



Forschen für eine
nachhaltige Zukunft

Jahresbericht 2022

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,

für das Fraunhofer ILT war 2022 ein Jahr, in dem wir als #OneTeam unsere organisatorischen Strukturen modernisiert und neu auf die Marktbedürfnisse ausgerichtet haben. Die im letzten Jahr gestartete Neuorientierung unserer Vision und Mission und die daraus abgeleitete interne Umstrukturierung wurden im Hinblick auf eine programmatische Marktausrichtung und fokussierte Technologiekompetenz abgeschlossen. Damit ist das Fraunhofer ILT sicher für die Zukunft aufgestellt.

Nachhaltige und klimafreundliche Technologien stehen in der Produktion zunehmend im Vordergrund und gerade hier kann der Laser mit hoher Präzision, Effizienz und Ressourcenschonung gegenüber herkömmlichen Verfahren einen echten Mehrwert schaffen. Ein Schwerpunkt unserer Entwicklungsthemen lag somit z. B. auf der automatisierten Regelung von Laserauftragsprozessen mithilfe von Künstlicher Intelligenz (KI) in einer deutsch-kanadischen Kooperation. Mit einer neuen Software zur Prozesssteuerung wird das Verfahren erheblich robuster. Das Thema KI stand auch bei unserem 13. »International Laser Technology Congress – AKL'22« im Fokus. Deep Learning, Cloud Computing und Virtual Commissioning in Verbindung mit Lasertechnik – drei von vielen neuen Themen auf dem AKL'22, die den Wandel des Einsatzes der Lasertechnik widerspiegeln. Anhand von zahlreichen Anwendungsbeispielen konnten die rund 520 Teilnehmenden Anregungen für eigene Weiterentwicklungen sammeln und sich intensiv über die neuesten Trends der Lasertechnik informieren. Die Resonanz war herausragend.

Auf der Fachmesse LASER World of PHOTONICS 2022 präsentierte das Fraunhofer ILT neue Lasersysteme, die zur Erforschung der Erdatmosphäre eingesetzt werden. In der deutsch-französischen Klimamission MERLIN – Methane Remote Sensing LIDAR Mission – wird ein Kleinsatellit



für mindestens drei Jahre das Treibhausgas Methan in der Erdatmosphäre mit Hilfe des am Fraunhofer ILT entwickelten weltalltauglichen Lasers vermessen. Mit photonischem Know-how bringen wir uns auch in das neue Feld der Quantentechnologie ein. Die Fraunhofer-Gesellschaft und das niederländische Forschungszentrum QuTech schlossen unter Führung des Fraunhofer ILT einen MoU-Vertrag ab, um innerhalb langfristiger Kooperationen im Bereich Quantennetzwerke gemeinsam zu wirken. Vorab erzielten das Fraunhofer ILT und das QuTech bereits einen entscheidenden Erfolg für die Realisierung eines stabilen Quanteninternets: einen Quantenfrequenzkonverter mit einem Weltrekord an Rauscharmut.

Auch in der klassischen Produktionstechnik haben wir in 2022 wieder zahlreiche Innovationen vorangetrieben. So wurde z. B. der erste lasergefertigte Mikroplastikfilter in einem Klärwerk getestet. Hierfür wurden Millionen Löcher mit nur 10 µm Durchmesser innerhalb kürzester Zeit mit dem am Fraunhofer ILT entwickelten Multistrahlaserverfahren gebohrt. In unserem neu eröffneten Hydrogen Lab steht die Optimierung von Brennstoffzellen für die Wasserstofftechnologie im Mittelpunkt. Mit diesen und weiteren Beispielen aus unserem Jahresbericht erhalten Sie einen Einblick in die zahlreichen Entwicklungen unseres Instituts.

Wenn wir Ihr Interesse geweckt haben, können Sie unsere Expertinnen und Experten gerne direkt ansprechen. 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
Auszeichnungen und Preise	16
Nachwuchsförderung	17
Geschäftsfelder	20
Forschungsergebnisse 2022	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
Zuwendungsgeber	81
Netzwerke und Cluster	82
Fraunhofer-Netzwerke	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
Strategic Mission Initiative Quantentechnik	96
Veranstaltungen und Publikationen	98
Tagungen	98
Messen	100
Patente und Dissertationen	102
Impressum	104



Unser Leitbild

Wir erweitern Wissen und Know-how unserer Branche, initiieren Zukunftstrends und tragen so maßgeblich zur Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik bei.

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.

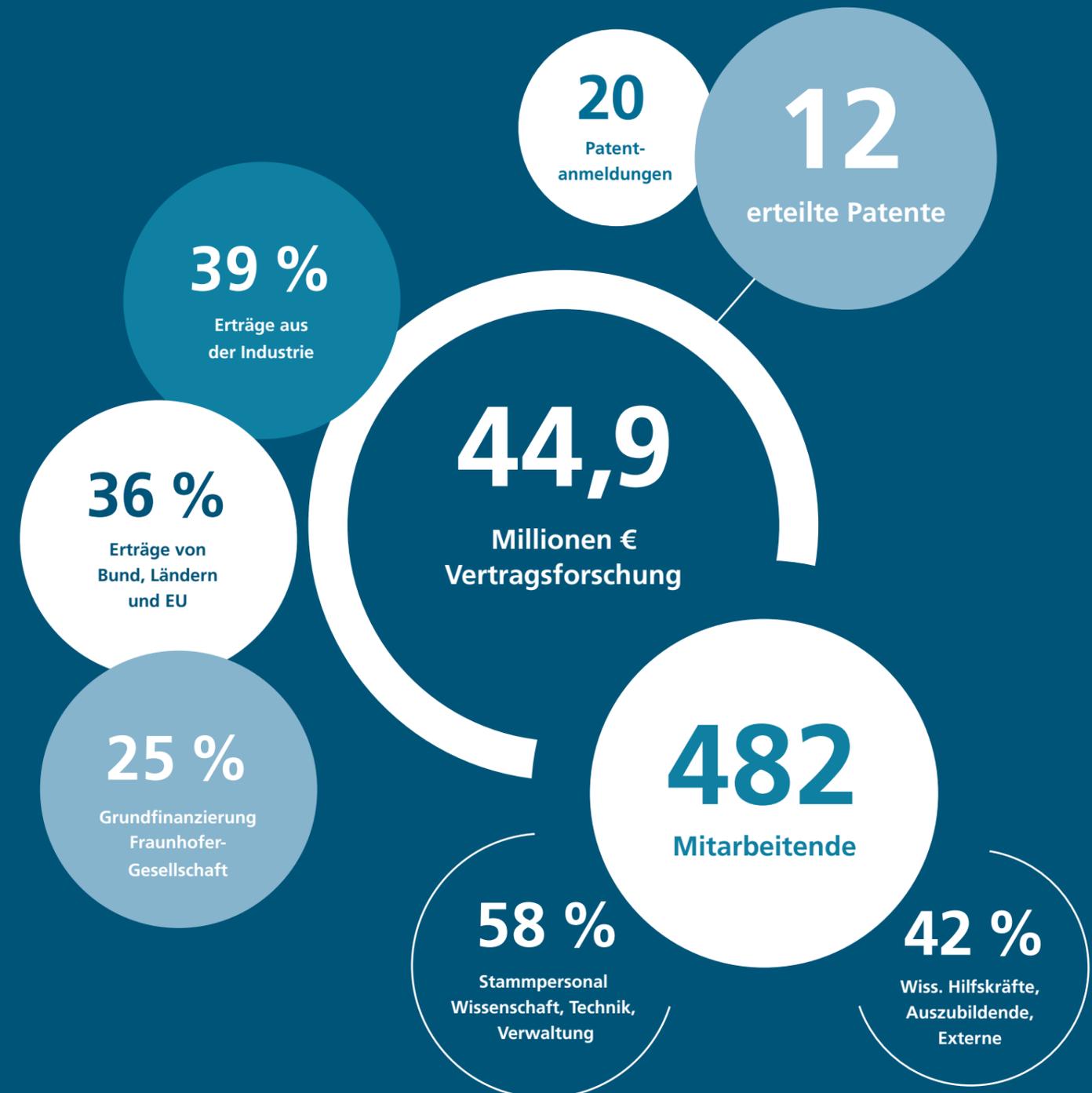
Führungsstil

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 2022



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 Garantien für langfristige Partnerschaften. Die zahlreichen Kunden des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT stammen aus Branchen wie dem Automobil- und Maschinenbau, der Chemie und der Elektrotechnik, dem Flugzeugbau, der Feinmechanik, der Medizintechnik und der Optik. Mit über 480 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.

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, rund 30 800 Mitarbeitenden und 3,0 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 480 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



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

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



Dr. Alexander Drenker
 Qualitätsmanagement
 alexander.drenker@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
 Lasermedizintechnik
 & 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



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



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



Kuratorium – gut beraten!

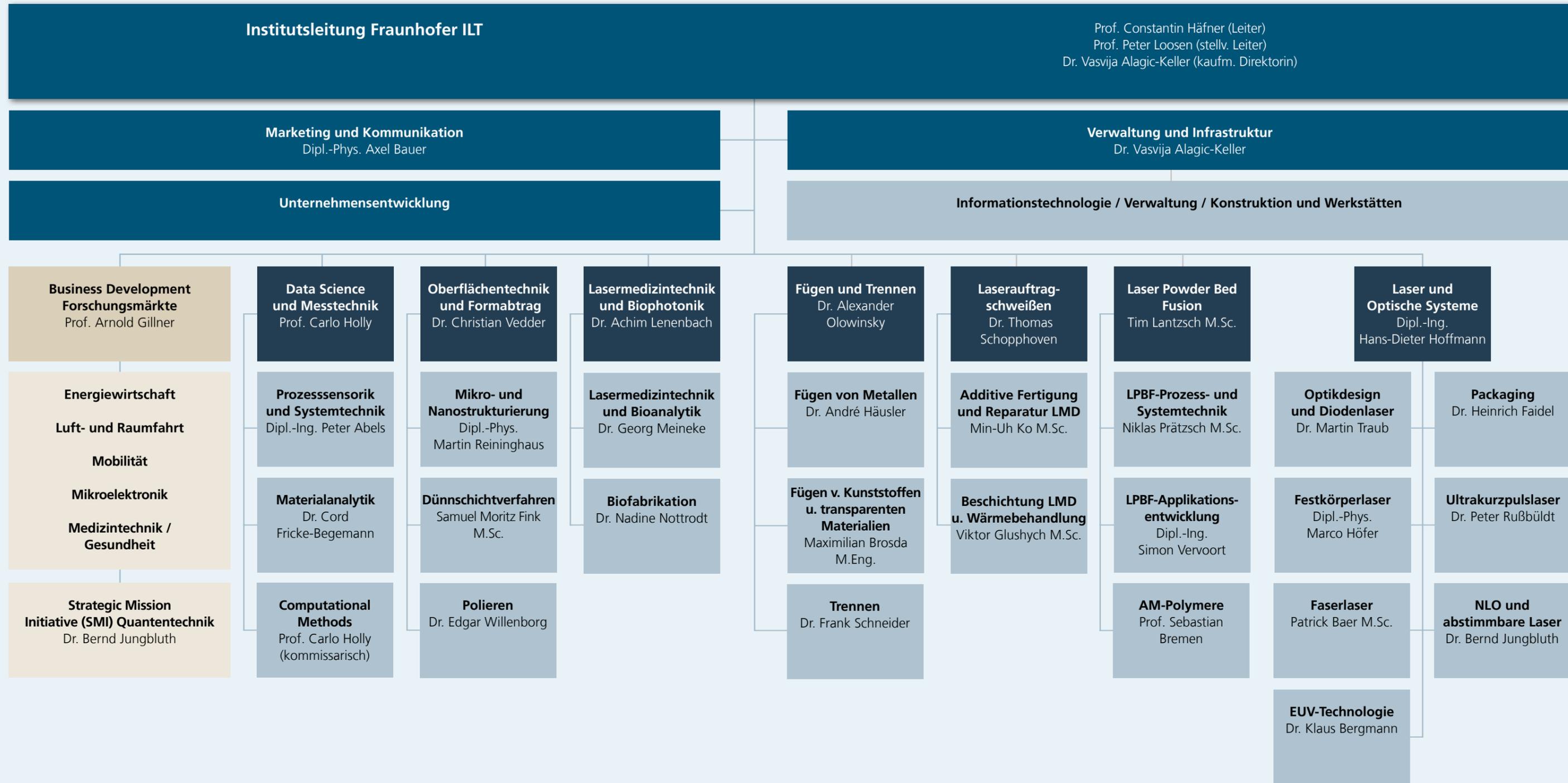
Das Kuratorium berät die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung und fördert die Verbindung zu den forschungsinteressierten Kreisen des Instituts. Dr. Joseph Pankert übernahm in 2022 den Vorsitz des Fraunhofer ILT-Kuratoriums von Carl F. Baasel.

Mitglieder 2022

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

Die 37. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 10. und 11. November 2022 im Fraunhofer ILT in Aachen statt.

Organigramm



Stand: August 2023

Das Fraunhofer ILT in Zahlen

Personal 2022

Anzahl

Stammpersonal	279
Wissenschaftler*innen und Ingenieur*innen	175
Mitarbeiter*innen der technischen Infrastruktur	52
Verwaltungsangestellte	52
Weitere Mitarbeiter*innen	203
Wissenschaftliche Hilfskräfte	188
Externe Mitarbeiter*innen	13
Auszubildende	2
Mitarbeiter*innen am Fraunhofer ILT, gesamt	482

Aufwendungen 2022

Mio €

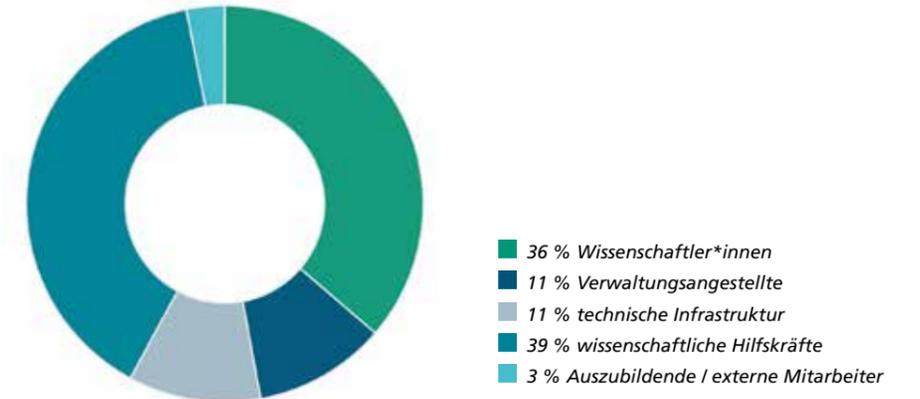
Personalaufwendungen	24,3
Sachaufwendungen	17,1
Aufwendungen Betriebshaushalt	41,4
Investitionen	3,5

Erträge 2022

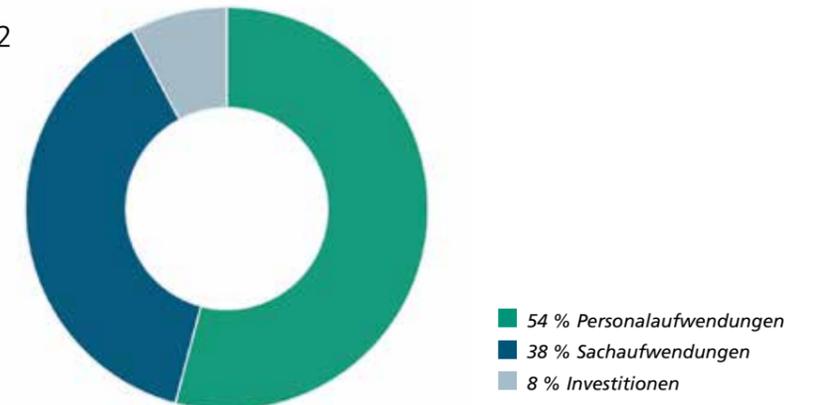
Mio €

Erträge aus der Industrie	17,5
Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	16,0
Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	11,4
Erträge Gesamthaushalt	44,9
Fraunhofer Industrie ρ_{Ind}	42,3 %

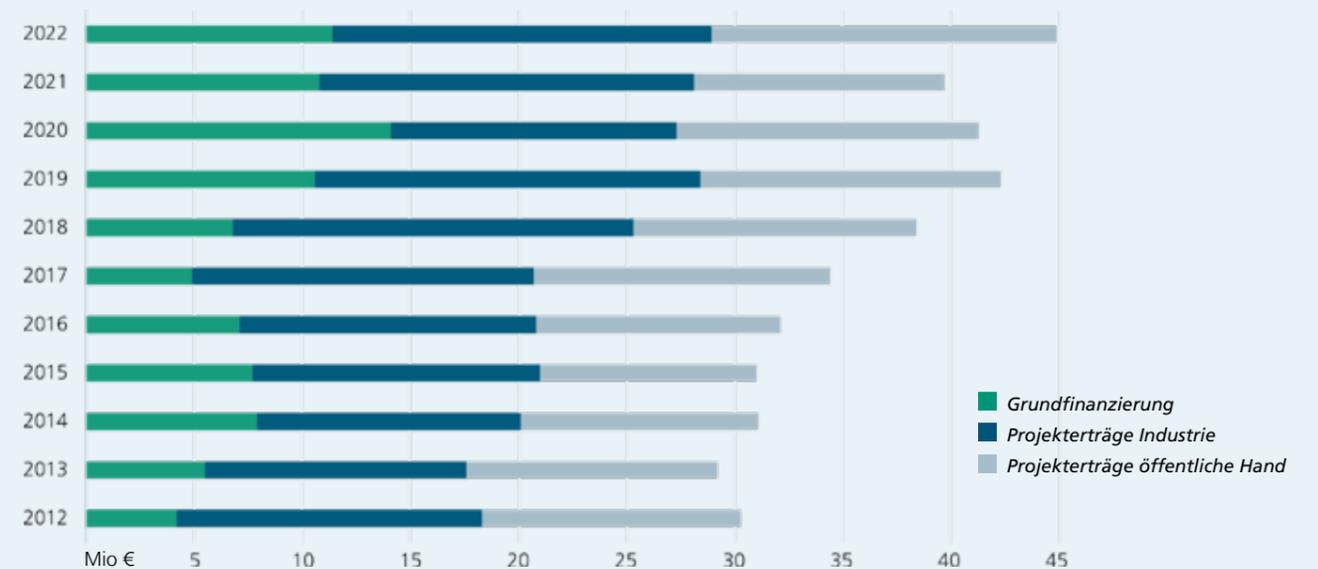
Personal 2022



Aufwendungen 2022



Erträge der letzten 10 Jahre



Auszeichnungen und Preise

Auch in 2022 wurden wieder Mitarbeitende des Fraunhofer ILT ausgezeichnet, so z. B. Prof. Arnold Gillner mit dem Fraunhofer-Taler. Die Auszeichnung wird an Persönlichkeiten verliehen, die sich in besonderer Weise für die Fraunhofer-Gesellschaft verdient gemacht haben.



Dr. Patrick Hoyer (li., Forschungsplanung Fraunhofer-Gesellschaft) verleiht Prof. Arnold Gillner (re.) den Fraunhofer-Taler.

Fraunhofer-Taler für Prof. Arnold Gillner

Prof. Arnold Gillner, Leiter Business Development am Fraunhofer ILT, hat sich in seiner über 35-jährigen Tätigkeit nicht nur durch seine breiten wissenschaftlichen Leistungen in der Lasermaterialbearbeitung, sondern auch durch sein stetiges Engagement und seinen besonderen Einsatz für die Fraunhofer-Gesellschaft verdient gemacht und damit maßgeblich zum Erfolg des Fraunhofer ILT beigetragen.

Bereits 1987 wurde der studierte Physiker für seine Entwicklungen in der Lasermaterialbearbeitung mit dem »Joseph-von-Fraunhofer-Preis« ausgezeichnet, 2012 dann für die Entwicklung eines Kurzpulsasers inklusive neuer Anwendungen mit dem »Innovation Award Laser Technology« des Arbeitskreises Lasertechnik e.V. und 2020 mit dem Wissenschaftspreis des Stifterverbands für Verbundforschung. Dr. Patrick Hoyer überreichte im Namen des Vorstands der Fraunhofer-Gesellschaft Prof. Arnold Gillner den Fraunhofer-Taler während der Kuratoriumssitzung des Fraunhofer ILT am 10. November 2022 in Aachen.

EUV Tech Award der SPIE für Sven Glabisch

Im Nachgang der Konferenz »SPIE Photomask Technology + EUV Lithography« vom 25. bis 29. September 2022 in Monterey, Kalifornien, wurde Sven Glabisch mit dem »EUV Tech Award for Emerging Talent in the Industry« geehrt. Ein Komitee renommierter Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler kürte seinen Beitrag zur Charakterisierung von Linienrauheiten von nanoskaligen, periodischen Gitterstrukturen mittels EUV-Spektrometrie als einen der eindrucksvollsten Beiträge der studentischen Teilnehmenden.

Christina Giesen für das Fraunhofer TALENTA-Programm ausgewählt

Christina Giesen, Mitarbeiterin der Gruppe Lasermedizin und Bioanalytik, hat sich erfolgreich für das TALENTA-Förderprogramm beworben. Bei der TALENTA-Förderung handelt es sich um ein Karriere- und Entwicklungsprogramm von Fraunhofer, welches durch Teilfinanzierung, maßgeschneiderte Qualifizierung und Vernetzung Wissenschaftlerinnen und weiblichen Führungskräften die Möglichkeit bietet, sich persönlich und strategisch weiterzuentwickeln.



1 Laborführung beim Girls'Day, © Fraunhofer IPT.
2 Erfahrungsaustausch bei der Schüleruni Maschinenbau, © Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University.

Nachwuchsförderung

Girls'Day – Mädchenzukunftstag am 28. April 2022

Am 28. April 2022 öffneten die drei Aachener Fraunhofer-Institute erstmals nach der Pandemie wieder interessierten Mädchen von der 5. bis zur 7. Klasse ihre Türen. Die Schülerinnen konnten einen ganzen Tag lang praktische Einblicke und Mitmachererfahrungen in männerdominierten Berufsfeldern sammeln. Neben einer kurzen Vorstellung der Institute sowie Führungen durch die Laserlabore und Produktionshallen konnten die Mädchen auch selbst Experimente durchführen und z. B. ihr eigenes Hologramm erstellen oder DNA aus Tabakpflanzen extrahieren. In einer lockeren Abschlussrunde hatten die Schülerinnen dann noch die Möglichkeit, den Mitarbeitenden Fragen zu stellen.

Schüleruni Maschinenbau vom 25.–29. Juli 2022

2022 fand wieder die Schüleruni Maschinenbau mit Beteiligung des Exzellenzclusters Internet of Production IoP an der RWTH Aachen statt. 21 Schülerinnen und Schüler aus ganz Deutschland verbrachten eine Woche an der RWTH Aachen, um einen Eindruck von dem Studiengang Maschinenbau und seinen vielfältigen Möglichkeiten – auch nach erfolgreichem Abschluss – zu erhalten. Durch den Besuch verschiedener Institute erhielten die Teilnehmenden Einblicke in die Bereiche Produktions-, Verfahrens-, Kunststoff-, Textil- und Kraftfahrzeugtechnik sowie Optik und Lasertechnik. Neben Vorträgen und Institutsführungen konnten die Schülerinnen und Schüler auch selbst experimentieren. Am 29. Juli 2022 bekamen sie dann am Fraunhofer ILT einen Einblick in die Welt der Photonik und konnten erfahren, wie Laserstrahlung funktioniert und wie optische Technologien unseren Alltag beeinflussen.



Teilnehmerinnen des Girls'Day 2022.

Nachwuchsförderung

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



1 »Türen auf mit der Maus«
im Fraunhofer ILT.
2 Teilnehmende des Fraunhofer
ILT-Studierendentags.

Open LASER LAB am 9. Mai 2022

Mehr als einhundert Studierende aus Aachen und Umgebung folgten am 9. Mai 2022 der Einladung des Forschungscampus DPP, der Lehrstühle LLT, TOS und NLD sowie des Fraunhofer ILT, an mehr als fünfzig Stationen hinter die Kulissen der Lasertechnik und ihren vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten zu blicken.



Networking beim Open LASER LAB,
© Forschungscampus DPP Aachen.

Die Studierenden tauschten sich persönlich mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Lehrstühle und Institute aus. So konnten sie in entspannter Atmosphäre zahlreiche Fragen stellen, neue Eindrücke für ihre eigene Laufbahn erhalten und auf diese Weise verschiedene Technologiefelder, die angewandte Forschung und die Nähe zu den Industriepartnern vor Ort kennenlernen. Nach den geführten Touren zu den Themen Quantentechnologie, Additive Manufacturing, Medizintechnik, Laserstrahlentwicklung, Oberflächentechnologie, Laserfügen, Laserschneiden, EUV-Technologie, Optiksyste-me, Digitalisierung und Lasermesstechnik durch insgesamt drei Gebäude hatten die Studierenden schließlich die Gelegenheit, ihre Gespräche und potenzielle Jobchancen im Networking-Teil des Open LASER LAB im Forschungscampus DPP zu vertiefen.

Fraunhofer ILT-Studierendentag am 19. Juli 2022

Im Rahmen eines von der Fachschaft Maschinenbau der RWTH Aachen University organisierten osteuropäischen Austauschs hat das Fraunhofer ILT Studierende zu einem Institutsrundgang mit Kurzvorträgen eingeladen.

»Türen auf mit der Maus« am 3. Oktober 2022

Ganz nach dem diesjährigen Motto »Spannende Verbindungen« empfingen die Mitarbeitenden der Abteilung Fügen und Trennen zum ersten Mal rund 60 wissbegierige Kinder am Maus-Türöffner-Tag und tauchten mit ihnen in die Welt der Lasertechnik ein. Wie kann man mit Licht arbeiten? Was macht man eigentlich mit dem Laser? Wie kommt der Name auf das Türschild aus Metall? Diese und viele weitere spannende Fragen bekamen die Kinder beantwortet und konnten in den Livevorführungen zuschauen, staunen, begreifen und selbst mit anpacken. Neben dem Zusammenstecken einer liebevoll gestalteten »Maus-Holzbox« konnten sie dann an weiteren Stationen ihre Box befüllen und so Schritt für Schritt eine Maus aus Edelstahl aufbauen. Vom Schneiden der Einzelteile am Schneidlaser, über das Markieren der Mauskonturen bis hin zum

Mikroschweißen der Einzelteile zeigten die jungen Nachwuchswissenschaftler sehr viel Fingerspitzengefühl. Zur Belohnung gab es am Ende limitierte, mit dem Laser gefertigte »Maus-Giveaways«.

Tag der offenen Werkstatt bei EcurieAix am 20. Oktober 2022

Das Fraunhofer ILT hat zusammen mit dem Fraunhofer IPT als Recruitingmaßnahme am Tag der offenen Werkstatt bei EcurieAix teilgenommen und interessierte Studierende über die Karrieremöglichkeiten bei Fraunhofer informiert.

bonding Firmenkontaktmesse am 8. November 2022

Zum siebten Mal in Folge präsentierte sich das Fraunhofer ILT in Aachen auf der größten studentisch organisierten Firmenkontaktmesse – der bonding. Neben 300 weiteren Ausstellern informierte das Fraunhofer ILT in persönlichen Gesprächen insbesondere Studierende und Absolventen aus den Ingenieur-, Wirtschafts- und Naturwissenschaften umfassend über Einstiegs- und Karrieremöglichkeiten.

»5 vor 12« – RWTH-Wissenschaftsnacht am 11. November 2022

Alljährlich präsentiert die RWTH-Wissenschaftsnacht »5 vor 12« Wissenschaft in ungewöhnlicher Form zu ungewöhnlicher Zeit. Die Wissenschaft wird für alle Generationen auf unterhaltsame Art mit einem breiten Angebot an spannenden Vorträgen, Filmvorführungen und kabarettistischen sowie musikalischen Beiträgen verständlich und greifbar gemacht. Wie vielfältig einsetzbar das Werkzeug Licht ist, zeigte der Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS der RWTH Aachen University am 11. November 2022 im Hörsaalzentrum C.A.R.L. in Aachen. Zusammen mit MHL²-Laser&Lights präsentierte der Lehrstuhl TOS unter dem Motto »Musizieren mit Licht – Erleben musiksynchroner Lasershows« die im Rahmen einer Projektarbeit entstandene »Laserharfe«.

Arbeiten am Fraunhofer ILT

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



Geschäftsfelder

Das Fraunhofer ILT liefert innovative und anwendungsspezifische Entwicklungen für viele unterschiedliche Branchen. Für die Geschäftsfelder Energiewirtschaft, Mikroelektronik, Medizintechnik/Gesundheit, Mobilität sowie Luft- und Raumfahrt bündelt das Fraunhofer ILT seine Kompetenzen im Sinne einer übergreifenden systemischen Herangehensweise.



© Thorsten Schier – stock.adobe.com

© Patrick P. Palej – stock.adobe.com

Geschäftsfelder

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

Die Lasertechnik bietet Lösungen in unterschiedlichen Branchen: ob als Werkzeug in der Automobilfertigung, als Messinstrument im Umweltbereich, für die Diagnose oder Therapie in der Medizintechnik oder als Kommunikationsmedium in der Raumfahrttechnik. Mit der Zusammenführung unterschiedlicher Kompetenzen werden innovative Lösungen für neue Produkte und Fertigungsfragestellungen angeboten. Exemplarisch werden hier die Geschäftsfelder Mobilität und Energiewirtschaft des Fraunhofer ILT vorgestellt.

Überzeugende Produktionstechnik für die Mobilität von morgen

Im Geschäftsfeld Mobilität bietet das Fraunhofer ILT Lösungen speziell für den Leichtbau und die Elektromobilität. Dies gilt sowohl für die Automobilbranche als auch für den Bereich Luftfahrt sowie für schienengebundene Fahrzeuge. Hierfür arbeitet das Fraunhofer ILT seit Jahren mit Partnern aus der Mobilitätsbranche zusammen und bietet innovative Lösungen für die Fertigung und auch in der Komponentenentwicklung.

Im Bereich Leichtbau entwickelt und qualifiziert das Institut Fertigungsverfahren für ultrahochfeste Stähle und Verbundwerkstoffe wie Dualphasen- und TWIP-Stähle sowie

Faserverbund- und Hybridwerkstoffe. Hierzu gehören Hochgeschwindigkeitsschneid- und -schweißverfahren für Metalle sowie Fertigungslösungen für CFK-Werkstoffe, die vor allem in der Luftfahrt Verwendung finden. Mit neuen Entwicklungen für Kunststoff-Metall-Verbindungen sowie für die Additive Fertigung lässt sich mit den Fraunhofer ILT-Entwicklungen das volle Werkstoffpotenzial hinsichtlich innovativer Leichtbaulösungen für unterschiedliche Anwendungen ausschöpfen. Vor allem Hochleistungs-Ultrakurzpuls-Laser (UKP-Laser) bieten neue Möglichkeiten zur Oberflächenbearbeitung und zur Bauteilfunktionalisierung.

Gemeinsam mit Partnern entwickelt das Fraunhofer ILT leistungsfähige LiDAR-Systeme, die die Grundvoraussetzung für autonomes Fahren sind. Kompakte Hochleistungsdiodenlaser und miniaturisierte Optiken sowie neue Integrationslösungen sind die besten Voraussetzungen für leistungsfähige sensorische Lösungen für die Automobiltechnik.

Für den Markt der E-Mobility entwickelt das Fraunhofer ILT systemische Lösungen für Batteriemodule und Batteriepacks, mit denen die Energiespeicher platzsparend und energieeffizient in unterschiedliche Fahrzeuge integriert werden können. Konstruktion, Prozessentwicklung und Auslegung von Modulen und Fertigungssystemen sind dabei die Schwerpunkte der Entwicklungen.

Innovative Laserlösungen für Energieerzeugung und -speicherung

Nachhaltige Energieerzeugung und effiziente Energiespeicherung sind aktuell eine der wichtigsten Fragestellungen in Politik und Gesellschaft. Die nachhaltige Erzeugung und Umwandlung von Energie sowie temporäre Lösungen zur Energiespeicherung sind derzeit die großen Herausforderungen, denen sich die Energiewirtschaft stellen muss.

In diesem Kontext entwickelt das Fraunhofer ILT mit seinen Kompetenzen zum Trennen, Fügen, Strukturieren und zur Additiven Fertigung innovative Lösungen im Bereich der Energieerzeugung und -speicherung. Dabei werden nicht nur einzelne fertigungstechnische Fragestellungen behandelt, sondern in der Regel die gesamte Wertschöpfungskette bis hin zur Produktqualifizierung abgedeckt.

Für den Bereich Energieerzeugung entwickelt das Fraunhofer ILT leistungsfähige Verfahren im Bereich Turbomaschinenbau mit Technologien zur Herstellung und Reparatur von Turbinenkomponenten über additive Verfahren. Der Schwerpunkt liegt hier auf neuen Hochtemperaturwerkstoffen, die künftig auch für wasserstoffbetriebene Kraftwerke eingesetzt werden können. Für die direkte Erzeugung elektrischer Energie aus Photovoltaik-Lösungen bietet das Fraunhofer ILT leistungsfähige

Verfahren zur Absorptionserhöhung an Solarzellen mittels schneller Oberflächenstrukturierung sowie zum Packaging von Solarzellen zu Solarmodulen.

Wasserstoff spielt eine zentrale Rolle in der Energiewende. Das Institut entwickelt hier Brennstoffzellen und Fertigungstechniken für Brennstoffzellen und Elektrolyseure und deckt dabei die gesamte laserbasierte Wertschöpfungskette von der Umformtechnik über die Konfektionierung und das Packaging bis hin zum Testen der fertigen Brennstoffzellen ab. Neuartige Beschichtungs- und Aufbautechniken leisten hier einen wichtigen Beitrag für eine neue Generation von Brennstoffzellen.

Im Geschäftsfeld Energie bietet das Fraunhofer ILT schließlich Entwicklungslösungen für die Langzeit-Energiespeicherung. Li-Ionen-Batterien, Redox-Flow-Batterien sowie Feststoffbatterien bilden hier die Schwerpunkte, bei denen die gesamte Wertschöpfungskette von der Zellfertigung bis zur Batteriepackfertigung abgedeckt wird. Dabei werden sowohl innovative laserbasierte Fertigungsschritte wie die Hochrate-Strukturierung von Batterieelektroden und schnelle prozesssichere Fügeverfahren für die Modulherstellung als auch neue systemtechnische Lösungen für das Recyclen von Batterien entwickelt.

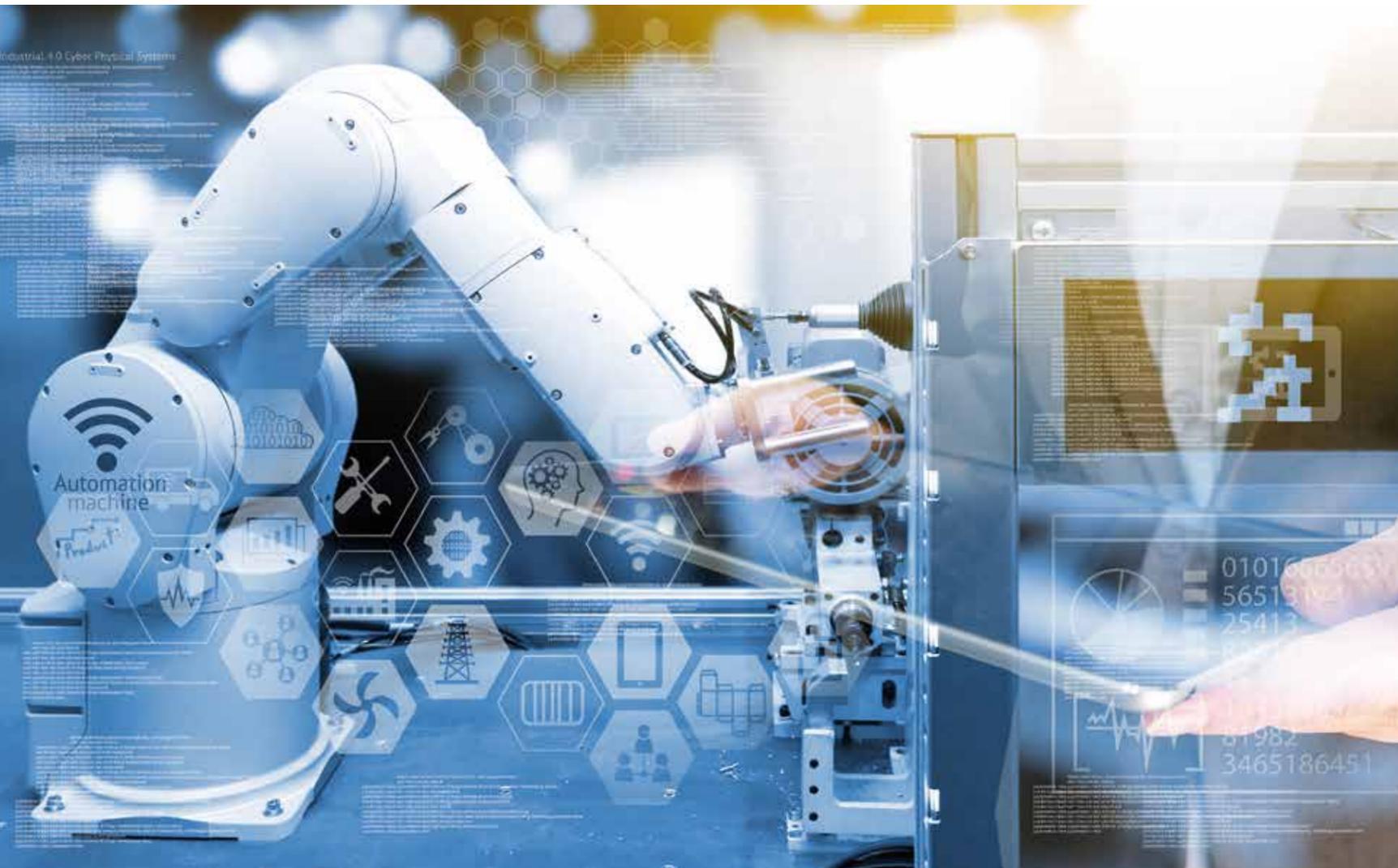
Kontakt

Prof. Arnold Gillner
Leiter Geschäftsfeldentwicklung
Telefon +49 241 89806-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

Forschungsergebnisse 2022

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
- 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



© zapp2photo - stock.adobe.com.

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 laser-basierte 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

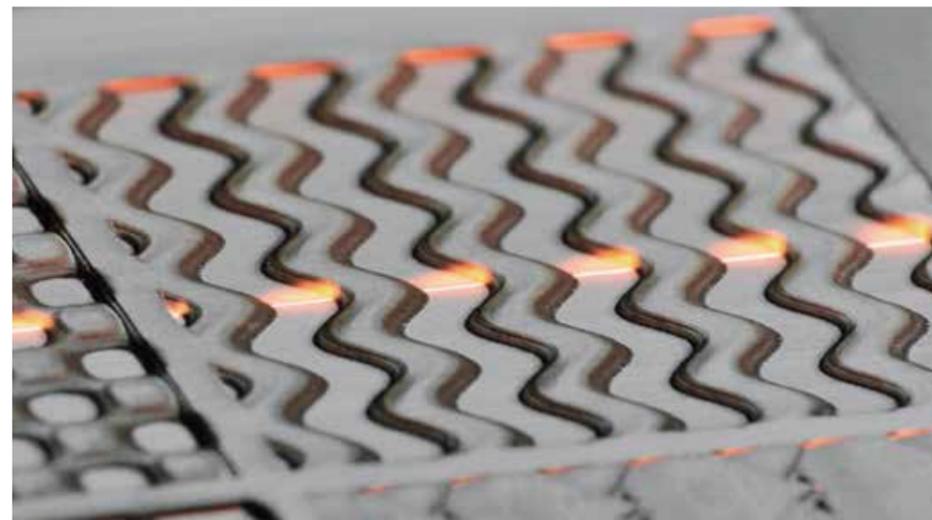
AIRISE – KI in der Fertigung

Wirtschaftlich produzieren mit KI

Der wirtschaftliche Erfolg eines Produkts wird wesentlich durch das Gesamtergebnis seiner Herstellung beeinflusst. Faktoren entlang der Produktionskette sind dabei Zeit, Ausschuss und Ressourceneinsatz. Während Maschinen und Rohstoffe zumeist durch Rahmenbedingungen vorgegeben sind, findet sich in der Nutzung von Daten zur Reduktion von Ausschuss und zur Verkürzung der Produktionszeit großes Potenzial. Die Identifikation ergebnisrelevanter Daten und ihre zielgerichtete Verarbeitung stellen jedoch eine Herausforderung dar. Eine besondere Rolle nehmen heute Anwendungen ein, die Algorithmen mit Künstlicher Intelligenz (KI) nutzen. Bei aller Verfügbarkeit solcher Algorithmen ist die Identifikation von Datenquellen und die Auswahl und Anwendung im industriellen Umfeld herausfordernd in Hinblick auf Technik und Regulatorik.

Individuelle Unterstützung bei der Anwendung

Das AIRISE-Netzwerk bietet individuelle Unterstützung bei der Anwendung von KI in der Fertigung. Das Angebotsspektrum reicht von der Ermittlung geeigneter Datenquellen über die Implementierung von Sensorsystemen und Datenschnittstellen bis hin zur Nutzung von KI-basierten Analyseergebnissen zur Optimierung der Produktion. Dabei steht, über die Wertschöpfungskette hinweg, die Definition der Zielstellung und die Überprüfung des Erfolgs im Fokus der Aktivitäten.



Ultrakurzpulslaserabtrag zur Herstellung KI-optimierter Oberflächeneigenschaften.

KI-Kompetenz über alle Branchen hinweg

AIRISE ermöglicht produzierenden Unternehmen die Stärkung der KI-Kompetenz im Bereich der Fertigung. Das Angebot umfasst dabei nicht nur die Entwicklung und technische Implementierung, sondern auch die Analyse und Vereinbarung von Maßnahmen für deren Anwendung. AIRISE orientiert sich an aktuellen Bewertungsverfahren, die auch den rechtlichen Rahmen für den Einsatz von KI im Produktionsumfeld setzen.

KI-Methoden und Technologien lassen sich bei allen Fertigungsverfahren einsetzen, bei denen Eingangsgrößen und Fertigungsergebnis technisch bestimmbar sind. Das Angebot findet seinen Platz in allen Branchen und ermöglicht Unternehmen die Vermittlung neuer Kenntnisse im Bereich der Künstlichen Intelligenz für die Fertigung an ihre Mitarbeitenden.

Über öffentliche Ausschreibungen auf airise.eu können Unternehmen fachliche und finanzielle Unterstützung erhalten. AIRISE wird seitens der EU mit Mitteln aus dem Forschungsprogramm Horizon Europe unter GA 101092312 unterstützt.

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



1 Testfeld mit Möhrenpflanzen, © Odd.Bot.
2 Unkrautbekämpfungsroboter der Firma Odd.Bot, © Odd.Bot.

LABRADOR – Intelligentes und umweltbewusstes Unkrautjäten

Der Anbau von Bioprodukten in der Landwirtschaft ist für die Bauern ein aufwendiges Unterfangen, denn die Bekämpfung von Begleitvegetation mit Chemikalien ist verboten. Während in der konventionellen Landwirtschaft noch immer mit Herbiziden das Wachstum des Beikrauts verhindert oder eingeschränkt wird, müssen Biobauern meist mechanisch und von Hand das Unkraut zeit- und kostenaufwendig entfernen. Maschinen zur Entfernung des Beikrauts sind hauptsächlich für die Bereiche zwischen den angebaute Reihen einsetzbar. Für das Unkrautwachstum innerhalb der Reihen sind derzeit verschiedene Varianten in der Entwicklung. Am häufigsten wird hier traditionell die manuelle Unkrautentfernung eingesetzt, aber auch Verfahren mit Laserstrahlung oder Elektroschocks werden derzeit als Alternative untersucht.

Unkrautbekämpfung mit Licht

Licht ist eine notwendige Ressource für Pflanzen, aber zu hoch dosiert kann es Pflanzen zerstören. Gemeinsam mit den Firmen Odd.Bot (NL), Delphy (NL) und Amtron (DE) hat das Fraunhofer ILT im November 2022 das Projekt LABRADOR gestartet, in dem eine innovative und nachhaltige Methode zur Reduzierung von Unkraut mit Licht erforscht wird. Ziel des Konsortiums ist die Entwicklung eines umweltfreundlichen Roboters, der Unkraut auf landwirtschaftlichen Feldern effektiv zerstört, ohne Nutzpflanzen und Boden zu beeinträchtigen.

Der Unkrautbekämpfungsroboter soll ein bildbasiertes System und Künstliche Intelligenz nutzen, um Pflanzen zu erkennen und zwischen Nutzpflanze und Beikraut zu unterscheiden. Ein lichtbasiertes Verfahren wird eingesetzt, um das Unkraut lokal und gezielt zu zerstören, indem die Pflanze mit einer hohen Lichtintensität bestrahlt wird. Hierbei liegt der Fokus der Forschung auf der Verwendung von Hochleistungs-LEDs als Lichtquelle. Der Feldroboter soll im Anschluss an das Projekt von den industriellen Partnern vermarktet werden können. Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wird international im Rahmen des Eurostars-Programms der EU und national im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 01QE2240C durchgeführt.

Autorin: *Andrea Lanfermann M. Sc., andrea.lanfermann@ilt.fraunhofer.de*



Kontakt

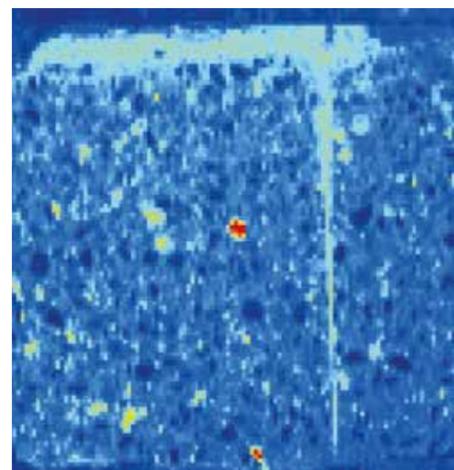
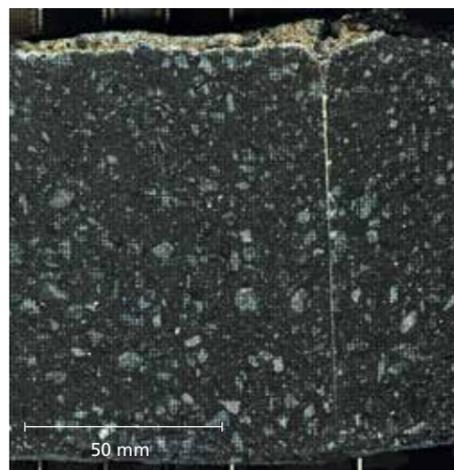
Dipl.-Ing. Peter Abels
Gruppenleiter Prozesssensorik
und Systemtechnik
Telefon +49 241 8906-428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

Sortierung von hochwertigen Mineralien mit LIBS

Feuerfeste Steine sind hochwertige Mineralien, die in der Industrie in allen Hochtemperaturprozessen eingesetzt werden. In der Stahl-, Zement- oder Glas-Herstellung schützen sie die Öfen und andere Aggregate und stehen in direktem Kontakt mit dem heißen und teilweise schmelzflüssigen Produkt. Dabei wird das Feuerfest-Material teilweise verbraucht und muss nach einer bestimmten Nutzungsdauer ersetzt werden. Hier fällt Restmaterial in erheblichem Umfang an und kann für den erneuten Einsatz wiederverwendet werden, sofern es gelingt, das Material in sortenreine Fraktionen zu trennen. Mit einer Sichtprüfung ist die Materialidentifikation nur sehr eingeschränkt möglich, sodass eine automatische sensorbasierte Sortierung erforderlich ist.

Effiziente Sortierung mit laserbasierter Sensortechnik

Mit dem Verfahren der Laser-Emissionsspektrometrie (engl. laser-induced breakdown spectroscopy LIBS) wird die Zusammensetzung der einzelnen Materialstücke auf einem Förderband bestimmt. In der patentierten 3D-Scanning-LIBS-Technologie kombiniert das Fraunhofer ILT die ortsgenaue Analytik mit einer intelligenten automatischen Positionierung der Messpunkte und einer Auswertung der gewonnenen Messdaten mittels Maschinellem Lernen. Mit dem Verfahren können die einzelnen Bestandteile des Materials zunächst analysiert und daraufhin einer Materialklasse zugeordnet werden.



1 Schnittfläche eines gebrauchten Feuerfest-Steins.
2 LIBS-Messung: Verteilung niedriger (blau), mittlerer (grün) und hoher (rot) Aluminiumgehalte.

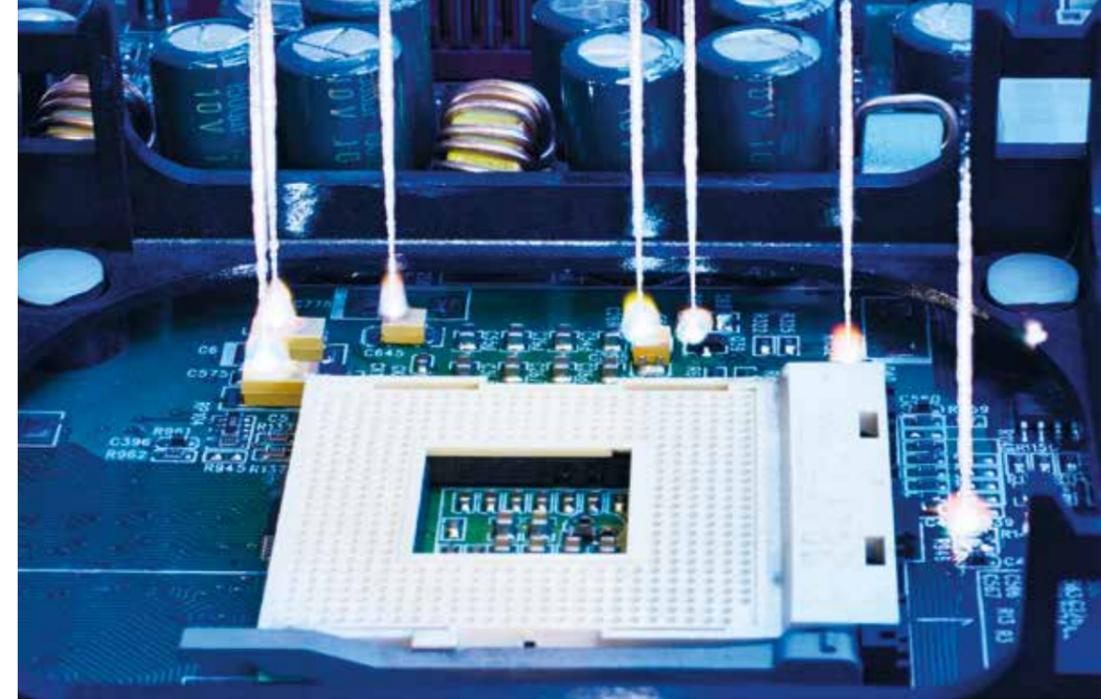
Recyclen statt Bodenschätze abbauen

In der Industrie werden feuerfeste Materialien in vielen Varianten genutzt, deren Vermischung zu einem Qualitätsverlust und letztlich zum Verlust der Feuerfest-Eigenschaften führen würde. Mit bloßem Auge lassen sich viele Sorten nicht unterscheiden, insbesondere schwarze Magnesia-Kohlenstoff-Steine sind schwer zu identifizieren. Mithilfe des LIBS-Verfahrens können einzelne mineralische Bestandteile sowohl erkannt als auch deren Verteilung in dem inhomogenen Material erfasst werden, was eine genaue Zuordnung des Produkts zu seiner Materialklasse erlaubt.

Im Verbund mit europäischen Projektpartnern wird die gesamte Prozesskette für eine industrielle Umsetzung der automatischen Sortierung und einer hochwertigen werkstofflichen Wiederverwertung von gebrauchten Feuerfest-Materialien entwickelt, deren Einsatz zur Schonung der natürlichen Ressourcen beiträgt.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU-Projekts ReSoURCE unter dem Förderkennzeichen 101058310 durchgeführt.

Autor: [Dr. Cord Fricke-Begemann](mailto:cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de),
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de



1 LIBS-Analyse von elektronischen Bauteilen auf einer Platine.

Identifizierung von wertvollen Technologiemetallen in Elektroschrott

Moderne elektronische Produkte enthalten eine Vielzahl von metallischen Elementen, um eine hohe Funktionalität zu gewährleisten. Neben den Basismetallen gehören hierzu auch Technologiemetalle wie Tantal, Wolfram und die Elemente der Seltenen Erden. Diese Metalle weisen in Deutschland und Europa eine hohe Importabhängigkeit auf. Eine nachhaltige Entwicklung erfordert daher die Reduzierung der Primärerzeugung, weshalb die Wiedergewinnung aus Altgeräten in Zukunft unerlässlich wird. In heutigen Recyclingverfahren gehen die Technologiemetalle jedoch größtenteils verloren. Ein Grund dafür ist, dass die Metalle nur in wenigen elektronischen Komponenten konzentriert vorkommen und an der Gesamtmasse meist auch nur einen geringen Anteil haben.

Natürliche Ressourcen schonen

Um die Technologiemetalle in Zukunft effizient recyceln zu können, wurde am Fraunhofer ILT ein Verfahren entwickelt, bei dem die Zusammensetzung einzelner elektronischer Bauteile im eingebauten Zustand spektroskopisch bestimmt werden kann. Bauteile mit wertvollen Inhaltsstoffen werden im Anschluss schnell und berührungslos entnommen und sortiert. Aus diesen neuartigen Sortierfraktionen lassen sich die Metalle dann mit bereits existierenden technologischen Verfahren effizient wiedergewinnen.

Nachhaltiges Recycling mit LIBS

Mit dem scannenden Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)-Verfahren kann die Zusammensetzung von Elektronikplatinen effizient bestimmt werden, um so lohnende Komponenten für eine selektive Entnahme zu identifizieren. Die Anwendung auf eine Vielzahl von Handymodellen erzeugt einen umfangreichen Datenbestand, der als Basis für ein Rücknahmesystem für Althandys mit einem geeigneten Materialstrom für die selektive Zerlegung dient. Aus diesen Materialien können zukünftig Technologiemetalle in hoher Qualität für Neuprodukte gewonnen werden. Auch komplexe Bauteile können mithilfe von LIBS für eine gezielte Weiterverarbeitung analysiert werden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) unter dem Förderkennzeichen EFRE 0802005 durchgeführt. Autor: [Dr. Cord Fricke-Begemann](mailto:cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de)



Kontakt

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

Modellierung des laserbasierten Trocknens von Batterieelektroden

Bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterieelektroden spielt der Trocknungsprozess einer flüssigen Mischung aus Keramik, Binder und Lösungsmittel eine wichtige Rolle, da er Energie spart und die Leistung der Zelle erheblich beeinflusst. Temperatur, Geschwindigkeit und Zeit der Trocknung beeinflussen die Verteilung des Bindemittels, wobei eine ungleichmäßige Verteilung zu einer geringeren Haftung zwischen Elektrode und Stromabnehmer, einem erhöhten elektrischen Widerstand und einer geringeren Zellkapazität führt. Mit experimenteller Diagnostik und numerischer Simulation können die Einflüsse der Trocknungsparameter auf die Binderausbreitung analysiert werden.

Definition eines geeigneten Simulationsmodells

Im Projekt »Laserbasierte Trocknung von Batteriekomponenten« tauschen das Fraunhofer ILT, das Lehr- und Forschungsgebiet NLD der RWTH Aachen University und Industriepartner ihr Know-how über Prozesssimulation und experimentelle Versuche aus, um durch phänomenologische Modellreduktion ein geeignetes reduziertes Modell zu definieren. Das Modell prognostiziert die Verteilung des Binders und damit die Adhäsionskraft der Anode.

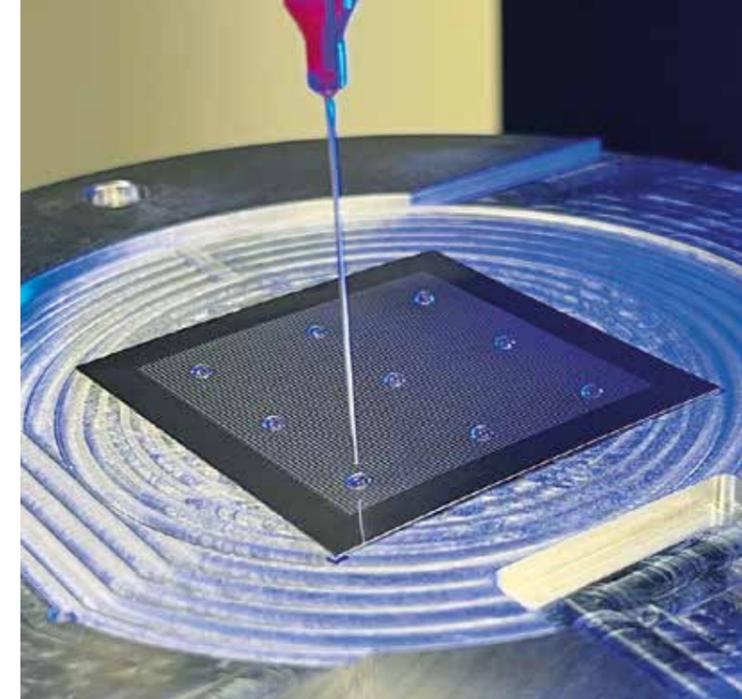
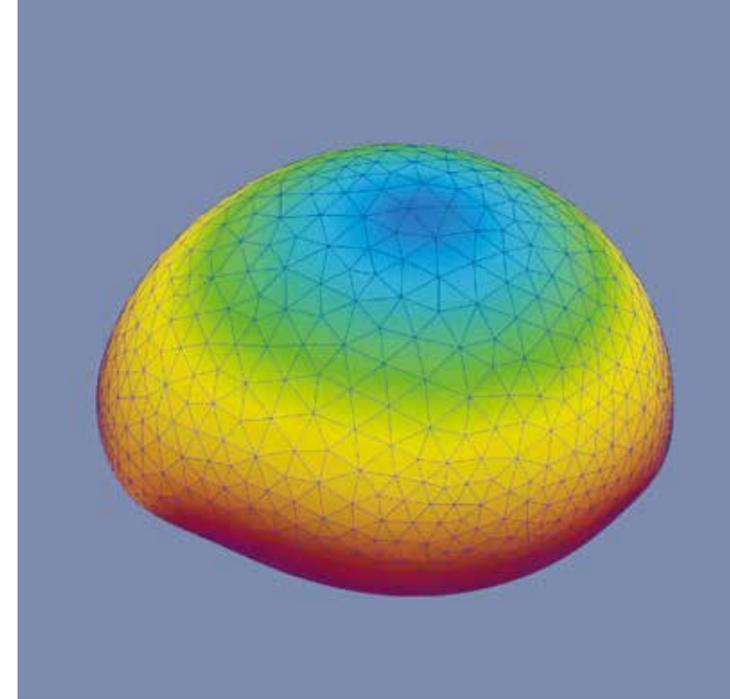
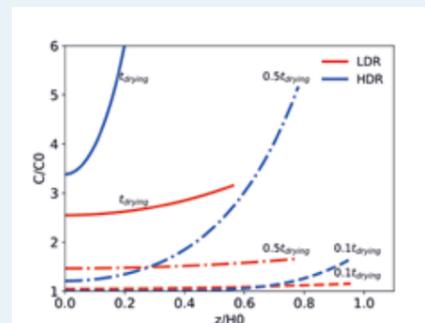
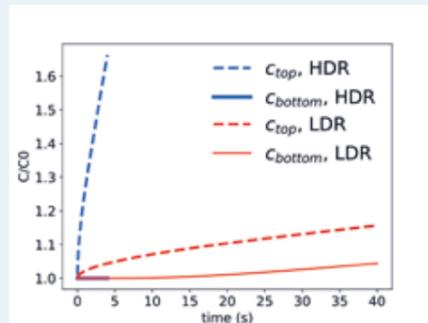
Modellierung und Optimierung des Trocknungsprozesses

Zwei Hauptphasen des Trocknungsprozesses wurden identifiziert. Phase 1 besteht aus der Schrumpfung der noch flüssigen Mischung, wobei eine homogene Verteilung des Binders anzustreben ist. Phase 2 umfasst die Porenentleerung, die Endtrocknung und eine zu vermeidende Rissbildung. Die Analyse zeigt, dass die thermische Relaxationszeit klein im Vergleich zur Trocknungszeit und die Temperatur nahezu konstant sind, während das Lösungsmittel verdampft. Bei einer niedrigen Trocknungsrate nimmt die Bindemittelkonzentration allmählich zu und bleibt nahezu homogen verteilt, die notwendige Trocknungszeit ist jedoch unerwünscht groß. Bei einer hohen Trocknungsrate führt die kleine Trocknungszeit zu einem großen Konzentrationsgradienten und einer Anhäufung des Bindemittels in der Nähe der Oberfläche des Films. Wesentlich bessere Ergebnisse werden bei Mehrfach Trocknung erzielt, z. B. bei zwei Schichten mit erhöhter Haftung und verkürzter Trocknungszeit.

Die entwickelte physikalische Modellierung kann zur Prozessverbesserung des laserbasierten Trocknens von Elektroden-schlammern und keramischen Beschichtungen eingesetzt werden.

Autorin: Zahra Kheirandish M. Sc.,
zahra.kheirandish@nld.rwth-aachen.de

1 Zeitliche Variation der Bindemittelkonzentration an den Grenzen.
2 Räumliche Variation der Bindemittelkonzentration bei niedriger und hoher Trocknungsrate.



1 Simulierte Tropfenform auf einer Oberfläche mit lokal variierenden Kontaktwinkeln.
2 Tropfen auf einer hydrophilen Oberfläche, die durch Strukturierung mit Laserstrahlung erzeugt wurde.

Optimierung von laserstrukturierten Oberflächen durch Simulation

Oberflächeneigenschaften spielen in der Natur und bei vielen technischen Anwendungen eine zentrale Rolle. Die Anforderungen an technische Oberflächen sind vielfältig und hängen von der jeweiligen Anwendung ab. Die Eigenschaften von Oberflächen können durch eine Strukturierung mittels Laserstrahlung gezielt verändert werden. Hydrophile und hydrophobe Eigenschaften können durch Strukturen im Mikro- und Nanometerbereich eingestellt werden. Die Herausforderung besteht in der materialspezifischen Auslegung der Mikro- und Nanostrukturen, um gewünschte Benetzungseigenschaften zu erzeugen.

Modell zur Simulation von Kontaktwinkel und Tropfenform

Ein Tropfen kann auf einem rauen Substrat mehrere Gleichgewichtszustände annehmen. Diese Gleichgewichtszustände stellen jeweils lokale Energieminima dar. Die jeweilige Form, die ein Tropfen annimmt, hängt vom Texturdesign, der Oberflächenchemie und der Eindringtiefe der Flüssigkeit in die Texturen ab. Um den Kontaktwinkel und die Tropfenform auf texturierten Oberflächen unter heterogenen Benetzungsbedingungen vorherzusagen, wurde ein makroskopisches, auf thermodynamischen Gleichgewichtsprinzipien beruhendes Modell entwickelt.

Vielfältige Einsatzmöglichkeiten

Die Gleichgewichtskontaktwinkel von Flüssigkeitstropfen auf rauen Oberflächen können als Funktionen von laserstrukturierten Oberflächen und deren chemischen Eigenschaften vorhergesagt werden. Auf Oberflächen mit lokal variierenden Eigenschaften kann die jeweilige Tropfenform und -bewegung mithilfe von differentialgeometrischen Methoden simuliert werden. Anwendungsfelder sind Prozesse, bei denen Oberflächen spezifische Benetzungseigenschaften aufweisen müssen. Diese umfassen im medizinischen Bereich u. a. das Abstoßen von körpereigenen Flüssigkeiten wie Blut auf Operationsgeschirr oder die Benetzung und somit das Anwachsen von Zellen auf chirurgisch transplantierten, künstlichen Gelenken. Darüber hinaus stellt das gezielte Integrieren von benetzungsfördernden oder -abweisenden Eigenschaften auf Bipolarplatten für Brennstoffzellen ein neues Anwendungsgebiet dar.

Autoren: Dr. Markus Nießen, Tobias Keller M. Sc.,
markus.niessen@ilt.fraunhofer.de, tobias.keller@ilt.fraunhofer.de



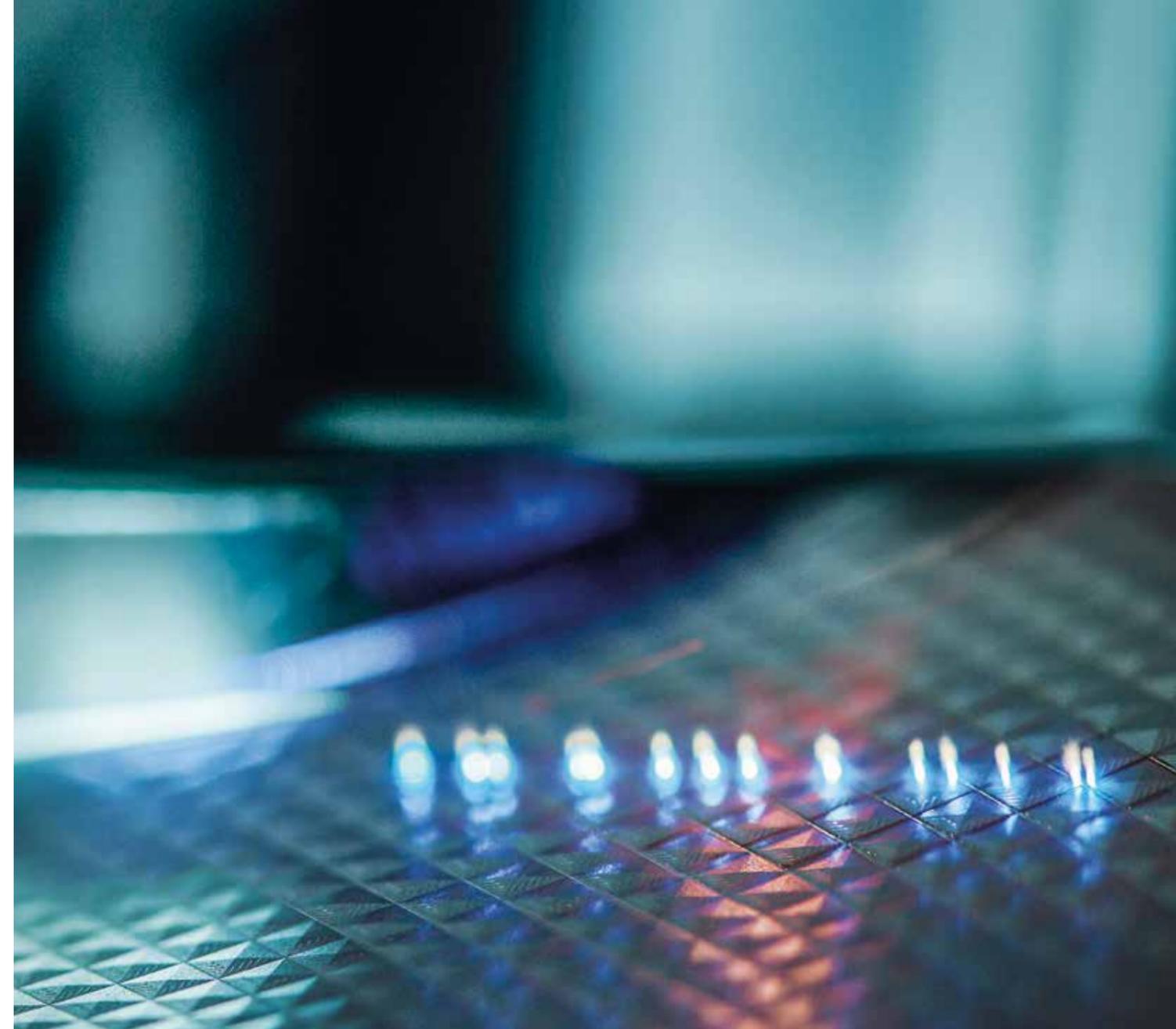
Kontakt

Prof. Carlo Holly
Gruppenleiter Computational Methods
Telefon +49 241 8906-142
carlo.holly@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

Laserstrukturierung von Bipolarplatten

Die Bipolarplatte stellt das Herzstück der Brennstoffzelle dar und ermöglicht die kontinuierliche Zufuhr und Trennung der Reaktionsgase, integriert Kühlkanäle zum Abtransport der Reaktionswärme und stellt den elektrischen Kontakt zu Anode und Kathode her. Bipolarplatten werden meist aus Metallen oder Kompositwerkstoffen gefertigt. Aktuell stellen die geringe Korrosionsbeständigkeit metallischer Bipolarplatten und die fertigungsbedingten Widerstände von Bipolarplatten aus Kompositwerkstoff ein Hemmnis für die Anwendung im großindustriellen Maßstab dar. Die Strukturierung von Bipolarplatten mittels Laserstrahlung ist eine Schlüsseltechnologie, um das Potenzial von Brennstoffzellen voll auszuschöpfen. Durch die mittels Laserbearbeitung eingebrachte Oberflächenstruktur können korrosive Reaktionsprodukte gezielt abtransportiert, die Strömungseigenschaften lokal gesteigert und elektrische Oberflächenwiderstände erheblich verringert werden.

Neue Verfahren für eine großflächige und kontinuierliche Bearbeitung

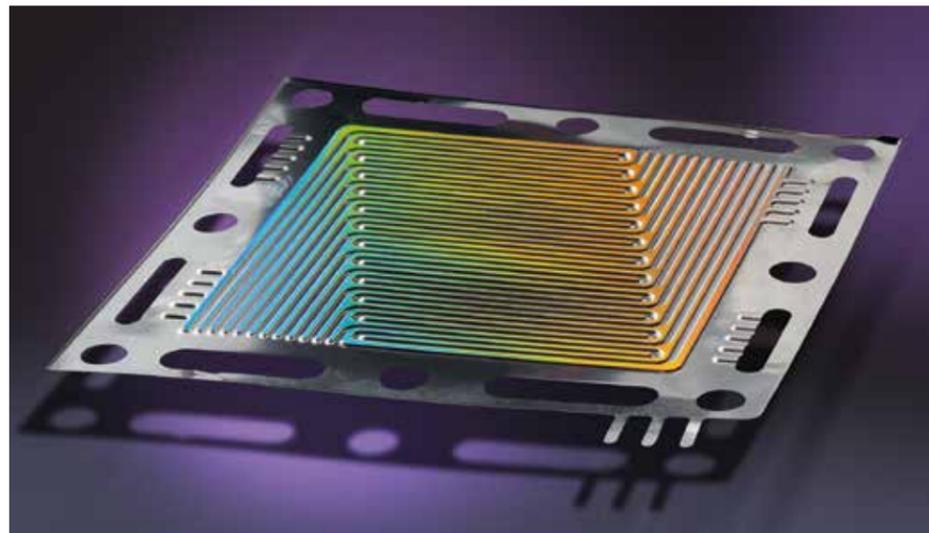
Die Strukturierung der Bipolarplatten erfolgt auf einer 5-Achs-Bearbeitungsanlage mit integrierter Femtosekundenstrahlquelle. Auf metallischen Bipolarplatten können die erzeugten Strukturen anschließend mittels Kontaktwinkelanalyse charakterisiert werden, wodurch Rückschlüsse auf die Oberflächenenergien gezogen und Benetzungseigenschaften gezielt eingestellt

werden. Bei der Entschichtung von Bipolarplatten aus Kompositwerkstoffen wird der Oberflächenwiderstand mittels Durchgangswiderstandsmessung untersucht. In Kombination mit hoch repetitiven Strahlquellen und schnell scannenden Systemen kann ein großflächiger, kontinuierlicher Bearbeitungsprozess umgesetzt werden.

Bipolarplatten für PEM-Brennstoffzellen

Durch die Strukturierung von metallischen Bipolarplatten können die Benetzungseigenschaften der Oberflächen gezielt eingestellt und der Kontakt zur Gasdiffusionsschicht gesteigert werden. Durch die Strukturierung von Bipolarplatten aus Kompositwerkstoff kann der spezifische Widerstand im direkten Vergleich zum Schleifen um den Faktor 5 reduziert werden. Bei der Laserbearbeitung werden Flächenraten von 4.300 cm²/min realisiert. Von großer Bedeutung sind die entwickelten Entschichtungs- und Herstellungsprozesse insbesondere für Produkte, die benetzungsfördernde oder -abweisende Eigenschaften gegenüber einer Flüssigkeit aufweisen sollen. Der Fokus der durchgeführten Arbeiten liegt auf der Strukturierung von metallischen und Komposit-Bipolarplatten für Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellen.

Autor: Tobias Keller M. Sc., tobias.keller@ilt.fraunhofer.de



Selektiv strukturierte, metallische Bipolarplatte.



Laserpräzisionsabtrag für Mikroelektronikbauteile.

Präzisionslaserbearbeitung für die Mikroelektronik

Laser für die Mikroelektronik

Das sprunghafte Wachstum des Mikroelektronikmarkts erfordert neue, flexible, ökologische und kosteneffiziente Lösungen für die Materialbearbeitung und -strukturierung. Die Zielvorgabe, eine grüne, umweltschonende Produktion zu realisieren und den Einsatz von Chemikalien zu reduzieren bzw. zu vermeiden sowie gleichzeitig den Energiebedarf für die Herstellung eines Chips zu senken, ebnet den Weg für neue digitale, laserbasierte Fertigungstechnologien. Vor allem bei der Leiterplattenherstellung, dem Wafer-Dicing und Packaging sowie bei der Herstellung flexibler, photonisch integrierter Schaltungen (PIC) kann der Einsatz des Lasers unmittelbare Vorteile bringen, wenn Präzision und Qualität der Prozesse den strengen Anforderungen dieser Zukunftsbranche entsprechen.

UV- und DUV-Strahlung als Enabler

Die geforderte hohe Präzision, Flexibilität und Qualität der Bauteile kann nur durch die sorgfältige Auswahl des Lasers sowie der entsprechenden Systemtechnik erreicht werden. Um eine gesteigerte Auflösung und reduzierte Oberflächenrauheit der erzeugten Strukturen zu erreichen, werden Excimer- und Festkörper-UV- sowie DUV-Laser eingesetzt. Die kurzen Wellenlängen ermöglichen sowohl eine hohe räumliche Auflösung als auch eine effiziente Interaktion mit der Materie. Dies führt zu einer höheren Effizienz der Prozesse im Vergleich zu sichtbarer oder IR-Strahlung und zu einer geringeren Schädigung der darunter liegenden Schichten und umliegenden Strukturen.

Schädigungsfreie Bearbeitung durch maßgeschneiderte Lasersystemtechnik

Mithilfe von Hochleistungs-UV-Lasern, die in dem kürzlich mit der Firma Coherent gegründeten »UV-Center of Excellence« zur Verfügung stehen, konnte die Herstellung unterschiedlicher sub-µm-Strukturen mittels direkter Laserablation demonstriert werden. Darüber hinaus ermöglicht die Flexibilität des laserbasierten Ansatzes die Bearbeitung flacher Wafer und komplexer 3D-Oberflächen, bei denen die traditionell verwendeten, maskenbasierten Lithographieverfahren an ihre Grenzen stoßen. Das einzigartige Pikosekunden-Lasersystem mit 266 nm Wellenlänge erlaubt die Erzeugung von Strukturen mit einer Kantenrauheit < 500 nm und ebnet den Weg für neuartige zukunftsweisende Laserdelaminations- bzw. -übertragungsprozesse zur Herstellung von Mikroelektronikkomponenten.

Autor: Dr. Serhiy Danylyuk, serhiy.danylyuk@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

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

Laserbasierte Trocknung von Lithium-Ionen-Batterieelektroden

Im Zuge der Energiewende steigt der Bedarf an Energiespeichersystemen stetig und macht moderne und energetisch effiziente Fertigungsverfahren für Energiespeicher erforderlich. Ein energieintensiver Verfahrensschritt bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien (LIBs) stellt die Trocknung dar. Sie erfolgt konventionell in langen Durchlauföfen, welche derzeit noch zu 92 Prozent mit fossilem Gas betrieben werden und viel Platz in Anspruch nehmen. Durch den Einsatz von Laserstrahlung für die Trocknung soll der Energie- und Platzbedarf reduziert werden. Die eingesetzten Laserstrahlquellen können mit erneuerbaren Energien betrieben werden, was die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen verringert.

Laserbasiertes Rolle-zu-Rolle-Verfahren

Das Fraunhofer ILT entwickelt ein laserbasiertes Trocknungsverfahren für wasserbasierte Batterieelektroden. In einer Rolle-zu-Rolle-Anlage werden dafür Kupferfolien durch Schlitzdüsen mit Anodenschlickern beschichtet und mittels Laserstrahlung getrocknet. Dabei müssen Spitzentemperaturen über 160 °C vermieden werden, um Beschädigungen der ca. 80–100 µm dünnen Anode zu verhindern. Eingesetzt werden flächenbestrahlende Diodenlaser, um einen großen Durchsatz im Rolle-zu-Rolle-Verfahren zu ermöglichen.

Effiziente Trocknung mit Laserstrahlung spart Energie und Platz

Durch den Einsatz von Laserstrahlung für die effiziente Trocknung von LIB-Anoden kann der Energiebedarf um bis zu 50 Prozent reduziert werden. Die benötigte Trocknungsstrecke kann nach den bisherigen Ergebnissen um mindestens 60 Prozent reduziert werden. Die in der Anode enthaltenen Komponenten werden durch den Einsatz von Laserstrahlung und einer geeigneten Prozessüberwachung nicht beschädigt. Die so hergestellten Anoden weisen die gleichen Eigenschaften auf wie Anoden, welche mittels konventioneller Verfahren getrocknet werden. Durch ein speziell entwickeltes Absaugkonzept, eine angepasste Prozessregelung und dem entsprechenden Prozessverständnis werden die Bandgeschwindigkeiten derzeit weiter auf industriell relevante Größenordnungen gesteigert und mit nachgeschalteten Laserstrukturierungsverfahren kombiniert.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter den Förderkennzeichen 03XP0316C (Projekt LASERSCALE) und 03XP0414F (Projekt IDEEL) durchgeführt.

Autor: *Delil Demir M. Sc., delil.demir@ilt.fraunhofer.de*



1 Rolle-zu-Rolle-Anlage für die Herstellung von Batterieelektroden im Battery Lab des Fraunhofer ILT.
2 Lasertrocknungsmodul mit angepasster Bearbeitungsoptik.



1 Durch LPBF-Prozess fertiggestelltes Bauteil mit integrierter Sensorik.
2 Gedruckte Dehnungsmessstreifen in unvollständigem AM-Bauteil.

Laserbasierte Integration von gedruckter Sensorik in AM-Bauteile

Im Rahmen von Megatrends wie Industrie 4.0 oder dem Internet of Things spielt die Zustandsanalyse von Maschinen- und Bauteilen eine zunehmend wichtige Rolle. Dieser Ansatz erfordert eine umfassende Sensorinfrastruktur, welche durch die Nutzung additiver Fertigungsverfahren realisiert werden kann. Derzeit werden Sensoren in den meisten Anwendungen lediglich auf die Bauteiloberflächen manuell appliziert. Die optimale Sensorposition befindet sich jedoch häufig direkt in der Belastungszone im Inneren des Bauteils. Wird der Funktionsdruck von Sensoren mit 3D-Strukturdruckverfahren wie beispielsweise dem Laser Powder Bed Fusion (LPBF)-Verfahren kombiniert, können im Zuge einer Inline-Fertigung gedruckte Sensoren direkt in die Bauteile integriert werden.

Mehrstufiges Verfahren für smarte Bauteile

Anhand eines Messerkopfs für ein Fräswerkzeug wird ein mehrstufiges Verfahren entwickelt. Der Strukturdruck mittels LPBF wird unterbrochen, um mit einem digitalen Funktionsdruckverfahren (z. B. Aerosol Jet Druck) und laserbasierter thermischer Nachbehandlung gedruckte Dehnungsmessstreifen zu integrieren (Bild 2). Abschließend wird der Strukturdruckprozess fortgesetzt und der Bau des smarten Bauteils vervollständigt (Bild 1).

Potenzial durch hohen Individualisierungsgrad

Durch die Kombination von Struktur- und Funktionsdruck mit laserbasierten Nachbehandlungsverfahren kann ein vollständig additiv gefertigtes Bauteil mit integrierter Sensorik hergestellt werden. Dies ermöglicht die optimale Positionierung des Sensors für Zustandsanalysen wie Belastungsmessungen an unzugänglichen Stellen oder konturnahe Messungen der Bauteiltemperatur sowie den Schutz der Sensorik vor mechanischen Umwelteinflüssen. Auch eine bauteilindividuelle Anpassung der Sensorgeometrie ist digital umsetzbar. Neben Temperatur- oder Dehnungsmesssensoren sind perspektivisch weitere Funktionselemente wie integrierte Heizer o. ä. umsetzbar. Der hohe Individualisierungsgrad eröffnet ein weites Feld an potenziellen Anwendungsmöglichkeiten wie z. B. im Werkzeug- und Maschinenbau, im Automotive-Sektor sowie in der Energie- oder Luft- und Raumfahrttechnik.

Autor: *Michael Steinhoff M. Sc., michael.steinhoff@ilt.fraunhofer.de*



Kontakt

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

Innovatives Laserverfahren zur Kantenveredelung von hochfesten Stahlblechen

Beim Trennen von Blechen lässt sich die Entstehung von Graten und Oberflächendefekten wie z. B. Mikrorissen oft nicht vermeiden. Durch diese Oberflächendefekte werden die mechanischen Eigenschaften von Blechbauteilen signifikant beeinträchtigt, z. B. als Ausgangspunkt für Ermüdungsrisse bei dynamischer Belastung. Des Weiteren erhöhen Grate die Verletzungsgefahr von Menschen und gefährden die Funktionsfähigkeit von Bauteilen oder Maschinen.

Verbesserung von Kantenrissempfindlichkeit und zyklischer Belastbarkeit

Die Laserkantenveredelung von Blechen stellt ein innovatives neues Nachbearbeitungsverfahren zum Entgraten, zur gezielten KantenformEinstellung sowie Glättung von Blechwerkstoffen dar. Es beruht auf dem Umschmelzen der Kante mittels kontinuierlicher Laserstrahlung. Im flüssigen Zustand kann die Rauheit der Kante aufgrund der Oberflächenspannung ausfließen und wird geglättet. Auch Grate und Mikrorisse werden so eingeschmolzen. Durch die geeignete Wahl der Prozessparameter kann zudem eine definierte Verrundung der Kante bis hin zu einer Randverstärkung eingestellt werden. Gleichzeitig erfolgt durch die schnelle Erstarrung eine Wärmebehandlung im Bereich der Kante und das Gefüge wird gezielt verändert.

Signifikante Vorteile bei laserveredelten Kanten

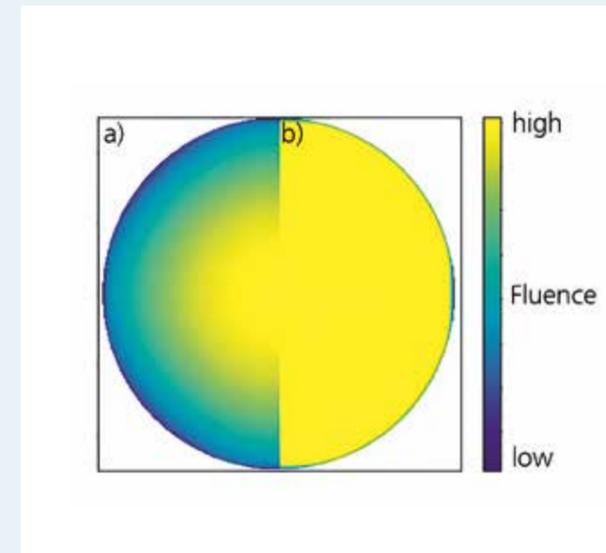
Mit einem 5 kW-Diodenlaser konnten Vorschubgeschwindigkeiten bis 9 m/min demonstriert werden. Lochaufweitungsversuche und Diabolotests zeigen, dass die Kantenrissempfindlichkeit hochfester Stähle signifikant reduziert und das Umformvermögen im Vergleich zur konventionell hergestellten Schnittkante um mehr als 240 Prozent erhöht wird. Schwingversuche zeigen darüber hinaus, dass die Zyklenzahl einer laserveredelten Schnittkante gegenüber einer nicht veredelten Schnittkante um 220 Prozent gesteigert werden kann. Die Laserkantenveredelung wurde im industriellen Maßstab sowohl an Großbauteilen als auch an Serienteilen demonstriert.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben LaserEdge wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter dem Förderkennzeichen IGF-20931 N durchgeführt.

*Autorin: Dr. Judith Kumstel,
judith.kumstel@ilt.fraunhofer.de*



1 Prozess der Laserkantenveredelung.
2 Laserkantenveredelte Probe für Lochaufweitungsversuch.



1 Homogenisierter Energieeintrag durch Bahnplanungstool:
a) ohne und b) mit optimierter Bahnplanung.
2 Laserpoliermaschine für Freiformoptiken aus Glas.

Laserpolitur von Asphären und Freiformoptiken aus Glas

Maschinentechnik und CAM-NC-Datenkette

In den letzten Jahren hat die Verfahrensentwicklung zur Laserpolitur von Glas erhebliche Fortschritte erzielt, sodass die Technologie zunehmend auch für abbildende Optiken relevant wird. Herausforderungen sind die Entwicklung einer geeigneten Maschinentechnik und der CAM-NC-Datenkette zur Programmierung dieser Maschinen auch bei nicht planen Oberflächen.

Durch den nicht senkrechten Einfall von Laserstrahlung an den Rändern von Optiken während der Laserpolitur bei hohen Prozessgeschwindigkeiten von über 5 cm²/s kommt es zu einer Verzerrung der Interaktionsfläche und Veränderungen im Absorptionsverhalten. Zudem führen lokale Abweichungen im Krümmungsradius (Asphären, Freiform) zu geänderten Wärmeleitungsbedingungen. All dies trägt zu einem ungleichmäßigen Polierergebnis schon bei Winkelabweichungen < 10° bei.

Durch eine geometrieabhängige, lokale Anpassung der Prozessparameter können die beschriebenen Effekte kompensiert werden. Hierzu wurde eine Software zur CAM-NC-Bahnplanung entwickelt.

Neue Software für CAM-NC-Bahnplanung

Die so entstandene CAM-NC-Datenkette kann innerhalb weniger Minuten die Bahnplanung für eine Freiformlinse mit einem Durchmesser von 100 mm berechnen. Basierend auf der Linsengeometrie werden Prozessparameter wie Laserleistung und Scangeschwindigkeit lokal an die Optikgeometrie angepasst. Eine ebenfalls angepasste Maschinentechnik setzt diese Bahnplanung um. Durch die berechnete Anpassung werden einheitliche Polituren mit Rauheiten Sa < 1 nm auch für Inzidenzwinkel von bis zu 45° zur optischen Achse erzielt.

Dieses Projekt wird im Rahmen der Förderlinie Zukunftsplatz durch die Fraunhofer-Zukunftsstiftung gefördert.

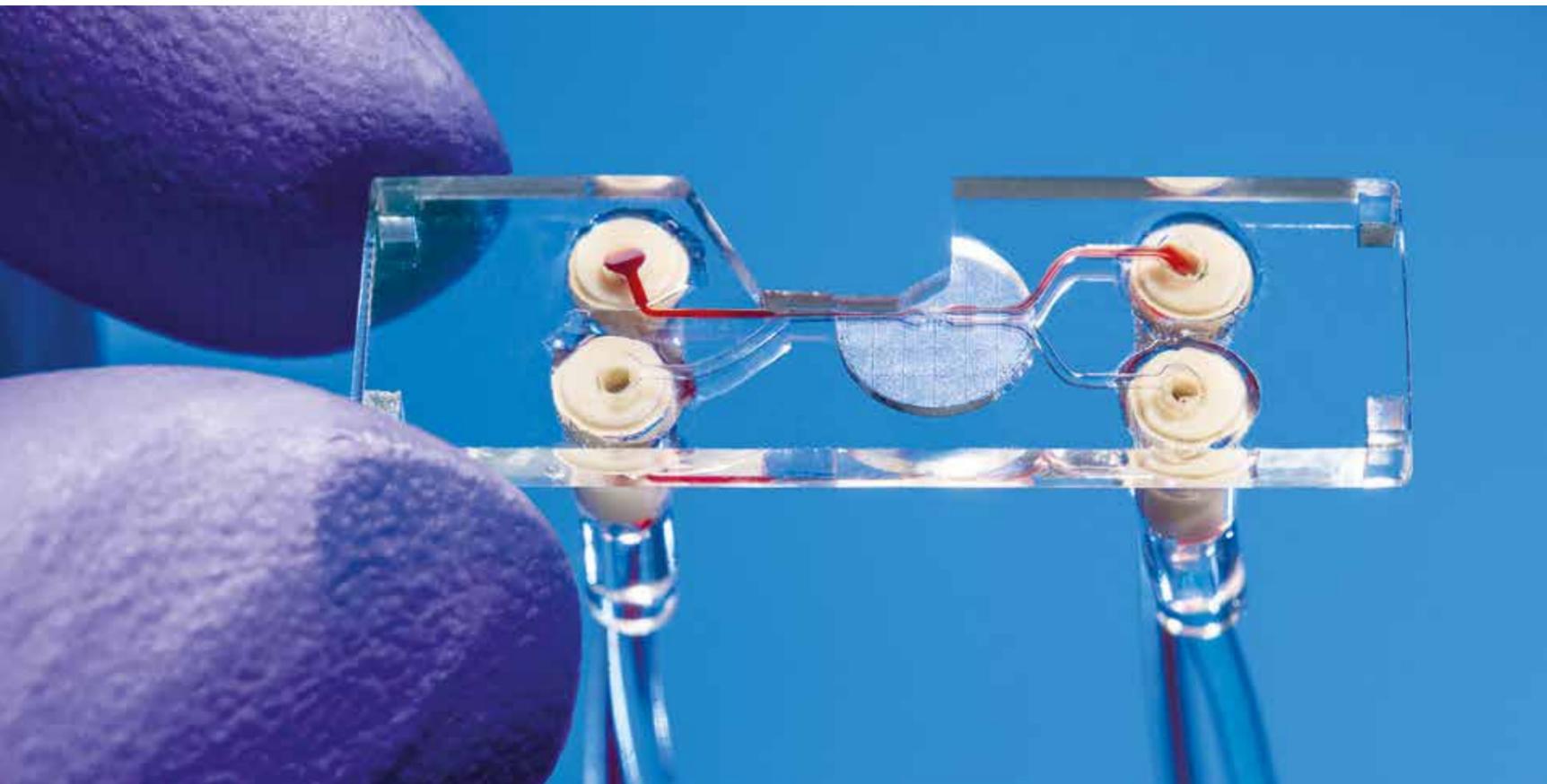
*Autor: Manuel Jung M. Sc.,
manuel.jung@ilt.fraunhofer.de*



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.

Abteilung Lasermesintechnik
und Biophotonik

- Lasermesintechnik und Bioanalytik
- Biofabrikation



Kontakt

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

Sepsis-Schnelldiagnostik durch Zelltrennung im mikrofluidischen Sortiersystem

Jährlich erkranken weltweit 49 Mio. Menschen an Sepsis, von denen 11 Mio. während des Krankheitsverlaufs sterben. In Deutschland ist eine Sepsis nach Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen mit 85.000 Toten pro Jahr die dritthäufigste Todesursache. Verursacht wird sie durch eine Infektion der Blutbahn mit vorrangig bakteriellen Erregern. Während Breitbandantibiotika dafür sensitive Erreger wirksam abtöten, sind sie bei antibiotikaresistenten Erregern wirkungslos. In diesem Fall muss zunächst ein Resistenzprofil des Erregers bestimmt und anschließend ein hochspezifisches Schmalbandantibiotikum verabreicht werden. Eine solche Resistenzbestimmung erfordert die Separation und Kultivierung des Erregers. Dies dauert mehr als 24 Stunden, daher kommt eine effektive Therapie für die Betroffenen leider häufig zu spät.

Zeitersparnis durch neues Sortiersystem

Wissenschaftler des Fraunhofer ILT haben daher ein mikrofluidisches Sortiersystem entwickelt, um die Isolation der Erreger aus einer Patientenprobe deutlich zu beschleunigen. Dabei wird der Dean-Flow genannte Querstrom genutzt, der in spiralförmig gekrümmten Mikrokanälen auftritt. Bei geeigneter Parameterwahl bewirkt dieser eine größenabhängige Trennung der Bakterien von den Blutzellen in einer Patientenprobe. Dieses hochdurchsatzfähige Separationsverfahren wurde untersucht und auf einem Quarzglas-Chip realisiert.

Resistenzschnelltest für die effiziente und schnelle Isolation der Erreger

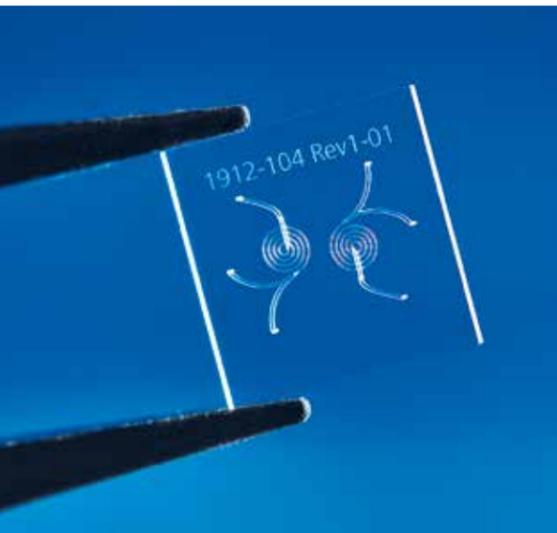
Das Separationsverfahren zur Trennung der größeren Erythrozyten und Leukozyten von den 1 µm bis 3 µm großen Bakterienzellen wurde mit dem Dean-Flow-Sortierchip in Quarzglas demonstriert. Die effiziente und schnelle Isolation der Erreger bildet die Grundlage für einen Resistenzschnelltest im Mikrosystem. Diese am Fraunhofer ILT entwickelte Technologie erlaubt die Trennung von typischerweise einigen 100 bis mehreren 1000 Bakterien aus einer 10 ml Blutprobe innerhalb von 2 Stunden.

Einsatzgebiete in der Medizin

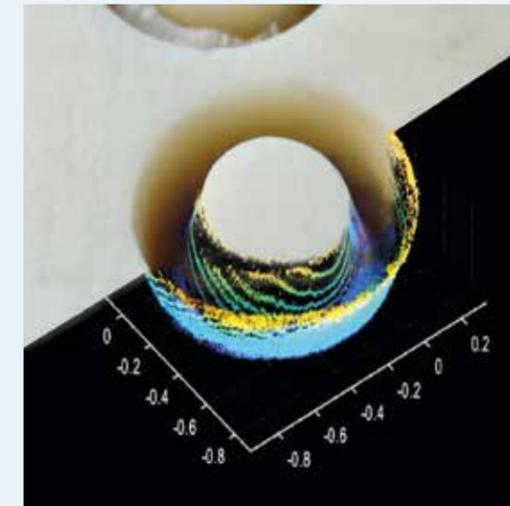
Anwendungsfelder sind neben den adressierten Resistenzschnelltests mikrobiologische Assays auf der Basis von Zellkulturen sowie die biomedizinische Forschung.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Förderprogramm »Innovative medizintechnische Lösungen zur Prävention und Versorgung nosokomialer Infektionen« unter dem Förderkennzeichen 13GW0431C durchgeführt.

Autor: Dr. Georg Meineke, georg.meineke@ilt.fraunhofer.de



1 Quarzglas-Chip mit zwei Dean-Flow Sortierstrukturen.
2 Separierter Blutzellstrom an einer Verzweigung im Sortier-Chip.



1 Laserapplikator mit integriertem Miniscanner, Teleskop, OCT-Sensor und Strahlüberwachung.
2 Kreisrunder Laserschnitt an einem Rinderknochen mit überlagerter Punktwolke aus den Messdaten des OCT-Scans.

Laserkraniotom für Wachoperationen zur tiefen Hirnstimulation

Perspektive für die schonende Kraniotomie im Wachzustand

Eine bei Morbus Parkinson auftretende Schüttellähmung (Tremor) kann durch Tiefe Hirnstimulation (THS) mit einem Hirnschrittmacher unterdrückt werden. Hierzu muss eine Elektrode im Zielvolumen des Gehirns unter Funktionstestung am wachen Patienten submillimetergenau positioniert werden. Die Kombination von THS und Wachoperation erhöht die Erfolgsquote bei der Behandlung von Patienten mit schweren Bewegungsstörungen deutlich. Jedoch verursacht die Schädelöffnung (Kraniotomie) beim wachen und nur lokal anästhesierten Patienten massiven Stress. Wissenschaftler am Fraunhofer ILT entwickeln daher ein Laseroperationssystem für die Kraniotomie, um das Trauma des Patienten zu minimieren und die Akzeptanz für den wirksamen Eingriff zu erhöhen.

Innovatives Laserchirurgiesystem kombiniert Schneidlasersstrahl, Miniscanner und OCT-Messung

Der Laserschneidprozess wurde über einen Applikator realisiert, der die Pulse eines CO₂-Lasersstrahls mit einem Miniscanner so entlang der Schnittlinie verteilt, dass der 2 mm breite Laserschnitt im Knochen effizient und ohne thermische Gewebeschädigung bis zu einer Tiefe von 6 mm erfolgen kann. Zusätzlich zum Schneidlaser- wird ein OCT-Messstrahl mitgeführt, der während des Abtrags die Schneidtiefe und Knochenrestdicke misst. Dieses Echtzeit-Monitoring soll die Verletzung der unter dem Knochen liegenden harten Hirnhaut (Dura) und des Gehirns verhindern.

Der untersuchte Laserabtragsprozess wurde in einem Demonstrator für den Anwendungsfall der Tiefen Hirnstimulation umgesetzt. Über eine Steuerungssoftware können alle Subsysteme wie z. B. Miniscanner, OCT-Sensor, Strahlüberwachung und Schneidlasersystem überwacht und angesteuert werden. In einem automatisierten Prozessablauf ist der Proof of Concept an einem Schafschädel mit dem Demonstrator für die Tiefe Hirnstimulation erbracht worden. Dabei wurde ein runder Knochenring von 10 mm Durchmesser und 3 mm Dicke ausgeschnitten und die Schneidtiefe mit einer integrierten OCT-Messung bestimmt. Das Laserkraniotom ist für das Schneiden von Hartgewebe am Kopf ausgelegt und kann in seinem Funktionsumfang auf andere Anwendungsfälle wie z. B. die Hirntumor Chirurgie erweitert werden. Das Projekt wird von der Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen des Forschungsprogramms ATTRACT unter dem Projektnamen STELLA gefördert.
Autoren: Lazar Bocharov M. Sc., Christina Giesen M. Sc., lazar.bocharov@ilt.fraunhofer.de, christina.giesen@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

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

LIFT-Mikroskop zur kontaktfreien Herstellung von Zellkulturen

In der personalisierten Medizin werden hochspezifische Medikamente an autologen Zellkulturen des Patienten auf Nebenwirkungen sowie auf ihre Wirkung für maßgeschneiderte Therapien getestet. Dazu entnimmt man dem Patienten sogenannte induzierte pluripotente Stammzellen (iPSC), die für die Medikamententests in verschiedene Gewebearten ausdifferenziert werden können. Um solche In-vitro-Testverfahren mit patienteneigenen Zellen wirtschaftlich gestalten und in die Routinediagnostik überführen zu können, ist es erforderlich, iPSC-Kulturen automatisiert zu züchten, zu analysieren und zu sortieren.

Kombination von Zellerkennung und LIFT in einem System

In einem inversen Mikroskop mit Zellkulturkammer werden eine High-Speed-Mikroskopiesoftware mit einem Algorithmus zur automatischen Zellerkennung (Fraunhofer IPT) und ein am Fraunhofer ILT entwickeltes Modul für den laserinduzierten Vorwärtstransfer (LIFT) kombiniert, um eine kontaktfreie, automatisierte und schonende Zellsortierung zu realisieren. Für das LIFT-Verfahren kommt eine MIR-Strahlquelle mit einer Wellenlänge von 2,94 µm zum Einsatz, die bereits für den Transfer von Einzelzellen und Zellclustern aus einer wässrigen Umgebung erprobt ist.

Durch die Kombination von Zellerkennung und LIFT-Prozess in einem System ist es möglich, Zellen zu kultivieren und ausgewählte pluripotente Stammzellen mit dem laserinduzierten Vorwärtstransfer gezielt ohne händische Schritte aus der Kultur zu entnehmen. Ein Trägersubstrat mit Zellkulturmedium nimmt die entnommenen Zellen auf. Dort können die ausgewählten iPSC-Zellen in einer neuen Kultur für die In-vitro-Testung weiter kultiviert werden.

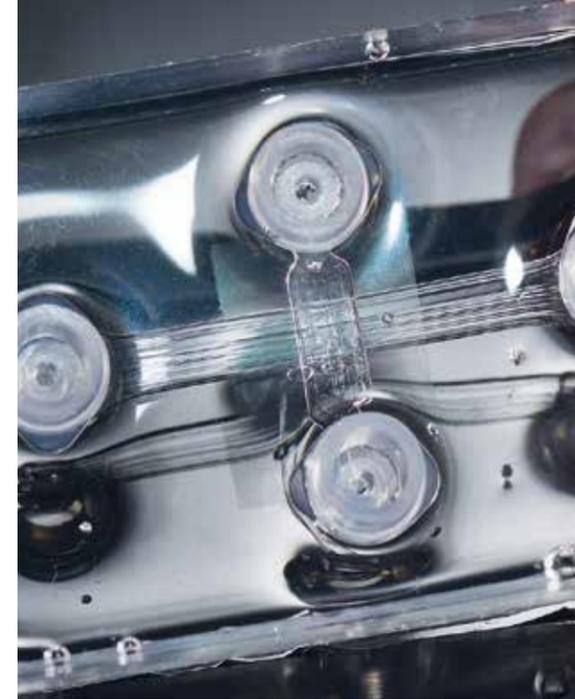
Vielseitige Einsatzmöglichkeiten im Laboralltag

Durch den modularen Aufbau des Transfersystems ergeben sich vielseitige Einsatzmöglichkeiten im Laboralltag. So können bestehende Zellanalysesysteme und Mikroskope erweitert und einzelne Arbeitsschritte automatisiert werden. In der personalisierten Medizin wird durch die Reduzierung manueller Arbeitsschritte eine schnellere, zuverlässigere und günstigere Herstellung von In-vitro-Testsystemen und dadurch eine Routinediagnostik ermöglicht.

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



1 Mikroskop mit integrierter Highspeed-Bilderkennung und lasergestützter Zellseparation.
2 Substrathalter zum Auffangen und Kultivieren transferierter Zellen im Multiwell-Zellkulturgefäß.



1 OoC aus PDMS mit sich kreuzenden Kanälen, die durch eine Membran getrennt sind.
2 Zellkultivierung in vier OoCs mit automatisierter Perfusion.

3D-Bioprinting von Organ-on-Chip-Systemen

Organ-on-Chip (OoC)-Systeme haben in den letzten Jahren Einzug in die biomedizinische und pharmakologische Forschung gehalten. OoCs sind mikrofluidische Chipsysteme, die 3D-Zellkulturen mit Nährstoffen versorgen und In-vivo-Verhältnisse lebender Organismen besser widerspiegeln als zwei-dimensionale In-vitro-Zellkulturen. Die Testung neuer Wirkstoffe an solchen 3D-Zellkulturen beschleunigt deren Entwicklung erheblich und hilft Tierexperimente zu vermeiden. Zukünftig könnten OoCs als Vorstufe zur Kultivierung künstlicher Organe dienen.

Aufbau von Zellmodellen für künstliche Organe

Wissenschaftler des Fraunhofer ILT erforschen die Herstellung von Organ-on-Chip-Systemen durch Extrusionsdruck nach dem Sacrificial-Bioprinting-Verfahren. Dabei werden unterschiedliche Polymermaterialien sowie zellbeladene Hydrogele, sogenannte Bioinks, eingesetzt. Typische Zellen zur Besiedelung sind Endothelzellen für die Vaskularisierung von Geweben. Die kontinuierliche Perfusion des OoC-Systems erlaubt die Kultivierung und Untersuchung der Zellen über längere Zeiträume. Dabei ermöglichen transparente Eigenschaften der Mikrofluidik-Chips die Zelluntersuchung durch optische Mikroskopie. So können organotypische Zellmodelle mit funktionalen Eigenschaften aufgebaut und im Labor untersucht werden.

Co-Kultivierungsmodelle zur Assay-Entwicklung

Die mit Extrusionsdruckverfahren gefertigten OoCs wurden im Labor mit unterschiedlichen Zelltypen besiedelt und unter kontinuierlicher Perfusion kultiviert. Für Endothelzellen wurden Flussbedingungen ermittelt, bei denen das Wachstum gerichtet entlang der Strömungsrichtung erfolgte – eine zwingende Voraussetzung für die Realisierung künstlicher Blutgefäße und den Aufbau vaskularisierter Organoidstrukturen. Darüber hinaus ist sowohl ein Co-Kultivierungsmodell mit Endothel- und Epithelzellen in getrennten Zellräumen als auch ein Migrationsassay zur Stimulation von Monozyten realisiert worden. Beides ist grundlegend für die Verbindung mehrerer Organsysteme und die Einbeziehung des Immunsystems in den Aufbau von OoCs. Mögliche Anwendungen liegen in der biomedizinischen Forschung sowie der Entwicklung von patientenspezifischen Assays. Die Arbeiten wurden im Projekt SiCellNet durch das Fraunhofer-Programm KMU-akut gefördert. *Autorin: Dr. Elke Bremus-Köbberling, elke.bremus-koebberling@ilt.fraunhofer.de*



Kontakt

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



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 Glasfritbünden. 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.

Fügen und Trennen – nicht nur eine Frage der Einstellung



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

Laserstrahlschweißen von Elektrodenstapeln für Li-Ionen-Batteriezellen

Die elektrische Kontaktierung von Elektrodenstapeln stellt einen wichtigen Fertigungsschritt bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Batteriezellen dar. Zur Steigerung der Produktivität wird ein direkt mit der Elektrodenproduktion verknüpfter Gesamtprozess für die automatisierte Herstellung des Elektrode-Separator-Verbunds einer Lithium-Ionen-Batteriezelle entwickelt. Im Ergebnis soll dieses Projekt einen Beitrag zur Verringerung der Gesamtkosten bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen leisten und so die Wertschöpfungskette der Elektromobilität stärken.

Hochgeschwindigkeitskontaktierung von Elektrodenfolien

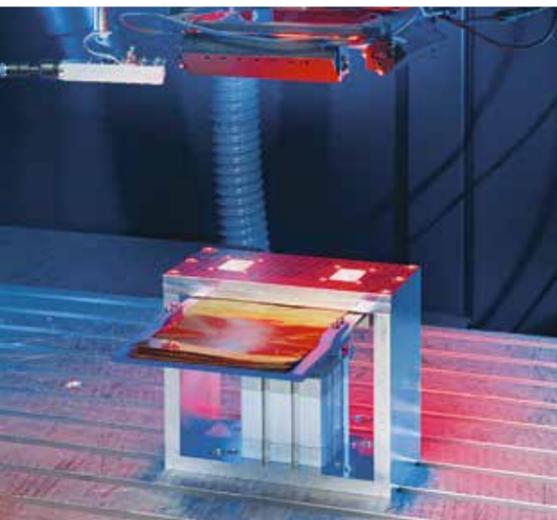
Das Fraunhofer ILT entwickelt im Projekt HoLiB einen Laserstrahlschweißprozess zur Hochgeschwindigkeitskontaktierung von Elektrodenfolien für Li-Ionen-Batteriezellen. Hier werden in Abhängigkeit des Prozessregimes (Wärmeleitungsschweißen oder Tiefschweißen) mit unterschiedlichen Wellenlängen die Parameter Leistung, Vorschub, Strahlform und Bestrahlungsstrategie untersucht. Im Fokus stehen dabei Faserlaser (1070 nm), »grüne« Scheibenlaser (515 nm) und »blaue« Diodenlaser (450 nm). Wichtige Kriterien sind hierbei die geometrischen Abmessungen der Schweißnaht wie Breite und Höhe der Oberraupe sowie die Gefügestruktur.

Produktivitätssteigerung in der Zellfertigung

Durch den entwickelten Laserstrahlschweißprozess und die dazugehörige Anpressvorrichtung kann der Elektrodenfolienstapel in einem Prozessschritt mit den Ableitertabs kontaktiert werden. Die Schweißnahtgeometrie wird dabei mithilfe einer örtlichen Leistungsmodulation entsprechend der nötigen Stromtragfähigkeit ausgelegt und kann flexibel auf andere Zellformate übertragen werden. Als Materialien werden sowohl Kupfer als auch Aluminium verwendet. Aufgrund der durch die Strahlform und Wellenlänge angepassten Absorption und dem damit verbundenen Energieeintrag können die Zellstapel ohne Beschädigungen der einzelnen Folienlagen gefügt werden. Dabei kommen abhängig von Material und Verbunddicke unterschiedliche Bestrahlungskonzepte zum Einsatz. Im Rahmen des ProZell 2-Clusters soll die Produktivität bei der Fertigung von Batteriezellen gesteigert werden. Darüber hinaus lässt sich das Laserstrahlschweißen dünner Elektrodenfolien auch auf andere industrielle Bereiche übertragen.

Das Projekt HoLiB (Förderkennzeichen 03XP0236A) wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Kompetenzcluster zur Batteriezellproduktion ProZell gefördert.

Autor: *Christoph Spurk M. Sc., christoph.spurk@ilt.rwth-aachen.de*



1 Laserstrahl-Mikroschweißen von Elektrodenstapeln mit einer Wellenlänge von 1070 nm.
2 Querschliff der Kontaktierung der Kupferfolien an den Ableitertab.



1 Analyse von Dampfkapillaren aus Synchrotrondaten, © TRUMPF.
2 Laserstrahlschweißungen mit grünem Laser, © TRUMPF.

In-situ-Analyse von Laserprozessen mittels Synchrotronstrahlung am DESY

Laserbasierte Verfahren sind aufgrund ihrer Flexibilität und ihres präzise einstellbaren Energieeintrags bedeutend für die Herstellung sensitiver Bauteile in der Brennstoffzellen- und Batterietechnologie. Der Einsatz von Synchrotronstrahlung macht eine In-situ-Untersuchung eben dieser Laserstrahlprozesse mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung möglich, um präzise Einblicke in die grundlegenden Phänomene der schmelzflüssigen und dampfförmigen Phase zu gewinnen.

Umsetzung und Anwendung

Zur Untersuchung von laserbasierten Fertigungsprozessen am Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) in Hamburg besteht ein mobiler und modularer Aufbau als Plattform für Experimente. Diese Plattform erlaubt den modularen Wechsel zwischen Laserstrahlquellen unterschiedlicher Art und Wellenlänge (Faser-, Scheiben-, Ringmode- oder UKP-Laser) und optischen Systemen (scannerbasierte und Festoptiken), um Laserstrahlschweiß-, Schneid- und Bohrexperimente durchzuführen. Die synchronisierte Prozesssteuerung mit optischen und akustischen Sensoren dient der Entwicklung detaillierterer Algorithmen zur Prozessauswertung.

Grundagentransfer in die Industrie

Der entwickelte Aufbau wird als Werkzeug zur Untersuchung der folgenden physikalisch-dynamischen Prozesseigenschaften verwendet:

- Räumliche Verteilung der Energiedeposition auf der Materialoberfläche
- Einfluss der Laserwellenlänge auf die Wechselwirkung Material-Laser
- Geometrie von Dampfkapillare und Schmelzbad
- Schmelzbaddynamik und Strömungsprofile

Im Zuge der sehr komplexen Grundlagenforschung dient das Fraunhofer ILT als Wegbereiter, um den Industriepartnern den Zugang zu DESY auf Dienstleistungsbasis zu erleichtern. Dabei kann im Rahmen einer bilateralen Zusammenarbeit der bestehende Versuchsaufbau inklusive vorhandener Strahlquellen und Optiken genutzt werden, um Grundlagenerkenntnisse für industrielle Anwendungen neu zu generieren oder zu erweitern.

Autor: *Marc Hummel M. Sc., marc.hummel@ilt.fraunhofer.de*



Kontakt

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

Trilaterales Fraunhofer-DFG-Transferprojekt »High Speed Weld«

Das Laserdurchstrahlschweißen (LDS) ist eine am Markt etablierte Methode zur Erzeugung fester Fügeverbindungen von teiltransparenten Kunststoffen. Eine Limitation des LDS ist die notwendige Wechselwirkungszeit zwischen Laserstrahlung und Materie. In der Regel sind Bestrahlzeiten bis zu einer Sekunde erforderlich, um Schweißverbindungen zu erzeugen. Im Rahmen des Projekts »High Speed Weld« soll ein Hochgeschwindigkeits-Laserschweißprozess (H-LDS) entwickelt werden, welcher eine deutliche Verkürzung der Bearbeitungszeiten erlaubt. Basierend darauf sollen mit den Projektpartnern optische Systeme und die notwendige Anlagentechnik zur Industrialisierung entwickelt werden.

Hochgeschwindigkeits-Fügeprozess für Verpackungen

Zur Umsetzung dieser Technologie wird in einem ersten Schritt ein vorhandenes Simulationsmodell erweitert, um grundlegende Erkenntnisse zum Aufheiz-, Abkühl- und Schweißverhalten beim Hochgeschwindigkeitsprozess zu generieren. Dafür werden die Materialeigenschaften der verwendeten Kunststoffe unter hohen Aufheiz- und Abkühlraten bestimmt. Basierend auf den Ergebnissen der Simulation wird ein optisches System ausgelegt und zur Verifizierung der Simulationsergebnisse genutzt, um die Prozessgrenzen zu bestimmen.

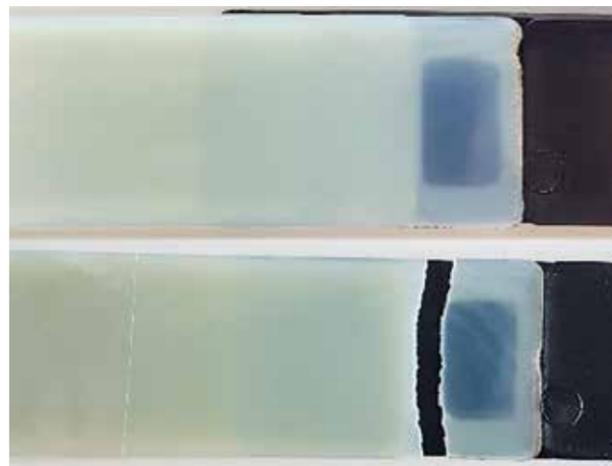
Ergebnisse und Anwendungsfelder

In ersten Versuchen kann bei simultaner Bestrahlung einer Fügefläche die typische Bearbeitungszeit um etwa den Faktor 100 auf 0,01 s gesenkt werden. Die mikroskopische Untersuchung des Nahtquerschnitts weist keine Beschädigung auf. Eine Zugscherprüfung zeigt ein Versagen des Grundmaterials bei einer sonst intakten Schweißverbindung.

Die beteiligten Projektpartner sind neben dem Fraunhofer ILT das Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen University, die Laserline GmbH und die Leister Technologies Deutschland GmbH.

Das Projekt »High Speed Weld – Entwicklung eines Hochgeschwindigkeits-Laserschweißverfahrens für das Fügen von Kunststoffen« wird im Rahmen des Fraunhofer-DFG-Transferprogramms gefördert.

Autor: *Stefan Behrens M. Sc., stefan.behrens@ilt.fraunhofer.de*



1 Oben: Lasergeschweißter PA6.6-GF20-Probekörper.
Unten: Bruchbild nach Zug-scherbelastung mit Versagen des Grundmaterials außerhalb des Schweißnahtbereichs.
2 Mikroskopische Analyse der Fügeebene ohne erkennbare Beschädigungen oder Wärmeeinflusszone.



1 Mehrkammerhybridreflektor.
2 Hybridlinsenhalter.

Class-A-Oberflächen mit laserbasierten Hybridwerkstoffverbänden

Motivation

Der Trend zum Leichtbau und zur Erhöhung der Funktionalität führt auch in lichttechnischen Anwendungen zur Notwendigkeit, verschiedene artungleiche Werkstoffe miteinander zu verbinden. Mithilfe der Kombination der guten Wärmeleitfähigkeit von Druckgießbauteilen mit der hohen Oberflächenqualität von Spritzgießbauteilen können die Anforderungen der LED-Technik erfüllt werden. Im NRW-Projekt Form-LIGHT sollte ein Kunststoff-Metall-Hybridverbund mit einer Class-A-Oberfläche entwickelt werden.

NRW-Projekt Form-LIGHT

Das Fraunhofer ILT hat sich innerhalb des Projekts mit der Einbringung einer hinterschnittigen Struktur in die Leichtmetalle Aluminium und Magnesium beschäftigt. Teil der Untersuchungen war der Vergleich unterschiedlicher Brennweiten sowie die Variation der Laserleistung, der Scangeschwindigkeit, der Anzahl der Überfahrten und der Strukturanordnung. Anhand von Querschliffen wurden die Auswirkungen der Variation der Parameter betrachtet und bewertet sowie die auf der Bewertung basierenden Einstellungen der Parameter für den späteren Prozess ausgewählt. Hierbei wird für einen Formschluss Kunststoff mittels Hinterspritzen in die Strukturen eingebracht.

Vorteile für die Automobilindustrie

Im Rahmen des Projekts konnte gezeigt werden, dass durch die Kombination von Kunststoff und Leichtmetall die Beschränkungen der einzelnen Werkstoffe verringert und die Vorteile beider nutzbar gemacht werden können für zum Beispiel automobiler Anwendungen wie Scheinwerfersysteme.

Dieses Vorhaben wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) unter dem Förderkennzeichen EFRE-0801472 gefördert.

Autorin: *Friederike Brackmann M. Sc., friederike.brackmann@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

Laserschneiden und -schweißen mit Künstlicher Intelligenz

Der Trend zu kontinuierlicher Bearbeitung wie beim Laser Blanking und zu verketteten Prozessen wie bei der Herstellung von Bipolarplatten oder Batterieelektroden von der Rolle, bei denen Laserschneiden ein Schritt einer komplexen Prozessfolge ist, erfordert eine hohe Prozesssicherheit und zuverlässige Prozessüberwachung. Mit dem Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI) zur Interpretation der Prozesssignale beim Schneiden und Schweißen wird die Qualitätssicherung sowie die Überwachung und Regelung der Prozesse robuster und kann auch den hohen Anforderungen der Real-time-Bewertung dynamischer Prozesse gerecht werden.

Das Verbundprojekt DIPOOL

Der Lösungsansatz des vom Fraunhofer ILT wissenschaftlich koordinierten Verbundprojekts DIPOOL besteht in der Kombination der einzigartigen zeitlichen und räumlichen Programmier- und Kontrollierbarkeit von Laserwerkzeugen mit geeigneten Methoden des Maschinellen Lernens (ML) und KI. Zur Gewinnung einer aussagekräftigen Datenqualität werden dem Bearbeitungsprozess minimalinvasive Lasermodulationsmuster (MILM) aufgeprägt. Darauf antwortet der Prozess kontinuierlich mit charakteristischen, zustands-

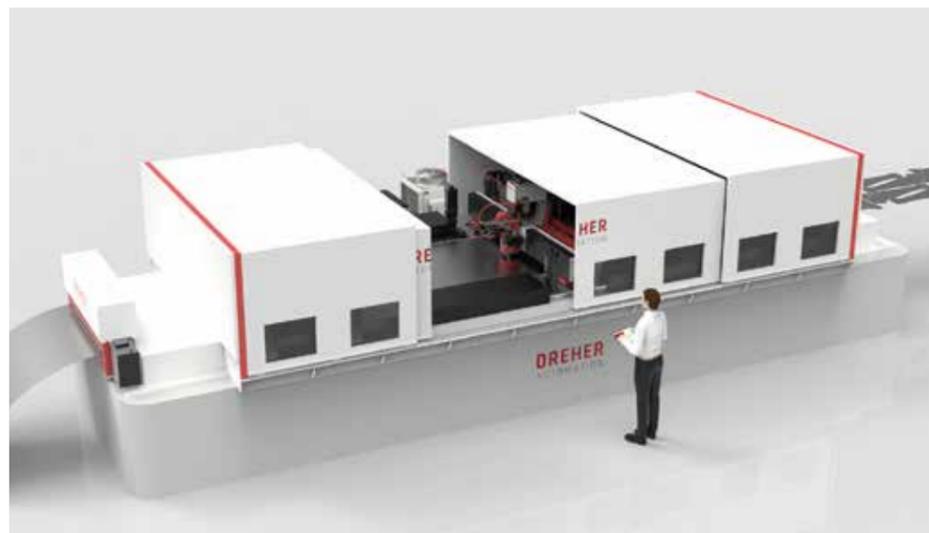
abhängigen Signalen. Erst die Verfügbarkeit derartiger Antwortsignale und ihre Fusion mit weiteren Sensordaten der Maschine erlauben ein hocheffizientes Trainieren von ML-Algorithmen sowie zuverlässige Schlussfolgerungen und Entscheidungen des KI-Systems.

Einsatz beim Laser Blanking

Für die DIPOOL-Laser-Blanking-Demonstratoranlage wurden geeignete Modulationsmuster und resultierende Antwortsignale identifiziert. Die Integration der KI in die Anlagensteuerung erfolgt auf einem echtzeitfähigen Prozessrechner mit FPGA, auf dem Datenerfassung, -vorverarbeitung und Inferenz mit 1–2 Millisekunden getaktet sind und somit ausreichend schnell für den Hochgeschwindigkeits-Schneidprozess ablaufen. Auch die Eignung der Methode für das Schweißen von Karosseriebauteilen wird im Projekt DIPOOL untersucht.

Das Verbundprojekt DIPOOL wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Fördermaßnahme ProLern (Förderkennzeichen 02P20A000) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

*Autor: Dr. Frank Schneider,
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de*



DIPOOL-Laser-Blanking-Demonstratoranlage, © Automatic Systeme Dreher GmbH.



Laserstrahlschmelzschnitten mit der »Schneidpfeife«.

Kontrolle der Schmelzdynamik auf Basis einer resonanten Düse – die »Schneidpfeife«

Mittels Highspeed-Videoanalysen des Schmelzfilms auf der Schneidfront wurde eine positive Wirkung von hochfrequenten Schmelzwellen auf die Schnittflankenrauheit ermittelt. Die Wellenfrequenzen sind jedoch nur bedingt durch die Prozessparameter beeinflussbar. Zur Verstärkung der hochfrequenten Schmelzwellen und zur Dämpfung von niederfrequenten Strömungsinstabilitäten soll ein akustisch abgestimmtes Schneid-düsensdesign – die sogenannte »Schneidpfeife« – entwickelt werden. Dieser Ansatz zielt darauf ab, die Impedanz zwischen Düse und Fuge anzupassen.

Das Prinzip der Schneidpfeife

Die Schneidpfeife basiert auf einer hohlrauminduzierten Überschallströmung. Der an der Düsenaustrittsseite gebildete Hohlraum erzeugt im Wesentlichen zwei Schwingungsmodi, deren Resonanzfrequenz als Funktion der Hohlraumgeometrie abstimmbare ist. Die Validierung der Resonanzen bzw. Schwingungsmodi erfolgt schlierenoptisch sowie mit einem optischen Mikrofon. Zur Beurteilung ihrer Auswirkung auf die Schmelzfilmdynamik und die daraus resultierende Schnittflankenqualität werden Schnitte an 6 mm dicken Edelstahlblechen durchgeführt und In-situ-Highspeed-Videos des Schmelzfilms aufgenommen und analysiert.

Optimierung von Laserschneidprozessen

Die durch die Schneidpfeife induzierten, hochfrequenten Schwingungen sind nicht nur in Mikrofonmessungen und

Schlierenaufnahmen nachweisbar, sondern werden erstmalig auch durch Highspeed-Videografie der Schmelzströmung nachgewiesen. Die Schmelzfilmdynamik lässt sich bisher insbesondere im oberen Teil der Schneidfront gezielt kontrollieren. Hier ist die Einkopplung der Gasströmungsschwingung am stärksten ausgeprägt, sodass die Schnittflankenrauheit um bis zu einem Faktor zwei reduziert wird. Zukünftige Untersuchungen zielen auf die weitere Erhöhung des Schwingungs- und Einkopplungsgrads ab. Die Nutzung von akustischen Resonanzen beim Laserstrahlschmelzschnitten ist nur ein Beispiel für das Potenzial, welches die simulative, diagnostische und praktische Berücksichtigung akustischer Effekte für die Verbesserung von Lasermaterialbearbeitungsprozessen bietet. Das Vorhaben wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB 1120 Präzision aus Schmelze finanziert.

*Autor: Marcelo de Oliveira Lopes M. Sc.,
marcelo.lopes@ilt.rwth-aachen.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 die unterschiedlichen Anwendungsfelder Beschichtung, Reparatur und Additive Fertigung 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

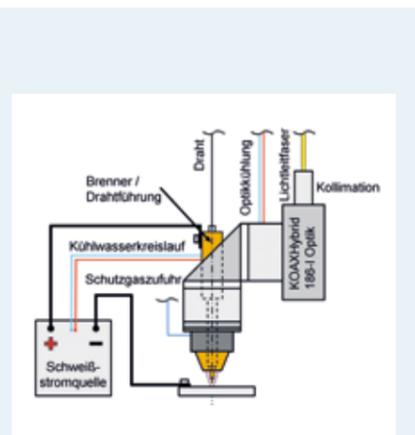
- Additive Fertigung und Reparatur LMD
- Beschichtung LMD und Wärmebehandlung

COLLAR AM – Koaxiales Laser-Lichtbogen-Hybridschweißen

Das Draht-Laserauftragschweißen (WLMD) und das Metall-Schutzgasschweißen mit Lichtbogen (WAAM) sind etablierte Verfahren für die Additive Fertigung. Aufgrund der guten Fokussierbarkeit der Laserstrahlung können mittels WLMD besonders feine Strukturen mit kleiner Oberflächenwelligkeit hergestellt werden, die Auftragrate ist jedoch begrenzt. Das WAAM-Verfahren zeichnet sich dagegen durch größere Auftragraten, aber auch größere Oberflächenwelligkeit und Schweißspritzer aus, die zu Porenbildung im Bauteil führen. Die Kombination beider Verfahren zu einem neuen Hybridprozess ermöglicht es, die verfahrensspezifischen Vorteile zu kombinieren, erfordert jedoch die Neuentwicklung der notwendigen System- und Prozesstechnik.

Innovative Systemtechnik

Für den innovativen Prozess zum koaxialen Laser-Lichtbogen-Hybrid-Auftragschweißen (engl.: Coaxial Laser Arc Hybrid COLLAR Hybrid) wurde eine neue Schweißoptik mit koaxialer Anordnung beider Verfahren entwickelt. In der Prozessentwicklung wurden geeignete Verfahrensparameter für einen gleichzeitigen Prozessstart ermittelt und Bereiche mit unterschiedlichen Leistungsanteilen der beiden Verfahren hinsichtlich der aufgeschweißten Geometrien und Auftragraten untersucht. Mittels metallographischer Analyse wurden dann Prozessfenster für einen defektfreien Auftrag definiert.

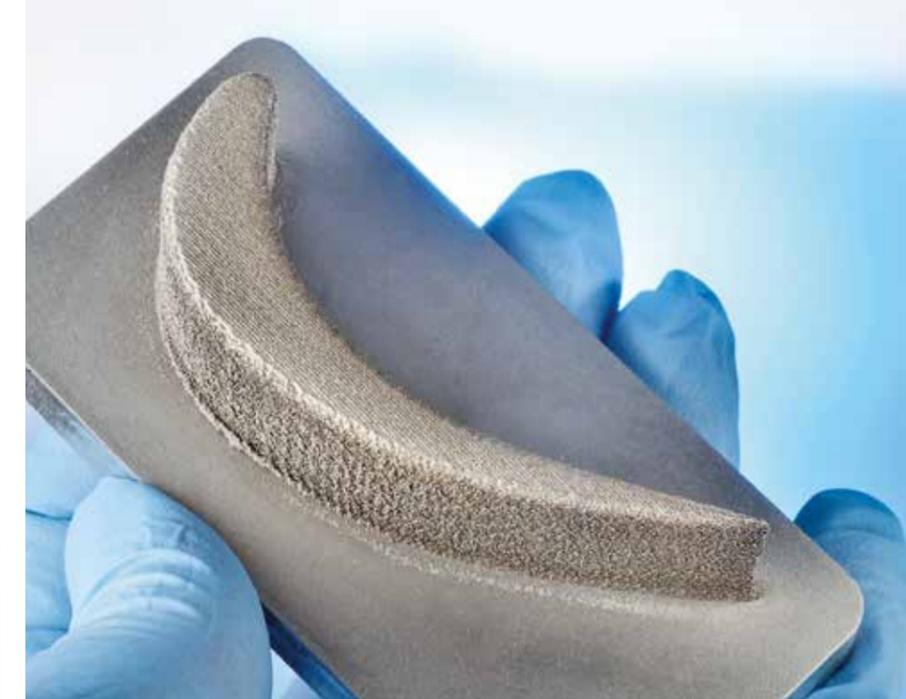


1 Für das neue COLLAR-Hybrid-AM-Verfahren werden Lichtbogen und Laserstrahlung kombiniert.
2 Aufbau des COLLAR-Hybrid-AM.

COLLAR-Hybridprozess – Vorteile für die Additive Fertigung

Mit dem COLLAR-Hybridprozess können Bauteile mit den Auftragraten des WAAM und der Präzision des WLMD additiv gefertigt werden. Im Vergleich zu einem reinen WLMD-Prozess können die Auftragraten bei gleichbleibenden Qualitäten auf bis zu 4 kg/h vergrößert und Schweißgeschwindigkeiten von bis zu 3 m/min realisiert werden. Mit dem Prozess sind alle konventionellen Schweißelektroden oder Standarddrähte im Bereich von 0,8–1,6 mm verarbeitbar. COLLAR Hybrid ist zudem als Fügeprozess einsetzbar, mit dem 3D-Nahtfolgen gefügt werden können. Aufgrund der verbesserten Eigenschaften kann der Hybridprozess in nahezu allen Bereichen des Metallbaus eingesetzt werden. Das IGF-Vorhaben »Richtungsunabhängiges Laser-MSG-Hybridschweißen mit Ringfokus und koaxialer Drahtzuführung für das Verbindungsschweißen und die Additive Fertigung – KoaxHybrid« des Deutschen Verbands für Schweißen und verwandte Verfahren (DVS) wurde von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.

Autor: Max Fabian Steiner M. Sc.,
max.fabian.steiner@ilt.fraunhofer.de



1 Dünnwandige Bauteilstruktur aus IN718.
2 Schaufel-Demonstrator aus IN738.

EHLA 3D – Additive Fertigung schwer schweißbarer Legierungen

Größere Präzision und verbesserte Auflösung

Der Einsatz des Extremen Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißens für die Additive Fertigung (EHLA 3D) ermöglicht zahlreiche Vorteile gegenüber der konventionellen Verfahrensführung beim Laserauftragschweißen, wie etwa eine deutlich höhere Präzision und Auflösung der hergestellten Strukturen und Volumina bei gleichzeitig hohen Aufbauraten. Durch eine gezielte Anpassung der Prozessführung lassen sich der Wärmeeintrag in den Grund- und Zusatzwerkstoff sowie die Abkühlraten präzise steuern. Dadurch gelingt auch die defektfreie Verarbeitung von Legierungen, die bei konventioneller Verfahrensführung als nicht oder schwer schweißbar gelten. Dazu zählen beispielsweise einige Nickelbasis-Superlegierungen oder auch Aluminium- oder Kupferbasiswerkstoffe.

Speziell entwickelte Anlagentechniken am Fraunhofer ILT

Am Fraunhofer ILT stehen zwei für das EHLA 3D-Verfahren geeignete Werkzeugmaschinen zur Verfügung, eine speziell entwickelte Parallelkinematik sowie eine modifizierte 5-Achs-CNC-Anlage. Mit den Systemtechniken werden experimentell Prozessparameterbereiche für die heißbrisanfälligen Nickelbasislegierungen Inconel®718 sowie Inconel®738 für Stege und Volumina ermittelt, die resultierenden Gefüge metallografisch untersucht und die mechanischen Eigenschaften bestimmt.

Enormes Potenzial für industrielle Anwendungen

Dünnwandige Strukturen mit Wandstärken kleiner 500 µm sowie Volumina können rissfrei und mit relativen Dichten von über 99 Prozent additiv gefertigt werden, wobei gleichzeitig Pulverauftragswirkungsgrade von bis zu 97 Prozent mit Aufbauraten von ca. 2 kg/h realisiert werden können. Im Rahmen des Industriekonsortiums ICTM – International Center for Turbomachinery Manufacturing wurde eine komplexe Schaufelgeometrie aus Inconel®738 defektfrei und endkonturnah gefertigt. Die Ergebnisse unterstreichen das enorme Potenzial der Technologie für industrielle Anwendungen, wie z. B. im Turbomaschinenbau sowie in der Luft- und Raumfahrttechnik. Die Kombination verschiedener Materialien (z. B. gradierte Schichten) und die Erforschung weiterer Materialsysteme eröffnet Perspektiven in bisher unbekanntem Anwendungsfeldern wie z. B. im Werkzeugbau und in der Reparatur.

Autor: Cedric Hauschopp M. Sc.,
cedric.hauschopp@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

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

Laserschneiden und -wärmebehandeln von Formplatinen aus Kaltband für den Leichtbau

Kaltgewalzte Spezialstähle zeichnen sich durch hohe Festigkeiten, kundenspezifische Oberflächen und enge Toleranzen aus. Damit bedienen sie hervorragend die besonderen Anforderungen des automobilen Leichtbaus. In Zusammenarbeit mit der BILSTEIN GROUP (Standort Hagen) wird am Fraunhofer ILT der werkzeuglose, verschleißfreie und flexible Zuschnitt von Formplatinen aus Kaltband mittels High Speed Laser Blanking sowie deren lokale Entfestigung mittels Laserwärmebehandlung entwickelt. Weitere Merkmale von beiden Verfahren sind die gleichbleibend hohe Kantenqualität sowie die gezielte Einstellung von Umformbarkeit und Crashverhalten der bearbeiteten Bauteile. Beide Projekte laufen in der BILSTEIN GROUP unter den Markennamen BILCUT und BILTIC.

Gezielte Ausnutzung der Laserflexibilität

Ein wesentlicher Schlüssel zur Optimierung des High Speed Laser Blankings bezüglich Produktivität, Qualität und Flexibilität besteht in der Anpassung sämtlicher Parameter der Laserstrahlquelle und -optik an die geforderte Ausbringung für das avisierte Produktportfolio. Diese Optimierungsaufgaben werden durch Simulationsrechnungen und experimentelle Nachweise an hochdynamischen Bearbeitungsanlagen gelöst. Die lokale Wärmebehandlung erfolgt ebenfalls mittels Laserstrahlung. Eine Zoomoptik ermöglicht die flexible Anpassung des Strahls an die zu entfestigende Fläche.

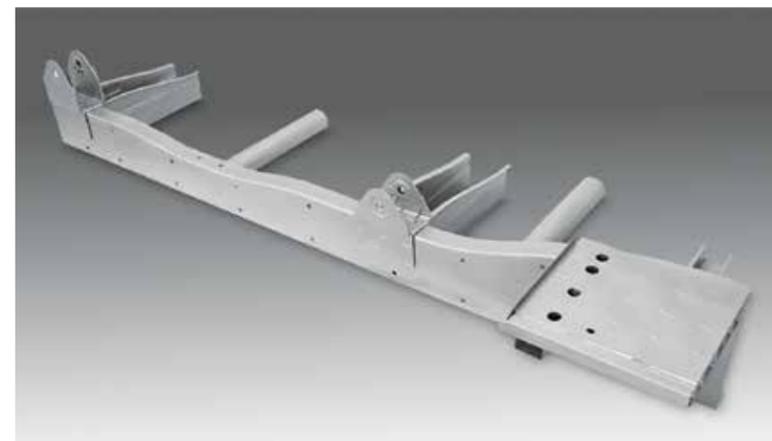
Schnell zu optimalen Gebrauchseigenschaften

Das Referenzmaterial ist die BILSTEIN-Güte CR600LA mit einer Dicke von 2 mm. Diese kann bei einer Laserleistung von 6 kW mit Geschwindigkeiten von bis zu 52 m/min geschnitten werden. Bei einer Dicke von 1 mm werden Geschwindigkeiten von über 100 m/min erreicht. Der geringe Wärmeeintrag des Schneidprozesses minimiert die Kantenaufhärtung mit deutlich geringerer Eindringtiefe als beim Stanzen. Bei der lokalen Wärmebehandlung wird das Gefüge in den gewünschten Bauteilbereichen rekristallisiert. Durch Anpassung der Verfahrensparameter kann der Entfestigungsgrad bzw. das Umformverhalten gezielt an die geforderten Fertigungsoperationen und Gebrauchseigenschaften angepasst werden.

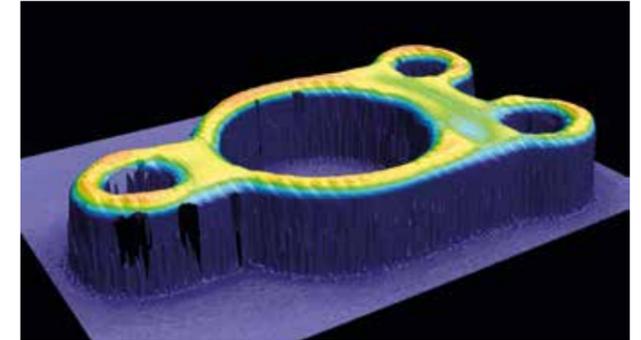
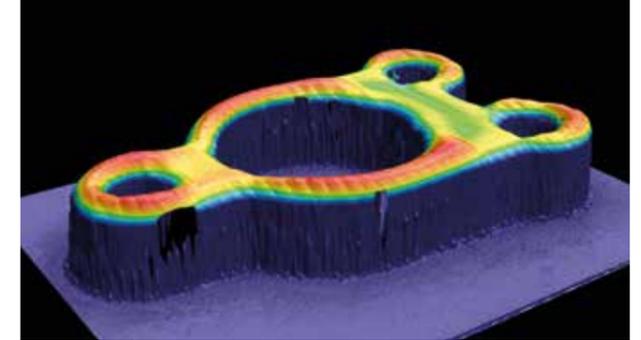
Anwendungen im automobilen Leichtbau

Die Anwendungen werden hauptsächlich im Bereich Automotive gesehen. Ein Beispiel ist der im Bild gezeigte Demonstrator aus dem vom BMWK geförderten Projekt FlexHyBat. Der darin integrierte Längsträger wurde von DataM ausgelegt und 3D-rollumgeformt. Die zugehörige Formplatte wurde vom Fraunhofer ILT im Unterauftrag der BILSTEIN GROUP lasergeschnitten und partiell entfestigt.

Autoren: Rebar Hama-Saleh M. Sc., Dr. Frank Schneider, rebar.hama-saleh@ilt.fraunhofer.de, frank.schneider@ilt.fraunhofer.de



Ausschnitt eines lasergeschnittenen, partiell laserentfestigten und 3D-rollumgeformten Längsträgers mit Anbauteilen, © Dörken Coatings GmbH & Co. KG.



Additiver LMD-Aufbau ohne (oben) und mit (unten) KI-Vorhersage.

KI-basierte Prozessauslegung beim Laserauftragschweißen

Bei der Additiven Fertigung von Bauteilen mittels pulverbasiertem Laserauftragschweißen (LMD) hat die Erwärmung des Volumens einen entscheidenden Einfluss auf Prozessstabilität und Konturgenauigkeit. Diese intrinsische Erwärmung führt bei konstanten Verfahrensparametern dazu, dass während des Prozesses Abweichungen der Dicke in den aufgetragenen Lagen auftreten, da sich das Schmelzbadvolumen verändert. Wenn das Zusammenspiel aller Verfahrensparameter nicht mehr im optimalen Prozessfenster liegt, führt dies zu Konturabweichungen im Bauteil bis hin zu Prozessabbrüchen. Insbesondere bei komplexen Geometrien ist eine zeitintensive Prozessentwicklung für angepasste Verfahrensparameter und Aufbaustrategien erforderlich.

1. Schritt: Datenerfassung im Prozess

Das Schmelzbadvolumen im LMD ist ein entscheidender Indikator für die Stabilität des Prozesses. Als Messgröße kann die Schmelzbadoberfläche mittels einer in den Strahlengang integrierten Kamera erfasst werden. In einem ersten Ansatz soll die Varianz der Schmelzbadoberfläche durch Anpassung der Laserleistung im Prozess reduziert werden. Zu diesem Zweck wird zunächst ein KI-Modell mit Daten aus einem LMD-Prozess mit konstanten Verfahrensparametern beim Aufbau einer Geometrie trainiert.

Trainierte KI für mehr Prozessstabilität

Das KI-Modell lernt dabei Zusammenhänge zwischen Laserleistung, Geometrie und weiteren bauteilabhängigen Einflussfaktoren. Das trainierte KI-Modell kann anschließend eingesetzt werden, um die erforderliche Laserleistung für einen stabilen Prozess vorherzusagen. Somit entfallen umfangreiche Experimente und Auswertungen zur Einstellung geeigneter Verfahrensparameter, wenn sich z. B. die Geometrie eines Bauteils ändert. Das KI-Modell kann die Prozessentwicklung im LMD durch a priori Vorhersage eines stabilen Prozesses deutlich reduzieren. Das Modell wird mit zunehmender Datenmenge fortlaufend verbessert. Zukünftig soll das KI-Modell auch zur Vorhersage weiterer Verfahrensparameter, wie z. B. der Vorschubgeschwindigkeit, erweitert werden. Das Konzept kann für die Additive Fertigung, die Reparatur oder das Beschichten eingesetzt werden.

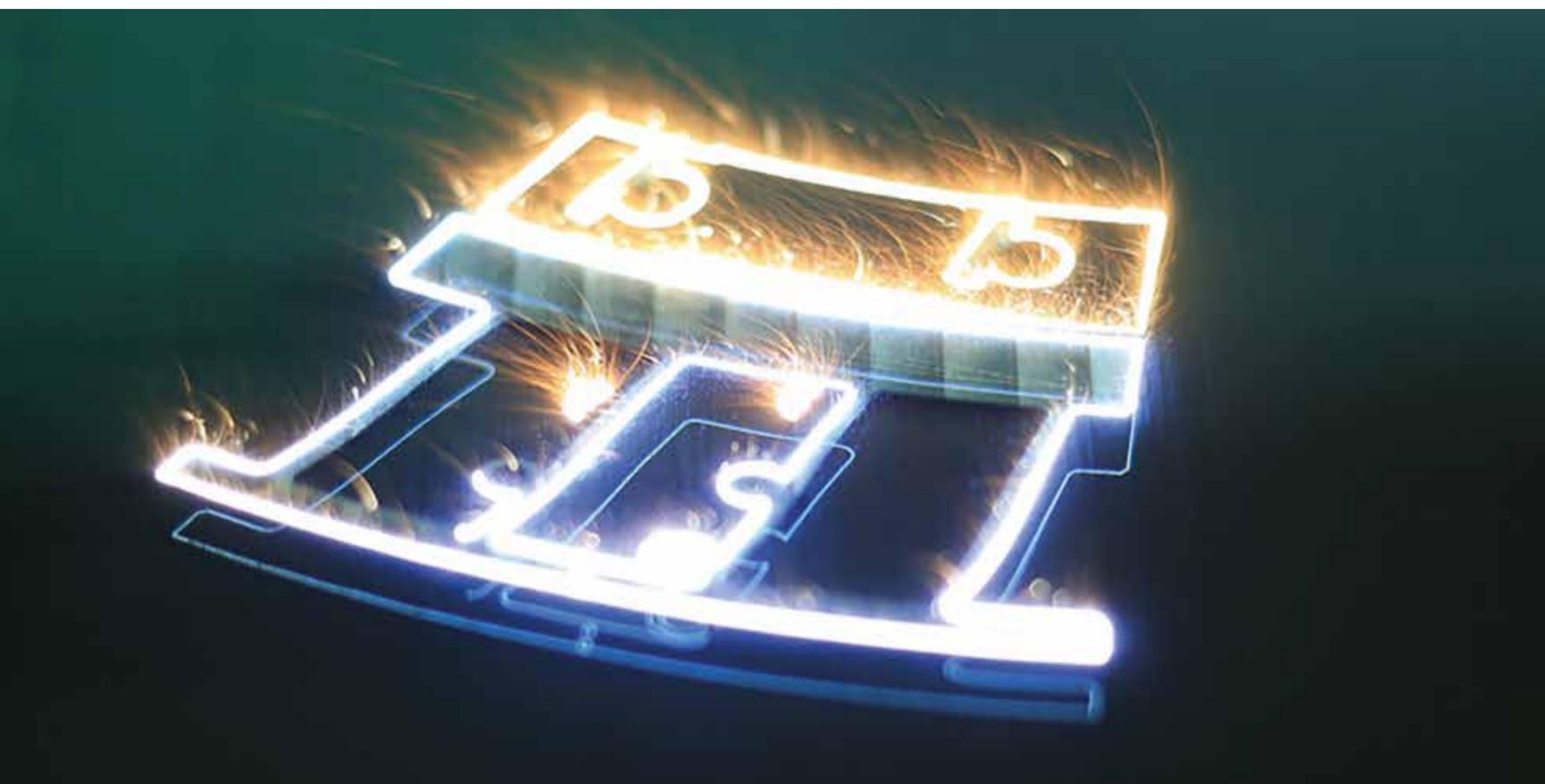
Autor: Max Gero Zimmermann M. Sc., max.zimmermann@ilt.fraunhofer.de



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

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

Abteilung Laser Powder Bed Fusion

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

Linienintegration additiver Fertigungsverfahren

LPBF an der Schwelle zur Serienproduktion

Das Fraunhofer ILT erforscht seit Mitte der 90er Jahre das additive Fertigungsverfahren Laser Powder Bed Fusion (LPBF). Zunächst als Verfahren zur Prototypenfertigung eingesetzt, streben industrielle Anwender jetzt die Etablierung des Fertigungsverfahrens in der Serienproduktion an. Als wesentliche Hürden gelten dabei unter anderem große Bauteilstückkosten, ein geringer Automatisierungsgrad und die mangelnde Integration in industrielle Prozessketten – sowohl auf digitaler als auch auf physischer Ebene. Diesen Herausforderungen hat sich das Fraunhofer ILT gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung in den Projekten IDAM (FKZ 13N15080) und IDEA (FKZ 13N15001) im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme »Linienintegration additiver Fertigungsverfahren« gestellt.

Industrialisierung und Digitalisierung der Additiven Fertigung mittels LPBF

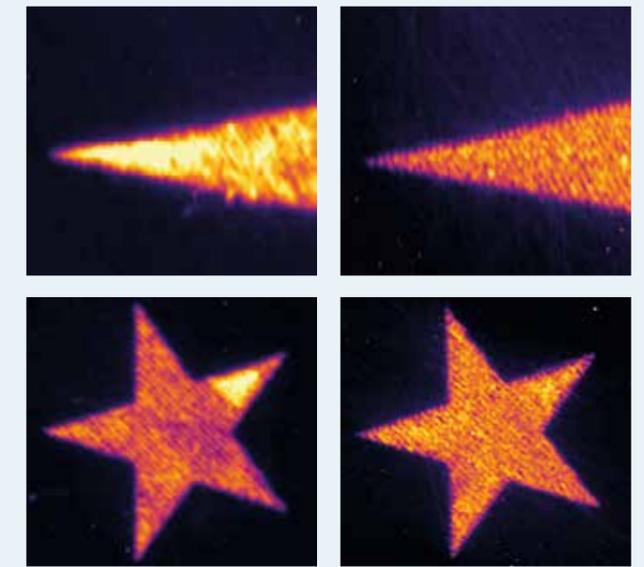
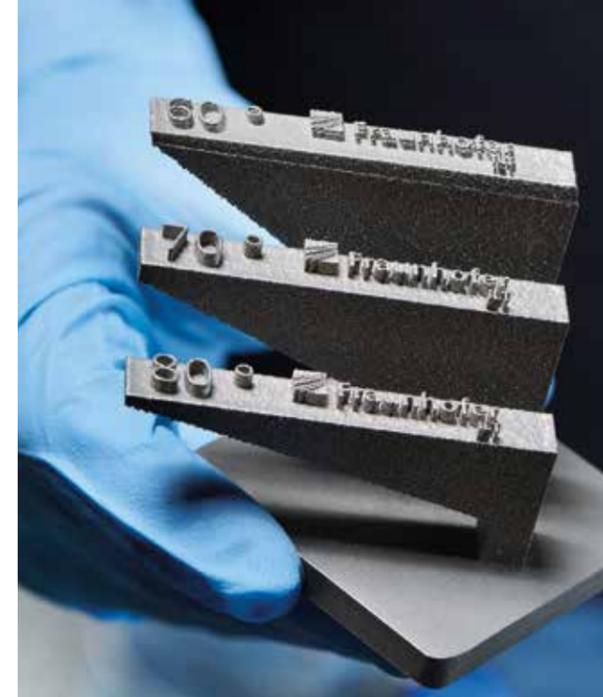
Im Projekt IDAM mit Fokus auf automobiler Serienproduktion wurde am Fraunhofer ILT die Entwicklung einer adaptiven, geometrie- und anwendungsangepassten LPBF-Prozessführung, ein Verfahren zur automatischen Entfernung von Stützstrukturen sowie der Einfluss des Recyclings des beim LPBF verwendeten Metallpulvers untersucht. Im Projekt IDEA mit Fokus auf Turbomaschinenbau und Luftfahrt wurde am Fraunhofer ILT die

gepulst-modulierte Belichtung der Bauteilkontur sowie die Integration einer hochauflösenden Stereokamera zur Detektion von Prozessinstabilitäten entwickelt.

Entscheidende Entwicklungen für den Einsatz von LPBF in der Serienproduktion

Durch die adaptive LPBF-Prozessführung konnte bei gleichbleibender Bauteilqualität die Produktivität bei der Verarbeitung der Aluminiumlegierung AlSi10Mg um bis zu 50 Prozent vergrößert werden. Mittels der entwickelten digitalen Werkzeuge konnte außerdem eine dynamische Auswahl der LPBF-Prozessparameter entsprechend der Bauteilbelastung demonstriert werden. Das entwickelte Verfahren zur nasschemischen Bauteilentstützung ermöglicht eine vollautomatische und werkzeuglosen Stützenentfernung beim LPBF. Mithilfe der gepulst-modulierten LPBF-Prozessführung konnten bei Inconel® 718 eine Erhöhung der Detailauflösung und Konturgenauigkeit erreicht werden. Hierdurch werden kleinere Bauteilfeatures wie komplexe Kühlsysteme ermöglicht sowie der Nachbearbeitungsaufwand reduziert. Durch die KI-basierte Auswertung der Monitoringdaten können Prozessinstabilitäten beim LPBF wie Pulverbettdefekte und Bauteilverzug zuverlässig detektiert werden.

Autoren: Dr. Tobias Pichler, Thomas Laag M. Sc., tobias.pichler@ilt.fraunhofer.de, thomas.laag@ilt.fraunhofer.de



1 Mit adaptiver Prozessführung gefertigte Probekörper mit bis zu 10°-Überhängen.
2 Thermographische Aufnahmen von Probekörpern ohne Regelung (li.) und mit geschlossenem Regelkreis (re.).

Adaptive Prozessführung im Laser Powder Bed Fusion

Komplexität in drei Dimensionen »for free«?

Die metallische Additive Fertigung ermöglicht prinzipiell die Herstellung geometrisch beliebig komplexer Bauteile. Jedoch beeinflussen Bauteilgeometrie, -orientierung und lokale Fluktuationen der Prozessrandbedingungen die räumliche und zeitliche Temperaturverteilung und damit das Bearbeitungsergebnis. So können zum Beispiel sich überhängende oder filigrane Bauteilbereiche thermisch deformieren oder reißen. Als gegenwärtige Lösungen werden zusätzliche Stützstrukturen gefertigt sowie die Bauteilgeometrie eingeschränkt. Am Fraunhofer ILT wird die lokale Adaption der Fertigungsparameter zur Homogenisierung der Bauteileigenschaften erforscht.

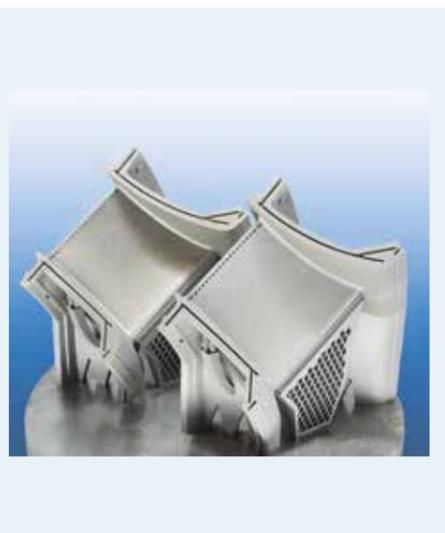
Prozessmodellierung und geschlossener Regelkreis

Zwei komplementäre Ansätze werden parallel verfolgt. Einerseits werden typische geometrische Merkmale aus Bauteilen extrahiert und deren Auswirkung auf die Temperaturverteilung modelliert und experimentell untersucht. Aus den Ergebnissen werden Regeln zur lokalen Adaption der Verfahrensparameter abgeleitet und mittels eigens entwickelter Anlagensteuerung implementiert. Andererseits werden die thermischen Emissionen des Schmelzprozesses überwacht und prozessbegleitend in einem geschlossenen Regelkreis zur Adaption der Laserleistung genutzt (closed loop).

Mehr Geometriefreiheit bei gleicher Qualität

Die regelbasierte Anpassung der Prozessparameter ermöglicht bereits jetzt die stützenfreie Fertigung von Bauteilen mit einem Überhangswinkel von bis zu 10°. Auch spitz zulaufende Bauteilbereiche können wesentlich geometrietreuer gefertigt werden. Mittels eines geschlossenen Regelkreises kann die Strahlungsintensität des Schmelzbads erfolgreich homogenisiert werden. Dies ermöglicht bisher, insbesondere bei komplexen Geometrien innerhalb einer Lage, eine Verbesserung der Bauteilqualität. Zukünftig werden die beiden Ansätze in Form einer adaptiven Prozessregelung kombiniert.

Autor: Felix Gabriel Fischer M. Sc., felix.fischer@ilt.fraunhofer.de



1 Pilotlinie für die additive Serienfertigung bei der BMW Group, © BMW Group.
2 Turbinenleitschaufel mit kontinuierlicher (links) und gepulst-modulierter (rechts) LPBF-Prozessführung.



Kontakt

Niklas Prätzsch M. Sc.
Gruppenleiter
LPBF-Prozess- und Systemtechnik
Telefon +49 241 8906-8174
niklas.praetzs@ilt.fraunhofer.de

Ökologische Bilanzierung des LPBF-Prozesses

Nachhaltigkeit für LPBF in der Industrie

Additive Fertigungsverfahren wie das pulverbettbasierte Laser Powder Bed Fusion (LPBF) haben in den letzten Jahren einen hohen technologischen Reifegrad erreicht und werden zunehmend in der Serienfertigung eingesetzt. Das Verfahren bietet im Hinblick auf Nachhaltigkeit Vorteile wie die ressourcenschonende und endkonturnahe Fertigung von funktionsoptimierten Bauteilen sowie die Wiederverwendbarkeit des ungenutzten Metallpulvers. Diese positiven Eigenschaften der Additiven Fertigung erfüllen die Anforderungen einer nachhaltigen Produktion durch eine Steigerung der Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft sowie einer Reduktion von Energieverbräuchen. Damit bietet das additive Verfahren gegenüber Subtraktiven den Vorteil, geringere Emissionen zu verursachen.

Zusammenführung von LPBF und LCA

Neben den Kosten und der Bauteilqualität wird der ökologische Fußabdruck zukünftig ein wichtiges Bewertungskriterium von Fertigungstechnologien sein. Produzierende Unternehmen nehmen ihre Verantwortung wahr, umweltbelastende Emissionen zu reduzieren; die Umsetzung scheitert jedoch häufig an der Ermittlung der generierten Emissionen. Lebenszyklusanalysen (Life Cycle Assessment, LCA) von Bauteilen generieren ein tiefgreifendes Verständnis des Einflusses einzelner

Prozessschritte auf die Nachhaltigkeit der Fertigung und helfen bei der Identifikation relevanter Stellgrößen. Bisherige LCA-Untersuchungen betrachten die LPBF-Prozesskette nur unzureichend.

Ökologische Bilanzierung am Beispiel einer gefertigten LPBF-Komponente

Das Fraunhofer ILT kooperiert auf diesem Gebiet mit dem Pulverhersteller 6K Additive (Burgettstown, PA, USA). In einer gemeinsamen Studie werden industriell relevante Bauteile mit einem aus recyceltem IN718 hergestellten Pulvers gefertigt und der Prozess in Bezug auf Nachhaltigkeit analysiert. Dazu werden Primärdaten der Stoff- und Energieflüsse auf LPBF-Systemebene vor, während und nach dem Fertigungsprozess erfasst, ausgewertet und in ein softwarebasiertes LCA-Modell integriert. Der ökologische Fußabdruck von der Materialherstellung bis zum additiven Fertigungsprozess kann so erstmals gesamtheitlich bilanziert und mögliche Stellschrauben zur weiteren Verbesserung der ökologischen Effizienz des Verfahrens identifiziert werden.

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



Additiv gefertigtes Laufrad für eine LCA-Studie zum LPBF.



Kontakt

Dipl.-Ing. Simon Vervoort
Gruppenleiter LPBF-Applikationsentwicklung
Telefon +49 241 8906-602
simon.vervoort@ilt.fraunhofer.de



SLS-Laboranlage für die Verarbeitung von neuartigen Werkstoffen.

Funktionalisierung neuartiger Polymerwerkstoffe für das SLS

Während das Selektive Lasersintern (SLS) zunächst nur zur Prototypenfertigung eingesetzt wurde, entwickelt es sich derzeit zu einem kommerziell verwendeten Fertigungsverfahren für Serienbauteile. Ein Nachteil des SLS im Vergleich zum Spritzgießen ist die zurzeit noch eingeschränkte Materialauswahl. Thermoplastische Polyurethane (TPU) bilden eine der wichtigsten Familien von Elastomeren, die aufgrund ihrer vielseitigen mechanischen Eigenschaften (insbesondere große Bruchdehnung > 700 Prozent) für verschiedene Anwendungen wie individuelle Fußbekleidung oder hochwertige Automobilbauteile geeignet sind. Im Forschungsvorhaben SLS Elasto soll die Prozessfähigkeit von neuartigen TPU-Werkstoffen mit kleiner Shore-A-Härte von 50–60 entwickelt werden, wodurch Bauteile mit spritzgussäquivalenten Bauteileigenschaften für das SLS erreicht werden.

Qualifizierung des TPU-Basismaterials

Das in Vorarbeiten erforschte TPU-Basismaterial ist so noch nicht für den industriellen Einsatz in der Additiven Fertigung geeignet. Es wird zunächst mit Rieselhilfen, Additiven und Absorbieren funktionalisiert und der Einfluss der Werkstoffeigenschaften auf die Verarbeitbarkeit untersucht. Damit ein neues Pulvermaterial breite Anwendung finden kann, muss es für die am Markt etablierten SLS-Maschinen qualifiziert werden. Daher wird eine speziell an den Werkstoff angepasste SLS-Prozessführung erarbeitet. Anschließend werden verschiedene Nachbearbeitungsverfahren hinsichtlich der Verbesserung der Oberflächenrauheit untersucht.

Parallel zur Werkstoffqualifizierung werden Konstruktionsrichtlinien für Bauteile mit integrierten Funktionen aus besonders weichem TPU erarbeitet.

Vielversprechende Ergebnisse

Erste Werkstoffanalysen und Fertigungsversuche zeigen vielversprechende Ergebnisse. Besonders weiche TPU-Werkstoffe können in der Medizintechnik z. B. für individualisierte Einlegesohlen und Prothesen eingesetzt werden. Weitere Anwendungsfelder sind der Maschinen- und Anlagenbau (z. B. Greifersysteme) sowie die Herstellung von Prototypen, Kleinserienprodukten und Ersatzteilen für verschiedene Industriezweige. Das FuE-Vorhaben SLS Elasto wird im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 03XP0466D durchgeführt.

Autor: Daniel Flachsenberg M. Sc., daniel.flachsenberg@ilt.fraunhofer.de



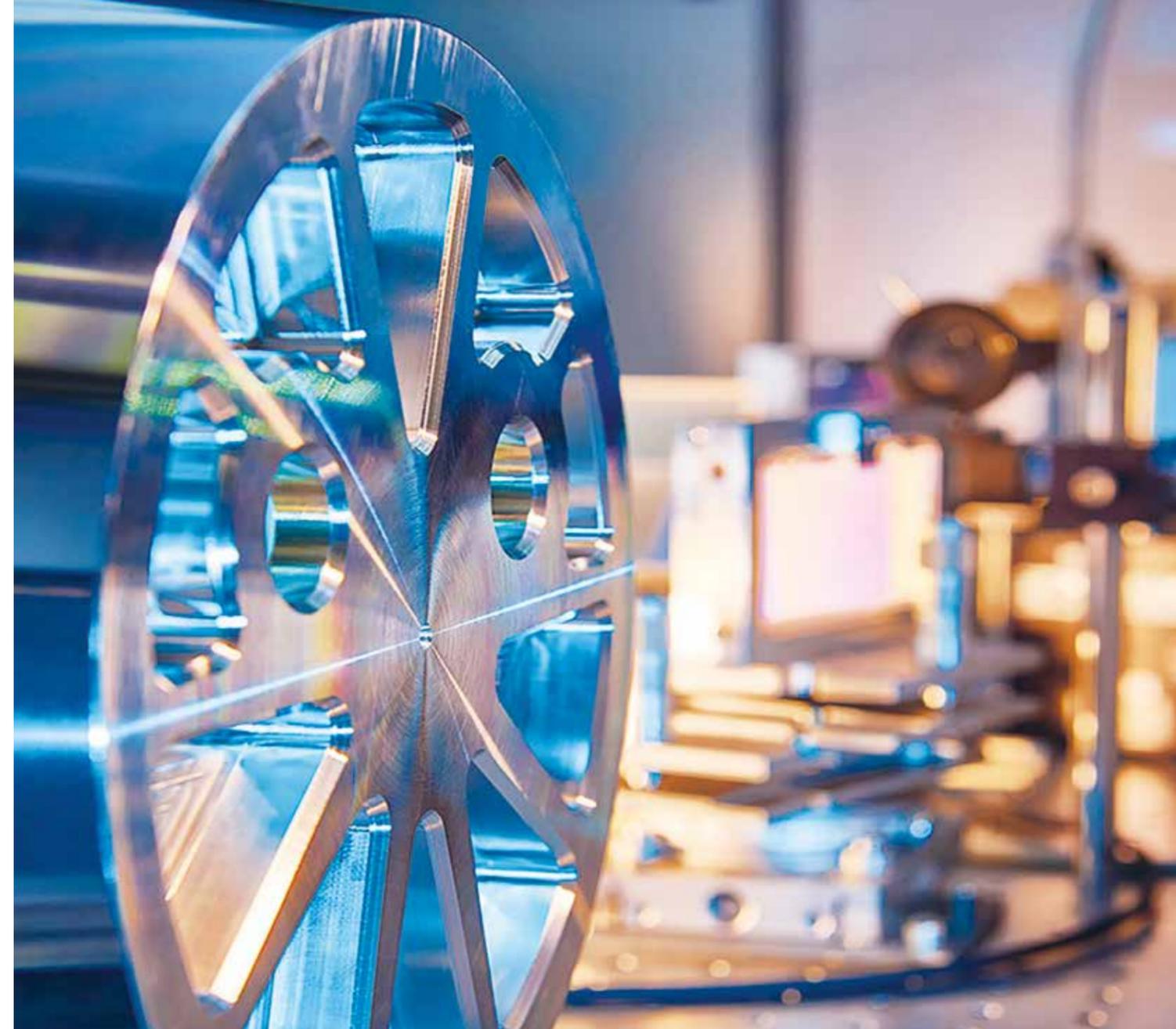
Kontakt

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
- Ultrakurzpuls laser
- NLO und abstimmbare Laser

Design 3D-gedruckter Optiken für die Terahertz-Strahlformung

Die Anwendungsgebiete der Terahertz-Technologie (THz) sind vielfältig und reichen von Spektroskopie über zerstörungsfreie Werkstoffprüfung bis zu drahtloser Kommunikation. Neben Off-Axis-Parabolspiegeln werden für die Formung von THz-Strahlung refraktive Optiken aus Polymeren oder Silizium verwendet, die durch spanende Verfahren aus Vollmaterial oder mittels Formpressen aus Pulver hergestellt werden. Im Vergleich zu dem häufig eingesetzten Polymer HDPE weist TOPAS eine besonders geringe Absorption und Dispersion im THz-Bereich auf und ist daher für die Herstellung von THz-Optiken besonders geeignet. In Kombination mit kommerziell verfügbaren, präzisen 3D-Filament-Druckern ermöglicht dies die effiziente Herstellung von Freiform-Optiken für die THz-Strahlformung im Rahmen des Fraunhofer-Prepare-Projekts TERAPID, das gemeinsam mit dem Fraunhofer HHI durchgeführt wird.

Optimierung der Transmission

Beim Design der refraktiven Optiken für THz-Anwendungen ist neben der Qualität der Abbildung auch die Transmission des Materials ein kritischer Parameter, da Polymeroptiken für THz-Frequenzen eine deutlich größere Absorption aufweisen als konventionelle Glasoptiken für den sichtbaren oder infraroten

Spektralbereich. Zur Minimierung von Volumenabsorption und sphärischen Aberrationen wurde für die Abbildungsoptiken ein Fresnel-Design mit asphärischen Segmenten gewählt.

Beugungsbegrenzte Optiken

Ausgelegt wurden verschiedene Optiken mit identischer Brennweite, beugungsbegrenzter Abbildung für achsparallele Strahlen und unterschiedlicher Anzahl Fresnel-Zonen mit asphärischer Oberfläche. Die TOPAS-Linsen wurden von dem Projektpartner Fraunhofer HHI in verschiedenen Qualitäten 3D-gedruckt. Zum Vergleich von Abbildungsleistung und Transmissionsgrad wurden HDPE-Linsen mit gleicher Brennweite und Ausführung konventionell spanend gefertigt. Verglichen mit einer asphärischen Linse ohne Segmentierung konnte bei der Fresnel-Linse mit drei Zonen die Mittendicke um zirka 50 Prozent reduziert werden. Die Optiken sind beugungsbegrenzt, allerdings treten an den Kanten der Fresnel-Zonen Streuverluste auf. Im nächsten Schritt wurde eine bi-asphärische f-Theta-Linse aus TOPAS ausgelegt und hergestellt. Mit einem Spiegelscanner konnte die beugungsbegrenzte Abbildung über das Scanfeld von 15 mm x 15 mm gezeigt werden.

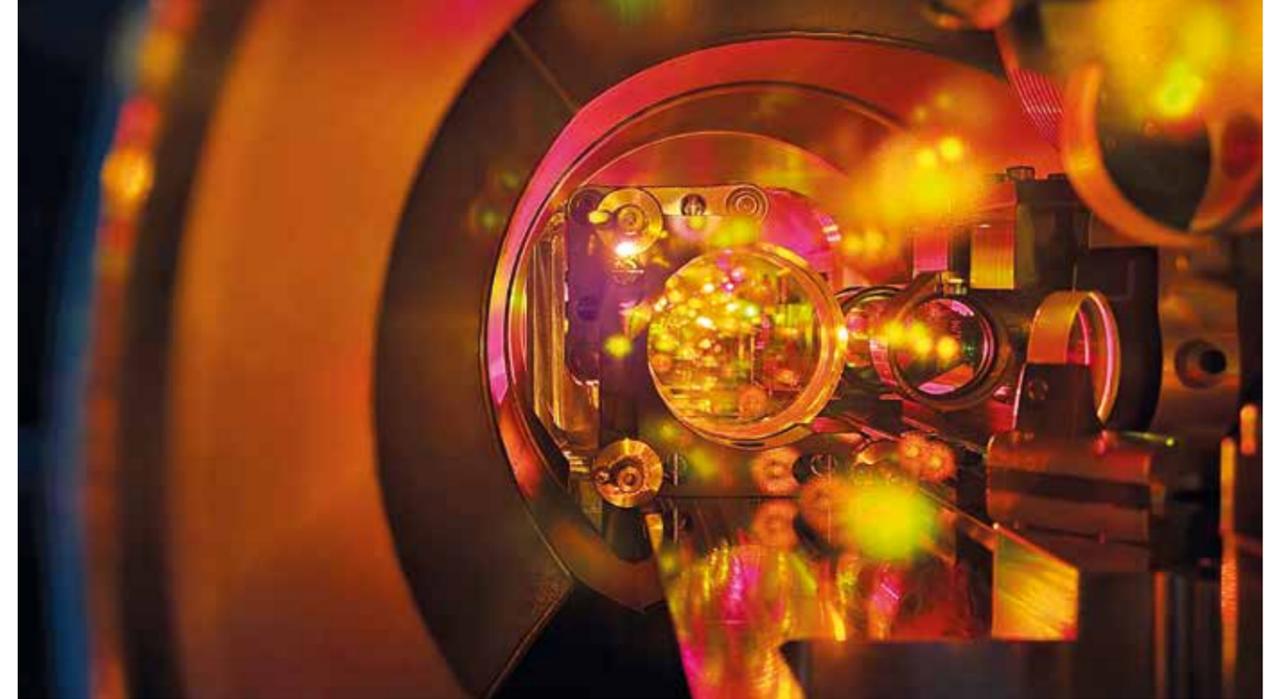
Autorin: Sarah Klein M. Sc., sarah.klein@ilt.fraunhofer.de

3D-gedruckte, asphärische Linse aus TOPAS für die Terahertz-Strahlformung.



Kontakt

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



Blick durch ein Beobachtungsfenster während des MPC-Betriebs.

Entwicklung einer Multipasszelle zur Pulskompression im nahen Infrarotbereich

In den letzten Jahren wächst zunehmend das Interesse an Laserquellen mit einer hohen Pulsenergie und hoher Repetitionsrate im kurzwelligen Infrarot (1,4–3 μm) für wissenschaftliche und industrielle Anwendungen. Im Vergleich zu den etablierten Strahlungsquellen bei 1 μm bietet die größere Wellenlänge fundamentale Vorteile für einige nichtlineare Konversionsprozesse wie z. B. die Erzeugung von THz- oder weicher Röntgenstrahlung. Für eine effiziente Frequenzkonversion, z. B. durch Erzeugung hoher harmonischer (High-Harmonic-Generation HHG), werden zudem Pulsdauern von nur wenigen Zyklen pro Puls benötigt. Auf Thulium (Tm)-dotierten Fasern oder Kristallen basierende Laser, die bei 2 μm emittieren, können diese kurzen Pulsdauern nicht direkt erzeugen.

Verkürzung der Pulsdauer mit einer Multipass-Zelle

Neben der spektralen Verbreiterung in gasgefüllten Kapillaren haben sich Multipass-Zellen (MPC) als Ansatz für eine nachträgliche Verkürzung der Pulsdauer herauskristallisiert. Sie erhalten die Strahlqualität des Eingangsstrahls und bieten die höchste Gesamttransmission aller Verfahren zur Pulsverkürzung. Bei 1 μm Wellenlänge konnte dies bereits bei der erstmaligen Demonstration dieser Technik durch das Fraunhofer ILT im Jahr 2016 gezeigt werden. Nach heutigem Stand wurden bei 2 μm Wellenlänge jedoch weder mehr als 1 mJ Pulsenergie noch mehr als 100 W Durchschnittsleistung in einer MPC spektral verbreitet und anschließend komprimiert.

Großes Potenzial der MPC-Technologie

Mithilfe eines Tm-Faserlasers des Fraunhofer IOF ist es gelungen, bei 1,9 μm Wellenlänge in einer mit Krypton gefüllten MPC Pulsenergien von 1,6 mJ bei einer Repetitionsrate von 100 kHz spektral zu verbreitern. Mit der anschließenden zeitlichen Kompression konnten bei einer Gesamttransmission von 95 Prozent Pulsdauern von 25 fs erreicht werden, was vier optischen Zyklen entspricht. Diese einzigartigen Ergebnisse demonstrieren die Übertragbarkeit und das enorme Potenzial der MPC-Technologie im kurzwelligen Infrarotbereich und stellen einen wichtigen Meilenstein auf dem Weg zur effizienten Erzeugung von weichen Röntgenstrahlen im Wasserfenster dar.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 01DR20009A durchgeführt.

Autor: Lucas Eisenbach M. Sc., lucas.eisenbach@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

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

Laserstrahlquelle für die satellitengestützte Windmessung

Im Rahmen der AEOLUS-Mission der Europäischen Weltraumorganisation ESA wird derzeit die globale Windverteilung in der Atmosphäre mittels eines satellitengestützten Doppler-LIDAR-Instruments gemessen. Für die von der ESA und dem Satellitenbetreiber EUMETSAT geplante Folgemission AEOLUS-2 wird eine leistungsfähigere Laserstrahlquelle mit longitudinal monofrequenten Laserpulsen von 150 mJ Energie bei einer Pulswiederholrate von 50 Hz und einer Wellenlänge von 355 nm benötigt. Am Fraunhofer ILT wird ein Engineering-Modell der Laserstrahlquelle in Kooperation mit Airbus Defence and Space entwickelt.

Entwicklung eines Thermalsystems

Grundlage des Laserkonzepts sind die Ergebnisse des 2016 abgeschlossenen Projekts NIRLI, in dem eine Konfiguration bestehend aus einem gütegeschalteten Oszillator und zwei nachgeschalteten Nd:YAG-INNOSLAB-Verstärkern aufgebaut wurde. Damit wurden mehr als 500 mJ Pulsenergie bei einer Wellenlänge von 1.064 nm demonstriert. Die Frequenzkonversion auf eine Pulsenergie von 150 mJ im UV erfolgt mithilfe von zwei LBO-Kristallen. Aufbauend auf dem im MERLIN-Projekt gesammelten Erfahrungen wird ein Thermalsystem für die Abfuhr der Verlustwärme unter Weltraumbedingungen entwickelt. Die Verlustwärme von ca. 300 W kann u. a. abhängig von Einsatzszenarien und Alterungseffekten variieren. Im Thermalsystem müssen während der gesamten

Einsatzdauer vergleichsweise enge Temperaturfenster eingehalten werden. Die Entwicklung erfolgt in enger Zusammenarbeit mit den Firmen Airbus Defence and Space und SpaceTech.

Jahrelanger stabiler und wartungsfreier Betrieb

Ein detailliertes Design der Laserstrahlquelle wurde erstellt und im Rahmen eines Detailed Design Review (DDR) von der ESA abgenommen. In dem Modell wird die Verlustwärme effizient mittels Heatpipes aus dem Gehäuse geführt, sodass nur ein geringer Anteil der Verlustleistung in die Grundplatte ein-koppelt. Dies erlaubt einen stabilen Betrieb über einen großen Temperaturbereich. Derzeit läuft die Beschaffung der Komponenten, die Grundplatte wird in der hauseigenen Mechanikwerkstatt gefertigt. Die Integration des Demonstrators startet in den nächsten Monaten. Die gewonnenen Ergebnisse sind in erster Linie für LIDAR-Laserstrahlquellen in rauen Umgebungen wie Satelliten, Flugzeuge oder Hubschrauber von Interesse. Die Aufbautechnik ermöglicht einen jahrelangen stabilen und wartungsfreien Betrieb, sodass die Erkenntnisse auch in die Entwicklung industrietauglicher Festkörperlaser oder kleiner kompakter Strahlquellen einfließen können. Die Arbeiten werden im Auftrag der ESA unter den Vertragsnummern 4000132323/20/NL/AD und 4000137280/22/NL/IA durchgeführt.

Autoren: Dipl.-Phys., Dipl.-Volksw. Dominik Esser, Dipl.-Phys. Martin Giesberts, dominik.esser@ilt.fraunhofer.de, martin.giesberts@ilt.fraunhofer.de



CAD-Modell des AEOLUS-2 – Lasertransmitter-EM.



200 mm lange, lasergebohrte PCF-Geometrie in BK7.

Inverses Laserstrahlbohren zur Fertigung von Faservorformen

Stand der Technik zur Fertigung von Vorformen für verlustarme Hohlstrukturfasern ist das Stack-and-Draw-Verfahren. Das Stacking der Vorformen ist allerdings sehr aufwendig und in Bezug auf die Geometrie der Form und die Anordnung der Hohlstrukturen begrenzt, da asymmetrische Strukturen oder sich ändernde Lochabstände nicht beliebig gestackt werden können. Prinzipiell einfacher und vorteilhafter ist es, die entsprechenden Öffnungen aus einem Quarzglasstab hoher Reinheit herauszubohren.

Weiterentwicklung des Inversen Laserstrahlbohrens

In Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts MPL und dem Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC wird das Inverse Laserstrahlbohren (ILB) weiterentwickelt, um Vorformen für Hohlstrukturfasern mit neuen Geometrien zu fertigen. Beim ILB wird gepulste Laserstrahlung von oben durch das Werkstück hindurch auf dessen Unterseite fokussiert. Für die Bohrung wird nun die gewünschte Geometrie Schicht für Schicht von unten nach oben abgetragen. Das MPL ermittelt vorteilhafte Geometrien, zieht die Fasern und testet sie. Das ISC unterstützt die Prozessentwicklung materialseitig. Zunächst werden Vorformen per ILB gefertigt, die auch gestackt werden können, um die beiden Methoden zu vergleichen. Im Anschluss werden neue, nicht stackbare Geometrien erprobt.

Ergebnisse und Anwendungen

Bislang wurden mehrere verschiedene Geometrien, sowohl stackbare als auch nicht stackbare, über 50 mm Länge erfolgreich in BK7 gebohrt sowie ein besseres Prozessverständnis entwickelt. Außerdem wurde eine Single-Ring-Hohlkernfaservorform erfolgreich mit ILB gefertigt. In den nächsten Schritten werden weitere Geometrien in Quarzglas (z. B. Heraeus F-300) gebohrt und die entsprechenden Vorformen zur Faser gezogen. Das ILB eignet sich prinzipiell zum Bohren von Hohlstrukturen mit großen Aspektverhältnissen oder zum stressfreien Einbringen filigraner Hohlstrukturen in dielektrische Materialien. Das Projekt wird im Rahmen einer internen Kooperation zwischen der Fraunhofer-Gesellschaft und der Max-Planck-Gesellschaft gefördert.

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



Kontakt

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

Kurzgepulste Faserverstärker bei 2 μm Wellenlänge

Für unterschiedliche potenzielle Anwendungen in der Materialbearbeitung, Medizin- oder Messtechnik soll im Rahmen des ZIM-Projekts Diofast2 in Kooperation mit dem Industriepartner PicoLAS ein kompakter und kostengünstiger kurzgepulster Faserverstärker für Wellenlängen um 2 μm entwickelt werden. Die Pulse sollen dabei direkt durch eine Laserdiode erzeugt und faserbasiert auf mehrere 10 W mittlerer Leistung bei Pulsdauern unter 500 ps verstärkt werden. Durch diesen Ansatz ergeben sich technische und wirtschaftliche Vorteile gegenüber marktüblichen Lasersystemen mit vergleichbaren Pulsdauern, die größtenteils auf modengekoppelten Oszillatoren basieren.

Simulation und experimentelle Realisierung

Mit einer Weiterentwicklung der am Fraunhofer ILT verwendeten Simulationssoftware wurde ein Konzept zur mehrstufigen Verstärkung von in Thulium-dotierten Fasern auf > 20 W mittlerer Leistung für kurze Pulse erarbeitet. Basierend darauf wurde anschließend ein bei ca. 800 nm mantelgepumpter, polarisierter Faserverstärker realisiert. Als Signalquelle wird eine geeignete DFB-Laserdiode verwendet, die mit einer neuartigen, vom Projektpartner PicoLAS entwickelten Elektronik direkt gewinngeschaltet wird und dadurch Pulsdauern im Bereich von 50–200 ps liefert.



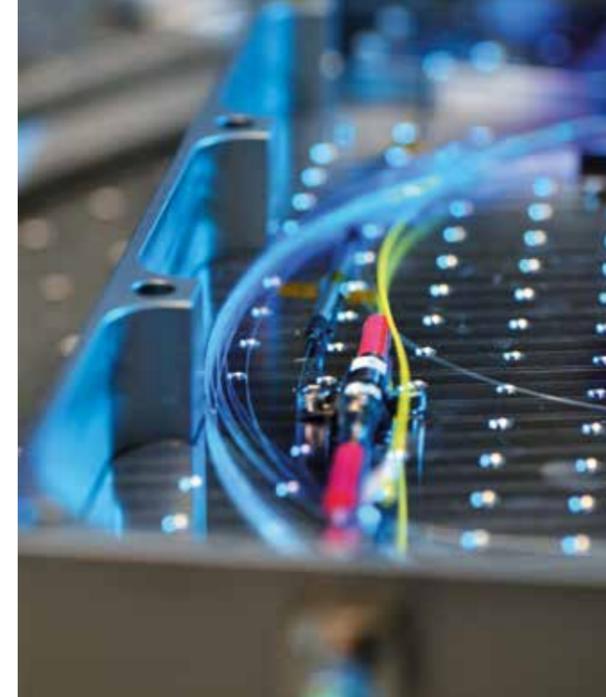
Thulium-dotierter, kurzgepulster Faserverstärker.

Ergebnisse und Anwendungsfelder

Der dreistufige, grundmodige Faserverstärker erreicht eine spektral bereinigte mittlere Ausgangsleistung von > 20 W bei einer Zentralwellenlänge von ca. 1950 nm. Durch den Einfluss nichtlinearer Effekte haben die verstärkten Pulse dabei Dauern im Bereich von 300–350 ps bei Spitzenleistungen bis ca. 10 kW. Neben der Verwendung als augensichere Strahlquelle für LIDAR-Anwendungen können der entwickelte Laser oder einzelne Verstärkerstufen des Gesamtsystems zur Materialbearbeitung z. B. von im sichtbaren Wellenlängenbereich transparenten Kunststoffen eingesetzt werden. Aufgrund der hohen Absorption in Wasser und der blutstillenden Wirkung durch den Koagulationseffekt ist auch ein Einsatz für chirurgische Präzisionsanwendungen möglich.

Das Vorhaben wurde im Rahmen der Förderung »Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand« unter dem Förderkennzeichen 16KN053058 in Kooperation mit der PicoLAS GmbH durchgeführt.

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



Holmium-dotierter Faserverstärker.

Hochstabile Faserverstärker zur Gravitationswellendetektion

Gravitationswellendetektoren ermöglichen einen alternativen Zugang zu interstellaren Prozessen, wie z. B. der Kollision von schwarzen Löchern und Neutronensternen, die sich durch spezifische Signaturen in Form von Gravitationswellen detektieren lassen. Für Gravitationswellendetektoren der nächsten Generation werden am Fraunhofer ILT im Rahmen eines Projekts der Europäischen Weltraumagentur ESA (LISA-Mission) und des Interreg-Projekts E-Test leistungsstabilisierte, spektral schmalbandige Faserverstärker entwickelt. Während sich zwischen beiden Anwendungen vor allem Unterschiede durch die Zentralwellenlänge der Strahlung (1064 nm und 2090 nm) sowie den Einsatzbereich im Weltraum bzw. auf der Erde ergeben, gibt es große Übereinstimmung vor allem im Hinblick auf die verwendete Technologie zur Leistungsstabilisierung.

Maßgeschneiderte Faserverstärkerkonzepte

Um die extremen Stabilitätsanforderungen zu erfüllen, werden unterschiedliche Faserverstärkerkonzepte unter Berücksichtigung nichtlinearer Effekte ausgelegt und experimentell verglichen. In allen Fällen wird ein Seedlaser in einem leistungsstabilisierten Faserverstärker auf die jeweils benötigte Ausgangsleistung verstärkt.

Einsatz im Weltraum und auf der Erde

Bei einer Wellenlänge von 1064 nm (LISA-Mission) konnte eine Ausgangsleistung von 10 W mit einer spektralen Linienbreite von < 10 kHz demonstriert werden. Neben der erstmaligen Erfüllung der hohen Anforderungen der LISA-Mission an die Leistungsstabilität wurden in der aktuellen Projektphase 1000-stündige, operationelle Thermal-Vakuumtests zur Untersuchung der Eignung von Komponenten für den Weltraum einsetz erfolgreich durchgeführt. Parallel wird bei einem Projektpartner ein »Engineering Model« des vom Fraunhofer ILT entwickelten Lasers realisiert. Bei einer Wellenlänge von 2090 nm (E-Test) konnte die Verstärkung auf mehr als 10 W bei einer spektralen Linienbreite von ca. 2 MHz und einem Polarisationsgrad > 20 dB erfolgreich demonstriert werden. Die nächsten Schritte sind die aktive Stabilisierung der Ausgangsleistung, um die hohen nötigen Stabilitätsanforderungen zu realisieren.

Autor: Patrick Baer M. Sc.



Kontakt

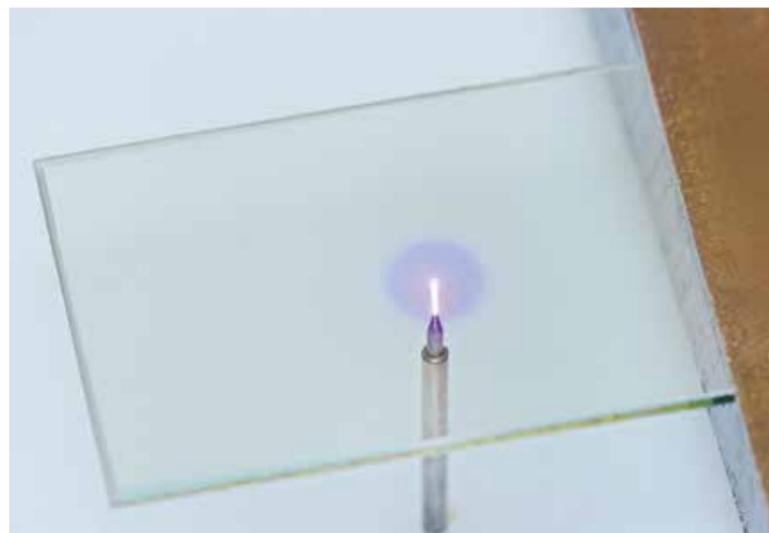
Patrick Baer M. Sc.
Gruppenleiter Faserlaser
Telefon +49 241 8906-8251
patrick.baer@ilt.fraunhofer.de

Brillante Lichtquelle auf Basis einer Barrierentladung

Für viele Anwendungen in der Analytik sind Lichtquellen von hoher Brillanz im ultravioletten bis sichtbaren Spektralbereich erforderlich. Nach aktuellem Stand der Technik kommen dabei meist Deuterium- oder Xenon-basierte Hochdrucklampen zum Einsatz. Eine deutlich höhere Brillanz über einen zusätzlich breiteren Spektralbereich wird noch mit Strahlquellen erreicht, bei denen ein Laser ein Plasma zum Leuchten anregt. Für einige Anwendungen sind allerdings sowohl die Hochdrucklampen als auch die lasergetriebene Quelle nicht hinreichend kompakt und kostengünstig. Dieses Problem soll durch einen neuen Ansatz gelöst werden, bei dem das Licht einer ortsfesten Einzelfilament-Barrierentladung genutzt wird. Eine hohe Brillanz wird dabei durch die Auskopplung des Lichts entlang der Filamentachse erreicht.

Effizienzen bis zu 50 Prozent

Das Prinzip ist in dem experimentellen Aufbau im Bild dargestellt. Das Elektrodensystem besteht aus einer spitzen HV-Elektrode, die die Position des Filaments festlegt, und einer entweder transparenten oder mit einer Öffnung versehenen metallischen Erdelektrode, über die das Licht ausgekoppelt wird. Beim Anlegen einer HV-Wechselspannung entstehen



Einzelfilament-Barrierentladung mit transparenter Elektrode.

in jeder Halbwelle kurzlebige Plasmafilamente, mit denen effizient die elektrische Leistung in Licht umgewandelt werden kann. So sind beispielsweise bei Excimergasen Effizienzen bis zu 50 Prozent möglich.

Mobile Sonde für Schadstoffanalyse im Abwasser

Für den Betrieb mit Stickstoff konnte ein Emissionsspektrum mit spektralen Wellenpaketen im Bereich von ca. 200–400 nm demonstriert werden. Die Bandbreite der einzelnen Wellenpakete liegt hier typischerweise bei < 5 nm. Auf Basis der vorliegenden Daten erscheint so eine Quelle realisierbar, bei der mit einer mittleren elektrischen Eingangsleistung von 5 W eine Emission von ca. 0,4 mW/sr in einem Wellenpaket und einer Brillanz > 1 mW/mm²/sr erzielt wird.

Ein mögliches Anwendungsfeld ist die online 2D-Fluoreszenzanalyse von Schadstoffen im Abwasser, bei der die charakteristische Fluoreszenzstrahlung bei mehreren Wellenlängen angeregt wird. Mit der Einzelfilament-Lichtquelle kann eine kompakte und kostengünstige Sonde für den mobilen Einsatz dieser Anwendung realisiert werden.

Autor: Dr. Klaus Bergmann, klaus.bergmann@ilt.fraunhofer.de



*1 EUV-Detektor mit Konverterkristall.
2 EUV-Spektrograf für den Spektralbereich von 10–20 nm.*

Inline EUV-Diagnostik

Der Betrieb von EUV-Systemen für beispielsweise die Bestrahlung von Proben oder die Analyse von Defekten auf EUV-Masken für die Halbleiterlithographie, die mit Plasma-basierten Strahlungsquellen ausgerüstet sind, kann durch den Einsatz einer inline Messtechnik für die Strahlungsquelle deutlich verbessert werden. Die gepulsten Plasmastrahlungsquellen, sowohl Laser- als auch entladungsbasierte Quellen, weisen grundsätzlich Schwankungen in der spektralen Verteilung und der Gesamtemission auf, die Einfluss auf das Ergebnis der jeweiligen Anwendung haben. Die genauere Berücksichtigung der Quelleigenschaften in einer Regelung des Systems erlaubt die Steigerung der Qualität des Analyseergebnisses.

Kostengünstige Alternative durch Konverterkristall

Im vorliegenden Fall wurden eine EUV-Kamera und ein EUV-Spektrograf für die Überwachung einer Xenon-basierten Pinchplasmaquelle für den Einsatz in einem Bestrahlungssystem aufgebaut. Beide Diagnostiken sind jeweils mit einem Detektor ausgestattet, bei dem das EUV-Licht mittels eines Konverterkristalls in sichtbares Licht umgewandelt und dann mit einer handelsüblichen Kamera aufgezeichnet wird. Die Verwendung des Konverterkristalls stellt im Vergleich zu einer sonst verwendeten rückseitig gedünnten CCD oder eines direkt mit einem Leuchtstoff beschichteten Chips eine besonders kostengünstige Alternative dar.

Ergebnisse und Anwendungen

Der EUV-Detektor wird in Bild 1 gezeigt. Als Konverter wird eine Ce:YAG-Scheibe verwendet. Das optische System zur Aufnahme des Fluoreszenzlichts besteht aus Objektiven mit einer Vergrößerung von entweder 1:1 für die EUV-Kamera bzw. 1:2 für den Spektrografen und einer Kamera mit einer Pixelgröße von 3,45 Mikrometern. Bild 2 zeigt den EUV-Spektrografen mit einem im streifenden Einfall reflektierenden Gitter. Die Gesamtlänge beträgt ca. 68 cm. Der erfasste Spektralbereich liegt zwischen 10–20 nm. Die spektrale Auflösung $\lambda/\Delta\lambda$ beträgt ca. 800. Bei der EUV-Kamera dient ein System aus einem sphärischen und einem flachen Multilayerspiegel zur Abbildung der Quelle bei einer Wellenlänge um 13,5 nm. Die Ortsauflösung beträgt ca. 10 μ m.

Autor: Dr. Jochen Vieker, jochen.vieker@ilt.fraunhofer.de



Kontakt

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

Rauschfreie Frequenzkonverter für das Quanteninternet

Zum Aufbau eines Quanteninternets müssen Quantensysteme über große Entfernungen miteinander verschränkt werden, um Informationen effizient und sicher teilen und die Rechenleistung von Quantencomputern potenzieren zu können. Eine Voraussetzung für solche Netzwerke ist die verlustfreie Übertragung von Informationen mittels Einzelphotonen durch Glasfasern. Dazu müssen diese Signale unter Erhaltung ihres Quantenzustands in ihrer Wellenlänge konvertiert werden, ohne dass dabei ungewollt weitere Photonen erzeugt werden, die das Signal-zu-Rausch-Verhältnis reduzieren.

Entwicklung von neuartigen QFC

Zur Konversion werden Quantenfrequenzkonverter (QFC) verwendet, die auf nichtlinear-optischen Prozessen beruhen. Bisherige Systeme nutzten periodisch-gepolte Kristalle mit Wellenleiter. Sie erreichen Effizienzen bis zu 50 Prozent, sind jedoch die wesentliche Quelle von Rauschphotonen. Für den Quantum-Internet-Demonstrator in den Niederlanden wurden am Fraunhofer ILT neuartige QFC für die Konversion von 637 nm nach 1588 nm entwickelt. Dabei wird ein nichtlinearer Kristall ohne periodische Polung und Wellenleiter mit einer Überhöhungskavität kombiniert.

Schlüsselkomponente für Quantentechnologie

Der neuartige Konverter wurde als kompaktes, modular einsetzbares und stabiles System umgesetzt, am QuTech in Delft getestet und anschließend als fester Bestandteil in den Quantum-Internet-Demonstrator integriert. Die Rate erzeugter Rauschphotonen wurde gegenüber bisherigen QFC ohne Einbußen bei der Konversionseffizienz um den Faktor 100 auf 2 Hz/pm reduziert, wodurch dieses System den neuen Stand der Technik definiert. Gegenüber allen anderen Netzwerkkomponenten ist der QFC effektiv rauschfrei.

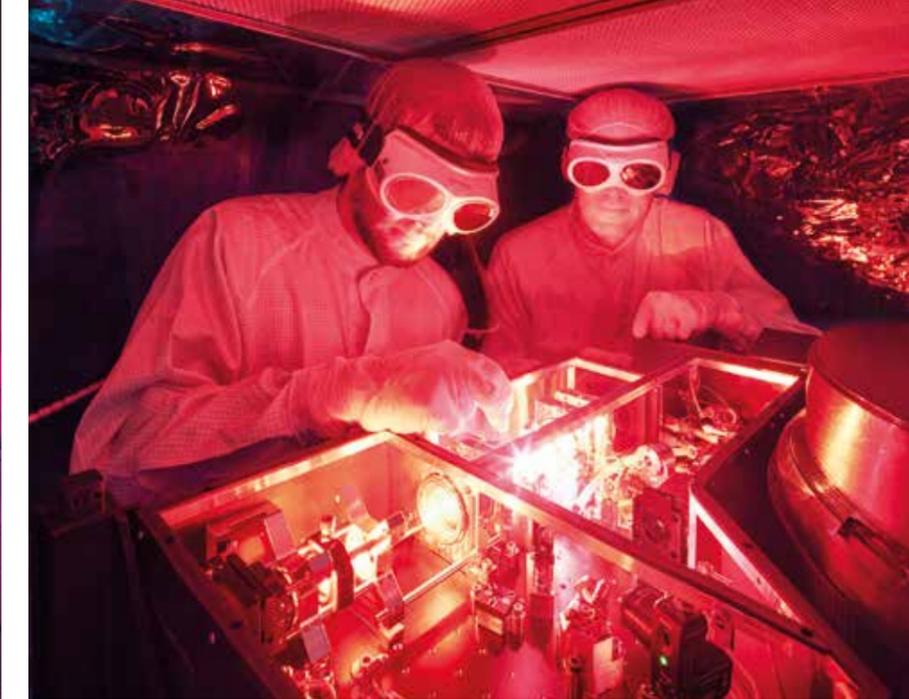
Effiziente, rauscharme Frequenzkonverter sind eine Schlüsselkomponente für ein zukünftiges Quanteninternet, für Quantennetze und für Quantenrepeater. Das neuartige Design kann adaptiert werden, um auch Quantensignale bei anderen Wellenlängen im sichtbaren und nahinfraroten Bereich zu konvertieren.

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

*Autor: Fabian Geus M. Sc.,
jan.fabian.geus@ilt.fraunhofer.de*



Justage des Konverters mithilfe eines abgeschwächten roten Lasers zur Emulation der Einzelphotonen.



*1 LIDAR-System mit fünf Sichtfeldern während (atmosphärischer) Messung.
2 Diodengepumpter Alexandritlaser während der Integration.*

Diodengepumpter Alexandritlaser für Atmosphären-LIDAR-Netzwerk

Die Bedeutung des Verständnisses und der Überwachung von Vorgängen in der Atmosphäre hat in den letzten Jahren aufgrund der anthropogenen Auswirkungen auf das Klima drastisch zugenommen. Die Messung von Wind- und Temperaturprofilen der Atmosphäre über große Flächen und bis in Höhen von 120 km ist ein Schwerpunkt am Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik (IAP). Dafür werden vor allem mobile Resonanz-LIDAR-Systeme eingesetzt. Durch den Einsatz mehrerer solcher Systeme mit überlappenden Beobachtungsbereichen erhält man ein Netzwerk mit unerreichter Auflösung und Abdeckung. Diese Daten werden teilweise an entlegenen Orten unter schwierigen Umweltbedingungen erhoben, z. B. in Polar- oder Tropengebieten, und kontinuierlich über lange Zeiträume gesammelt. Daher müssen die robusten LIDAR-Systeme kompakt und leicht zu transportieren sein sowie autonom und wartungsarm funktionieren.

Neuartiges kompaktes LIDAR-System

Mithilfe von neuartigen hocheffizienten, diodengepumpten Alexandritlasern und innovativer LIDAR-Technologie wurde gemeinsam mit dem Leibniz IAP ein neuartiges kompaktes LIDAR-System (~ 1m³) entwickelt, welches das Potenzial hat, kostengünstig in Serie gebaut zu werden.

Europäisches Atmosphären-LIDAR-Netzwerk

Die vier Prototypen der LIDAR-Emitter wurden in die neuartigen Systeme mit fünf Sichtfeldern integriert und umfangreich getestet. Die neuen Systeme sind 50 x kleiner und über 200 x effizienter als ihre Vorgänger. In Messungen bis über 100 km Höhe konnte – selbst am Tag – die Überlegenheit der neuen Systeme nachgewiesen werden. In wechselnden klimatischen Bedingungen hat sich die Robustheit und Wartungsfreiheit bestätigt. Die nächsten Schritte werden die Vorbereitung zur Kommerzialisierung der Technologie mit einem deutschen Industriekonsortium sowie die Weiterentwicklung zur Verwirklichung eines europäischen Atmosphären-LIDAR-Netzwerks sein. Diese Schritte bereiten den Weg zu einer kontinuierlichen, flächendeckenden Beobachtung von großskaligen atmosphärischen Prozessen zur Verbesserung von Klimamodellen und damit der Wettervorhersage. *Autor: Dr. Michael Strotkamp, michael.strotkamp@ilt.fraunhofer.de*



Kontakt

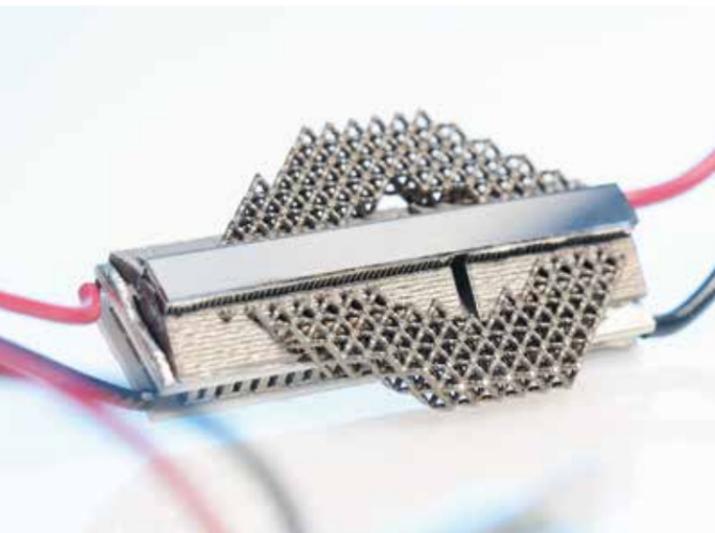
Dr. Bernd Jungbluth
Gruppenleiter NLO und abstimmbare Laser
Telefon +49 241 8906-414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de

Montage des LiNbO₃-Wellenleiters für Quantenanwendungen

Quantentechnologie spielt in vielen Bereichen eine zunehmend wichtigere Rolle, so auch in der Telekommunikation. Eine Möglichkeit zur Realisierung des Quanten-Telekommunikationsmoduls ist der Einsatz von periodisch gepolten LiNbO₃-Wellenleitern. Um die notwendige optische Frequenzkonversion zu erreichen, muss der Wellenleiter in zwei Zonen unterschiedlich temperiert werden und der Übergangsbereich zwischen den Zonen muss minimal sein. Die zentrale Herausforderung hinsichtlich der Fügetechnik ist dabei die unterschiedliche thermische Ausdehnung der Wellenleiterzonen.

Einsatz der Aktivlöttechnologie

Bei der vorliegenden Aufgabenstellung kommt der Auswahl der Fügetechnik, neben der Auslegung des Halters, eine zentrale Rolle zu. Um eine ausreichende Wärmeleitung und Elastizität der Verbindung zu gewährleisten, wurde ein Lotwerkstoff auf Indium-Basis eingesetzt. Da der Wellenleiter nicht ohne Weiteres metallisiert werden kann, wurde zur Montage die Aktivlöttechnologie eingesetzt. Damit konnte sowohl auf dem LiNbO₃-Wellenleiter als auch auf dem additiv hergestellten Halter eine ausreichende Benetzung erreicht werden.



Ergebnis und Anwendungsfelder

Bei den Temperierungstests zeigte sich, dass bei einem 40 mm langen Wellenleiter eine thermische Trennung beider Zonen realisierbar ist. Dabei konnte in der 15 mm langen Zone eine Temperatur von 20 °C über eine Länge von 10 mm und in der 25 mm langen Zone eine Temperatur von 30 °C über eine Länge von 20 mm erreicht werden. Der Wellenleiter blieb nach der Temperierung intakt. Das beschriebene Fügekonzept kann in weiteren Bereichen wie in der Medizin- oder Messtechnik zum Einsatz kommen.

Dieses Projekt wurde finanziell durch die Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt.

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

Auf den Halter gelöteter Wellenleiter.



Kontakt

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

Zuwendungsgeber

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



Die Landesregierung
Nordrhein-Westfalen



EUROPÄISCHE UNION



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Fraunhofer-Standorte in Deutschland



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

Interdisziplinäre Forschungsteams der Fraunhofer-Gesellschaft setzen gemeinsam mit Vertragspartnern aus Wirtschaft und öffentlicher Hand originäre Ideen in Innovationen um, koordinieren und realisieren systemrelevante, forschungspolitische Schlüsselprojekte und stärken mit werteorientierter Wertschöpfung die deutsche und europäische Wirtschaft. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Austausch mit den einflussreichsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen. Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Unsere derzeit rund 30 800 Mitarbeitenden, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von rund 3,0 Mrd. €. Davon fallen 2,6 Mrd. € auf den Bereich Vertragsforschung.

Rund zwei Drittel davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

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

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

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

Auf einen Blick

- 76 Institute
- 30 800 Mitarbeitende
- 3,0 Mrd. € Forschungsvolumen
- 2,6 Mrd. € davon Vertragsforschung

Stand der Zahlen: März 2023



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.

ICTM Conference online
im Februar 2022.

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

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.

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.*



Die RWTH Aachen University in Zahlen (Stand 2022)

- rund 47 000 Studierende
- davon 14 150 Internationale
- 1 192 Mio € Finanzvolumen
- Exzellenzuniversität
- 3 Exzellenzcluster
- 173 Studiengänge

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 Unternehmensgründungen.

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 (DPP) und das Industry Building Digital Photonic Production (DPP).

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 sehr effizient.



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 über 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 Hochleistungsdiodenlaser 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 Forschungsgruppen großer Konzerne wie Siemens, TRUMPF oder MTU. Das gesamte Umfeld des Campus wirkt als Inkubator für erfolgreiche Unternehmensausgründungen.

Firmensitze der Spin-offs
EdgeWave GmbH in Würselen,
© EdgeWave GmbH und
RJ Lasertechnik GmbH
in Übach-Palenberg,
© RJ Lasertechnik GmbH.

Kundenreferenzen



Kundenreferenzen

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

Stand Dezember 2022.
Mit freundlicher Genehmigung der Kooperationspartner.

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 aufgebaut.

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.

Auf 300 qm stehen im neuen Hydrogen Lab 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.

Einzelne Fertigungsschritte aber auch Prozessketten können auf Anlagen zur Strukturierung mit Ultrakurzpuslasern, zur laserbasierten Beschichtung sowie zum Hochgeschwindigkeitsschweißen und -schneiden untersucht und evaluiert werden. Mit den vorhandenen Prüfständen können die lasergefertigten Komponenten auf ihre Wasserstoffdichtheit und Effizienz geprüft werden.

»Was die Vielfalt der praktischen Möglichkeiten betrifft, ist unser neues Hydrogen Lab einzigartig in der deutschen Forschungslandschaft.«

Dr. Alexander Olowinsky

Kontakt

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



Die Elektromobilität wird durch die begrenzte Reichweite und Ladezeit der Batterien gebremst. Genau an diesem Flaschenhals arbeiten wir.«

Dr. Alexander Olowinsky,
Abteilungsleiter Fügen und Trennen

Mit dem Battery Lab zur nächsten Batteriegeneration

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

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 Battery Lab verfügt 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 Schneiden und Schweißen von Batteriekomponenten sind weitere Anwendungsmöglichkeiten der Lasertechnik, die im Battery Lab getestet werden, um konventionelle Produktionsprozesse zu ersetzen. UKP-Laser ermöglichen ein schadungsfreies Bearbeiten von Elektrodenfolien. Das Fraunhofer-Team verbindet hier Batteriezellen zu Batteriemodulen und Module zu Batteriepacks.

Netzwerke und Verbände

Das Fraunhofer ILT erweitert über seine Netzwerke das Know-how der eigenen Branche und trägt so maßgeblich zur Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik bei.

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.

Regionale Netzwerke

Auf lokaler Ebene kooperiert das Fraunhofer ILT mit der RWTH Aachen University, der Fachhochschule Aachen und dem Forschungszentrum Jülich in vielen grundlegenden Fragestellungen. Im Aachener Zentrum für 3D-Druck – einer Kooperation der FH Aachen mit dem Fraunhofer ILT – erhalten insbesondere mittelständische Unternehmen Unterstützung in allen Fragen der Additiven Fertigung. Im Bereich der Life Sciences ist das Fraunhofer ILT über den MedLife e.V. regional gut vernetzt. 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 und bildet mit dem Forschungszentrum Jülich und der RWTH Aachen University eine starke wissenschaftliche Säule.

Darauf aufbauend entsteht zusammen mit der Industrie in der Region Aachen/Jülich ein Quantentechnologie-Hub von nationaler Relevanz mit internationaler Ausrichtung.

Nationale Kooperationen

Gemeinsam mit rund 70 weiteren Forschungseinrichtungen ist das Fraunhofer ILT in die Fraunhofer-Gesellschaft, die als größte Organisation für anwendungsorientierte Forschung in Europa wirkt, eingebettet. 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., in der Wissenschaftlichen Gesellschaft 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 BMWi. In allen Gremien setzen ILT-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter Impulse, um sowohl das Fachgebiet der Lasertechnik als auch Formen der Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie zum Wohle der Gesellschaft weiterzuentwickeln.



International vernetzt

Mit ausländischen Firmen und Niederlassungen deutscher Firmen im Ausland führt das Fraunhofer ILT sowohl bilaterale Projekte als auch Verbundprojekte durch. Darüber hinaus 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

V.l.n.r.: Prof. Raoul Klingner, Direktor Forschung der Fraunhofer-Gesellschaft; Sibylle Keupen, Oberbürgermeisterin der Stadt Aachen; NRW-Wirtschaftsministerin Mona Neubaur; Prof. Constantin Häfner, Leiter des Fraunhofer ILT, bei der Übergabe des Bewilligungsbescheids für das Projekt »N-QUIK«.



AKL e.V.-Veranstaltung mit Besuch des Campus Maschinenbau der Leibniz Universität Hannover, © Arbeitskreis Lasertechnik e.V..

Kontakt

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

Strategic Mission Initiative Quantentechnik

Mit seiner jahrelangen Erfahrung ist das Fraunhofer ILT ein optimaler Partner, um Komponenten, Systeme und Prozesse für die Quantentechnologien zu entwickeln.

»N-Quik ermöglicht es uns, Standards für Quantennetzwerke zu etablieren und uns beim europäischen Agenda-Setting einzubringen.«

Dr. Bernd Jungbluth

Der Quantenfrequenzkonverter ermöglicht die verlustarme Quantenvernetzung über normale Telekomglasfasern.

Lasertechnik ist entscheidend bei der Entwicklung von Quantentechnologien

In den vergangenen Jahrzehnten etablierte sich der Laser in unserem Alltag: Er ermöglicht das schnelle Internet ebenso wie die effiziente Fertigung von Kraftfahrzeugen. Laser sind in Mobiltelefonen integriert und erzeugen die Strahlung, mit der die modernsten Mikroprozessoren hergestellt werden. Bei der Entwicklung der Lasertechnik von der Pioniertechnologie hin zu einer Standardmethode in Industrie und Forschung wurden am Fraunhofer ILT viele substantielle Beiträge geleistet.

Mit der Quantentechnologie bekommt die Lasertechnik ein großes neues Anwendungsfeld. Quantensensorik und Quantenkommunikation nutzen zum Beispiel höchstentwickelte Laserquellen und -empfänger, die meisten Quantencomputer brauchen mehrere Laser pro Qubit um zu funktionieren.



Mit ihrer Expertise in der Lasertechnik und den verschiedensten Aspekten photonischer Technologien sind die Mitarbeitenden des Fraunhofer ILT gesuchte Partner für die Entwicklung von Quantentechnologien. Die Forschenden setzen die wissenschaftlichen Erkenntnisse in marktnahe Anwendungen um und entwickeln dafür innovative photonische Lösungen mit klaren Alleinstellungsmerkmalen.

Photonische Technologien für das Quanteninternet der Zukunft

Quantencomputer nutzen verschränkte Photonen, um miteinander zu kommunizieren. Das sind spezielle Photonen, die nicht abgehört und auch nicht verstärkt werden können. Entsprechend kompliziert ist es, mehrere Quantencomputer miteinander zu verbinden. Andererseits ist die Vernetzung von Quantencomputern für ihre Skalierung von großer Bedeutung.

In Aachen werden Technologien für die Vernetzung und für den Bau von Quantencomputern entwickelt. Dafür arbeiten Teams des Fraunhofer ILT eng mit Forschungseinrichtungen und Unternehmen in NRW, Deutschland und Europa zusammen. Besonders intensiv ist die Kooperation mit QuTech, einer gemeinsamen Forschungseinrichtung der Technischen Universität Delft und der niederländischen Organisation für angewandte naturwissenschaftliche Forschung TNO.

Der erste deutsche Knoten für das Quanteninternet entsteht in Aachen

Die Partner in den Niederlanden verbinden drei Quantencomputer in verschiedenen Städten über Glasfasern miteinander. Im Rahmen des NRW-Förderprojekts N-Quik entsteht in Aachen der erste Aufbau dieser Art in Deutschland. Partner aus Industrie und Wissenschaft können dort neue Produkte und Anwendungen testen und das volle Potenzial des verteilten Quantencomputings erschließen. Genutzt wird dabei ein Quantenfrequenzkonverter (ICON-Projekt QFC-4-1QID) aus Aachen, mit dem sich die Photonenverluste auf Rekordtiefe reduzieren lassen.

Quantencomputer mit dem Laser bauen

Quantencomputer müssen kleiner und robuster werden, nur so können sie skaliert werden. Im Verbundprojekt IQuAn wird dafür am Fraunhofer ILT das Verfahren für die laserbasierte Herstellung einer monolithischen Mikrochip-Ionenfalle weiterentwickelt. Es beruht auf dem laserbasierten Ätzen SLE, das im Vergleich zu etablierten Verfahren mehr Geometriefreiheit und größere Präzision ermöglicht. Gleichzeitig bietet es eine verringerte Komplexität bei der Fertigung. Über SLE kann auch die Mikrooptik in die Ionenfalle integriert werden, was ihre Skalierbarkeit noch einmal verbessert.



Der Quantenprozessor soll später latenzarm an den Mainzer Hochleistungsrechner MOGON II angebunden und als User Facility zur Verfügung gestellt werden. Parallel dazu wird auch die SLE-Technologie weiterentwickelt: Im Rahmen des Projekts »Implementierung von Quantenalgorithmen aus Finanzwesen und Chemie auf einem Quantendemonstrator« (ATIQ) wird das Verfahren von Quarzglas auf synthetischen Saphir übertragen.

Mit Quantenimaging das Unsichtbare sichtbar machen

Beim Quantenimaging wird ein Objekt mit Photonen einer Wellenlänge A beleuchtet, während verschränkte Photonen der Wellenlänge B auf einen Detektor treffen. Man kann so Materialien mit infrarotem Licht untersuchen und das Bild mit einer Kamera im sichtbaren Bereich aufnehmen. Im Projekt QUIN werden keramische und polymere Werkstoffe mit verschränkten Photonen im mittleren Infrarot mit Quanten-OCT untersucht.

Ein ähnliches Verfahren wird im Projekt QEED für die Bildgebung zur frühen und differenzierten Erkennung von Biomarkern in der personalisierten Medizin genutzt. Dabei wird das Quantenimaging in einem speziellen Mikroskop angewandt, mit dem Gewebeproben zur Erkennung von Krebserkrankungen untersucht und in klinischen Studien bewertet werden.

Kontakt

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

NRW-Wirtschaftsministerin Neubaur und Prof. Häfner beim Startschuss für das Projekt »N-Quik«, gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes NRW (MWIKE).



**Mit 86 Vorträgen
und über 500
Teilnehmenden
fand der AKL
2022 zum 13. Mal
in Aachen statt«**



Tagungen

Auch in 2022 hat das Fraunhofer ILT wieder viele internationale Tagungen mit Referenten aus Industrie und Forschung zu aktuellen Themen ausgerichtet. Das Highlight war der alle zwei Jahre stattfindende International Laser Technology Congress AKL'22.

25.–26.1.2022, Online LSE'22 – Lasersymposium Elektromobilität

Referenten aus Industrie und Forschung beleuchteten auf dem digitalen LSE'22 – Lasersymposium Elektromobilität u. a. die Themen Laserprozesse in der Batterieproduktion, Laserstrahlquellen in der Elektromobilität und Prozessüberwachung von Laserfertigungsverfahren.

Aachener Rathauses der Innovation Award Laser Technology 2020 und 2022 verliehen. Der Preis wird vom Arbeitskreis Lasertechnik e.V. sowie dem European Laser Institute ELI e.V. ausgelobt.

www.lasercongress.org

1.–2.6.2022, Aachen Aachen Polymer Optics Days

Die Aachen Polymer Optics Days 2022 boten eine exzellente Networking-Möglichkeit für Teilnehmende aus Industrie und Forschung zum Austausch über die Fertigungsmöglichkeiten und Anwendungspotenziale optischer Kunststoffprodukte.

13.– 14.9.2022, Aachen LKH₂ – Laserkolloquium Wasserstoff 2022

Die Nutzung von regenerativen Energiequellen forciert das Interesse am Einsatz von Brennstoffzellen. Das Fraunhofer ILT veranstaltete daher das dritte LKH₂ – Laserkolloquium Wasserstoff. Im Mittelpunkt der Vorträge aus Industrie und Forschung standen nicht nur das Laserschneiden und -schweißen von Bipolarplatten, sondern auch die gesamte Prozesskette und deren Überwachung.

16.–17.2.2022, Online ICTM Conference

In anwendungsbezogenen Vorträgen präsentierten und diskutierten Experten aus Industrie und Forschung aktuelle Marktentwicklungen, neue Produktkonzepte und Herausforderungen der Fertigungstechnologien im Rahmen der Herstellung von Turbomaschinen. Die von Fraunhofer ILT und Fraunhofer IPT organisierte digitale Veranstaltung besuchten rund 90 Teilnehmende.

4.–6.5.2022, Aachen AKL'22 – International Laser Technology Congress

Zum 13. Mal trafen sich Laserhersteller und Laseranwender unterschiedlicher Branchen auf dem alle zwei Jahre stattfindenden AKL – International Laser Technology Congress.

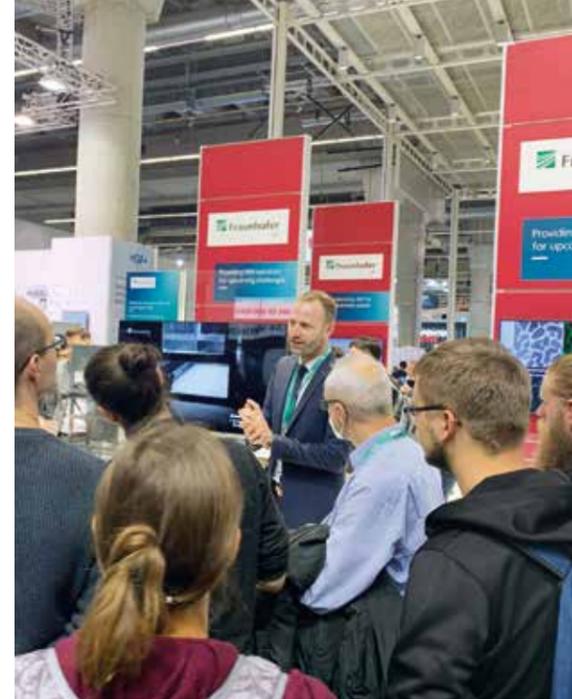
In 86 Vorträgen an drei Konferenztage brachten sich die Teilnehmenden auf den neuesten Stand der Technik und erhielten Einblick in aktuelle Forschungsthemen für Produktionslösungen. Zusammen mit der konferenzbegleitenden Ausstellung und den Live-Vorfürungen im Fraunhofer ILT hat sich der AKL als zentrale Networking-Plattform der Laser-Community etabliert. Am Abend des 4. Mai 2022 wurde im Krönungssaal des

12.–13.10.2022, Online 5th Conference on Laser Polishing LaP

Auf der Konferenz wurden wissenschaftliche und anwendungsbezogene Ergebnisse zum Laserpolieren präsentiert und die weltweit auf dem Gebiet des Laserpolierens tätigen Personen zusammengebracht, um Diskussionen sowie neue wissenschaftliche Kooperationen zu fördern und anzuregen. An der Veranstaltung nahmen rund 70 internationale Gäste teil.

Messen

Das Fraunhofer ILT ist regelmäßig mit aktuellen Forschungsthemen auf Messen im In- und Ausland und war in 2022 nach coronabedingter Pause auch wieder auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand bei der LASER World of PHOTONICS & LASER World of Quantum in München vertreten.



22.–27.1.2022, San Francisco, USA SPIE Photonics West

Vertreten war das Fraunhofer ILT auf dem Gemeinschaftsstand der Bundesrepublik Deutschland. Zudem gab es 3 Vorträge von Expertinnen und Experten des Fraunhofer ILT und der RWTH Aachen University auf der begleitenden LASE Conference.

26.–29.4.2022, München LASER World of PHOTONICS & LASER World of QUANTUM

Das Fraunhofer ILT präsentierte sich sowohl auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand der LASER World of PHOTONICS als auch auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand

der neuen und parallel stattfindenden LASER World of QUANTUM mit den folgenden Themenbereichen:

- Customized Lasers
- Additive Manufacturing
- Sustainable Production
- Digital Photonic Production

Zudem waren unsere Expertinnen und Experten als Session Chairs und Vortragende auf den begleitenden Application Panels vertreten.

30.5.–3.6.2022, München IFAT MUNICH

Das Fraunhofer ILT präsentierte im Rahmen eines Fraunhofer-Gemeinschaftsstands auf der Weltleitmesse für Umwelttechnologien aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung im Bereich Materialanalytik.

30.5.–2.6.2022, Hannover Hannover Messe

Das Fraunhofer ILT zeigte auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand Exponate zum Thema »Kreislaufwirtschaft für metallische Bauteile mittels laserbasierter Prozessketten«.

21.–23.6.2022, Stuttgart Surface Technology Germany

Das Fraunhofer ILT zeigte auf dem WOTech-Gemeinschaftsstand eine laserbasierte Prozesskette für die nachhaltige Reparatur von metallischen Bauteilen.

21.–24.6.2022, München analytica

Auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand präsentierte das Fraunhofer ILT »Prozessketten zur Isolation und Analyse: von der Einzelzelle bis zum Organoid«.

19.–26.10.2022, Düsseldorf K 2022

Auf der Weltleitmesse für Kunststoff und Kautschuk präsentierte sich das Fraunhofer ILT auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand mit Exponaten zum Fügen von Kunststoffen und transparenten Materialien.

14.–17.11.2022, Düsseldorf COMPAMED

Auf der COMPAMED präsentierte sich das Fraunhofer ILT auf dem IVAM-Gemeinschaftsstand und zeigte Exponate aus den Bereichen Lasermedizintechnik und Bioanalytik, Mikrofügen, Biofabrikation sowie Mikro- und Nanostrukturierung. Zudem hielt Dr. Georg Meineke einen Vortrag im COMPAMED HIGH-TECH Forum by IVAM.

15.–18.11.2022, München electronica

Auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand zeigte das Fraunhofer ILT technologische Highlights und die neuesten Entwicklungen in der laserbasierten Fertigung für Batterien und Elektronik.

15.–18.11.2022, Frankfurt a. M. formnext

Das Fraunhofer ILT präsentierte auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand aktuelle Innovationen im Bereich Laser Powder Bed Fusion und Laserauftragschweißen. Außerdem trug Tim Lantzsch zum Thema »Laser Powder Bed Fusion using AFX – Towards processing of hard-to-weld materials« vor.

1 Fraunhofer ILT auf der formnext in Frankfurt.
2 Fraunhofer-Gemeinschaftsstand auf der LASER World of PHOTONICS in München,
© Fraunhofer ZV / Markus Jürgens.

Fraunhofer-Gemeinschaftsstand auf der electronica 2022 in München, © Fraunhofer ZV / Markus Jürgens.





Patente und Dissertationen

Patenterteilungen Deutschland

- **DE 102020131294A1**
Verfahren zur Herstellung elektrischer Verbindungen hoher Stromtragfähigkeit sowie damit hergestellte elektrische Verbindung
- **DE 102016111531A1**
Optischer Scanner
- **DE 102012008940A1**
Verfahren und Vorrichtung zum Fügen von mindestens zwei Werkstücken
- **DE 102012002818A1**
Vorrichtung zur Thermokoagulation mittels Laserstrahlung
- **DE 102020134653**
Justierbarer Optikkhalter für ein optisches Element

Patenterteilungen Europa

- **EP 3406392A**
Verfahren zur Verringerung der Reibung aneinander gleitender und/oder rollender Flächen
- **EP 3655190**
Synchronisation von Werkzeug und Werkstück bei der Laserbearbeitung
- **EP 20178701.7**
Verfahren zum Testen neuer Werkstoffzusammensetzungen für das pulverbettbasierte Laserschmelzen sowie dafür ausgebildete Vorrichtung
- **EP 3856446**
Verfahren zum Glätten der Oberfläche eines Kunststoffbauteils
- **EP 3774289**
Verfahren und Anordnung zur kontinuierlichen oder quasikontinuierlichen generativen Fertigung von Bauteilen

Patenterteilungen China

- **CN 216039822U**
Koaxiales Pulverdüsenspitzenmodul zur Oberflächenbearbeitung eines Werkstücks

Patenterteilungen Japan

- **JP 2020-514075A**
Verfahren zur Herstellung einer transmittiven oder reflektiven Optik und Linse

Dissertationen

- **4.2.2022 – Christian Tenbrock (Dr.-Ing.)**
Large-format machine for multi-scanner laser powder bed fusion
- **15.2.2022 – Martin Adams (Dr. rer. nat.)**
Modellierung der katastrophalen optischen Degradation von Hochleistungslaserdioden unter externer optischer Rückkopplung
- **13.5.2022 – Jasmin Kathrin Saewe (Dr.-Ing.)**
Untersuchung der Verarbeitbarkeit des Schnellarbeitsstahls HS6-5-3-8 mittels Laser Powder Bed Fusion
- **2.6.2022 – Andreas Hoffmann (Dr.-Ing.)**
Photoharzentwicklung für die stereolithographische Herstellung implantierbarer polymerer Optiken
- **3.6.2022 – Tobias Pichler (Dr.-Ing.)**
Adaptives Laser Powder Bed Fusion der Titanlegierung TiAl6V4
- **8.7.2022 – Jonas Zielinski (Dr. rer. nat.)**
A holistic approach to understand laser additive manufacturing from melt pool to microstructure
- **18.8.2022 – Johanna Helm (Dr.-Ing.)**
Prozessstabilität und Prozesseffizienz beim Laserstrahlfügen von hoch reflektiven Kupferwerkstoffen
- **19.8.2022 – Talu Ünal-Saewe (Dr.-Ing.)**
Ortsaufgelöste Prozessüberwachung für die Additive Fertigung mittels laserbasierter Directed Energy Deposition
- **15.9.2022 – Georg Rödler (Dr.-Ing.)**
Entwicklung des selektiven Laserstrahlschmelzens für Al-Ni-Legierungen
- **16.9.2022 – Dennis Haasler (Dr.-Ing.)**
Tiefbohren in Metallen mittels ultrakurzen Laserpulsen

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

Jahresbericht 2022 online



Impressum

Redaktion

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

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
www.andrea-croll.de

Bildnachweis

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

Druck

Druck-Spektrum Hirche & Kurth GmbH
www.druck-spektrum.de

Änderungen bei Spezifikationen und
anderen technischen Angaben bleiben
vorbehalten.

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck nur mit schriftlicher
Genehmigung der Redaktion.

© Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT,
Aachen 2023.

Bleiben Sie in Kontakt

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

Folgen Sie uns auf Social Media:

