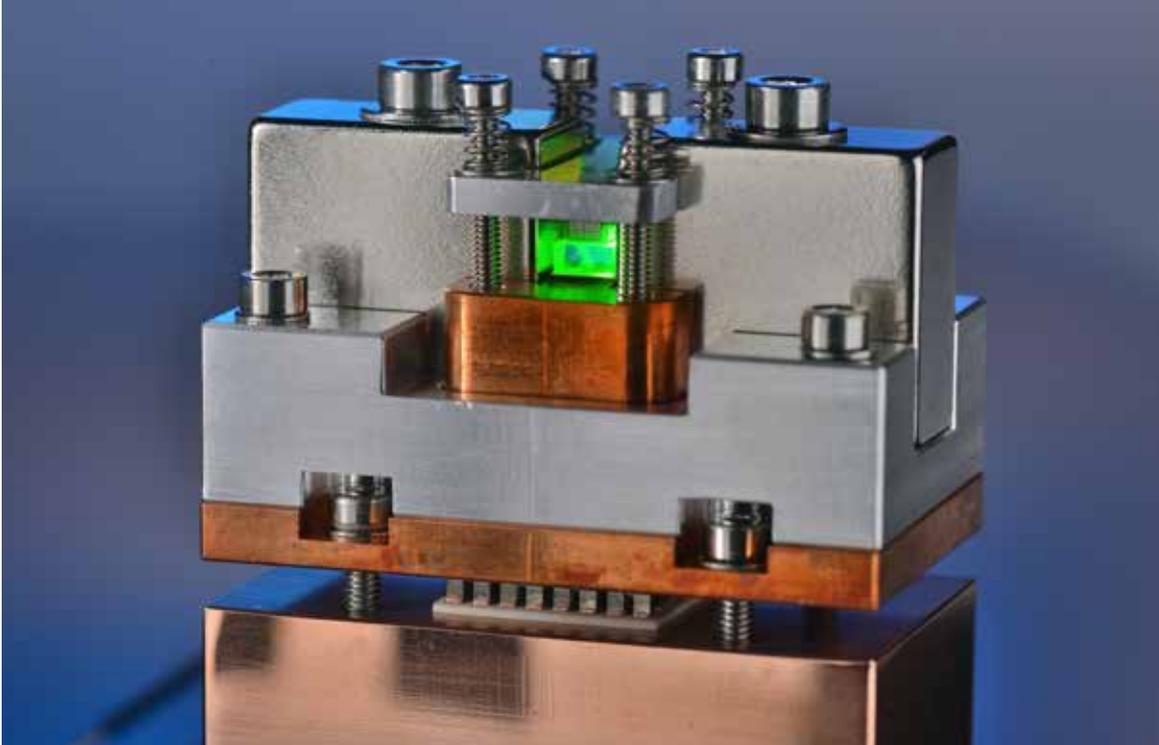


Simulierte Temperaturverteilung in einem Laserkristall im Verstärkerbetrieb.



Kontakt

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



1 Labordemonstrator
eines 2 μm NPRO.

Nichtplanarer Ringoszillator mit 2 μm Wellenlänge

Gravitationswellendetektoren (GWDs) der dritten Generation besitzen ein enormes Potenzial für neue Entdeckungen in der Astrophysik oder Kosmologie. Dazu werden in allen Parametern hochstabile Lasersysteme benötigt. Bei aktuellen Lasersystemen der GWDs werden häufig nichtplanare Ringoszillatoren (NPROs) mit einer Emissionswellenlänge von 1064 nm als Seedlaser für eine darauffolgende Verstärkerkette verwendet. Im Rahmen des Interreg-Projekts E-TEST entwickelt das Fraunhofer ILT einen NPRO-Laser mit 2 μm Wellenlänge, welcher als hochstabiler Seedlaser für ein leistungsstabilisiertes Faserverstärkersystem dient. Mittels dieser Wellenlänge kann der Bereich der Messungen von Gravitationswellen im niedrigeren Frequenzspektrum erweitert werden.

Monolithischer Laser mit höchster Stabilität

Als NPRO bezeichnet man einen monolithischen Laseroszillator, in dem die Laserstrahlung in einem Ring unter Ausnutzung von Totalreflexion durch den Laserkristall propagiert. Dieses erprobte Konzept ermöglicht sehr hohe Leistungs- und Frequenzstabilitäten. Um eine Wellenlänge von 2 μm zu erreichen, wird ein NPRO basierend auf einem Ho:YAG-Lasermedium realisiert. Dieser wird durch einen am Fraunhofer ILT entwickelten, mehrstufigen hochstabilen Thulium-Faserlaser gepumpt. Aufgrund des geringen Wellenlängenunterschieds der beiden Lasermedien kommt es zu einer geringen Wärmeentwicklung im NPRO-Laserkristall.

Ergebnisse und Ausblick

Es werden zwei verschiedene NPRO-Systeme realisiert. Bei einer Wellenlänge von 2120 nm konnte eine Ausgangsleistung von bis zu 350 mW im longitudinale Singlemode demonstriert werden und im zweiten System bis zu 50 mW bei einer Wellenlänge von 2090 nm. In beiden Systemen konnte eine nahezu beugungsbegrenzte Strahlqualität erreicht sowie eine relative Leistungsstabilität von 0,2 Prozent und ein Polarisationsgrad > 20 dB gezeigt werden. Im nächsten Schritt ist die Verstärkung des NPROs bei 2090 nm durch eine am Fraunhofer ILT entwickelte Holmium-Faserverstärkerkette geplant. Dieses System soll mittels aktiver Methoden frequenz- und leistungsstabilisiert werden, um die extremen Anforderungen zukünftiger Gravitationswellendetektoren zu erfüllen. Die Arbeiten wurden durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes NRW gefördert.

Autor: Johannes Ebert M. Sc., johannes.ebert@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

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

Fraunhofer-Netzwerke

In Clustern und Leitprojekten bündelt das Fraunhofer ILT zusammen mit anderen Fraunhofer-Instituten seine Kompetenzen und entwickelt Anwendungen für Industrie und Forschung.

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie. Für öffentlich-private Partnerschaften ist Fraunhofer ein attraktiver und etablierter Akteur.

Insbesondere mittelständische Unternehmen nutzen Expertise und Ressourcen von Fraunhofer, um ihre Wettbewerbsfähigkeit durch die Neu- und Weiterentwicklung von Technologien zu verstetigen. Fraunhofer-Fachkräfte begleiten die Industriepartner dabei von der Idee bis zur Markteinführung. Als einer der aktivsten Patentanmelder in Deutschland und Europa entwickelt die Forschungsgesellschaft ein umfangreiches, internationales Patentportfolio. Dieses dient als Grundlage für den Transfer von Technologien durch Forschungsprojekte, Ausgründungen und Lizenzierung. Darüber hinaus adressiert Fraunhofer gesamtgesellschaftliche Ziele in wichtigen Technologiebereichen durch interdisziplinäre und internationale Kooperationen im konkreten Marktumfeld. Beispiele sind Lösungen für den Umbau von Energiesystemen, die Cybersicherheit oder für die generative Künstliche Intelligenz. Damit trägt Fraunhofer zur Zukunftsfähigkeit des Innovationsstandorts Deutschland und zum Entstehen von Arbeitsplätzen, Investitionseffekten in der Wirtschaft und zur gesellschaftlichen Akzeptanz moderner Technik bei. Kooperationen mit exzellenten

Forschungspartnern und Unternehmen weltweit beleben zudem den Austausch mit den einflussreichsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

In 76 Instituten und Forschungseinrichtungen beschäftigt die 1949 gegründete Organisation knapp 32 000 Mitarbeitende mit überwiegend natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung. Sie erarbeiten das jährliche Finanzvolumen von 3,4 Mrd. €. Davon fallen 3,0 Mrd. € auf den Bereich Vertragsforschung, der sich in drei Finanzierungssäulen gliedert: Aufträge aus der Industrie und Lizenzerträge in Höhe von insgesamt 836 Mio. € und öffentlich finanzierte Forschung, die Bund und Länder durch eine Grundfinanzierung absichern. Damit ermöglichen die Zuwendungsgeber, dass die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für die Wirtschaft und Gesellschaft relevant werden. Der hohe Anteil an Wirtschaftserträgen ist das Fraunhofer-Alleinstellungsmerkmal in der deutschen Forschungslandschaft.

Hoch motivierte Mitarbeitende stellen für Fraunhofer den wichtigsten Erfolgsfaktor dar. Daher öffnet die Wissenschaftsorganisation Raum für selbstständiges, gestaltendes und zielorientiertes Arbeiten. Fraunhofer fördert die fachliche und persönliche Entwicklung, um Aufstiegschancen für ihre Mitarbeitenden in Wirtschaft und Gesellschaft zu unterstützen.

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.

Auf einen Blick

- 76 Institute
- 32 000 Mitarbeitende
- 3,4 Mrd. € Finanzvolumen
- davon 3,0 Mrd. € Vertragsforschung

Stand: April 2024

Die laserbasierte Trägheitsfusion hat enormes Potenzial

Über 30 Fraunhofer-Institute trafen sich beim Fokustag »Kernfusion« des Fraunhofer ILT und des Think Tanks der Fraunhofer-Zentrale. Die Technologie birgt riesiges Potenzial für die Energieversorgung, die wirtschaftliche Entwicklung und für die Lasertechnik. Das Fraunhofer ILT bringt seine Kompetenzen schon heute international in die Fusionsforschung ein.

Herr Prof. Häfner, warum war das Fusionsexperiment an der National Ignition Facility (NIF) des Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) im Dezember 2022 historisch?

Erstmals in der Geschichte der Menschheit ist es gelungen, im Labor ein Fusionsplasma zu zünden und mehr Energie freizusetzen als der Laser eingebracht hat. Die freigesetzte Energie aus den ersten Fusionsreaktionen hat im Plasma weitere Reaktionen ausgelöst, die den kalten Brennstoff wie eine Brennwelle durchzogen. Das Experiment hat gezeigt, dass das Prinzip des Trägheitseinschlusses realisierbar ist. Das bringt uns dem Ziel, die Fusion als quasi unerschöpfliche Energiequelle anzuzapfen, ein gutes Stück näher. Mittlerweile läuft ein weltweites Wettrennen um die Technologieführerschaft. Wenige Monate nach dem Durchbruch haben die USA ein Technologie- und Forschungsprogramm aufgelegt, das die Entwicklung von Schlüsseltechnologien für die Trägheitsfusion in drei Hubs forciert. Darunter der STARFIRE Hub (IFE Science & Technology Accelerated Research for Fusion Innovation & Reactor Engineering), den die Regierung mit vorerst 16 Millionen Dollar für vier Jahre fördert. Er zielt auf die Entwicklung von Lasertechnologie für die Fusion. Neben führenden Forschungseinrichtungen, Industrie und Fusion-Startups aus den USA ist das

Fraunhofer ILT als einziger internationaler Partner beteiligt. In Deutschland und international hat die Zündung des Fusionsplasmas mit Lasern ebenfalls eine neue Dynamik entfacht.

Inwiefern?

Die öffentliche Wahrnehmung der Kernfusion hat sich grundlegend gewandelt. Ein eindrucksvoller Beleg ist Googles historischer Rückblick »25 Years in Search«: Nie zuvor hat ein wissenschaftlicher Durchbruch weltweit so viel Interesse geweckt. Das erfolgreiche Fusionsexperiment verbreitete sich wie ein Lauffeuer und eröffnet der Menschheit neue Perspektiven für die Energieversorgung. Bisher war Fusion in der Grundlagenforschung verankert; als Vision für die künftige Energiegewinnung, aber technisch immer in weiter Ferne. Seit dem Durchbruch in Kalifornien herrscht in der Politik und in der Industrie spürbare Aufbruchstimmung. Das Marktpotenzial für den Energiemarkt – aber insbesondere auch für den Technologiemarkt – ist enorm.

Wie macht sich das bemerkbar?

Schon vor dem Durchbruch in der NIF suchte die Wirtschaft den Dialog mit der Politik, um über die angespannte Energieversorgung und schwierige Wettbewerbslage in Deutschland zu sprechen. Wir waren schon da beteiligt.



»Sobald wir uns den technologischen Herausforderungen der Trägheitsfusion stellen, werden wir passende Lösungen finden!«

Prof. Constantin Häfner



Prof. Constantin Häfner übergibt am 22. Mai 2023 als Leiter der vom BMBF eingesetzten Expertenkommission zur Laserträgheitsfusion das Memorandum an Bundesforschungsministerin Bettina Stark-Watzinger, © BMBF / Hans-Joachim Rickel.

Das Augenmerk fiel auf die Laserfusion, ihr Potenzial sowie Deutschlands Position in diesem Technologiefeld. Bundesministerin Bettina Stark-Watzinger setzte eine hochkarätig und international besetzte Expertenkommission ein, deren Leitung mir übertragen wurde. Die erste Sitzung fand fast zeitgleich mit dem NIF-Experiment statt. Schon im Mai 2023 haben wir der Ministerin ein umfassendes Memorandum überreicht. Es enthält allgemeine Empfehlungen und viele Vorschläge zum Ausbau der Fusionsforschung, der notwendigen Infrastrukturen sowie Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Das Tempo und öffentliche Engagement senden ein starkes Signal: Die Politik hat das Potenzial der Trägheitsfusion erkannt. Im September 2023 ließ sie Taten folgen. Die Bundesregierung investiert in den nächsten fünf Jahren 1 Mrd. € in die Fusionsforschung und strebt eine rasche Industrialisierung der Fusionstechnologie an.

Wie ordnen Sie als Institutsleiter des Fraunhofer ILT diese Entwicklung strategisch ein?

Die Kernfusion ist eine große Chance für den High-Tech-Standort Deutschland. Wir haben hier viele Marktführer im Bereich Laser und Photonik, die zum Erfolg der Laserträgheitsfusion beitragen können. Zudem werden sich Technologieentwicklungen für die Fusion in andere Anwendungen übertragen lassen. Das Zeitalter des Lasers ist jung. Wir können

uns gar nicht vorstellen, was er künftig bewirken kann und wird. Die angekündigte wettbewerbsbasierte Förderung ist eine ausgezeichnete Perspektive für die Industrie: Gemeinsam können wir Technologien für die Fusion entwickeln! Technologieoffenheit ist dabei das Leitprinzip. Fraunhofer fungiert als Enabler und Brückenbauer, dessen breites Spektrum an Kompetenzen entscheidend zur Entwicklung von Schlüsseltechnologien beiträgt: sei es in der Target- und Materialentwicklung, der Messtechnik oder Implementierung von KI und Machine Learning, in nachhaltigen photonischen Produktionsprozessen für Kraftwerkskomponenten oder der Entwicklung von Lasern und Optiken am Fraunhofer ILT. Über 30 Fraunhofer-Institute haben Kompetenzen im Bereich der Fusion. Auf unserem Fraunhofer-Fokustag »Kernfusion« haben wir beschlossen, eine umfassende Kompetenzmatrix zu erstellen und den Transfer aus der Wissenschaft in die Industrie zu intensivieren. Das Fraunhofer ILT hat dafür eine Taskforce Fusionstechnologie gegründet, die sich mit voller Kraft dafür einsetzt und das Thema strategisch koordiniert. Es ist so mächtig, dass es heißen muss: »All hands on deck!«. Auch international bauen wir gezielt bilaterale Partnerschaften auf und aus. Es gilt nun, das rasante Tempo beizubehalten und Talente an Bord zu holen. Dafür muss Deutschland exzellente Forschungseinrichtungen aufbauen und unterhalten, die die Köpfe von morgen ausbilden.

»Energie ist der Treibstoff unserer modernen Gesellschaft. Fusion hat das Potenzial, unsere Energieversorgung zu revolutionieren...«.

Bettina Stark-Watzinger

Kontakt

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



Maschinentechnologie für das Laser Powder Bed Fusion.

Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces

Der Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces bündelt die wissenschaftlichen und technischen Kompetenzen der Fraunhofer-Gesellschaft in den Themenfeldern Optik, Photonik, Laser- und Oberflächentechnik. Zu den 8 Mitgliedsinstituten zählt das Fraunhofer ILT. In den Instituten des Verbunds forschen über 1 900 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, um komplexe technologische Fragen aus Industrie und Wirtschaft mit Blick auf die konkrete Anwendung zu lösen. Die Kernkompetenzen des Verbunds liegen in den Bereichen:

- Optische und photonische Komponenten und Systeme
- Schicht- und Oberflächenbearbeitung
- Fertigungstechnik
- Mess- und Prüftechnik
- Quantentechnologie

www.light-and-surfaces.fraunhofer.de



Bohren mit Laserstrahlung.

Fraunhofer Cluster of Excellence CAPS

Ziel des Fraunhofer Cluster of Excellence Advanced Photon Sources CAPS ist die internationale Technologieführerschaft bei Lasersystemen, die mit ultrakurzen Pulsen (UKP) höchste Leistungen erreichen sowie die Erforschung von deren Einsatzpotenzialen im Verbund mit derzeit 13 Fraunhofer-Instituten. Koordiniert wird CAPS vom Fraunhofer ILT in Aachen und dem Fraunhofer IOF in Jena, die interessierten Anwendern aus Industrie und Wissenschaft an ihren Standorten zwei Applikationslabore mit Multi-kW UKP-Laserquellen sowie der nötigen Systemtechnik zur Verfügung stellen.

www.caps.fraunhofer.de/de.html

Fraunhofer-Leitprojekte

Mit ihren Leitprojekten setzt Fraunhofer strategische Schwerpunkte, die sich an den Erfordernissen der Wirtschaft orientieren. Das Ziel ist es, wissenschaftlich originäre Ideen schnell in marktfähige Produkte umzusetzen. Die beteiligten Fraunhofer-Institute bündeln ihre Kompetenzen und binden die Industriepartner frühzeitig in die Projekte ein. Das Fraunhofer ILT engagiert sich in Leitprojekten, die u. a. die Bereiche Energietechnik, Produktion und Quantentechnologie abdecken.

www.ilt.fraunhofer.de/de/cluster.html

Innovationscluster am Standort Aachen

In Aachen betreibt das Fraunhofer ILT seit vielen Jahren Innovationscluster, die vor Ort eine enge Verzahnung von Wirtschaft und Wissenschaft im Bereich der Photonik sicherstellen.

Zusammenarbeit vor Ort

Innovationscluster bilden eine Quelle für Know-how-Transfer, Nachwuchsförderung und Ausgründungen. Der Standortvorteil fördert sowohl die personelle als auch die infrastrukturelle Vernetzung. So stellt das Fraunhofer ILT mit seiner ständig aktualisierten Infrastruktur europaweit einen der größten Laseranlagenparks. Die Nähe zur RWTH Aachen University wiederum garantiert einen Zufluss von sehr gut ausgebildeten Ingenieuren und Naturwissenschaftlern. Die systematische und langfristige Zusammenarbeit von Hochschule, Fraunhofer ILT und Industrie erfolgt insbesondere über den Forschungscampus Digital Photonic Production (DPP). Aus diesem Umfeld werden auch Spin-offs generiert, die die lange Ausgründungstradition des Fraunhofer ILT mit über 40 Spin-offs in 30 Jahren fortsetzen.

www.forschungscampus-dpp.de

Industriekooperationen am Standort Aachen

Auf Seiten der Laserindustrie haben sich zahlreiche mittelständische Unternehmen zur LASER.region.Aachen zusammengeschlossen. Das Konsortium hat sich zum Ziel gesetzt, die Region Aachen als Zentrum für agile laserbasierte Produktionslösungen zu positionieren. Dadurch werden nachhaltig Arbeitsplätze geschaffen.

www.laserregionaachen.de

Auch auf der Laseranwenderseite bündeln Unternehmen am Standort Aachen einige ihrer relevanten Forschungstätigkeiten. So haben 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 in 2015 zusammen mit 19 Industriepartnern das »International Center for Turbomachinery Manufacturing – ICTM« ins Leben gerufen. Zu den Industriepartnern des Netzwerks zählen große und mittelständische Unternehmen u. a. aus den Bereichen Turbomaschinenbau, Automatisierungs- und Zerspanungstechnik sowie Additive Fertigung. Im Mittelpunkt des Centers stehen Forschung und Entwicklung rund um die Fertigung und Reparatur von Turbomaschinenkomponenten, die durch die Partner in allen Bereichen abgedeckt werden.

www.ictm-aachen.com

Innovationscluster als Quelle für Know-how-Transfer, Nachwuchsförderung und Ausgründungen.

Lasertechnik an der RWTH Aachen University

Mit den Lehrstühlen für Lasertechnik LLT und für Technologie Optischer Systeme TOS sowie dem Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD bietet die RWTH Aachen University ein herausragendes Kompetenzcluster im Bereich der Optischen Technologien in enger Kooperation mit dem Fraunhofer ILT.

Die RWTH Aachen University in Zahlen (Stand 2023)

- rund 45 000 Studierende
- davon ca. 14 440 Internationale
- 1 234 Mio € Finanzvolumen
- Exzellenzuniversität
- 3 Exzellenzcluster
- 173 Studiengänge

Gemeinsam Zukunft gestalten

Die RWTH Aachen University ist mit den Lehrstühlen LLT und TOS sowie dem Lehr- und Forschungsgebiet NLD gut im Bereich der Optischen Technologien aufgestellt. Dies ermöglicht eine überkritische Bearbeitung grundlegender und anwendungsbezogener Forschungsthemen. Die enge Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT erlaubt nicht nur industrielle Auftragsforschung auf der Basis solider Grundlagenkenntnisse sondern führt vielmehr zu neuen Impulsen in der Weiterentwicklung von optischen Verfahren, Komponenten und Systemen. Unter einem Dach werden die Synergien von Infrastruktur und Know-how aktiv genutzt.

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

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT

Der Lehrstuhl LLT der RWTH Aachen University ist seit 1985 in der grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung in den Bereichen Lasermesstechnik, Strahlquellenentwicklung, Lasermaterialbearbeitung sowie Digital Photonic Production tätig.

Viele Forschungsaktivitäten werden im Rahmen von Großprojekten bearbeitet, wie z. B. dem Exzellenzcluster »Internet of Production«, dem BMBF-Forschungscampus »Digital Photonic Production« oder dem DFG-Sonderforschungsbereich 1120 »Präzision aus Schmelze«. Der Lehrstuhl LLT ist zudem auch Koordinator des »Research Center for Digital Photonic Production«. Aktuelle Forschungsthemen sind:

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

Prof. Constantin Häfner (Lehrstuhlleiter)
www.llt.rwth-aachen.de

Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS

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

Hochkorrigierte Fokussiersysteme für hohe Laserleistungen, Einrichtungen zur Strahlhomogenisierung oder innovative Systeme zur Strahlumformung spielen bei Laseranlagen in der Fertigungstechnik eine bedeutende Rolle. Hierzu zählen adaptive Optiken und Freiformoptiken zur innovativen Strahlformung für prozessangepasste Intensitätsverteilungen. Für Hochleistungsdiodenlaser werden mikro- und makrooptische Komponenten entwickelt und zu Systemen kombiniert. Im Bereich der EUV-Technologie wird die Lithographie und Materialanalyse mit Auflösungen kleiner als 50 Nanometer untersucht.

Prof. Carlo Holly (Lehrstuhlleiter)
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 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.

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

*Hauptgebäude und »SuperC«
 der RWTH Aachen University,
 © RWTH Aachen University /
 Peter Winandy.*



Forschungscampus DPP und RWTH Aachen Campus

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.

Der RWTH
Aachen
Campus als
Katalysator für
erfolgreiche
Unternehmens-
gründungen.

Forschungscampus DPP

Mit dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF seit 2014 geförderten Forschungscampus DPP wurde eine neue Form der langfristigen und systematischen Kooperation zwischen RWTH Aachen University, Fraunhofer-Gesellschaft und Industrie etabliert. Die Zusammenarbeit der zwei Fraunhofer-Institute ILT und IPT, der kooperierenden RWTH-Lehrstühle und der rund 30 Industrieunternehmen wird in gemeinsam abgestimmten Technologie-Roadmaps definiert und umfasst drei Kompetenz- und zwei Anwendungsfelder.

Der Forschungscampus DPP nutzt die Standortvorteile des RWTH Aachen Campus. Dort kann die Ansiedelung interessierter Unternehmen in thematisch fokussierten Clustern zur Miete in Investorengebäuden oder mit einem eigenen Gebäude erfolgen. Das Cluster Photonik ist spezialisiert auf die Erforschung und Entwicklung von Verfahren zur Erzeugung, Formung und Nutzung von Licht, insbesondere als Werkzeug für die industrielle Produktion. Zurzeit befinden sich zwei Gebäude im Cluster Photonik: das Research Center Digital Photonic Production (RCDPP) und das Industry Building Digital Photonic Production (IBDPP).

Kompetenzfeld Digital

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

Kompetenzfeld Photonik

- Neuartige Scannerkonzepte
- Multistrahlensysteme
- Anwendungsangepasste, örtliche und zeitliche Intensitätsverteilungen
- Prozesssensorik
- Kompetenzfeld Produktion
- Systematische Kosten- und Nutzenbewertung
- Werkstoffentwicklung

Kompetenzfeld Produktion

- Systematische Kosten- und Nutzenbewertung
- Werkstoffentwicklung

Anwendungsfelder Additive Produktion und Subtraktive Produktion

- Wechselwirkung
- Skalierung



Research Center DPP

Die inter- und transdisziplinäre Vernetzung verschiedener Forschungsgebiete ist ein wesentlicher Faktor für die Verkürzung von Innovationszyklen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedener Institute und Lehrstühle der RWTH Aachen forschen über einen verhältnismäßig langen Zeitraum gemeinsam an unterschiedlichen Themen zu gemeinsamen Zielen. Das 2019 eröffnete und 2020 vollständig in Betrieb genommene Research Center DPP bietet Forschenden 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, Georesourcen und Materialtechnik, Medizin und Wirtschaftswissenschaften.

Industry Building DPP

In unmittelbarer Nähe zum Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT können sich Unternehmen 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. 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 effizient und zukunftsweisend.

*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.*

Kontakt

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

www.forschungscampus-dpp.de

Ausgründungen

Das Fraunhofer ILT bietet zusammen mit dem Forschungscampus Digital Photonic Production DPP und dem RWTH Aachen Campus ein ideales Umfeld zur Gründung eines Unternehmens im Bereich der photonischen Produktion.

Intensive Ausgründungskultur am Fraunhofer ILT

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT pflegt seit den frühen 90er Jahren eine intensive Ausgründungskultur, die in den letzten 30 Jahren zu über 40 neuen Unternehmen geführt hat. 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. Innovative Gründer sind sowohl Impulsgeber in der Branche für neue technologische Lösungsansätze und Perspektiven als auch klassische Unternehmer, die eine nachhaltige Geschäftsentwicklung im Blick halten und Arbeitsplätze sichern.

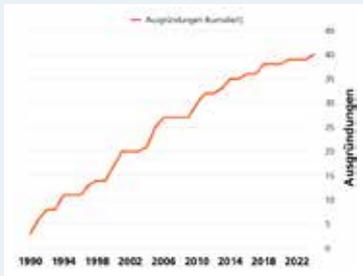
Spin-offs generieren Mehrwerte für die Laserbranche

Die rund 40 Spin-offs des Fraunhofer ILT erzeugen nicht nur neue Umsätze sondern erweitern auch das Marktpotenzial der Laserbranche. Sie sind darüber hinaus auch attraktive Arbeitgeber in einer Branche, die seit Jahren herausragende Wachstumsraten aufweist.

Das Produktspektrum der Spin-offs reicht von innovativen Reinigungsverfahren, maßgeschneiderten additiv gefertigten Implantaten über neue Hochleistungsdiodelnlasern bis hin zu leistungsstarken UltrakurzpulsLasern.

Co-Creation am Standort Aachen

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 z. B. TRUMPF. Das gesamte Umfeld des Campus wirkt als Inkubator für erfolgreiche Unternehmensausgründungen.



Firmensitz des Spin-offs
Aconity3D GmbH in Herzogenrath,
© Aconity3D GmbH.

Kundenreferenzen



Kundenreferenzen

Die hier aufgelisteten Firmen sind ein repräsentativer Querschnitt der umfangreichen Kundenliste des Fraunhofer ILT.



Lasertechnik für bessere und kostengünstigere Batterien: Daran arbeiten wir und bringen die Elektromobilität voran.«

Dr. Alexander Olowinsky,
Abteilungsleiter Fügen und Trennen

Metallische Bipolarplatten lassen sich mithilfe von Lasern nicht nur zusammenschweißen, sondern auch direkt in der Endkontur zuschneiden.

Mit dem Battery Lab zur nächsten Batteriegeneration

Batterien speichern nicht nur Solar- und Windenergie und stabilisieren unser Stromnetz. Sie versorgen außerdem tragbare Geräte wie Mobiltelefone oder Werkzeuge sowie Elektrofahrzeuge mit Energie. Batterien stellen in Notfällen, etwa bei Stromausfall, Energie bereit, unterstützen medizinische Geräte oder Anwendungen in der Raumfahrt. Je besser Batterien werden, desto mehr Aufgaben übernehmen sie in unserem Alltag.

Zentrale Kenngrößen der Akkumulatoren sind Kapazität und Energiedichte, Leistung, Gewicht, Ladezeit und Ladezyklen sowie chemische Zusammensetzung und Produktionsparameter. Im Batterieentwicklungslabor Battery Lab arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ILT daran, die spezifischen Eigenschaften zu optimieren. Sie entwickeln leistungsstarke, sichere und kosteneffektive Batterien, die den Anforderungen der jeweiligen Aufgaben bestmöglich entsprechen.

Dem Fraunhofer-Team stehen auf knapp 140 qm modernste Technologie sowie verschiedenste Anlagen für die laserbasierte Batteriefertigung zur Verfügung, um neue Materialien und Verfahren zu erforschen. Elektrische und mechanische Teststände lassen eine direkte Bewertung der Laserprozesse zu, sowohl von heute üblichen Lithium-Ionen-Batterien mit flüssigen Elektrolyten als auch zukünftigen Festkörper-Akkumulatoren.

Das Schneiden und Schweißen von Batteriekomponenten sind weitere Anwendungsmöglichkeiten der Lasertechnik, die im Battery Lab getestet werden, um konventionelle Produktionsprozesse zu ersetzen. Das Battery Lab verfügt neben einer zentralen Rolle-zu-Rolle-Beschichtungsanlage mit laserbasierten Trocknungs- und Strukturierungsmodulen über ein mit Argon betriebenes GloveBox-System, in das die vakuumbasierte PVD-Beschichtungstechnologie sowie ein Hochtemperaturofen integriert sind. So lassen sich luftempfindliche Festkörperzellmaterialien beschichten und anschließend zu Testzellen verbauen. Das Fraunhofer-Team arbeitet an allen relevanten Laserprozessen von der Elektrodenherstellung bis zum Batteriemodul und -pack.

Standortinitiativen – Battery und Hydrogen Lab

Die Energiewende erfordert nachhaltige Energie aus Photovoltaik und Windkraft, wofür Energiespeicher wie Batterien und grüner Wasserstoff benötigt werden. Das Fraunhofer ILT hat hierfür am Standort Aachen das Battery Lab und das Hydrogen Lab etabliert.

Hydrogen Lab – die Zukunft gehört dem grünen Wasserstoff

Wasserstoff ist ein vielseitiger Energieträger, der zwar energieintensiv erzeugt werden muss, dafür aber eine Reihe von Vorteilen gegenüber Batterien besitzt: Grüner Wasserstoff kann lange gespeichert werden und die vorhandene Erdgas-Infrastruktur nutzen. Es lassen sich damit viele Industrieprozesse betreiben, die aktuell noch Erdgas, Erdöl oder Kohle verwenden. Mit der Rückverstromung und der Einspeisung in das Stromnetz werden wasserstoffbetriebene Spitzenlastkraftwerke zukünftig die Versorgungssicherheit gewährleisten. Doch noch ist der nachhaltige Wasserstoff zu teuer und wir brauchen sehr viel davon.

Mit dem Bau eines eigenen Wasserstofflabors, dem Hydrogen Lab, hat das Fraunhofer ILT die bestmöglichen Rahmenbedingungen geschaffen, um die Brennstoffzelle als Herzstück der Wasserstofftechnologie zu perfektionieren – von den Grundlagen bis zur Serienreife.

Die breit gefächerte technische Ausstattung des Hydrogen Lab eröffnet vielfältige Möglichkeiten für die nahtlose interdisziplinäre Zusammenarbeit. Für öffentliche Projekte und Industriekooperationen bietet sich hier

ein einzigartiger Raum, um Synergieeffekte auf höchstem wissenschaftlichem und technologischem Niveau zu erzielen.

Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler forschen in verschiedenen Projekten daran, die kostenoptimierte und bedarfsorientierte Serienproduktion von Brennstoffzellen voranzutreiben. Sie ermöglichen die Erschließung der technologischen und wirtschaftlichen Potenziale und beschleunigen den strukturierten Rollout in Industrie und Gesellschaft.

Im Hydrogen Lab stehen auf 300 qm eine große Bandbreite an lasertechnischen Versuchsanlagen für unterschiedliche Dimensionen und Designs zur Verfügung. Mit den Anlagen werden die laserbezogenen Fertigungsschritte entlang der Prozesskette zur Herstellung von metallischen Bipolarplatten abgedeckt, die in Brennstoffzellen zum Einsatz kommen.

Von der laserbasierten Herstellung von Umformwerkzeugen über die Oberflächen-funktionalisierung bis zum Schneiden und Schweißen lassen sich so einzelne Prozesse aber auch Zusammenhänge und Wechselwirkungen in der Prozesskette untersuchen. Mit den vorhandenen Prüfständen können die lasergefertigten Komponenten auf ihre Wasserstoffdichtheit und Effizienz geprüft werden.

»Die Bündelung relevanter Anlagentechnik im Hydrogen Lab beschleunigt die Entwicklung.«

Dr. Alexander Olowinsky

Kontakt

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

Netzwerke und Verbände

Das Fraunhofer ILT pflegt Kooperationen mit in- und ausländischen Forschungszentren, Universitäten sowie Unternehmen und hält enge Kontakte zu Verbänden, Innovationsclustern, IHKs, Prüfanstalten, Normenausschüssen und Ministerien. Über seine Netzwerke erweitert das Institut das Know-how der eigenen Branche und trägt so maßgeblich zur Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik bei.

Regionale Netzwerke

Auf lokaler Ebene kooperiert das Fraunhofer ILT mit der RWTH Aachen University, der FH 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. Die LASER.region.AACHEN vernetzt über 50 Partner aus Industrie, Wissenschaft, Bildung und Fördereinrichtungen. Dabei werden neue Verfahren und Produkte, gemeinsame Technologieplattformen, Dienstleistungs- sowie neue Aus- und Weiterbildungskonzepte geschaffen. Das Fraunhofer ILT unterstützt aktiv die LASER.region.AACHEN als Innovationspartner. Der Fachverband IVAM e.V. ermöglicht dem Institut den Zugang zu zahlreichen Experten der Mikrotechnik. Im Landescluster NMWP.NRW engagiert sich das Fraunhofer ILT in den Bereichen Nanotechnologie, Photonik, Mikrosystemtechnik, Aerospace und Quantentechnologie. Gerade in dem neuen Gebiet der Quantentechnologie bringt das Fraunhofer ILT seine Photonik-Kompetenz ein. Die beiden federführenden Ministerien für Kultur und Wissenschaft (MKW) und für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie (MWIKE) haben die Koordinierungsstelle QT.NMWP.NRW und das Forschungszentrum

Jülich mit der Durchführung eines Road-mapping-Prozesses für NRW im QT-Bereich beauftragt. Die Koordination übernimmt das Fraunhofer ILT.

Nationale Kooperationen

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die größte Organisation für anwendungsorientierte Forschung in Europa. Das Fraunhofer ILT bildet zusammen mit über 70 Forschungseinrichtungen das Rückgrad der Gesellschaft in unterschiedlichen Themengebieten von industrieller und gesellschaftlicher Relevanz. Die FuE-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. und in verschiedenen Industrieverbänden wie DVS, SPECTARIS, VDE oder VDMA.

Das Fraunhofer ILT engagiert sich aktiv in nationalen Normenausschüssen wie dem DIN NWT und in Initiativen wie dem BMBF-Forschungscampus Digital Photonic Production oder dem Programm »go-cluster« des BMWK. 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.



1 AKL e.V.-Treffen während der LASER 2023 in München,

© Arbeitskreis Lasertechnik e.V..

2 AKL e.V.-Veranstaltung mit

Besuch der Photon Laser Manufacturing GmbH in Berlin,

© Arbeitskreis Lasertechnik e.V..



International vernetzt

Mit ausländischen Firmen und Niederlassungen deutscher Firmen im Ausland führt das Fraunhofer ILT sowohl bilaterale Projekte als auch Verbundprojekte durch. Darüber hinaus beteiligt sich das Fraunhofer ILT an internationalen Großprojekten wie beispielsweise in der Klimaforschung bei der deutsch-französischen Raumfahrtmission MERLIN oder an der Gestaltung von Forschungsprogrammen wie bei der Europäischen Kommission über die Technologieplattform Photonics21.

Auch bei international relevanten Themen wie der Kernfusionsforschung koordiniert das Fraunhofer ILT Beratergremien für Ministerien und geht strategische Partnerschaften wie mit dem Lawrence Livermore National Laboratory LLNL ein. Internationale Entwicklungen begleiten die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts durch ihr Engagement in ausgewählten Verbänden und Netzwerken wie dem European Photonic Industry Consortium EPIC auf europäischer Ebene oder der OPTICA und dem Laser Institute of America LIA auf transatlantischer Ebene.

Fraunhofer und QuTech bringen das Quanteninternet auf den Weg

In einer langfristig angelegten Partnerschaft arbeiten die Fraunhofer-Gesellschaft und das QuTech – eine Kollaboration der TU Delft und der Niederländischen Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung TNO – bei der Entwicklung des Quanteninternets eng zusammen. In diesem Rahmen fördert das Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE) einen Quanteninternetknoten in Aachen, der vom Fraunhofer ILT in enger Kooperation mit QuTech aufgebaut und zum Test photonischer Systemlösungen genutzt wird.

www.ilt.fraunhofer.de/de/technologiefelder/quantentechnologie.html

Quantum Internet Alliance

In einem multidisziplinären Ansatz vereint die Quantum Internet Alliance Kompetenzen aus Industrie, Forschung und Bildung aus neun verschiedenen europäischen Ländern. Auf der Basis von ersten erfolgreichen Entwicklungen beabsichtigt das Netzwerk die Realisierung eines globalen Quanteninternets made in Europe. Das Fraunhofer ILT bringt seine photonische Kompetenz aktiv in das Netzwerk ein.

www.quantuminternetalliance.org

Eröffnungsrede von Dr. Lutz Aschke auf der Photonics21-Mitgliederversammlung im April 2023 in Brüssel, © Photonics21 / Iris Haidau (Babylonia).

Kontakt

Dipl.-Phys. Axel Bauer
Telefon +49 241 89806-194
axel.bauer@ilt.fraunhofer.de

Nachwuchsförderung

Gut qualifizierter wissenschaftlicher Nachwuchs ist die Voraussetzung, um Forschungskompetenz und Innovationsfähigkeit nachhaltig zu sichern.

Girls'Day – Mädchenzukunftstag am 27.4.2023

Am 27. April 2023 öffneten die drei Fraunhofer-Institute in Aachen wieder interessierten Mädchen ab der 5. bis zur 7. Klasse ihre Türen. Die Schülerinnen konnten einen ganzen Tag lang praktische Einblicke und Mitmacherfahrung in männerdominierten Berufsfeldern erlangen. Neben der kurzen Vorstellung der Institute und den Führungen durch die Laserlabore und Produktionshallen konnten die Mädchen auch selbst Experimente durchführen und ihr eigenes Hologramm erstellen oder DNA aus Tabakpflanzen extrahieren.

Schüler:innenuni Maschinenbau vom 10.–14.7.2023

Zur Schüler:innenuni Maschinenbau kamen wieder zahlreiche nationale und internationale Schülerinnen und Schüler ab Jahrgangsstufe 10 nach Aachen, um die Schwerpunkte und Abläufe eines Studiums an der RWTH Aachen University kennenzulernen. Durch Besuche in den verschiedenen Instituten der Fachschaft Maschinenbau erhielten die Teilnehmenden Einblicke in die Bereiche Produktions-, Verfahrens-, Kunststoff-, Textil- und Kraftfahrzeugtechnik sowie Optik und Lasertechnik. Am 14.7.2023 wurden die Jugendlichen von Mitarbeitenden des Fraunhofer ILT sowie der Lehrstühle LLT und TOS in die Welt der Lasertechnik und optischen Systeme eingeführt.

OPEN LASER LAB am 27.9.2023

Am 27.9.2023 gewährten der Forschungscampus DPP und das Fraunhofer ILT in Kooperation mit den Lehrstühlen TOS, LLT und DAP zum zweiten Mal zahlreichen interessierten Studierenden einen exklusiven Einblick in ihre Labore. Das OPEN LASER LAB bot eine umfassende Präsentation der neuesten Entwicklungen und Anwendungen in der Welt der Lasertechnik. Die Führung durch die Labore erstreckte sich über drei Gebäude und beleuchtete sämtliche Themengebiete der Lasertechnik, von grundlegenden Prinzipien bis hin zu hochspezialisierten Anwendungen. Beim Networking des OPEN LASER LAB konnten die Studierenden potenzielle Perspektiven für zukünftige Projekte und Karrieremöglichkeiten direkt mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ausloten – eine großartige Chance für die Studierenden in direkten Kontakt mit der Forschung/Universität und der Industrie zu kommen.

»Türen auf mit der Maus« am 3.10.2023

Mitarbeitende des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls LLT der RWTH Aachen University empfingen am Maus-Türöffner-Tag 66 wissbegierige Kinder und tauchten mit ihnen in die Welt der Lasertechnik ein. Nach einer Vorlesung zum Thema »Wie funktioniert eigentlich ein Laser?«, konnten sie bei Live-Vorführungen



Networking beim Open LASER LAB,
© Forschungscampus DPP Aachen.



1 Teilnehmende der Schüler:innenuni Maschinenbau.
2 Angehende Forscherinnen beim Fraunhofer-Wissenschaftscampus WiCa in Aachen.

in den Laboren an verschiedenen Stationen selber mitwirken und eine »Maus-Holzbox« zusammenstecken, das Metallschneiden von Maus, Elefant und Ente erleben sowie das Laserstrahlschweißen von Diamanten auf ein Blech mit ihren Namen verfolgen und zum Schluss noch eine »Maus aus Metallpulver« als Erinnerung mitnehmen.

bonding Firmenkontaktmesse am 8.11.2023

Unter dem Motto »die Bonding an der RWTH Aachen. Im Affenzahn zum Traumberuf!« präsentierten sich Fraunhofer IPT und ILT mit einem gemeinsamen Messestand auf der Recruitingmesse, um insbesondere Studierende und Absolventen aus den Ingenieur-, Wirtschafts- und Naturwissenschaften umfassend über Einstiegs- und Karrieremöglichkeiten zu informieren. Besonders hervorzuheben war das rege Interesse von MINT-Studentinnen, die noch vor Ort zum Fraunhofer-Wissenschaftscampus zur Förderung von weiblichen Nachwuchskräften eingeladen wurden.

Absolventenkongress Köln vom 23.–24.11.2023

Das Fraunhofer ILT war auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand vertreten und hat Absolventen umfassend über Masterarbeiten und Promotionen sowie den Fraunhofer-Wissenschaftscampus informiert.

Fraunhofer-Wissenschaftscampus WiCa vom 29.–30.11.2023 in Aachen

Insgesamt 38 MINT-Studentinnen und -Absolventinnen folgten der Einladung von Fraunhofer-Aachen und informierten sich über die spannenden Forschungsfelder und Berufsmöglichkeiten am Standort Aachen. Sie erhielten einen Blick hinter die Kulissen der Aachener Fraunhofer-Institute ILT, IPT und IME und diskutierten gemeinsam Ideen für die Forschung von morgen. In einem Workshop wurden Strategien für eine nachhaltige Wertschöpfung in der industriellen Produktion entwickelt. Weitere Highlights der Veranstaltung waren individuelle Institutsführungen, eine professionelle Career-Session, Job-Speed-Datings und zahlreiche persönliche Gespräche mit den Aachener Forscherinnen.

RWTH Digital Career Day für Frauen am 5.12.2023

Zum Jahresende hatten 30 Studentinnen und Doktorandinnen der RWTH Aachen University die Möglichkeit, sich online beim »Digital Career Day« über potenzielle Arbeitgeber zu informieren. Zwei Wissenschaftlerinnen der Abteilung Laser und Optische Systeme stellten das Fraunhofer ILT im sogenannten Company Pitch vor. In der anschließenden Q&A-Session in kleiner Runde wurden noch persönliche Fragen beantwortet, Einblicke in den Arbeitsalltag gegeben und die verschiedenen Einstiegsmöglichkeiten präsentiert.

Arbeiten am Fraunhofer ILT

www.ilt.fraunhofer.de/de/stellen/arbeitenamfraunhoferilt.html



Fraunhofer ILT
auf der LASER
WoP 2023 in
München mit
1300 Ausstellern
aus 40 Ländern
und 40 000
Fachbesuchern
aus 70 Ländern.



Messen

Das Fraunhofer ILT ist regelmäßig mit aktuellen Forschungsthemen auf Messen im In- und Ausland vertreten. An der Leitmesse LASER World of PHOTONICS in München beteiligen sich alle Abteilungen des Fraunhofer ILT.

28.1.–2.2.2023, San Francisco, USA **SPIE Photonics West**

Das Fraunhofer ILT war auf dem Gemeinschaftsstand der Bundesrepublik Deutschland vertreten. Zudem gab es 18 Beiträge von Expertinnen und Experten des Fraunhofer ILT und der RWTH Aachen University auf der messebegleitenden Konferenz.

17.–21.4.2023, Hannover **Hannover Messe**

Auf der Hannover Messe 2023 präsentierte das Fraunhofer ILT auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand u. a. Lasertechnologien für die Batteriezellfertigung sowie erstmalig das am Fraunhofer ILT entwickelte neue Kombinationsverfahren »Simultaneous Machining and Coating (SMaC)«.

19.–21.4.2023, Yokohama, Japan **OPIE'23**

Zum ersten Mal war das Fraunhofer ILT als Mitaussteller auf dem Gemeinschaftsstand der Bundesrepublik Deutschland bei der OPTICS & PHOTONICS International Exhibition in Yokohama vertreten. Die Gruppen Optikdesign und Diodenlaser sowie Polieren konnten auf der internationalen Messe mit ihrem umfassenden Know-how überzeugen.

23.–25.5.2023, Stuttgart **The Battery Show Europe**

Das Fraunhofer ILT zeigte im Rahmen des Fraunhofer-Gemeinschaftsstands der Allianz Batterien Exponate zu den Themen »Direktes Lasersintern von Festelektrolyt und Mischkathodenschicht auf Stahl« und »Kontinuierliche Rolle-zu-Rolle-Elektrodenherstellung«.

14.–16.6.2023, München **ees Europe**

Auf Europas größter internationaler Fachmesse für Batterien und Energiespeichersysteme demonstrierte das Fraunhofer ILT, vertreten durch die Gruppen Fügen von Metallen und Mikrofügen, verschiedene innovative Laseranwendungen für die Elektromobilität und die Energieforschung.

27.–30.6.2023, München **LASER World of PHOTONICS & LASER World of QUANTUM**

Das Fraunhofer ILT präsentierte sich auf den Fraunhofer-Gemeinschaftsständen und überzeugte hier u. a. mit Highlights wie den am Institut entwickelten LIDAR-Systemen und deren Anwendung für Industrie und Klimaforschung. Zusätzlich waren das Fraunhofer ILT und die assoziierten Lehrstühle LLT und TOS der RWTH Aachen University an zahlreichen Foren und Panels des World of PHOTONICS Congress beteiligt.

7.–10.11.2023, Frankfurt am Main **formnext**

Das Fraunhofer ILT präsentierte auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand aktuelle Innovationen im Bereich Laser Powder Bed Fusion, Laserauftragschweißen, Dünnschichtverfahren für LPBF und Laserpolieren von Metallen und Kunststoffen.

13.–16.11.2023, Düsseldorf **COMPAMED**

Auf der COMPAMED präsentierte sich das Fraunhofer ILT auf dem IVAM-Gemeinschaftsstand und zeigte Exponate aus den Bereichen Lasermedizinische Technik und Bioanalytik sowie Fügen von Kunststoffen und transparenten Materialien.

Tagungen

Auch in 2023 hat das Fraunhofer ILT wieder hochwertige internationale Tagungen mit Referenten aus Industrie und Forschung zu aktuellen Themen ausgerichtet. Im Fokus stehen dabei der Austausch zwischen Technologielieferanten und -abnehmern sowie die Schnittstelle zwischen Forschung und industrieller Praxis.

24.–25.1.2023
LSE'23 – Lasersymposium
Elektromobilität

Referenten aus Industrie und Forschung berichteten auf dem Lasersymposium Elektromobilität am Fraunhofer ILT über innovative Anwendungen von Lasern in der Elektrofahrzeugproduktion, Batterieproduktion und Prozessüberwachung von Laserfertigungsverfahren. Für die rund 60 Teilnehmenden war eines der Highlights der Vortrag über das Batteriekonzept eines finnischen Schneemobilherstellers.

26.–27.4.2023
7. UKP-Workshop Ultrafast
Laser Technology

Der UKP-Workshop 2023 bot eine umfassende Plattform für Forschende und Industrieexpertinnen und -experten, um neueste Fortschritte im Bereich der Ultrakurzpulslaser zu diskutieren. Neben den Kernthemen zur Entwicklung der Ultrakurzpulslasertechnologie konnten die Teilnehmenden auch Beiträgen zu Zukunftsmärkten und Anwendungen aus der Mikroelektronik und der Batterie- und Wasserstofftechnik ihre Aufmerksamkeit schenken.

19.–20.9.2023
LKH₂ – Laser Colloquium Hydrogen
2023

Die Verwendung von Wasserstoff durch Brennstoffzellen steht – im Zuge der globalen Herausforderungen des Klimawandels und der damit einhergehenden Energiewende – im Fokus zukunftsorientierter Forschung und Entwicklung. Auf der LKH₂ am Forschungscampus Digital Photonic Production DPP der RWTH Aachen University erfuhren rund 70 Fachleute, wie laserbasierte Wasserstofftechnologien genau solchen Herausforderungen entgegentreten können. Die Laborführungen am Fraunhofer ILT und dem benachbarten Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT boten einen Einblick in die Entwicklung und die tatsächliche Anwendung der laserbasierten Wasserstofftechnologien. Das Denken in Prozessketten hat dabei besondere Relevanz. Der Austausch der Teilnehmenden erfolgte in zahlreichen Präsentationen, Diskussionen und Networking-Gelegenheiten.

19.10.2023
REVaMP Final Exploitation Workshop

Der vom VDEh Betriebsforschungsinstitut GmbH organisierte hybride Workshop fand im Fraunhofer ILT und online über MS Teams statt. Das Fraunhofer ILT stellte den für das Projekt REVaMP entwickelten LIBS-Sensor vor. Dieser wird zur Analyse von Metallschrotten



1



2

für das Recycling genutzt. Ferner wurden Sensoren, Anlagen und Softwaretools zur Prozesssteuerung vorgestellt, die im Rahmen des REVaMP-Projekts zur Charakterisierung der Einsatzstoffe und zur Optimierung der Einschmelzprozesse entwickelt wurden.

21.–25.10.2023 EUV Source Workshop 2023

Zum Ersten Mal begrüßte Aachen die internationale Community der EUV-Lieferanten und Endanwender im Technologiezentrum Aachen zum EUV Source Workshop 2023. Das Fraunhofer ILT und der Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS der RWTH Aachen University durften den jährlichen Workshop der EUV Litho, Inc. und EUV-IUCC sowohl durch die Organisation vor Ort als auch mit Präsentationen, Postern und Showcases unterstützen. Der Workshop bot Forschenden, Lieferanten und Endanwendern im Bereich der EUV- und Röntgenlichtquellen ein Forum, um ihre Arbeit vorzustellen sowie die Möglichkeit, ein breites Spektrum an potenziellen Anwendungen zu diskutieren. Im Rahmen des Workshops konnte Sophia Schröder vom Lehrstuhl TOS mit ihrem Postervortrag überzeugen und den Poster Session Award für sich entscheiden.

23.–24.11.2023 AI for Laser Technology Conference

KI in der Lasertechnologie eröffnet neue Möglichkeiten und treibt den Fortschritt in verschiedenen Branchen voran. Auf der 3. AI for Laser Technology Conference erfuhren die rund 60 Expertinnen und Experten aus Forschung und Industrie mehr über die treibende Entwicklung der KI in der heutigen Industrie. Beiträge zu Themen wie neue Methoden und Algorithmen zur Prozesssteuerung, Bild- und Datenanalyse sowie adaptive Verfahren für selbstlernende Maschinen und Messtechnik zogen sich wie ein roter Faden durch die Veranstaltung.

1 Vortrag von Dr. André Häusler auf der LSE'23.

2 Gut besucht: 7. UKP-Workshop im »DAS LIEBIG« in Aachen.

3 Teilnehmende des EUV Source Workshops 2023 im Technologiezentrum Aachen.



3



Patente

Patenterteilungen Deutschland

- **DE 10 2022 110 651**
Kompaktes optisches Spektrometer
- **DE 10 2022 204 685**
Optik, Vorrichtung und Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks
- **DE 10 2022 101 043**
Verfahren und Einrichtung zur Reduzierung der Auswirkungen thermischer Linseneffekte bei der Lasermaterialbearbeitung
- **DE 10 2021 108 009 B4**
Multi-Wellenlängen UV-Strahlungsquelle sowie UV-Sonde, insbesondere für die Fluoreszenzanalyse
- **DE 10 2019 207 421**
Verfahren und Vorrichtung zum Glätten einer Oberfläche eines Bauteils durch Bearbeitung mit energetischer Strahlung
- **DE 10 2019 202 222**
Ablenkspiegel aus Diamant sowie Verfahren zur Herstellung
- **DE 10 2016 209 065**
Verfahren und Vorrichtung zur Prozessüberwachung bei der generativen Fertigung von Bauteilen
- **DE 10 2008 032 532**
Verfahren und Vorrichtung zum präparierenden Lasermaterialabtrag
- **50 2021 001 342.8**
Anlage und Verfahren zur teil- oder vollautomatisierten Demontage von Geräten
- **50 2020 004 517.3**
Verfahren zum Bohren oder Schneiden durch Abtragen von schmelzfähigem oder verdampfungsfähigem Material eines Werkstücks
- **50 2020 006 042.3**
Verfahren zur Terminierung optischer Strahlung sowie dafür ausgebildete optische Strahlfalle
- **50 2017 014 352.0**
Verfahren und Vorrichtung zur Bearbeitung einer Werkstoffschicht mit energetischer Strahlung

Patenterteilungen Europa

- **EP 3858717**
Anlage und Verfahren zur teil- oder vollautomatisierten Demontage von Geräten
- **EP 3986661**
Verfahren zum Bohren oder Schneiden durch Abtragen von schmelzfähigem oder verdampfungsfähigem Material eines Werkstücks
- **EP 4031319**
Werkstoffzuführungsvorrichtung
- **EP 3953099**
Verfahren zur Terminierung optischer Strahlung sowie dafür ausgebildete optische Strahlfalle
- **EP 3615680**
Verfahren und Vorrichtung zur Bereitstellung einer eine gewünschte Zielprotein-Expression aufweisenden Zelllinie
- **EP 3538349**
Verfahren und Vorrichtung zur Bearbeitung einer Werkstoffschicht mit energetischer Strahlung

Patenterteilungen USA

- **US 11 845 376**
Radar- und Lichtausstrahlungsanordnung für Fahrzeuge zum Ausstrahlen von Licht und Radarstrahlung sowie Verfahren und Verwendung

Veröffentlichungen und Vorträge

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

Dissertationen

- **23.2.2023 – Karsten Braun (Dr.-Ing.)**
Laserpolieren von additiv gefertigten Kunststoffbauteilen
- **10.3.2023 – Oskar Alexander Hofmann (Dr.-Ing.)**
Hochdynamische Multistrahls- und Strahlformungssysteme für die Werkstoffbearbeitung mit Laserstrahlung
- **21.3.2023 – Jan Bremer (Dr.-Ing.)**
Verwendung von Industrierobotern für das Laserauftragschweißen
- **25.4.2023 – Sarah Klein (Dr. rer. nat.)**
Faser-Bragg-Gitter für die Frequenzstabilisierung multimodiger Hochleistungslaserdioden und -faserlaser
- **3.5.2023 – Nam-Phong Andrej Nguyen (Dr.-Ing.)**
Laserdurchstrahlschweißen von transparenten Kunststoffen mit Thulium-Faserlaserstrahlung
- **10.8.2023 – Sören Hollatz (Dr.-Ing.)**
Funktionsorientiertes Laserstrahl-Mikroschweißen von Aluminium-Kupfer-Verbindungen mit örtlicher Leistungsmodulation
- **17.8.2023 – Emil Duong (Dr.-Ing.)**
Laser Powder Bed Fusion Prozessüberwachung mittels Multisensorik
- **18.8.2023 – Jonas Mertin (Dr.-Ing.)**
Laserbasierte Herstellung von Kupferschichten auf Aluminiumoxid-Keramiken für Anwendungen in der Leistungselektronik
- **25.8.2023 – Matthias Brucki (Dr.-Ing.)**
Extremes Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen – prozesstechnologische Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit von Beschichtungen
- **7.9.2023 – Patrick Helmut Bernd Baer (Dr. rer. nat.)**
Erhöhung der durch nichtlineare Effekte verursachten Leistungsgrenzen von Faserlasern durch besondere Fasergeometrien
- **3.11.2023 – Alexander Munk (Dr. rer. nat.)**
Diodengepumpte Alexandritlaser für LIDAR-Messungen
- **10.11.2023 – Marius Dahmen (Dr.-Ing.)**
Laserbasierte Funktionalisierung von partikulären Polyetheretherketon-Beschichtungen auf Aluminiumsubstraten mittels Zwei-Strahl-Ansatz
- **24.11.2023 – Felix Gabriel Fischer (Dr.-Ing.)**
Quality control in Laser Powder Bed Fusion using layerwise image data
- **28.11.2023 – Bernhard Josef Lüttgenau (Dr. rer. nat.)**
Untersuchung zur erzielbaren Auflösung der achromatischen Talbotlithografie mittels teilkohärenter extrem-ultravioletter Strahlung
- **22.12.2023 – Andrei Diatlov (Dr.-Ing.)**
Untersuchung der Einfluss-Wirk-Zusammenhänge beim Powder Bed Fusion of Metal with Laser Beam von Einzelspuren, Schichten und Volumenkörpern

Veröffentlichungen und Vorträge

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

Zuwendungsgeber

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



Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



DFG Deutsche
Forschungsgemeinschaft



EUROPÄISCHE UNION



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Jahresbericht 2023 online



Impressum

Redaktion

Dipl.-Phys. Axel Bauer (verantw.)
Stefanie Flock, Martin Golms M.A.,
Petra Nolis M.A., Peter Trechow M.A.

Bildredaktion

Dipl.-Des. Andrea Croll

Ansprechpartner

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

Gestaltung und Produktion

Dipl.-Des. Andrea Croll

Bildnachweis

Sofern nicht anders in der jeweiligen
Bildunterschrift vermerkt, lautet die
Bildquelle: © Fraunhofer ILT, Aachen.

Druck

Press-Finish
www.press-finish.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 2024.

Bleiben Sie in Kontakt

Besuchen Sie unsere Homepage:
www.ilt.fraunhofer.de

Folgen Sie uns auf Social Media:

