

**JAHRESBERICHT 2013**



---

**JAHRESBERICHT DES  
FRAUNHOFER-INSTITUTS  
FÜR LASERTECHNIK ILT  
2013**

---





Liebe Leser,

sind Sie auch der Meinung, dass Taktung und Komplexität der Innovationsprozesse stetig zunehmen? Dies hat unmittelbare Konsequenzen für die Zusammensetzung innovationsfähiger Teams und den Zugang zu neuem Wissen. So ist es nicht ungewöhnlich, dass wir unter Wissenschaftlern einen Paradigmenwechsel in der Exploration geeigneten Know-hows durch die Industrie beobachten. Während früher Innovatoren wissen mussten, wo Wissen »steht«, geht es heute darum zu wissen, wer Wissen besitzt. Morgen hingegen werden Technologie-Pioniere wissen müssen, wo Wissen entsteht! Das haben einige Technologiekonzerne bereits jetzt verinnerlicht, so dass sie weltumspannende Wissens-Hot-Spots ausmachen und sich in unterschiedlicher Weise dort verankern. Die nachhaltige Sichtung und Generierung von Wissen am »Puls der Zeit« und am »Ort des Geschehens« eröffnet entscheidende Wettbewerbsvorteile.

So ist es naheliegend, dass sich zunehmend relevante Wissenschaftsstandorte Gedanken darüber machen, wie sie industrielle FuE-Partner nicht nur über das kurzfristige Projektgeschäft einbinden, sondern vielmehr mittel- und langfristige Kooperationsformate entwickeln, die eine strategische Ausrichtung aufweisen. Wir am Fraunhofer ILT betreiben seit Gründung des Instituts eine Spin-in Strategie, die es Unternehmen ermöglicht, sich vor Ort in eigenen Büros und Labors im Institutsgebäude niederzulassen und eng mit Expertenteams des Instituts zu kooperieren. Hier geht es nicht nur um einzelne anspruchsvolle Projekte, sondern auch um einen kontinuierlichen Know-how-Austausch und die Nutzung modernster Laser-Infrastruktur.

Nun steht am Standort Aachen ein weiteres Kooperationsformat im Bereich der produktionsorientierten optischen Technologien zur Verfügung: der RWTH Campus. Hier können sich Unternehmen – vergleichbar zum erfolgreich erprobten ILT-Modell – langfristig vor Ort in einem eigenen Gebäude in unmittelbarer Nähe zu den Instituten der Hochschule und der Fraunhofer-Gesellschaft niederlassen und im Rahmen einer »Firmen-Immatrikulation« auf das gesamte Leistungsangebot der RWTH Aachen zurückgreifen. Dies wird der Komplexität von Innovationen gerecht, da nun auch fachübergreifende strategische Kooperationen möglich sind. Am Fraunhofer ILT und den kooperierenden optischen RWTH-Lehrstühlen koordinieren wir diese neue Form des Zusammenspiels mit der Industrie im Bereich Digital Photonic Production. Wenn Sie also die Mehrwerte eines der leistungsstärksten deutschen Cluster für produktionstechnisch orientierte optische Technologien nutzen wollen, sprechen Sie uns gerne an! Wir bieten Ihnen maßgeschneiderte Kooperationsangebote.

Herzlich Ihr

Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe M.A.



---

## INHALT

---

6	Das Institut im Profil
7	Leitbild
8	Technologiefelder
10	Leistungsangebote
14	Institutsstruktur
15	Kuratorium und Gremien
16	Das Institut in Zahlen
19	Kundenreferenzen
20	Kooperationsformen
22	Fraunhofer USA Center for Laser Technology CLT
24	Coopération Laser Franco-Allemande CLFA
26	Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces
28	Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick
30	Lasertechnik an der RWTH Aachen
33	Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«
34	RWTH Aachen Campus
36	Digital Photonic Production

### **Ausgewählte Forschungsergebnisse**

39	Laser und Optik
59	Lasermaterialbearbeitung
119	Lasermesstechnik und EUV-Technologie
131	Medizintechnik und Biophotonik
140	Patente
141	Dissertationen
142	Diplomarbeiten
143	Bachelorarbeiten
144	Masterarbeiten
145	Wissenschaftliche Veröffentlichungen
152	Vorträge
160	Kongresse und Seminare
165	Messebeteiligungen
168	Auszeichnungen und Preise
169	Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V.
170	European Laser Institute ELI
171	Informations-Service
172	Impressum

# DAS INSTITUT IM PROFIL

## KURZPORTRAIT

ILT - dieses Kürzel steht seit 1985 für gebündeltes Know-how im Bereich Lasertechnik. Innovative Lösungen von Fertigungs- und Produktionsaufgaben, Entwicklung neuer technischer Komponenten, kompetente Beratung und Ausbildung, hochspezialisiertes Personal, neuester Stand der Technik sowie internationale Referenzen: dies sind die Garanten für langfristige Partnerschaften. Die zahlreichen Kunden des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT stammen aus Branchen wie dem Automobil- und Maschinenbau, der Chemie und der Elektrotechnik, dem Flugzeugbau, der Feinmechanik, der Medizintechnik und der Optik. Mit rund 420 Mitarbeitern und 11.000 m<sup>2</sup> Nutzfläche zählt das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten seines Fachgebiets.

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

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

Unter einem Dach bietet das Fraunhofer-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 Anwenderzentrum des Fraunhofer ILT arbeiten Gastfirmen in eigenen, abgetrennten Labors und Büroräumen. Grundlage für diese spezielle Form des Technologietransfers ist ein langfristiger Kooperationsvertrag mit dem Institut im Bereich der Forschung und Entwicklung. Der Mehrwert liegt in der Nutzung der technischen Infrastruktur und dem Informationsaustausch mit Experten des Fraunhofer ILT. Rund 10 Unternehmen nutzen die Vorteile des Anwenderzentrums. Neben etablierten Laserherstellern und innovativen Laseranwendern finden hier Neugründer aus dem Bereich des Sonderanlagenbaus, der Laserfertigungstechnik und der Lasermesstechnik ein geeignetes Umfeld zur industriellen Umsetzung ihrer Ideen.



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



---

## LEITBILD

---

### **Mission**

Wir nehmen beim Transfer der Lasertechnik in die industrielle Nutzung eine internationale Spitzenposition ein. Wir erweitern nachhaltig Wissen und Know-how unserer Branche und tragen maßgeblich zur Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik bei. Wir schaffen mit unseren Partnern aus Industrie, Wissenschaft und Politik Innovationen auf Basis neuer Strahlquellen und neuer Anwendungen.

### **Kunden**

Wir arbeiten kundenorientiert. Diskretion, Fairness und Partnerschaftlichkeit haben für uns im Umgang mit unseren Kunden oberste Priorität. Unsere Kunden können sich auf uns verlassen. Entsprechend der Anforderung und Erwartung unserer Kunden erarbeiten wir Lösungen und deren wirtschaftliche Umsetzung. Ziel ist die Schaffung von Wettbewerbsvorteilen. Wir fördern den Nachwuchs an Fach- und Führungskräften für die Industrie durch projektbezogene Partnerschaften mit unseren Kunden. Wir wollen, dass unsere Kunden zufrieden sind und gerne wiederkommen.

### **Chancen**

Wir erweitern unser Wissen strategisch im Netzwerk.

### **Faszination Laser**

Wir sind fasziniert von den einzigartigen Eigenschaften des Laserlichts und der daraus resultierenden Vielseitigkeit der Anwendungen.

### **Mitarbeiter**

Das Zusammenwirken von Individuum und Team ist die Basis unseres Erfolgs.

### **Stärken**

Wir haben ein breites Spektrum an Ressourcen und bieten Lösungen aus einer Hand.

### **Führungsstil**

Kooperativ, fordernd und fördernd. Die Wertschätzung unserer Mitarbeiter als Person, ihres Know-hows und ihres Engagements ist 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**

Wir arbeiten in vertikalen Strukturen von der Forschung bis zur Anwendung. Unsere Kompetenzen erstrecken sich entlang der Kette Strahlquelle, Bearbeitungs- und Messverfahren über die Anwendung bis zur Integration einer Anlage in die Produktionslinie des Kunden.





# TECHNOLOGIEFELDER



## LASER UND OPTIK

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

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

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

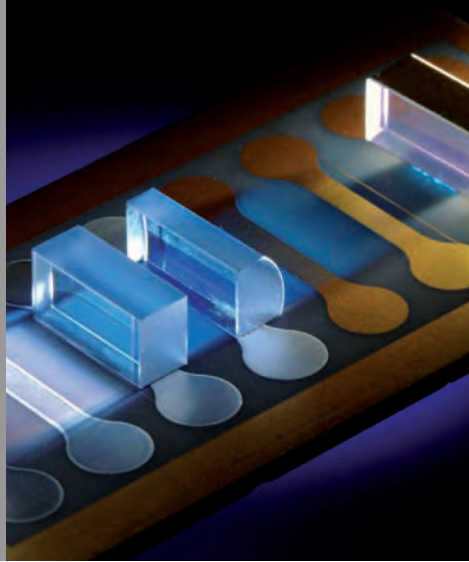
Die Anwendungsgebiete der entwickelten Laser und Optiken reichen von der Lasermaterialbearbeitung und der Messtechnik über Beleuchtungsapplikationen und Medizintechnik bis hin zum Einsatz in der Grundlagenforschung.

## LASERMATERIAL-BEARBEITUNG

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

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

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



---

## MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK

---

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

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

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

---

## LASERMESSTECHNIK UND EUV-TECHNOLOGIE

---

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

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

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

# LEISTUNGSANGEBOTE

	<i>Ansprechpartner</i>	<i>E-Mail-Adresse</i>	<i>Tel.-Durchwahl</i>
<b>LASER UND OPTIK</b>			
<b>Optikdesign</b>	Dipl.-Ing. M. Traub	martin.traub@ilt.fraunhofer.de	Tel. -342
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
<b>Diodenlaser</b>	Dipl.-Ing. M. Traub	martin.traub@ilt.fraunhofer.de	Tel. -342
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
<b>Festkörperlaser</b>	Dipl.-Phys. M. Höfer	marco.hoefer@ilt.fraunhofer.de	Tel. -128
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
<b>Ultrakurzpulslaser</b>	Dr. P. Rußbüldt	peter.russbueldt@ilt.fraunhofer.de	Tel. -303
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
<b>Faserlaser</b>	Dipl.-Phys. O. Fitzau	oliver.fitzau@ilt.fraunhofer.de	Tel. -442
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
<b>UV-, VIS- und abstimmbare Laser</b>	Dr. B. Jungbluth	bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de	Tel. -414
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
<b>Packaging</b>	Dr. M. Leers	michael.leers@ilt.fraunhofer.de	Tel. -343
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
<b>Freiformoptiken</b>	A. Bäuerle M.Sc.	axel.baeuerle@ilt.fraunhofer.de	Tel. -597
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
<b>Modellierung und Simulationstools</b>	Dr. R. Wester	rolf.wester@ilt.fraunhofer.de	Tel. -401
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
<b>LASERMATERIALBEARBEITUNG</b>			
<b>Laserschneiden</b>	Dr. F. Schneider	frank.schneider@ilt.fraunhofer.de	Tel. -426
	Dr. D. Petring	dirk.petring@ilt.fraunhofer.de	Tel. -210
<b>Laserschweißen</b>	Dipl.-Ing. M. Dahmen	martin.dahmen@ilt.fraunhofer.de	Tel. -307
	Dr. D. Petring	dirk.petring@ilt.fraunhofer.de	Tel. -210

<b>Löten</b>	Dr. A. Olowinsky Dr. A. Gillner	alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -491 Tel. -148
<b>Wärmebehandlung</b>	Dr. A. Weisheit Dr. K. Wissenbach	andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -403 Tel. -147
<b>Beschichten</b>	Dr. A. Weisheit Dr. K. Wissenbach	andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -403 Tel. -147
<b>Laserauftragschweißen</b>	Dr. A. Gasser Dr. K. Wissenbach	andres.gasser@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -209 Tel. -147
<b>Rapid Manufacturing</b>	Dr. W. Meiners Dr. K. Wissenbach	wilhelm.meiners@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -301 Tel. -147
<b>Prozess- und Strahlüberwachung</b>	Dipl.-Ing. P. Abels Dr. A. Gillner	peter.abels@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -428 Tel. -148
<b>Maschinen- und Steuerungstechnik</b>	Dipl.-Ing. P. Abels Dr. A. Gillner	peter.abels@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -428 Tel. -148
<b>Kunststoffschneiden und -schweißen</b>	Dr. A. Olowinsky Dr. A. Gillner	alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -491 Tel. -148
<b>Reinigen</b>	Dr. J. Stollenwerk Dr. K. Wissenbach	jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -411 Tel. -147
<b>Beschriften</b>	Dr. J. Stollenwerk Dr. K. Wissenbach	jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -411 Tel. -147
<b>Bohren</b>	Dipl.-Ing. H. Uchtmann Dipl.-Ing. (FH) C. Hartmann	hermann.uchtman@ilt.fraunhofer.de claudia.hartmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -8022 Tel. -207
<b>Mikrofügen</b>	Dr. A. Olowinsky Dr. A. Gillner	alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -491 Tel. -148

<b>3D-Volumenstrukturierung</b>	Dr. I. Kelbassa Dr. A. Gillner	ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -143 Tel. -148
<b>Polieren</b>	Dr. E. Willenborg Dr. K. Wissenbach	edgar.willenborg@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -213 Tel. -147
<b>Dünnschichtverfahren</b>	Dr. J. Stollenwerk Dr. K. Wissenbach	jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de	Tel. -411 Tel. -147
<b>Ultrakurzpulsbearbeitung</b>	Dipl.-Phys. M. Reininghaus Dipl.-Phys. S. Eifel	martin.reininghaus@ilt.fraunhofer.de stephan.eifel@ilt.fraunhofer.de	Tel. -627 Tel. -311
<b>Mikrostrukturierung</b>	Dr. J. Holtkamp Dr. A. Gillner	jens.holtkamp@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -273 Tel. -148
<b>Nanostrukturierung</b>	Dipl.-Phys. S. Eifel Dr. A. Gillner	stephan.eifel@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -311 Tel. -148
<b>Simulation</b>	Dr. M. Niessen Prof. W. Schulz	markus.niessen@ilt.fraunhofer.de wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de	Tel. -8059 Tel. -204

## MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK

<b>Bioanalytik</b>	Dr. C. Janzen Priv.-Doz. Dr. R. Noll	christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -124 Tel. -138
<b>Lasermikroskopie</b>	Dr. C. Janzen Priv.-Doz. Dr. R. Noll	christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -124 Tel. -138
<b>Klinische Diagnostik</b>	Dr. A. Lenenbach Priv.-Doz. Dr. R. Noll	achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -124 Tel. -138
<b>Mikrochirurgische Systeme</b>	Dr. A. Lenenbach Priv.-Doz. Dr. R. Noll	achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -124 Tel. -138
<b>Mikrofluidische Systeme</b>	Dr. A. Olowinsky Dr. A. Gillner	alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -491 Tel. -148

<b>Biofunktionalisierung</b>	Dr. E. Bremus-Köbberling Dr. A. Gillner	elke.bremus@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -396 Tel. -148
<b>Biofabrication</b>	Dipl.-Biologe D. Riester Dr. A. Gillner	dominik.riester@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -529 Tel. -148
<b>Lasertherapie</b>	Dr. M. Wehner Dr. A. Gillner	martin.wehner@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -202 Tel. -148
<b>Implantate</b>	Dipl.-Phys. L. Jauer Dr. W. Meiners	lucas.jauer@ilt.fraunhofer.de wilhelm.meiners@ilt.fraunhofer.de	Tel. -360 Tel. -301

## LASERMESSTECHNIK UND EUV-TECHNOLOGIE

<b>Fertigungsmesstechnik</b>	Dr. V. Sturm Priv.-Doz. Dr. R. Noll	volker.sturm@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -154 Tel. -138
<b>Materialanalytik</b>	Dr. C. Fricke-Begemann Priv.-Doz. Dr. R. Noll	cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -196 Tel. -138
<b>Recycling und Rohstoffe</b>	Dipl.-Phys. P. Werheit Priv.-Doz. Dr. R. Noll	patrick.werheit@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -308 Tel. -138
<b>Umwelt und Sicherheit</b>	Dr. C. Fricke-Begemann Priv.-Doz. Dr. R. Noll	cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -196 Tel. -138
<b>EUV-Technologie</b>	Dr. K. Bergmann Priv.-Doz. Dr. R. Noll	klaus.bergmann@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -302 Tel. -138

# INSTITUTSSTRUKTUR

## INSTITUTSLEITUNG



**Prof. Dr. Reinhart Poprawe M.A.**  
*Institutsleiter*



**Prof. Dr. Peter Loosen**  
*stellvertretender Institutsleiter*

## VERWALTUNG UND STABSSTELLEN



**Dr. Vasvija Alagic MBA**  
*Verwaltung und Infrastruktur*



**Dipl.-Phys. Axel Bauer**  
*Marketing und Kommunikation*



**Dr. Alexander Drenker**  
*Qualitätsmanagement*



**Dr. Bruno Weikl**  
*IT-Management*

## KOMPETENZFELDER



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



**Dr. Arnold Gillner**  
*Abtragen und Fügen*



**Dr. Konrad Wissenbach**  
*Generative Verfahren  
und funktionale Schichten*



**Priv.-Doz. Dr. Reinhard Noll**  
*Messtechnik und EUV-Strahlquellen*

# KURATORIUM UND GREMIEN

## Kuratorium

Das Kuratorium berät die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung und fördert die Verbindung zu den an Forschungsarbeiten des Instituts interessierten Kreisen.

Mitglieder des Kuratoriums waren im Berichtszeitraum:

- Dr. R. Achatz, ThyssenKrupp Stahl AG
- Dr. Norbert Arndt, Rolls-Royce plc
- C. Baasel (Vorsitzender), Carl Baasel Lasertechnik GmbH
- Dr. Hans Eggers, Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF
- Dr. Thomas Fehn, Jenoptik AG
- Dr. Ulrich Hefter, Rofin-Sinar Laser GmbH
- Dipl.-Ing. Volker Krause, Laserline GmbH
- Prof. G. Marowsky, Laserlaboratorium Göttingen e. V.
- MinRat Dipl.-Phys. T. Monsau, Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen
- Manfred Nettekoven, Kanzler der RWTH Aachen
- Dr. Joseph Pankert, Philips Lighting B.V.
- Prof. R. Salathé, Ecole Polytechnique Fédéral de Lausanne
- Dr. Dieter Steegmüller, Daimler AG
- Dr. Ulrich Steegmüller, Osram Opto Semiconductors GmbH & Co. OHG
- Dr. Klaus Wallmeroth, TRUMPF Laser GmbH & Co. KG

Die 28. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 11. September 2013 im Fraunhofer ILT in Aachen statt.

## Institutsleitungsausschuss ILA

Der Institutsleitungsausschuss ILA berät die Institutsleitung und wirkt bei der Entscheidungsfindung über die Grundzüge der Forschungs- und Geschäftspolitik des Instituts mit.

Mitglieder des ILA sind:

Dr. Vasvija Alagic MBA, Dipl.-Phys. A. Bauer, Dr. A. Gillner, Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Dr. I. Kelbassa, Prof. P. Loosen, Priv.-Doz. Dr. R. Noll, Dr. D. Petring, Prof. R. Poprawe, Prof. W. Schulz, B. Theisen, Dr. B. Weikl, Dr. K. Wissenbach.

## Arbeitsschutzausschuss ASA

Der Arbeitsschutzausschuss ASA ist für die Lasersicherheit und alle anderen sicherheitstechnischen Fragen im Fraunhofer ILT zuständig. Mitglieder des Ausschusses sind: Dr. Vasvija Alagic MBA, K. Bongard, M. Brankers, A. Hilgers, A. Lennertz, Dr. W. Neff, E. Neuroth, Dipl.-Ing. H.-D. Plum, Prof. R. Poprawe, B. Theisen, F. Voigt, Dipl.-Ing. N. Wolf, Dr. R. Keul (Berufsgenossenschaftlicher Arbeitsmedizinischer Dienst BAD).

## Wissenschaftlich-Technischer Rat WTR

Der Wissenschaftlich-Technische Rat WTR der Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt und berät die Organe der Gesellschaft in wissenschaftlich-technischen Fragen von grundsätzlicher Bedeutung. Ihm gehören die Mitglieder der Institutsleitungen und je Institut ein gewählter Vertreter der wissenschaftlich-technischen Mitarbeiter an.

Mitglieder im Wissenschaftlich-Technischen Rat sind: Prof. R. Poprawe, Dipl.-Phys. Dipl.-Volksw. D. Esser, Dr. A. Olowinsky.

## Betriebsrat

Im März 2003 wurde von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer ILT und der kooperierenden Lehrstühle erstmals ein Betriebsrat gewählt. Mitglieder seit der Wahl 2010: Dipl.-Ing. P. Abels, M. Brankers, Dipl.-Ing. A. Dohrn, C. Hannemann, M. Janßen, Dipl.-Phys. A. Temmler, B. Theisen (Vorsitz), Dr. A. Weisheit, Dipl.-Ing. N. Wolf.



# DAS INSTITUT IN ZAHLEN

## MITARBEITER

### Mitarbeiter am Fraunhofer ILT 2013

(Stand: 31.12.2013)

	Anzahl
<b>Stammpersonal</b>	<b>217</b>
- Wissenschaftler und Ingenieure	152
- Mitarbeiter der technischen Infrastruktur	39
- Verwaltungsangestellte	26
<b>Weitere Mitarbeiter</b>	<b>204</b>
- wissenschaftliche Hilfskräfte	196
- externe Mitarbeiter	4
- Auszubildende	4
<b>Mitarbeiter am Fraunhofer ILT, gesamt</b>	<b>421</b>

- 14 Mitarbeiter haben ihre Promotion abgeschlossen.
- 62 Studenten haben ihre Diplom-, Master- oder Bachelorarbeit am Fraunhofer ILT durchgeführt.

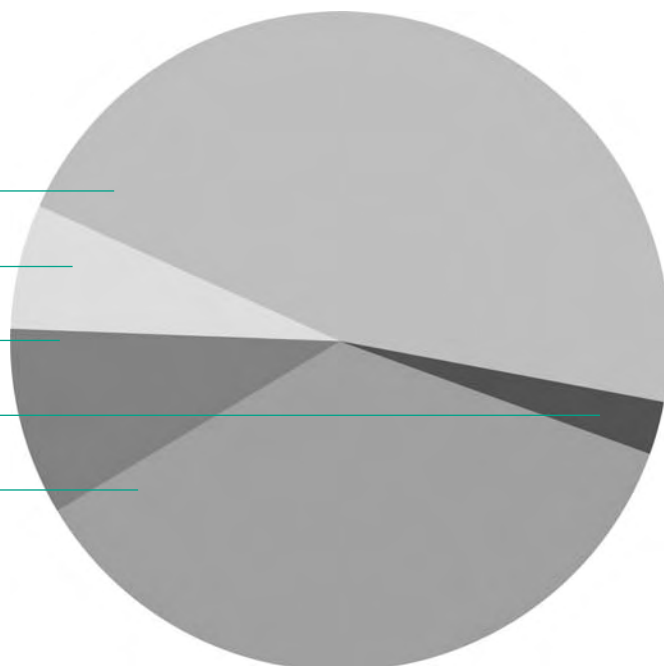
47 % wissenschaftliche Hilfskräfte

6 % Verwaltungsangestellte

9 % technische Infrastruktur

2 % Auszubildende / externe Mitarbeiter

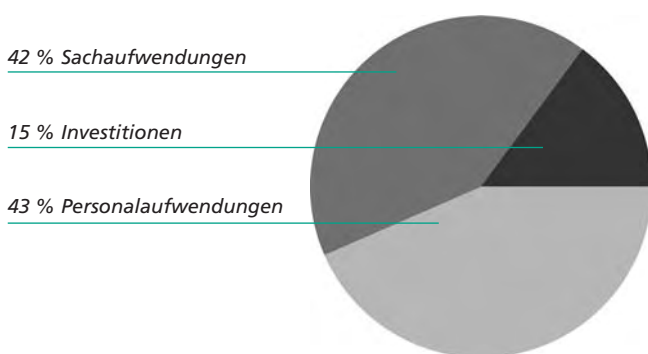
36 % Wissenschaftler und Ingenieure



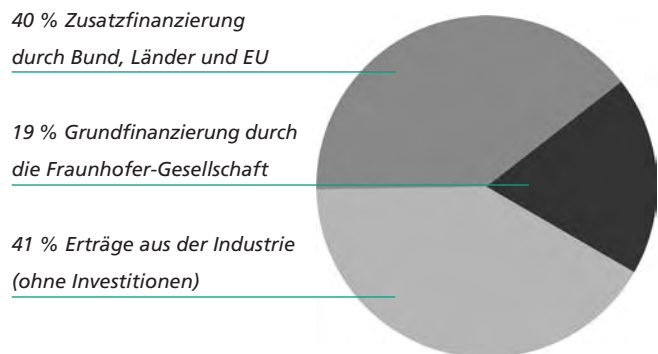
## AUFWENDUNGEN UND ERTRÄGE

Aufwendungen 2013	Mio €
- Personalaufwendungen	14,9
- Sachaufwendungen	14,3
<b>Aufwendungen Betriebshaushalt</b>	<b>29,2</b>
<b>Investitionen</b>	<b>5,1</b>

Erträge 2013	Mio €
- Erträge aus der Industrie	12,1
- Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	11,6
- Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	5,5
<b>Erträge Betriebshaushalt</b>	<b>29,2</b>
<b>Investitionserträge aus der Industrie</b>	<b>0,9</b>
<b>Fraunhofer Industrie <math>\rho_{\text{Ind}}</math></b>	<b>44,4 %</b>



(100 % Betriebshaushalt und Investitionen)

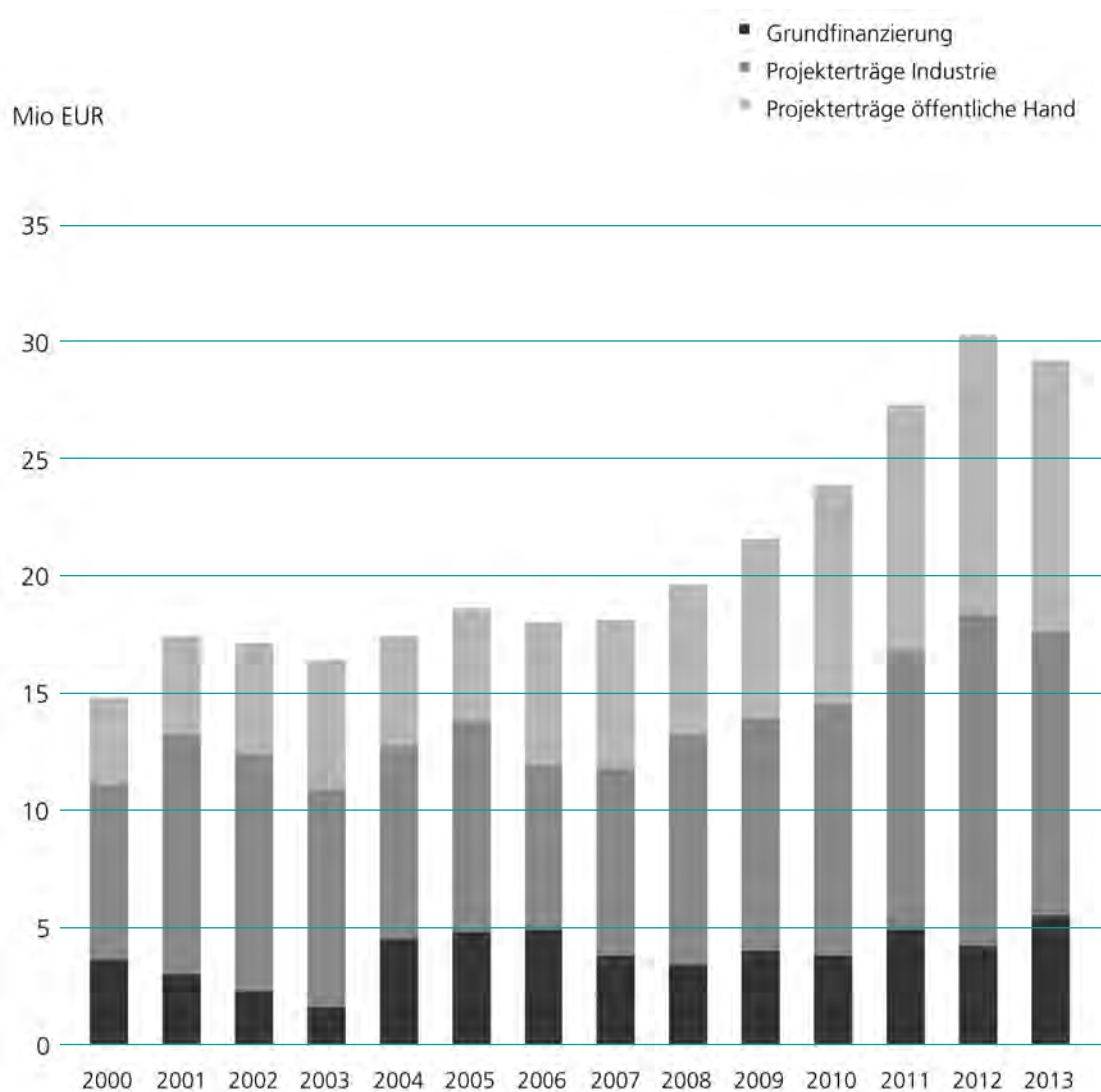


(100 % Betriebshaushalt)

# DAS INSTITUT IN ZAHLEN

## BETRIEBSHAUSHALT

Die Graphik verdeutlicht die Entwicklung des Betriebsshaushalts in den letzten 14 Jahren.



# KUNDENREFERENZENZEN



Stand Dezember 2013. Mit freundlicher Genehmigung der Kooperationspartner.  
Die aufgelisteten Firmen sind ein repräsentativer Ausschnitt aus der umfangreichen Kundenliste des Fraunhofer ILT.

# KOOPERATIONSFORMEN

## LEISTUNGSSPEKTRUM

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

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

## KOOPERATIONEN

Die Kooperation des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT mit FuE-Partnern kann verschiedene Formen annehmen:

- Durchführung von bilateralen, firmenspezifischen FuE-Projekten mit und ohne öffentliche Unterstützung (Werkvertrag)
- Beteiligung von Firmen an öffentlich geförderten Verbundprojekten (Mitfinanzierungsvertrag)
- Übernahme von Test-, Null- und Vorserienproduktion durch das Fraunhofer ILT zur Ermittlung der Verfahrenssicherheit und zur Minimierung des Anlauftrisikos (Werkvertrag)

- Firmen mit Gaststatus und eigenen Labors und Büros am Fraunhofer ILT (spezielle Kooperationsverträge)
- Firmen mit Niederlassungen im Campus der RWTH Aachen und Kooperation mit dem Fraunhofer ILT über den Cluster »Digital Photonic Production«

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

Während der Einführungsphase neuer Laserverfahren oder -produkte können Unternehmen Gaststatus am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik erwerben und Geräteausstattung, Infrastruktur und Know-how des Instituts nutzen sowie eigene Geräte installieren.

## FRAUNHOFER ILT IM AUSLAND

Das Fraunhofer ILT pflegt seit seiner Gründung zahlreiche internationale Kooperationen. Ziel der Zusammenarbeit ist es, Trends und Entwicklungen rechtzeitig zu erkennen und weiteres Know-how zu erwerben. Dieses kommt den Auftraggebern des Fraunhofer ILT direkt zugute. Mit ausländischen Firmen und Niederlassungen deutscher Firmen im Ausland führt das Fraunhofer ILT sowohl bilaterale Projekte als auch internationale Verbundprojekte durch. Die Kontaktaufnahme kann auch mittelbar erfolgen über:

- Niederlassungen des Fraunhofer ILT im Ausland
- ausländische Kooperationspartner des Fraunhofer ILT
- Verbindungsbüros der Fraunhofer-Gesellschaft im Ausland.



## AUSSTATTUNG

Die Nutzflächen des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT betragen über 11.000 m<sup>2</sup>.

### Technische Infrastruktur

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

### Wissenschaftliche Infrastruktur

Zur wissenschaftlichen Infrastruktur zählen u. a. eine mit internationaler Literatur bestückte Bibliothek, Literatur- und Patentdatenbanken sowie Programme zur Berechnung wissenschaftlicher Fragestellungen und Datenbanken zur Prozessdokumentation.

### Geräteausstattung

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

- CO<sub>2</sub>-Laser bis 12 kW
- Lampengepumpte Festkörperlaser bis 3 kW
- Scheibenlaser von 1 bis 10 kW
- Multimode-Faserlaser bis 4 kW
- Singlemode-Faserlaser bis 5 kW
- Diodenlaser von 1 bis 12 kW
- INNOSLAB-Laser mit Pulsdauern im Nano-, Pico- und Femtosekundenbereich
- Excimerlaser
- Ultrakurzpulslaser bis 1 kW

- Breitbandig abstimmbare Laser
- Selective Laser Melting (SLM)-Anlagen mit Laserleistungen bis zu 2 kW
- Fünfsichtige Portalanlagen
- Dreiachsige Bearbeitungsstationen
- Strahlführungssysteme
- Robotersysteme
- Sensoren zur Prozessüberwachung für die Lasermaterialbearbeitung
- Direct-writing- und Laser-PVD-Stationen
- Reinräume zur Montage von Dioden- und Festkörperlaser sowie Laseroptiken
- Reinräume zur Montage von Diodenlasern, diodengepumpten Festkörperlaser und Faserlasern
- Life Science Labor mit S1 Klassifizierung
- Geräte zur Verfahrens- und Prozessdiagnostik sowie zur Hochgeschwindigkeits-Prozessanalyse
- Laser-Spektroskopie-Systeme zur chemischen Analyse fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe
- Lasertriangulationssensoren zur Abstands- und Konturvermessung
- Laser-Koordinatenmessmaschine
- Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop
- Raster Elektronen Mikroskop
- Umfangreiches Equipment zur Strahldiagnose von Hochleistungslasern
- Shack Hartmann Sensor zur Charakterisierung von Laserstrahlen und Optiken
- Equipment zur Fertigung integrierter Faserlaser
- Messinterferometer und Autokollimator zur Analyse von Laseroptiken
- Messequipment zur Charakterisierung von Ultrakurzpulslasern: Autokorrelatoren, Multi GHz Oszilloskope und Spektralanalysatoren

# FRAUNHOFER USA CENTER FOR LASER TECHNOLOGY CLT

## Kurzportrait

Das Fraunhofer Center for Laser Technology CLT hat seinen Sitz in Plymouth, Michigan. Diese Region hat sich zu einem Zentrum für Laserhersteller, Systemintegratoren und industrielle Anwender in den USA etabliert. Das Gebäude des CLT umfasst Räumlichkeiten mit einer Grundfläche von 1250 m<sup>2</sup>.

Das Fraunhofer CLT verfolgt folgende Ziele:

1. Einbindung in wissenschaftliche und industrielle Entwicklungen in den USA
2. Know-how Zuwachs am Mutterinstitut durch schnelleres Erkennen von Trends, in denen die USA führend sind
3. Know-how Zuwachs am Fraunhofer CLT durch enge Kooperation mit der University of Michigan und der Wayne State University sowie anderen führenden US Universitäten
4. Bedienung internationaler Unternehmen auf beiden Kontinenten vor Ort
5. Austausch von Studenten

Die zentrale Philosophie von Fraunhofer USA ist der Aufbau einer deutsch-amerikanischen Zusammenarbeit, bei dem Nehmen und Geben im Einklang stehen. Das Interesse der amerikanischen Partner-Universitäten konzentriert sich auf:

1. Nutzung von Kompetenzen der Fraunhofer-Institute
2. Erfahrung bei der Einführung neuer Technologien in den Markt
3. Verbindung zwischen Industrie und Hochschule
4. Praxisnahe Ausbildung von Studenten, Diplomanden und Doktoranden

In Zusammenarbeit mit der University of Michigan werden Faserlaser hoher Brillanz und Leistung entwickelt. Die Grundlagen und Konzepte neuer Fasergeometrien zur Erzielung hoher (Puls-)Leistungen mit beugungsbegrenzter Strahlqualität werden an der Universität erarbeitet, während Fraunhofer die Entwicklung brillanter Pumpquellen, die Systemintegration,

den Prototypenbau und die Applikationsuntersuchungen übernimmt. Das Fraunhofer CLT hat in diesem Rahmen neue Technologien und Fertigungsmethoden für Multi-Single-Emitter Diodenlaser entwickelt, welche die Leistungsfähigkeit von Diodenlasern mit der von Festkörperlasern vergleichbar machen. Die kontinuierlichen Arbeiten der letzten 10 Jahre auf diesem Gebiet haben zu innovativen Designs und neuen Aufbautechniken geführt, die eine dreifache Steigerung der Strahlintensität und damit eine deutliche Erweiterung des Einsatzfelds von Diodenlasern in der Materialbearbeitung ermöglichen.

Kostengünstige Fertigungsverfahren für alternative Energieerzeugung und -speicherung sind ein weiterer Arbeitsschwerpunkte am CLT. Im Mittelpunkt stehen Solarzellen, Lithium-Ionen Batterien und Super-Kondensatoren. Laserinduzierte Abtrags-, Trenn- und Fügeverfahren, auch für artungleiche Werkstoffe und Werkstoffverbünde, bilden hierfür die technologische Grundlage. Die Forschungsergebnisse werden derzeit in bilateralen Projekten in die Industrie überführt.

In der Solarzellenfertigung werden Laser zur Effizienzsteigerung erfolgreich eingesetzt. Am Fraunhofer CLT wurden Hochratebohrprozesse für EWT- und MWT-Zellen entwickelt und die Produktivität des Laserbohrens um einen Faktor 6 verbessert. Entwicklungsarbeiten zum Via-Bohren als auch zum Doping wurden in Kooperation mit der US-Niederlassung eines großen deutschen Solarzellenherstellers erfolgreich durchgeführt und vom Department of Energy (DOE) gefördert.

Im Bereich der generativen Fertigung bilden neue Bearbeitungsköpfe mit Mehrstrahltechnik unter Einsatz von Diodenlasern einen Entwicklungsschwerpunkt. Ziel ist es, schwer verarbeitbare Legierungen wie beispielsweise risseempfindliche Superlegierungen auf Nickelbasis für Anwendungen in Triebwerken durch die optimierte Temperaturführung fehlerfrei und mit hoher Qualität aufzutragen.



Die Entwicklung des Bearbeitungskopfes wurde durch öffentliche Mittel mitfinanziert und erfolgte in Zusammenarbeit mit der University of Michigan. Gemeinsam mit dem Fraunhofer ILT werden Prozessoptimierungen für spezifische Materialien und deren Anwendungen durchgeführt.

### Dienstleistungen

Das Fraunhofer CLT bietet Dienstleistungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung sowie der Entwicklung von optischen Komponenten und speziellen Lasersystemen an. Diese umfassen das gesamte Spektrum von Machbarkeitsstudien über Prozessentwicklung, Vorserienproduktion und Prototypenfertigung von Laserstrahlquellen bis hin zu schlüsselfertigen Laseranlagen. Die Kunden kommen überwiegend aus der Automobilindustrie, der Energie- und der Medizintechnik.

### Ausstattung

Die derzeitige Ausstattung des CLT umfasst eine Vielzahl von Lasern für die Mikromaterialbearbeitung und einige Hochleistungslaser. Faserlaser mit beugungsbegrenzter Strahlqualität und Ausgangsleistungen bis zu 500 W cw und 25 kW Pulsleistung mit flexiblen Pulsparametern, frequenzverdreifachte Nd:YAG- und CO<sub>2</sub>-Laser sowie Diodenlaser stehen für Prozessentwicklungen in der Mikrotechnik zur Verfügung.

### Aufwendungen 2013

	Mio US \$
<b>Betriebshaushalt</b>	<b>1,8</b>
- Personalaufwendungen	1,0
- Sachaufwendungen	0,8

### Kundenreferenzen

- U.S. Navy Research Laboratory
- U.S. Army Research Laboratory
- Department of Energy (DOE)
- State of Michigan
- Continental
- DirectPhotonics Industries
- Dow
- Federal Mogul
- Ford
- IDEX Health & Science
- Magna
- Medtronic
- Procter & Gamble
- SolarWorld
- Visotek

### Ansprechpartner



Hans J. Herfurth  
Direktor

Telefon +1 734-738-0503  
Fax +1 734 354-3335  
hherfurth@clt.fraunhofer.com  
www.clt.fraunhofer.com

46025 Port Street  
Plymouth, Michigan 48170, USA



# COOPÉRATION LASER FRANCO-ALLEMANDE CLFA

## Kurzportrait

In der Coopération Laser Franco-Allemande (CLFA) in Paris kooperiert das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT seit 1997 erfolgreich mit führenden französischen Forschungseinrichtungen. Die wichtigsten Kooperationspartner sind dabei die Hochschule MINES ParisTech, die Hochschule für Mechanik und Mikrotechnik ENSMM in Besançon, die Ingenieurhochschule ECAM Rennes Louis de Broglie sowie weitere namhafte Laseranwendungszentren in Frankreich. Interdisziplinäre Expertenteams aus Deutschland und Frankreich arbeiten gemeinsam am Transfer lasergestützter Fertigungsverfahren in die europäische Industrie. Die CLFA ist Mitglied in der französischen Vereinigung von Laserherstellern und -anwendern, dem Club Laser & Procédés, und beteiligt sich aktiv an der Organisation regionaler und nationaler Konferenzen und Ausstellungen. So war die CLFA 2013 am Fraunhofer-Gemeinschaftsstand der JEC Composites in Paris vertreten sowie auf der nationalen Laserkonferenz JNPLI.

Die Ziele der CLFA sind:

- Einbindung in wissenschaftliche und industrielle Entwicklungen in Frankreich
- Know-how Zuwachs durch schnelleres Erkennen von Trends im Bereich der europäischen Laser- und Produktionstechnik
- Stärkung der Position im europäischen F&E-Markt
- Aufbau eines europäischen Kompetenzzentrums für Lasertechnik
- Steigerung der Mobilität und Qualifikation der Mitarbeiter

Die CLFA beteiligt sich aktiv an der Realisierung des europäischen Forschungsraums und ist eine Konsequenz der insbesondere im Bereich der Lasertechnik zunehmenden Vernetzung der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung in Europa.

Die Kooperation des Fraunhofer ILT mit den französischen Partnern ist auch ein Beitrag zum Ausbau der europaweiten Präsenz der Fraunhofer-Gesellschaft, bei dem die Vorteile für die französische und die deutsche Seite gleichermaßen Berücksichtigung finden. International wird dadurch die führende Position der europäischen Industrie in den lasergestützten Fertigungsverfahren weiter gefestigt.

Das Interesse der französischen Partner konzentriert sich auf die:

- Nutzung von Kompetenzen der Fraunhofer-Institute für französische Unternehmen
- Nutzung der Erfahrung des Fraunhofer ILT bei der Einführung neuer Technologien
- Verbindung zwischen Industrie und Hochschulen mit praxisnaher Ausbildung von Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten

Die CLFA unterhält enge Kooperationen insbesondere auch mit mittelständischen Unternehmen. Mit Unterstützung der französischen Partner erfolgte 2007 die Ausgründung der Firma PolyShape durch Mitarbeiter der CLFA. Das Unternehmen bietet Dienstleistungen im Bereich generativer Fertigungsverfahren für französische Kunden an. Es kooperiert mit der CLFA und dem Fraunhofer ILT im Rahmen regionaler und europäischer Projekte.

## Forschungsschwerpunkte

Im Rahmen des von BMBF und der französischen ANR geförderten Gemeinschaftsprojekts »PROBADUR« wurde in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer LBF und den französischen Carnot-Instituten, Cetim und M.I.N.E.S, das lasergestützte Fügen faserverstärkter Thermoplaste hinsichtlich seiner mechanischen Eigenschaften untersucht. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse erlauben eine bessere Vorhersage der Verarbeitung derartiger Werkstoffe. Vor allem in Bereichen wie Automobilbau und Luftfahrt werden diese aus Gründen der Gewichtsersparnis konventionelle Werkstoffe mehr und mehr ersetzen.



In einem weiteren Forschungsvorhaben werden gemeinsam mit den Wissenschaftlern des Centre des Matériaux in Evry die Vorteile des laserbasierten Oberflächenstrukturierens zur Verbesserung der Haftungseigenschaften bei unterschiedlichen Beschichtungen untersucht.

In allen Projekten werden verschiedene Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten aus Deutschland und Frankreich durchgeführt, wobei auch Erasmus-Stipendiaten ihre ersten Erfahrungen im internationalen Forschungsumfeld machen konnten.

### **Dienstleistungen**

Die CLFA bietet Dienstleistungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung an. Diese umfassen das gesamte Spektrum von anwendungsorientierter Grundlagenforschung und Ausbildung über Machbarkeitsstudien und Prozessentwicklung bis hin zur Vorserienentwicklung und Systemintegration. Hierbei haben vor allem auch kleine und mittelständische Unternehmen die Möglichkeit, die Vorteile der Lasertechnik in einer unabhängigen Einrichtung kennenzulernen und zu erproben. Die offenen Entwicklungsplattformen erlauben den französischen Auftraggebern den Test und die Qualifizierung neuer lasergestützter Fertigungsverfahren.

### **Mitarbeiter**

In der CLFA sind Mitarbeiter aus Frankreich und Deutschland gemeinsam tätig. Im Rahmen von Verbundprojekten wird der wechselseitige Personalaustausch zwischen den Standorten Aachen und Paris gefördert. Hierdurch wird den Mitarbeitern die Möglichkeit geboten, ihre Kompetenz insbesondere im Hinblick auf Mobilität und internationales Projektmanagement zu vertiefen.

### **Ausstattung**

Neben der am Fraunhofer ILT zur Verfügung stehenden Einrichtung verfügt die CLFA über eine eigene Infrastruktur im Centre des Matériaux Pierre-Marie Fourt von MINES ParisTech in Evry im Süden von Paris. Hierbei besteht auch Zugriff auf die Kompetenz und Infrastruktur im Bereich der Materialwissenschaften des Instituts. Kunden- und projektorientiert kann auch die Infrastruktur der anderen französischen Partner mit genutzt werden.

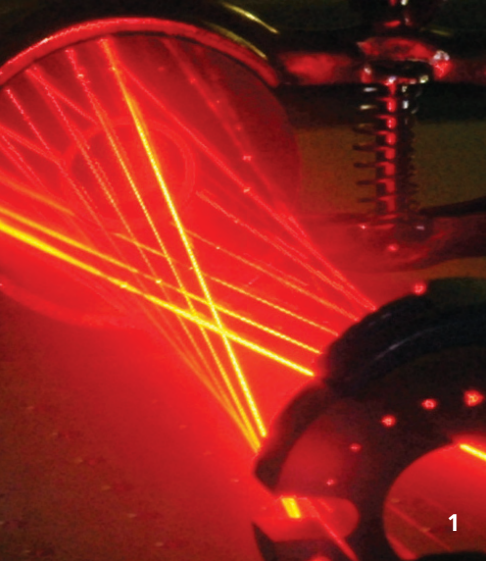
### **Ansprechpartner**



Dr. Wolfgang Knapp  
Direktor

Telefon +33 1 6076 3073  
wolfgang.knapp@ilt.fraunhofer.de

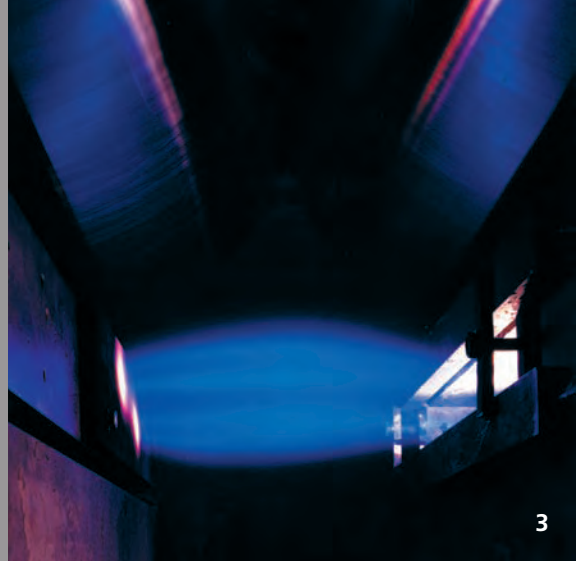
CLFA c/o Centre des Matériaux, MINES ParisTech  
10 rue Henri Auguste Desbrières  
91003 Evry Cedex, Frankreich



1



2



3

## FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

### Kompetenz durch Vernetzung

Sechs Fraunhofer-Institute kooperieren im Verbund Light & Surfaces. Aufeinander abgestimmte Kompetenzen gewährleisten eine schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an die Erfordernisse in den verschiedensten Anwendungsfeldern zur Lösung aktueller und zukünftiger Herausforderungen, insbesondere in den Bereichen Energie, Umwelt, Produktion, Information und Sicherheit. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Marktes ausgerichtete Strategien führen zu Synergieeffekten zum Nutzen der Kunden.

### Kernkompetenzen des Verbunds

- Beschichtung und Oberflächenfunktionalisierung
- Laserbasierte Fertigungsverfahren
- Laserentwicklung und Nichtlineare Optik
- Materialien der Optik und Photonik
- Mikromontage und Systemintegration
- Mikro- und Nanotechnologien
- Kohlenstofftechnologie
- Messverfahren und Charakterisierung
- Ultrapräzisionsbearbeitung
- Werkstofftechnologien
- Plasma- und Elektronenstrahlquellen

1 Fraunhofer IWS

2 Fraunhofer IOF

3 Fraunhofer FEP

4 Fraunhofer ILT

5 Fraunhofer IST

6 Fraunhofer IPM

### Geschäftsfelder

- Abtragen und Trennen
- Bildgebung und Beleuchtung
- Fügen und Generieren
- Lichtquellen und Lasersysteme
- Lithographie
- Materialprüfung und Analytik
- Medizintechnik und Biophotonik
- Mikrosysteme und Sensoren
- Optische Systeme und Instrumentierung
- Werkzeuge und Formenbau

### Kontakt

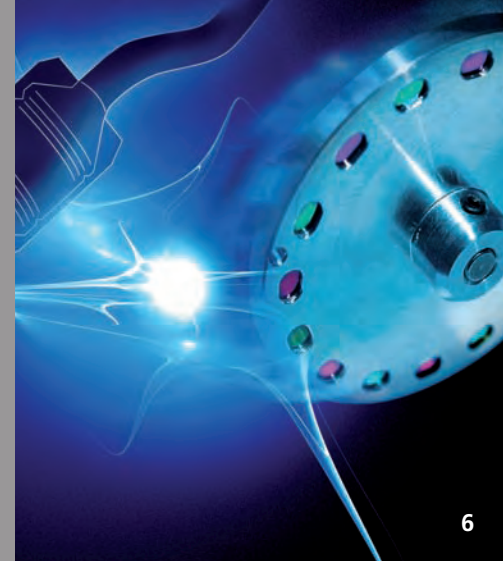
Prof. Dr. Andreas Tünnermann (Verbundvorsitzender)  
Telefon +49 3641 807-201

Susan Oxfart (Verbundassistentin)  
Telefon +49 3641 807-207  
susan.oxfart@iof.fraunhofer.de

[www.light-and-surfaces.fraunhofer.de](http://www.light-and-surfaces.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

Das Fraunhofer IOF entwickelt zur Bewältigung drängender Zukunftsfragen in den Bereichen Energie und Umwelt, Information und Sicherheit sowie Gesundheit und Medizintechnik Lösungen mit Licht. Die Kompetenzen umfassen die gesamte Prozesskette vom Optik- und Mechanik-Design über die Entwicklung von Fertigungsprozessen für optische und mechanische Komponenten sowie Verfahren zur Systemintegration bis hin zur Fertigung von Prototypen. Schwerpunkte liegen auf den Gebieten multifunktionale optische Schichtsysteme, Mikro- und Nanooptik, Festkörperlichtquellen, optische Messsysteme und opto-mechanische Präzisionssysteme.  
[www.iof.fraunhofer.de](http://www.iof.fraunhofer.de)



### **Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP**

Die Kernkompetenzen des Fraunhofer FEP sind die Elektronenstrahltechnologie, die plasmaaktivierte Hochratebedampfung und die Hochrate-PECVD. Die Arbeitsgebiete umfassen die Vakuumbeschichtung sowie die Oberflächenbearbeitung und -behandlung mit Elektronen und Plasmen. Neben der Entwicklung von Schichtsystemen, Produkten und Technologien ist ein wichtiger Schwerpunkt die Aufskalierung der Technologien für die Beschichtung und Behandlung großer Flächen mit hoher Produktivität. [www.fep.fraunhofer.de](http://www.fep.fraunhofer.de)

### **Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT**

Mit über 400 Patenten seit 1985 ist das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT ein gefragter FuE-Partner der Industrie für die Entwicklung innovativer Laserstrahlquellen, Laserverfahren und Lasersysteme. Unsere Technologiefelder umfassen Laser und Optik, Lasermesstechnik, Medizintechnik und Biophotonik sowie Lasermaterialbearbeitung. Hierzu zählen u. a. das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Lötten sowie die Oberflächenbearbeitung, die Mikrofertigung und das Rapid Manufacturing. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik. [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)

### **Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST**

Das Fraunhofer IST bündelt als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum Kompetenzen auf den Gebieten Schichtherstellung, Schichtanwendung, Schichtcharakterisierung und Oberflächenanalyse. Wissenschaftler, Techniker und Ingenieure arbeiten daran, Oberflächen der verschiedensten Grundmaterialien neue oder verbesserte Funktionen zu verleihen, um auf diesem Wege innovative, marktgerechte Produkte zu schaffen. Das Institut ist in folgenden Geschäftsfeldern tätig: Maschinen- und Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt, Werkzeuge, Energie, Glas und Fassade, Optik, Information und Kommunikation, Mensch und Umwelt. [www.ist.fraunhofer.de](http://www.ist.fraunhofer.de)

### **Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM**

Fraunhofer IPM entwickelt und realisiert optische Sensor- und Belichtungssysteme. Bei den vorwiegend laserbasierten Systemen sind Optik, Mechanik, Elektronik und Software ideal aufeinander abgestimmt. Die Lösungen sind besonders robust ausgelegt und jeweils individuell auf die Bedingungen am Einsatzort zugeschnitten. Auf dem Gebiet der Thermoelektrik verfügt das Institut über Know-how in Materialforschung, Simulation und Systemen. In der Dünnschichttechnik arbeitet Fraunhofer IPM an Materialien, Herstellungsprozessen und Systemen. [www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)

### **Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS**

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS steht für Innovationen in den Geschäftsfeldern Fügen, Trennen sowie Oberflächentechnik und Beschichtung. Die Besonderheit des Fraunhofer IWS liegt in der Kombination eines umfangreichen werkstofftechnischen Know-hows mit weitreichenden Erfahrungen in der Entwicklung von Technologien und Systemtechnik. Zahlreiche Lösungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung und Schichttechnik finden jedes Jahr Eingang in die industrielle Fertigung. [www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)

# DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT AUF EINEN BLICK

## Die Fraunhofer-Gesellschaft

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 67 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 23 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2 Milliarden Euro. Davon fallen rund 1,7 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

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

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

Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

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

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

## Die Forschungsgebiete

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

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



# LASERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN

## GEMEINSAM ZUKUNFT GESTALTEN

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

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

### Lehrstuhl für Lasertechnik LLT

Der Lehrstuhl für Lasertechnik ist seit 1985 an der RWTH Aachen in der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung in den Bereichen Ultrakurzpulsbearbeitung, 3D-Volumenstrukturierung, Bohren, generative Verfahren und integrative Produktion tätig.

Die Entwicklung von Fertigungsverfahren zur Bearbeitung von transparenten Dielektrika mittels Femtosekunden-Laserstrahlung für die Erzeugung von mikrooptischen und mikromechanischen Komponenten steht im Fokus der Aktivitäten in der Gruppe 3D-Volumenstrukturierung. Die Integration von optischen Technologien in die Fertigung sowie die Herstellung von optischen Systemen sind wesentlicher Bestandteil des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« innerhalb des Bereichs »Digital Photonic Production«. Mit Ultrakurzpuls-Laserstrahlung werden sowohl Grundlagenexperimente durchgeführt als auch praxisrelevante Nano- und Mikrobauteile durch Abtragen, Modifizieren oder Schmelzen bearbeitet. Beim Bohren werden Metalle sowie Mehrschichtsysteme aus zumeist Metallen und Keramiken mittels Einzelpuls-, Perkussions- und Wendelbohren sowie dem Trepanieren bearbeitet. Anwendungen finden sich beispielsweise bei Bohrungen in Turbinenschaufeln für die Luft- und Raumfahrt. Arbeitsthemen im Bereich generative Verfahren sind u. a. neue Werkstoffe, kleinere Strukturgrößen, größere Aufbauten, das Mikrobeschichten, die Prozesskontrolle und -regelung sowie die Neu- und Weiterentwicklung der eigenen Anlagen- und Systemtechnik.

### Kontakt

Prof. Reinhart Poprawe M. A. (Leiter des Lehrstuhls)  
Telefon +49 241 8906-109  
reinhart.poprawe@ilt.rwth-aachen.de

Akad. Oberrat Dr. Ingomar Kelbassa (stellv.)  
Telefon +49 241 8906-143  
ingomar.kelbassa@ilt.rwth-aachen.de



### **Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS**

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

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

#### **Kontakt**

Prof. Peter Loosen (Leiter des Lehrstuhls)  
Telefon +49 241 8906-162  
peter.loosen@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, Präzisionsbearbeitung mit Ultrakurzpulslasern und PDT in der Zahnmedizin sowie Dermatologie.

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

Im Vordergrund der Ausbildungsziele steht die Vermittlung einer wissenschaftlichen Methodik zur Modellbildung anhand praxisnaher Beispiele. Die Modellbildung wird durch die experimentelle Diagnose der Laser-Fertigungsverfahren und die numerische Berechnung von ausgewählten Modellaufgaben geleitet. Mit den Hinweisen aus der Diagnose und der numerischen Berechnung wird eine mathematisch begründete Reduktion der Modellgleichungen durchgeführt. Die Lösungseigenschaften der reduzierten Gleichungen sind vollständig in den Lösungen der Ausgangsgleichungen enthalten und weisen keine unnötige Komplexität auf.

#### **Kontakt**

Prof. Wolfgang Schulz  
(Leiter des Lehr- und Forschungsgebiets)  
Telefon +49 241 8906-204  
wolfgang.schulz@nld.rwth-aachen.de



# LASERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN

## Lehr- und Forschungsgebiet Experimentalphysik Nano-Optik und Metamaterialien

Im Rahmen der Exzellenzinitiative wurde an der RWTH Aachen im Jahr 2008 die Juniorprofessur Nano-Optik und Metamaterialien geschaffen. Mit diesem Themengebiet erweitert Prof. Thomas Taubner die Forschungsaktivitäten im Fachbereich Physik um neue abbildende Verfahren mit nanometrischer Ortsauflösung.

Basis hierfür ist die sogenannte »Feldverstärkung« an metallischen oder dielektrischen Nanostrukturen: lokal überhöhte elektrische (Licht-)Felder ermöglichen neuartige Sensoren zur Detektion von organischen Substanzen, aber auch neuartige Abbildungsmethoden wie z. B. die optische Nahfeldmikroskopie oder Superlinsen, welche die beugungsbegrenzte Auflösung von konventionellen Mikroskopen weit übertreffen.

Der Schwerpunkt der Aktivitäten liegt im Spektralbereich des mittleren Infrarot. Hier kann die Infrarotspektroskopie chemische Information über molekulare Verbindungen, Kristallstruktur von polaren Festkörpern und Eigenschaften von Ladungsträgern liefern.

Diese Grundlagenforschung an der RWTH ergänzt die ebenfalls von Prof. Taubner geleitete ATTRACT-Nachwuchsgruppe am Fraunhofer ILT, in der mögliche Anwendungen von neuen nano-optischen Konzepten in der Lasertechnik evaluiert werden.

### Kontakt

Prof. Thomas Taubner  
Nano-Optik und Metamaterialien  
Telefon +49 241 80-20260  
taubner@physik.rwth-aachen.de

## Lehr- und Forschungsgebiet Experimentalphysik des Extrem-Ultraviolett EUV

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

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

Die Arbeiten erfolgen in Kooperation mit dem Peter Grünberg Institut PGI des Forschungszentrums Jülich, speziell dem PGI-9 Halbleiter-Nanoelektronik (Prof. Detlev Grützmacher), dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen und dem im Maschinenbau angesiedelten Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS der RWTH Aachen (Prof. Peter Loosen) und sind eingebettet in die Sektion JARA-FIT der Jülich-Aachen-Research Alliance.

### Kontakt

Prof. Larissa Juschkina  
Experimentalphysik des Extrem-Ultraviolett EUV  
Telefon +49 241 8906-313  
larissa.juschkina@rwth-aachen.de

# EXZELLENZCLUSTER

## Exzellenzcluster

### »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«

Im Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« entwickeln Aachener Produktions- und Materialwissenschaftler Konzepte und Technologien für eine nachhaltige wirtschaftliche Produktion.

Insgesamt sind 18 Lehrstühle bzw. Institute der RWTH Aachen sowie das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT an dem bis Ende 2017 angelegten Projekt beteiligt.

Der mit ca. 40 Mio € dotierte Exzellenzcluster ist somit die umfassendste Forschungsinitiative in Europa mit dem Ziel, die Produktion in Hochlohnländern zu halten.

### Produktion in Hochlohnländern

Der Wettbewerb zwischen Produzenten in Hochlohn- und Niedriglohnländern spielt sich typischerweise in zwei Dimensionen ab: in der Produktionswirtschaftlichkeit und in der Planungswirtschaftlichkeit.

Produktionswirtschaftlich fokussieren Niedriglohnländer rein auf die Erschließung von Volumeneffekten in der Produktion (Economies of Scale); in Hochlohnländern erfolgt notwendigerweise eine Positionierung zwischen Scale und Scope, also der Befriedigung kundenspezifischer Produkthanforderungen bei gleichzeitiger Sicherung von Mindeststückzahlen in der Produktion.

In der zweiten Dimension, der Planungswirtschaftlichkeit, bemühen sich die Hersteller in Hochlohnländern um eine immer weitergehende Optimierung der Prozesse mit entsprechend anspruchsvollen, kapitalintensiven Planungsmethoden und -instrumenten sowie technologisch überlegenen Produktionssystemen, während in Niedriglohnländern einfache, robuste wertstromorientierte Prozessketten die Lösung sind.

Um einen nachhaltigen Wettbewerbsvorteil für Produktionsstandorte in Hochlohnländern zu erzielen, reicht eine bessere Positionierung innerhalb der beiden gegensätzlichen Alternativen Scale-Scope sowie planungsorientiert-wertorientiert nicht mehr aus. Die Forschungsfragen müssen vielmehr auf eine weitgehende Auflösung dieser Gegensätze abzielen. Es müssen Wege gefunden werden, gleichzeitig die Variabilität in den Produkten zu steigern und trotzdem zu Kosten einer Massenproduktion produzieren zu können. Dies erfordert produktgerechte, wertoptimierte Prozessketten, deren Wirtschaftlichkeit nicht durch überhöhte planerische Aufwände gefährdet wird.

Die Produktionstechnik von morgen benötigt daher ein grundlegend neues Verständnis dieser elementaren Zusammenhänge, die im Rahmen des Exzellenzclusters in den vier Forschungsfeldern Individualisierte Produktion, Virtuelle Produktion, Hybride Produktion und Selbstoptimierende Produktion erarbeitet werden.

Im Bereich der Produktionswirtschaftlichkeit wurde am Fraunhofer ILT z. B. die Prozesseffizienz des Selective Laser Melting (SLM) um den Faktor 10 gesteigert und damit ein wesentlicher Beitrag zur Aufhebung des Scale-Scope Dilemmas geleistet. Mit der Erforschung von Methoden zur Selbstoptimierung beim Laserstrahlschneiden und in der automatisierten Montage von Festkörperlasern liefert das Fraunhofer ILT wesentliche Beiträge zur Überwindung des Gegensatzes zwischen planungsorientierten und wertorientierten Konzepten.

### Ansprechpartner

Fraunhofer ILT  
Dipl.-Phys. Christian Hinke  
Telefon +49 241 8906-352  
christian.hinke@ilt.fraunhofer.de

# RWTH AACHEN CAMPUS

## RWTH Aachen Campus

Nach dem Vorbild der Stanford University und des Silicon Valleys wird die RWTH Aachen auf einem Gesamtareal von ca. 2,5 km<sup>2</sup> einen der größten technologieorientierten Campusbereiche Europas und damit eines der national und international bedeutendsten Wissens- und Forschungszentren schaffen. Standort werden das ehemalige Hochschulerweiterungsgelände in Aachen Melaten sowie ein Teilareal des Aachener Westbahnhofs sein. Damit werden die Kernbereiche der RWTH Aachen in der Innenstadt, auf der Hörn und in Melaten erstmals zu einem zusammenhängenden Campus verbunden.

## Forschungskatalysator und Innovationsgenerator

Durch das in Deutschland einzigartige Angebot der »Immatrikulation« von Unternehmen bietet der RWTH Aachen Campus eine völlig neue Form des Austauschs zwischen Industrie und Hochschule. Sie ermöglicht den Unternehmen die aktive Beteiligung an Schwerpunktthemen der Kompetenz-Cluster sowie an Forschung, Entwicklung und Lehre – mit eigenen Fragestellungen und Ressourcen. Zugleich wird so der Zugang zu qualifiziertem Nachwuchs gesichert und schnelle praxisorientierte Promotionsverfahren werden ermöglicht.

Die Ansiedelung der interessierten Unternehmen auf dem RWTH Aachen Campus kann zur Miete oder mit einem eigenen Gebäude erfolgen. So wird eine einzigartige, intensive Form der Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Unternehmen entstehen.

Hinter allem steht das ganzheitliche Konzept: Forschen, Lernen, Entwickeln, Leben; denn der RWTH Aachen Campus schafft nicht nur die ideale Arbeitsumgebung für mehr als 10.000 Mitarbeiter mit Forschungseinrichtungen, Büros und Weiterbildungszentrum sondern wird zudem durch Hotel, Gastronomie, Wohnen, Einkaufsmöglichkeiten, Kinderbetreuung und vielfältige Service- und Transfereinrichtungen ein hohes Maß an Lebensqualität bieten.

## Entwicklung und Zeitplan

Der RWTH Aachen Campus entsteht in drei Etappen. Die erste Etappe wurde 2010 mit der Erschließung und Bebauung von Campus Melaten mit 6 Clustern gestartet. Es folgt der Bebauungsplan und die Erschließung von Campus Westbahnhof für weitere 9 Cluster. In der zweiten Etappe findet die Erschließung und Bebauung von Campus Westbahnhof mit 4 Clustern statt. Die dritte Etappe konzentriert sich auf das Wachsen und Verdichten auf 19 Cluster in Melaten und Westbahnhof sowie die Erweiterung der Infrastruktur beispielsweise durch den Bau von Kongresshalle, Bibliothek und Hotels.



## Cluster

In bis zu 19 Clustern werden die relevanten Zukunftsthemen der Industrie gemeinsam bearbeitet - in der Produktionstechnik, Energietechnik, Automobiltechnik, Informations- und Kommunikationstechnologie sowie Werkstofftechnik.

Mehr als 100 Unternehmen, davon 18 internationale Key-Player, haben sich zusammen mit 30 Lehrstühlen der RWTH Aachen University zu einer langfristigen Kooperation auf dem RWTH-Campus in Melaten verpflichtet. In der ersten Phase sollen acht bis zehn Gebäudekomplexe mit insgesamt 60.000 m<sup>2</sup> Bruttogrundfläche in den folgenden sechs Clustern entstehen:

- Cluster Integrative Produktionstechnik
- Cluster Logistik
- Cluster Schwerlastantriebstechnik
- Cluster Photonics
- Cluster Bio-Medizintechnik
- Cluster Nachhaltige, umweltfreundliche Energietechnik

Leiter des Clusters Photonics ist Prof. Reinhart Poprawe M.A. vom Fraunhofer ILT bzw. vom Lehrstuhl für Lasertechnik LLT.

*Quelle: Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen, Projektplanung RWTH Aachen Campus.*

## Ansprechpartner

Cluster Photonics  
 Dipl.-Phys. Christian Hinke  
 Telefon +49 241 8906-352  
 christian.hinke@ilt.fraunhofer.de



1 3D-Skizze des »Campus-Boulevard«,  
 Quelle: KPF, New York.

2 RWTH Aachen Campus II - Melaten,  
 Skizze: rha reicher haase + assoziierte, Aachen.

# DIGITAL PHOTONIC PRODUCTION



## Digital Photonic Production – die Zukunft der Produktion

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

## Mass-Customization

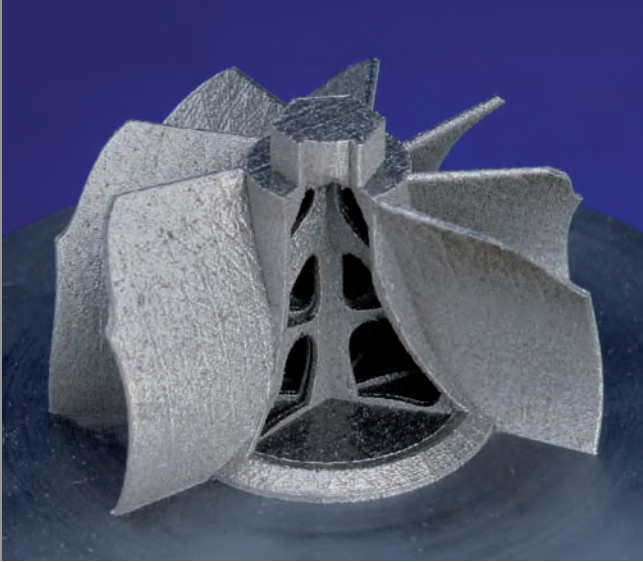
Digital Photonic Production geht dabei weit über laserbasierte generative Fertigungsverfahren hinaus. Neue Hochleistungs-Ultrakurzpuls-Laser ermöglichen zum Beispiel einen sehr schnellen und nahezu materialunabhängigen Abtrag. Bis hinein in den Nanometerbereich können so feinste funktionale 3D-Strukturen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

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

## Forschungscampus »Digital Photonic Production«

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

Der Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University ging als Koordinator eines Antragskonsortiums als einer von 10 Gewinnern aus dem nationalen Wettbewerb hervor. Mehr als 30 Unternehmen und wissenschaftliche Institute werden im Rahmen dieser neuen Initiative gemeinsam unter kontinuierlicher Einbindung neuer Partner unter einem Dach an grundlegenden Forschungsfragen arbeiten. Mit dem Forschungscampus »Digital Photonic Production« steht der Industrie und Wissenschaft in Aachen ein schlagfertiges Instrument zur Gestaltung der Zukunft der Produktionstechnik zur Verfügung.



### Maßgeschneiderte Produkte in Serie

Die Produktionsbedingungen für Wirtschaftsunternehmen unterliegen wie die Produkte selbst einem ständigen Wandel. Kunden fordern immer komplexere und oft sogar maßgeschneiderte Produkte. Die bestellten Stückzahlen schwanken in einigen Branchen zwischen mehreren Tausend und der Losgröße Eins. Unter dem Druck wirtschaftlicher Optimierung von Geschäftsprozessen sind Konstrukteure und Produktionsverantwortliche heute angehalten, Bauteile so individuell und gleichzeitig so kostengünstig wie möglich auszulegen und zu fertigen. Dies gilt etwa in der Luftfahrt- oder der Automobilindustrie, wo Gewichtsersparnisse zur Reduzierung des Treibstoffverbrauchs sowie eine Variantenvielfalt zur Erfüllung der Kundenwünsche immer wichtiger werden. Um Skaleneffekte zu realisieren, werden heute viele Bauteile überdimensioniert. Die Herausforderung besteht in der Auslegung dieser Bauteile auf die tatsächlichen Beanspruchungen, was klassischerweise meist mit einer Erhöhung der Komplexität einhergeht. Digital Photonic Production bietet die Möglichkeit, Bauteile funktionsgerecht zu gestalten, ohne dabei die Produktionskosten zu erhöhen.

So werden beispielsweise in der Medizintechnik auf den jeweiligen Patienten angepasste Implantate benötigt. Dies erfordert komplexere Teile, die darüber hinaus zu vertretbaren Kosten individuell gefertigt werden müssen. Neue Materialien, wie im Körper resorbierbare Werkstoffe, erfordern darüber hinaus eine erhöhte Flexibilität in den Fertigungsverfahren. Ob in der Medizintechnik oder im Flugzeugbau: Teure Bauteile werden überwiegend noch durch konventionelle Verfahren hergestellt. Teilweise erzeugt dies bis zu 90 Prozent Abfall. Neben den vermeidbaren Kosten führt auch der Ruf nach einem nachhaltigen Umgang mit den verfügbaren Ressourcen zu einem Umdenken in der produzierenden Industrie.

### Individualität und Co-Creation

Auch der Endkunde ist heute anspruchsvoller und fordert individuelle Produkte, mit denen er sich von der breiten Masse abhebt. Im Idealfall würde er gerne vor der Bestellung sein Bauteil selbst entwerfen. Auf Herstellerseite führt dies zwangsläufig zu einer Steigerung der Komplexität der Produkte und zu einer höheren Flexibilität in der Fertigung. Die herkömmlichen, meist mechanischen Bearbeitungsverfahren und die standardisierten Produktionsabläufe stoßen hier an ihre Grenzen – sowohl technologisch als auch wirtschaftlich. Auf dem Weg zur vierten industriellen Revolution wachsen Individualisierung und Serienproduktion sowie die gestaltungs-offene virtuelle und die produzierende reale Welt zunehmend zusammen. Das Werkzeug Licht stellt dabei das Bindeglied zwischen diesen beiden Welten dar. Digital Photonic Production bietet dem Kunden die Möglichkeit, aktiv am Gestaltungs- und Produktionsprozess teilzunehmen. Mit Hilfe des Lasers werden am Computer entworfene und optimierte Produkte zu vertretbaren Kosten in Serie produziert.

### From bits to photons to atoms

In der industriellen Praxis steigen die Produktionskosten eines Werkstücks mit seiner Komplexität und seiner Einzigartigkeit. Dieser Scale-Scope-Problematik begegnen die verschiedenen Prozesse der Digital Photonic Production, indem sie zu konstanten Kosten jedes Bauteil als Unikat erstellen – unabhängig von Komplexität und Losgröße. Nur noch das Gewicht des Bauteils und damit der Materialverbrauch bestimmen die Kosten. So werden bei den generativen lasergestützten Fertigungsverfahren Werkstücke unmittelbar aus den vorhandenen CAD-Daten produziert. Das Werkzeug Licht wird flexibel, berührungslos und bauteilspezifisch durch den Computer gesteuert. Die CAD-Information wird mittels Licht auf die Materie übertragen: From bits to photons to atoms.

# FORSCHUNGSERGEBNISSE 2013

## **Ausgewählte Forschungsergebnisse aus den Technologiefeldern des Fraunhofer ILT**

- Laser und Optik 39 - 58
- Lasermaterialbearbeitung 59 - 118
- Lasermesstechnik und EUV-Technologie 119 - 130
- Medizintechnik und Biophotonik 131 - 139

### ***Anmerkung der Institutsleitung***

*Wir weisen explizit darauf hin, dass die Offenlegung der nachfolgenden Industrieprojekte mit unseren Auftraggebern abgestimmt ist. Grundsätzlich unterliegen unsere Industrieprojekte der strengsten Geheimhaltungspflicht. Für die Bereitschaft unserer Industriepartner, die aufgeführten Berichte zu veröffentlichen, möchten wir an dieser Stelle herzlich danken.*

---

## TECHNOLOGIEFELD LASER UND OPTIK

---

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

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

Darüber hinaus bietet das Technologiefeld hohe Kompetenz bei Strahlformung und Strahlführung, dem Packaging optischer Hochleistungskomponenten und dem Design optischer Komponenten. Auch die Auslegung hocheffizienter Freiformoptiken zählt zu den Spezialitäten der Experten. Die Anwendungsgebiete der entwickelten Laser und Optiken reichen von der Lasermaterialbearbeitung und der Messtechnik über Beleuchtungsapplikationen und Medizintechnik bis hin zum Einsatz in der Grundlagenforschung.



FORSCHUNGSERGEBNISSE 2013

# LASER UND OPTIK

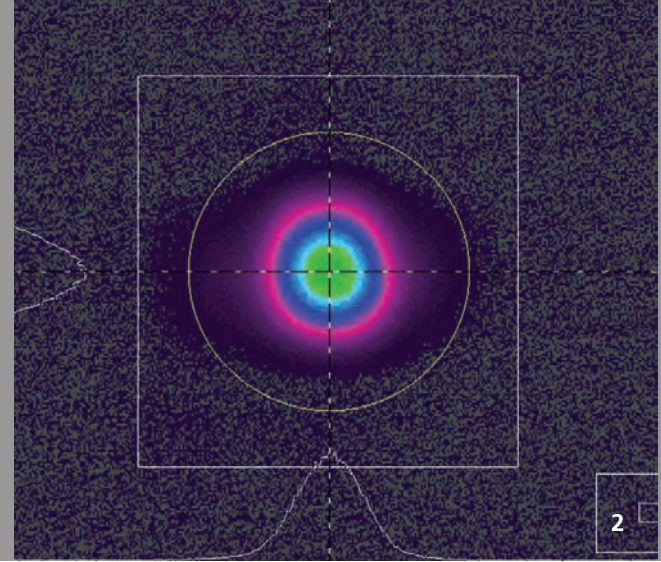
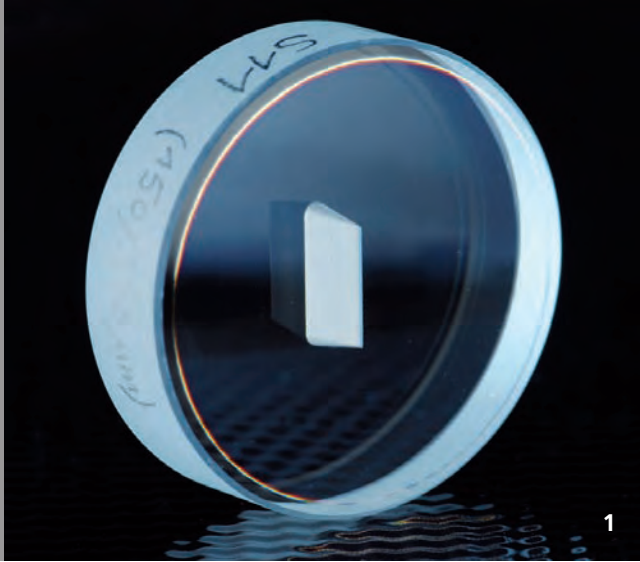


---

## INHALT

---

Hochleistungs-YB:INNOSLAB-Verstärker mit Raumfilter	42
Modellierung von Quasi-Drei-Niveau Laserkristallen	43
Kompakte Laser für Flugzeuggestützte LIDAR-Systeme	44
OPO für ein satellitengestütztes Methan Lidar	45
Halbleiter-Scheibenlaser gepumpter CW-OPO im mittleren Infrarot	46
Diodengepumpte Grundmodige cw-Faserlaser bei 1532 nm	47
Langwellig gepumpter Faserverstärker	48
Fasergekoppelter Faraday-Isolator für Faserlaser hoher Leistung	49
Simulation von Hochleistungsdiodenlasern	50
Dichtes Hochleistungs-Multiplexing mit Volumenbeugungsgittern	51
Modellierung und Simulation vertikal emittierender Diodenlaser	52
Hochbelastbare Reflow-Lötung für kompakte Optikmodule	53
Automatisierte Umwelttests an Laserkomponenten	54
Ortsaufgelöste Absorptionsmessungen im ppm-Bereich	55
Deformation ultrakurzer Laserpulse durch optische Systeme	56
Prozessangepasste Laserstrahlformung mit Membranspiegeln	57
Simulation: Lösung einer inversen Aufgabe zur Strahlungspropagation	58



## HOCHLEISTUNGS- YB:INNOSLAB-VERSTÄRKER MIT RAUMFILTER

### Aufgabenstellung

Ultrakurzpuls laser finden mittlerweile eine breite Anwendung in Wissenschaft und Industrie. Von einer Strahlquelle für besonders präzise Anwendungen, beispielsweise der Mikrostrukturierung, wird eine sehr gute, im Idealfall beugungsbegrenzte Strahlqualität erwartet. Gleichzeitig ist für einen rationellen Einsatz der teuren Strahlquellen auch ein großer Durchsatz und damit eine hohe mittlere Leistung erwünscht.

Mit einer Kombination von fs-Oszillatoren und Yb:INNOSLAB Verstärkern werden Ausgangsleistungen bis in den kW-Bereich bei einer Strahlqualität von minimal  $M^2 = 1,05 \times 1,40$  erreicht. Allerdings ist diese für manche Anwendungen noch nicht ausreichend. Dabei kann auch die in den transversalen Richtungen unterschiedliche Strahlqualität eine Einschränkung darstellen.

### Vorgehensweise

Um die Strahlqualität von Yb:INNOSLAB-Verstärkern mit sub-Pikosekunden Pulsdauer bei multi-100 W mittlerer Leistung zu verbessern, wurde ein kompakter Hochleistungs-Raumfilter realisiert.

Zentrales Bauteil ist ein dielektrischer Spiegel, in den durch inverses Laserbohren ein 300  $\mu\text{m}$  breiter Schlitz eingebracht wurde. Dieser wird im ohnehin zur Strahlformung notwendigen Zylinderteleskop an einer Zwischenfokus-Position eingesetzt. Die typischen Beugungsstrukturen eines INNOSLAB-Lasers werden so im Fernfeld abgeschnitten. Die herausgefilterte Laserstrahlung wird definiert in eine Strahlfalle gelenkt.

### Ergebnis

Bei 600 W mittlerer Ausgangsleistung konnte durch Abschneiden von weniger als 10 Prozent der Leistung die Strahlqualität auf  $M^2 = 1,05 \times 1,15$  verbessert werden. Durch die Kombination des Schlitzspiegels und eines linienförmigen Zwischenfokus wird ein stabiler Betrieb bei hoher mittlerer Leistung und einfacher Justage der Blende sichergestellt.

### Anwendungsfelder

Mittels inversem Laserbohren können beliebig komplexe Geometrien hoher Aspektverhältnisse in 2,5 D in Spiegelsubstrate oder andere Glaskörper gebohrt werden. Dadurch können kompakte Raumfilter für Laser mit großer mittlerer Leistung erzeugt werden. Der beugungsbegrenzte Hochleistungs-Ultrakurzpuls laser ist damit nur eines von vielen möglichen Anwendungsfeldern.

### Ansprechpartner

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

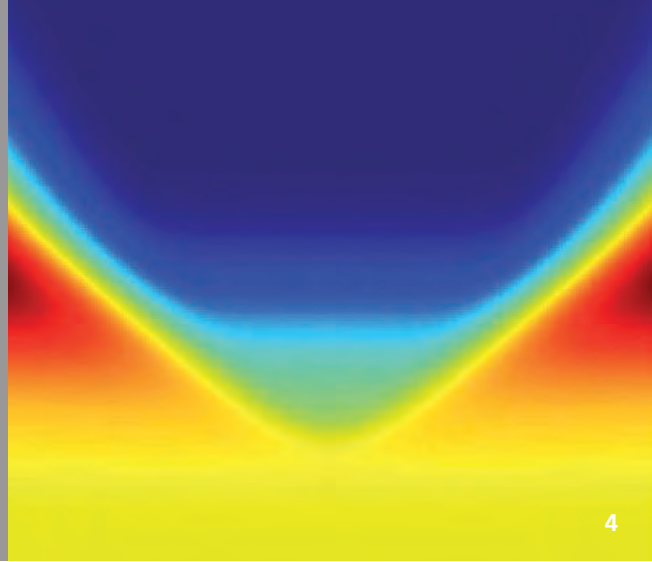
Dr. Peter Rußbüldt  
Telefon +49 241 8906-303  
peter.russbuedt@ilt.fraunhofer.de

1 Lasergebohrter Schlitzspiegel.

2 Strahlprofil des gefilterten Strahls.



3



4

## MODELLIERUNG VON QUASI-DREI-NIVEAU-LASERKRISTALLEN

### Aufgabenstellung

Gepulste, resonant gepumpte Quasi-Drei-Niveau-Laser im Nanosekundenbereich haben viele Anwendungsfelder: Materialbearbeitung, Fernerkundung, Wissenschaft und Militär. Bei solchen Lasermedien ist die Pumplichtabsorption intensitätsabhängig und es findet durch Laseremission eine räumliche Umverteilung der Anregung statt. Durch diese erhöhten Abhängigkeiten ist eine Optimierung mit analytischen oder eindimensionalen numerischen Modellen kaum möglich.

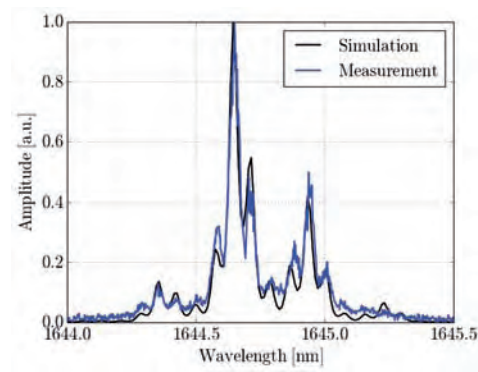
### Vorgehensweise

Die Eigenschaften relevanter Quasi-Drei-Niveau Lasermedien werden in eine Simulation abgebildet. Hierbei werden numerisch die Rategleichungen im Lasermedium für den gepulsten Betrieb in drei räumlichen, einer zeitlichen und optional auch in einer spektralen Dimension gelöst. Neben Materialparametern der Kristalle können auch deren Temperatur sowie Resonatorparameter vorgegeben werden. Unter Berücksichtigung der räumlichen Verteilung von Pump- und Laserstrahlung ist dann eine Optimierung der Parameter wie Dotierung, Kristalldimensionen, Wirtskristall und Resonatordesign möglich.

### Ergebnis

Das implementierte Modell wurde genutzt, um im Rahmen eines Projekts mit dem DLR spektrale Eigenschaften eines Er:YAG-Lasers zu erklären (siehe Grafik) und dessen Auslegung zu optimieren. Für ein MOPA-System zur Kohlenstoffdioxid-Detektion wurden in Projekten mit dem DLR und der ESA

verschiedene Holmium bzw. Erbium dotierte Kristallsysteme nachgebildet, um das optimale Verstärkungsmedium für den Anwendungsfall zu finden. Literaturdaten konnten reproduziert werden und das genannte System befindet sich nun im experimentellen Aufbau. Zudem konnten verschiedene Methoden zur Erzeugung von Pulsfolgen verglichen und verbessert werden.



Vergleich eines gemessenen Laserspektrums mit der Simulation.

### Anwendungsfelder

Neben Auslegung neuer Strahlquellen können auch über den Vergleich experimenteller Messwerte mit dem Modell bestehende Systeme analysiert, besser verstanden und optimiert werden.

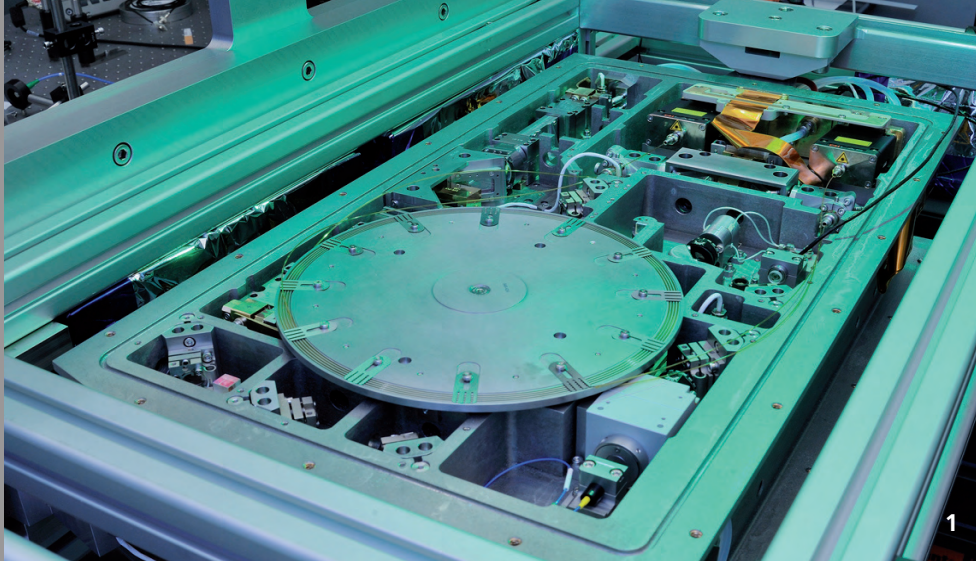
### Ansprechpartner

M.Sc. Philipp Kucirek  
 Telefon +49 241 8906-8108  
 philipp.kucirek@ilt.fraunhofer.de

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

3 *Gepumpter Er:YAG-Kristall in einer Wärmesenke.*

4 *Falschfarbenbild der Anregung in einem Ho:YLF-Kristall nach einem Laserpuls.*



## KOMPAKTE LASER FÜR FLUGZEUGGESTÜTZTE LIDAR-SYSTEME

### Aufgabenstellung

In der Klimaforschung ist es ein langfristiges Ziel, alle klimarelevanten Größen durchgehend und global mit hoher räumlicher Auflösung als Grundlage für verbesserte Klimamodelle zu bestimmen. Diese Daten sollen in Zukunft durch satellitenbasierte LIDAR-Systeme generiert werden. Flugzeuggestützte Systeme sind als Technologiedemonstratoren ein wichtiger Schritt dahin.

Eine Strahlquelle zur Messung von Windgeschwindigkeitsprofilen sowie jeweils eine OPO-Pumpquelle für CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-Dichtemessungen werden für Forschungsprojekte des DLR entwickelt. Sie erfüllen die besonderen Anforderungen an Effizienz, Kompaktheit, Robustheit und Sicherheit, die sich aus dem Einsatz in der Luftfahrt ergeben.

### Vorgehensweise

Die drei Laser wurden als mehrstufige MOPA-Systeme mit Nd:YAG-Kristallen konzipiert. Die spektralen Strahleigenschaften werden in einem Oszillator im longitudinalen Einmodenbetrieb bei geringer Pulsenergie (~ 10 mJ) erzeugt und dann in INNOSLAB-Verstärkerstufen auf 100 - 200 mJ verstärkt. Die für die jeweilige Anwendung benötigte Zielwellenlänge wird

in einer nachgeschalteten Frequenzkonverterstufe erzeugt. Die optischen Bauteile sind auf beiden Seiten einer monolithischen, mittels FE-Simulationen optimierten Trägerstruktur kompakt angeordnet.

### Ergebnis

Der stabile longitudinal einmodige Betrieb der Oszillatoren bei Pulsenergien von 8 bis 10 mJ, einer Wiederholrate von 100 Hz und einer Pulsdauer von 35 ns wurde demonstriert und auf die speziellen Anforderungen der jeweiligen Messmethode optimiert. Die Pulsenergie wurde in einer ersten Verstärkerstufe auf 80 mJ und in einer zweiten Stufe auf 150 mJ skaliert. Das CH<sub>4</sub>-System wurde erfolgreich zum Pumpen eines OPO bei dem Kunden eingesetzt.

### Anwendungsfelder

Im Bereich der Klimaforschung lassen sich neben den genannten Messaufgaben durch Anpassung von Strahlparametern wie z. B. der Wellenlänge auch weitere klimatische Größen erfassen. Weitere Anwendungen ergeben sich im industriellen Bereich bei der Überwachung von Industrieanlagen, Leckageprüfung von Gasleitungen oder Vermessung von Windfeldern. Die kompakte und robuste Aufbautechnik kann systemübergreifend bei der Strahlquellenentwicklung eingesetzt werden.

### Ansprechpartner

Dr. Jens Löhning  
Telefon +49 241 8906-673  
jens.loehring@ilt.fraunhofer.de

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

1 Oszillator und INNOSLAB-Verstärker der Pumpstrahlquelle für das CH<sub>4</sub>-Messsystem.



## OPO FÜR EIN SATELLITEN- GESTÜTZTES METHAN LIDAR

### Aufgabenstellung

Als Treibhausgas hat Methan einen wesentlichen Anteil an klimatischen Veränderungen. Allerdings sind die globale Verteilung, die Entstehung und der Abbau des Gases vergleichsweise wenig erforscht. Im Rahmen der deutsch-französischen Klimamission MERLIN soll ein satellitengestütztes LIDAR-System eingesetzt werden, um künftig detaillierte Daten mit globaler Abdeckung zu sammeln. Als Transmitter wird ein gütegeschalteter Nd:YAG-Laser als Treiberlaser mit einem optisch parametrischen Oszillator (OPO) als Frequenzkonverter kombiniert. Der OPO schiebt die Laserausgangswellenlänge von 1064 nm auf die Methanabsorption bei 1645 nm. Parallel zum Treiberlaser wird am Fraunhofer ILT auch ein OPO entwickelt, der die Anforderungen der Satellitenmission an Effizienz und Frequenzstabilität sowie mechanische Stabilität und Lebensdauer erfüllt.

### Vorgehensweise

Das optische Design des OPO basiert auf einem Konzept des DLR-IPA in Oberpfaffenhofen und wurde am Fraunhofer ILT mittels numerischer Simulationen optimiert, um die benötigten Ausgangsparameter bei geringer Belastung der Optikkomponenten und hoher Justagestabilität zu ermöglichen. Für die Erprobung im Labor steht ein Nd:YAG-basiertes MOPA-System als Treiberlaser zur Verfügung, das bei Pulsdauern um 20 ns und einer Repetitionsrate von 25 Hz Pulsenergien von mehr

als 30 mJ erzeugt. Durch eine aktive Regelung läuft der Laser im longitudinal einmodigen Betrieb. Diese Pulse durchlaufen einen geseedeten, einfach resonanten OPO, der aus vier Spiegeln und zwei KTP-Kristallen besteht. Die Position eines Spiegels wird mit einem Piezoelement verfahren, um die Resonatorlänge des OPO auf die Signalwellenlänge einzustellen. Dadurch ist auch das OPO-Signal longitudinal einmodig.

### Ergebnis

Das Verhalten des OPO stimmt sehr gut mit den Berechnungen überein. Aus einer Pumpenergie von 30 mJ wird eine Signalenergie von 9 mJ frequenzstabil erzeugt. Nach der Demonstration der benötigten Laserparameter im Labor erfolgt nun die Entwicklung eines hoch stabilen Aufbaus, der auf monolithischen Trägern und gelöteten Optiken basiert.

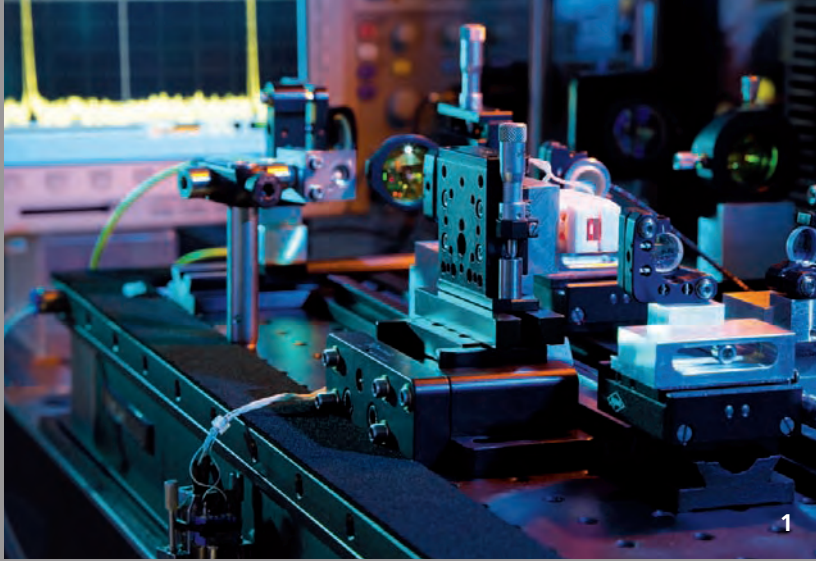
### Anwendungsfelder

Das optische Konzept sowie die erarbeiteten Simulationstools und entwickelten Mechanikkomponenten lassen sich für OPOs in anderen Wellenlängenbereichen einsetzen. Dadurch kann eine Vielzahl von relevanten Gasen detektiert werden.

### Ansprechpartner

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

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



## HALBLEITER-SCHEIBENLASER GEPUMPTER CW-OPO IM MITTLEREN INFRAROT

### Aufgabenstellung

Der von neuartigen optisch gepumpten GaSb-Halbleiter-Scheibenlasern (OPSL) adressierbare Spektralbereich um  $2\ \mu\text{m}$  kann durch Frequenzkonversion mittels optisch parametrischer Oszillatoren (OPO) deutlich erweitert werden. Als Konzept für eine kompakte und kosteneffiziente abstimmbare Laserstrahlquelle im mittleren Infrarot soll ein OPSL gepumpter OPO mit einer Ausgangswellenlänge  $> 4\ \mu\text{m}$  im Dauerstrichbetrieb demonstriert werden.

### Vorgehensweise

Ein geeigneter OPSL bei  $1,9\ \mu\text{m}$  wird im Rahmen eines gemeinsamen Projekts vom Fraunhofer IAF bereitgestellt. Da die Leistung heutiger OPSL nicht ausreicht, um den OPO in einem einfachresonanten (SRO) Aufbau zu betreiben, wird die spektrale Einmodigkeit des OPSL genutzt, um die Leistung in einer externen Kavität zu überhöhen. Die Einkopplung der OPSL-Strahlung in die Überhöhungskavität wird durch eine Pound-Drever-Hall-Regelung stabilisiert. Die Überhöhungskavität dient nun gleichzeitig als Resonator für eine der parametrischen Wellen. Eine solche Konfiguration wird in der Literatur als pumpüberhöhter einfachresonanter Oszillator (PESRO) bezeichnet.

### Ergebnis

Mit dem kommerziell etablierten Kristallmaterial ppLN als nichtlineares Medium konnte ein OPSL gepumpter cw-PESRO mit 20 mW MIR-Leistung bei  $3,3\ \mu\text{m}$  (signal) und  $4,5\ \mu\text{m}$  (idler) demonstriert werden. Mit einem Labormuster wurde ein modensprungfreier Betrieb über mehrere Minuten gezeigt. Auf Basis anderer Kristallmaterialien kann der Wellenlängenbereich bis  $15\ \mu\text{m}$  erweitert werden.

### Anwendungsfelder

Zu den potentiellen Anwendungsfeldern gehören die optische Nahfeldmikroskopie, Spektroskopie mit Absorptionsbanden im MIR und die Common-Path-Interferometrie (PCI) zur Charakterisierung von optischen Komponenten bei MIR-Wellenlängen.

Zusätzliches Anwendungspotenzial bietet der Einsatz als spektral schmalbandiger Seed-Laser für Hochleistungslaser im Spektralbereich bis  $15\ \mu\text{m}$ .

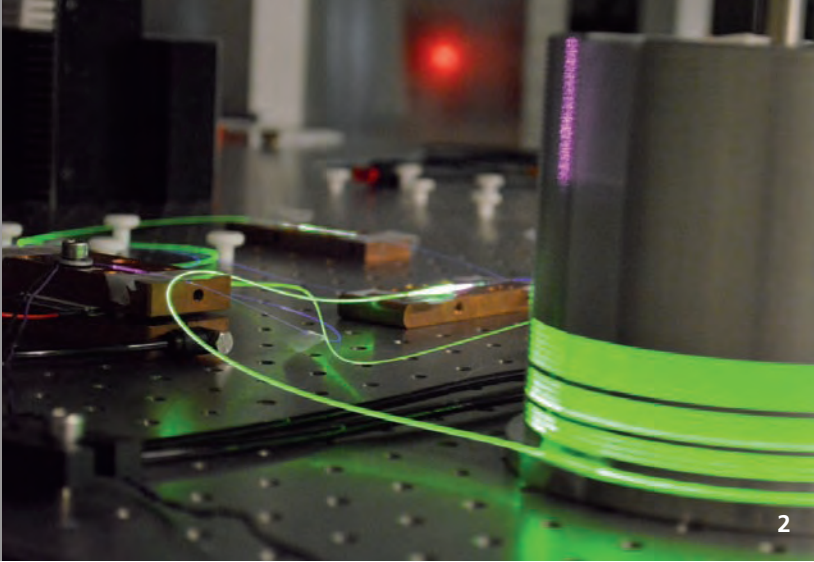
Die Arbeiten wurden unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die vom Land NRW und der Europäischen Union EFRE (»Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007-2013«) unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Sebastian Nyga  
Telefon +49 241 8906-123  
sebastian.nyga@ilt.fraunhofer.de

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

1 PESRO cw-OPO mit ppLN-Kristall.



## DIODENGEPUMPTE GRUND- MODIGE CW-FASERLASER BEI 1532 NM

### Aufgabenstellung

In einem LIDAR-System kommt ein grundmodiger Er:YAG-Laser zum Einsatz, der bei der 1645,2 nm Absorptionswellenlänge von Methan emittiert. Als Pumpquelle wird ein grundmodiger cw-Laser benötigt, der eine Wellenlänge von 1532,4 nm und eine Bandbreite von unter 1 nm erreichen soll. Weiterhin soll bei dieser satellitenbasierten Anwendung ein besonderes Augenmerk auf die Effizienz dieses Lasers gelegt werden.

### Vorgehensweise

Der Laser soll zunächst mithilfe einer am Fraunhofer ILT entwickelten und für diese Zwecke erweiterten, zeitlich und spektral aufgelösten numerischen Simulation für Er/Yb-kodotierte Fasern bzgl. Pumpwellenlänge, Faserlänge und Laserkonzepte (Resonator oder Verstärker) ausgelegt und anschließend auf Basis der Ergebnisse aufgebaut werden. Hierzu soll mit einer kommerziellen Er/Yb-kodotierten Glasfaser als aktives Medium ein vollständig faserintegrierter Laser realisiert werden, der bei 1532,4 nm emittiert.

### Ergebnis

Der experimentelle Aufbau besteht aus einem Faserresonator, der mithilfe einer fasergekoppelten mehrmodigen Pumpdiode als Pumpquelle eine Signalwellenlänge von 1532,4 nm und eine spektrale Halbwertsbreite von  $\Delta\lambda = 0,32$  nm erreicht und über 3 W grundmodiges Signallicht mit einem  $M^2 \sim 1,05$  emittiert. Dabei erreichte der Faserlaser eine elektrooptische Effizienz von  $\sim 10$  Prozent. Hiermit konnte fast eine Verdopplung der Effizienz gegenüber einem am Fraunhofer ILT vorhandenen kommerziellen System gezeigt werden. Weiterhin weist der Faserlaser erhebliches Skalierungspotenzial bzgl. Ausgangsleistung und der elektrooptischen Effizienz auf.

### Anwendungsfelder

Durch die schmale Halbwertsbreite, die leicht einstellbare Zentralwellenlänge und die hohe Effizienz gegenüber kommerziellen Systemen eignet sich dieser Laser hervorragend als Pumpquelle für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, z. B. für Er:YAG-Kristalllaser für die Methandetektion. Zusätzlich kann der Laser ebenso als Signalquelle für weitere Anwendungen, wie z. B. die Satellitenkommunikation, verwendet werden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Markus Herper  
Telefon +49 241 8906-623  
markus.herper@ilt.fraunhofer.de

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





# LANGWELLIG GEPUMPTER FASERVERSTÄRKER

## Aufgabenstellung

Die verstärkte Spontanemission führt insbesondere in gepulsten Ytterbium-dotierten Faserlasern aufgrund der hohen Verstärkung pro Durchlauf zu Einbußen bei der zeitlichen und spektralen Qualität des Laserlichts und stellt so eine Limitierung der zeitlichen Parameter Pulsdauer und Repetitionsrate dar. Um den möglichen Parameterbereich des Faserlasers zu geringen Repetitionsraten zu erweitern, soll durch das Konzept des langwelligen Pumpens bei Wellenlängen im Bereich oberhalb von 1000 nm die Reduktion der verstärkten Spontanemission in gepulsten Faserlasern untersucht werden.

## Vorgehensweise

Durch das langwellige Pumpen von Ytterbium-dotierten Faserlasern im Wellenlängenbereich von 1010 - 1030 nm wird im Gegensatz zum Pumpen bei Wellenlängen von 915 nm oder 976 nm die Inversion auf ca. 15 Prozent beschränkt. Diese Grenzinversion kann nicht überschritten werden, so dass eine homogenere Verteilung der Inversion in der Faser und somit der Verstärkung erreicht wird, wodurch das Auftreten von verstärkter Spontanemission deutlich verringert werden kann. Zusätzlich wird durch die niedrigere und kontrollierte Inversion das Trüben der Faser durch induzierte Farbzentren, das sogenannte Photodarkening, verringert.

## Ergebnis

Zur Untersuchung des Konzepts wurde ein faserintegrierter, gepulster Verstärker bei 1064 nm mit Pulsdauern im Bereich von 10 - 100 ns und Repetitionsraten von < 20 kHz experimentell realisiert, der bei einer Wellenlänge von 1030 nm mit einem Faserlaser kerngepumpt wird.

Der grundmodige und polarisierte Faserverstärker erreicht pumpleistungsbegrenzt eine Signalspitzenleistung von 1 kW bei einem Signal-zu-Rausch-Verhältnis von über 50 dB. Gegenüber herkömmlich bei 915 nm gepumpten Faserverstärkern kann bei gleicher Spitzenleistung und einer ähnlichen Effizienz somit das Signal-zu-Rausch-Verhältnis insbesondere bei kleinen Repetitionsraten um mehrere Größenordnungen verbessert werden.

## Anwendungsfelder

Mit seiner sehr guten Strahlqualität und einstellbaren Pulsdauer und Repetitionsrate kann der Faserlaser mit anschließender Nachverstärkung bei Anwendungen eingesetzt werden, in denen ein geringer thermischer Eintrag notwendig ist, wie z. B. in Bereichen der Materialbearbeitung, der Medizin- und Messtechnik und speziellen kommunikationstechnischen Anwendungen.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Martin Giesberts  
Telefon +49 241 8906-341  
martin.giesberts@ilt.fraunhofer.de

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



## FASERGEKOPPELTER FARADAY-ISOLATOR FÜR FASERLASER HOHER LEISTUNG

### Aufgabenstellung

Faserlaser sind ein Standardwerkzeug für die industrielle Bearbeitung von Metallen, sowohl in Form von Blechen als auch Pulvern. Bei der Bearbeitung kann es durch die Dynamik im Schmelzbad oder durch eine ungünstige Positionierung des Strahlengangs zu Rückreflexen des Laserstrahls in die Strahlquelle kommen. Da der Faserlaser prinzipbedingt empfindlich gegen solche Rückreflexe ist, sollen Isolatoren das Wiedereinkoppeln der reflektierten Strahlung in die Quelle verhindern und einen stabilen und störungsfreien Betrieb des Lasers ermöglichen.

### Vorgehensweise

Der Isolator ist für unpolarisierte Faserlaserstrahlung mit einem Strahlparameterprodukt von  $3 \text{ mm} \times \text{mrad}$  ausgelegt. Hierzu wird die einfallende Strahlung in zwei senkrecht zueinander polarisierten Komponenten zerlegt und anschließend durch jeweils einen Faraday-Rotator geführt. Vor der Einkopplung in die Ausgangsfaser werden die beiden Komponenten wieder miteinander kombiniert. Der Isolator verfügt eingangs- sowie ausgangsseitig über Kupplungen für Standard-100  $\mu\text{m}$ - Fasern mit einer Kern-NA von 0,2.

### Ergebnis

Die Isolation beträgt bei kleiner Leistung über 24 dB, bei 1 kW eingekoppelter Leistung ist sie größer als 20 dB, wobei die Abnahme der Isolation auf Depolarisation des Lichts durch thermisch induzierte Spannungsdoppelbrechung in den TGG-Kristallen zurückzuführen ist. Die Transmission von Faser zu Faser liegt bei 1 kW eingekoppelter Leistung bei etwa 80 Prozent.

### Anwendungsfelder

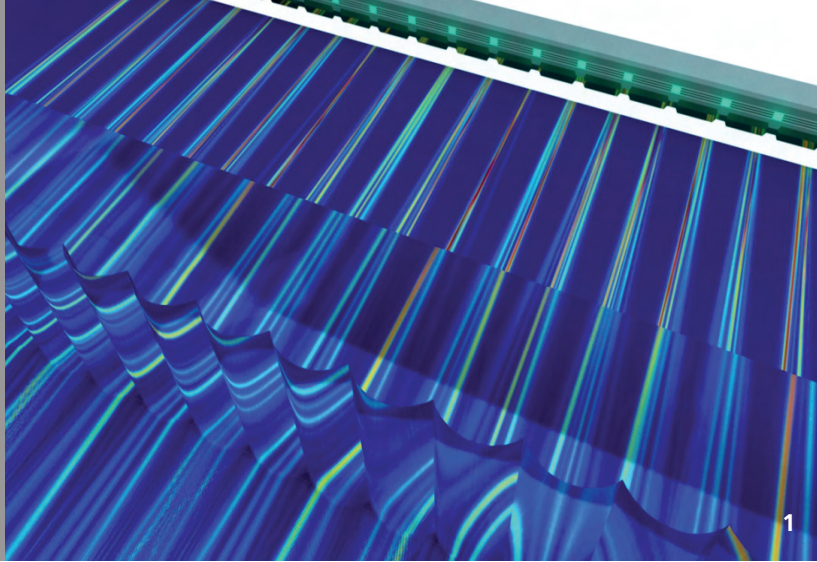
Überall dort, wo mit Faserlasern Material bearbeitet wird, insbesondere für Anwendungen im Hochleistungsbereich, wie z. B. dem Schneiden, Schweißen oder dem Selektiven Laserschmelzen, kann ein Isolator eingesetzt werden, um den Prozess zu stabilisieren und gleichzeitig die Strahlquelle vor Beschädigung zu schützen. Die beidseitige Faserkopplung ermöglicht eine bessere Integration des Isolators in das Lasersystem durch die faserbasierte Strahlführung bis zur Bearbeitungsoptik.

Diese Arbeiten wurden durch das BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N9890 gefördert.

### Ansprechpartner

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

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann  
Telefon +49 241 8906-216  
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



## SIMULATION VON HOCHLEISTUNGSDIODENLASERN

### Aufgabenstellung

Die Anforderungen an Hochleistungsdiodenlaser zur kohärenten oder inkohärenten Strahlüberlagerung und zum Pumpen von Festkörperlasern sind spektrale Stabilität bei Linienbreiten von  $< 1$  nm und große Leistungen. Nicht-lineare Effekte, wie die thermisch und ladungsträgerinduzierte Brechungsindexvariationen, führen zur Filamentierung des Lichtfelds. Durch frequenzselektive externe optische Rückkopplung wird die spektrale Breite der emittierten Strahlung reduziert und die betriebspunktabhängige Verschiebung der Schwerpunktswellenlänge verkleinert. Die Kennwerte der spektralen Stabilisierung werden nach derzeitigem Stand der Technik im Experiment bestimmt.

### Vorgehensweise

Ziel ist die Entwicklung von Modellen zur Berechnung der Dynamik des elektromagnetischen Felds in Diodenlaser-Kantenemittern mit gekoppelten frequenzselektiven externen Resonatoren. Zur Simulation von Diodenlaser-Kantenemittern und Mikrooptiken, wie Volumenbeugungsgitter und asphärischen Kollimationslinsen, werden Softwarelösungen entwickelt, deren Einsatz die Analyse neuartiger Mikrokavitätenlaser mit externen Resonatoren zur longitudinalen oder transversalen Modenselektion ermöglicht.

### Ergebnis

Das Lasermodell berechnet räumliche und spektrale Verteilungen der Feldgrößen, Abstrahlcharakteristiken einschließlich Nah- und Fernfeldverteilungen der astigmatischen Laserstrahlung, Emissionsspektren und die optische Ausgangsleistung in Abhängigkeit des Betriebsstroms. Die Wellenlängenstabilisierung durch externe spektrale Filter kann numerisch simuliert werden. Die zu Grunde liegende Halbleitertheorie dient der Bestimmung von Verstärkung, Brechungsindexvariation, lokaler Temperatur sowie spontaner Emission abhängig von Frequenz, Ladungsträger- und Photonendichte. Der Stabilisierungsbereich und die optische Ausgangsleistung werden in Abhängigkeit von Facettenreflektivität, thermischem Widerstand und Rückkoppeleffizienz des externen optischen Systems berechnet.

### Anwendungsfelder

Die Ergebnisse der numerischen Analysen liefern Auslegungskriterien und Parameter zum Design optischer Systeme für Hochleistungsdiodenlaser unter Berücksichtigung der relevanten Eigenschaften von Halbleiterstruktur und -material.

Die Arbeiten wurden vom BMBF im Rahmen des Vorhabens »SpektraLas« (FKZ 13 N 9729) gefördert.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Carlo Holly  
Telefon +49 241 8906-509  
carlo.holly@ilt.fraunhofer.de

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



## DICHTES HOCHLEISTUNGS- MULTIPLEXING MIT VOLUMEN- BEUGUNGSGITTERN

### Aufgabenstellung

Die direkte Materialbearbeitung mit Diodenlaserstrahlung sowie das effiziente Pumpen einiger laseraktiver Medien erfordern vergleichsweise große Strahldichten. Durch das Hochleistungs-Multiplexing von Diodenlaserstrahlung werden frequenzstabilisierte Diodenlaserstrahlquellen spektral dicht überlagert, wodurch die Strahldichte im Vergleich zu konventionellen Diodenlaserstrahlquellen vergrößert wird.

### Vorgehensweise

Der kompakte Multiplexer besteht aus vier identischen Volumenbeugungsgittern mit einer Beugungseffizienz von 99 Prozent und einem Inzidenzwinkel um  $15^\circ$ . Der Demonstrator überlagert Diodenlaserstrahlung mit einem Zentralwellenlängenabstand von nur 1,5 nm. Die Eingangswellenlängen sind 973 nm, 974,5 nm, 976 nm, 977,5 nm und 979 nm. Strahlversatz und Winkelfehler der Strahlquellen werden durch fünf Spiegel kompensiert. Eine optionale Temperaturregelung der VBG ermöglicht die Anpassung der Zentralwellenlängen des Multiplexers an die emittierten Wellenlängen der Eingangsstrahlung (DTC dynamic temperature control).

### Ergebnis

Die optisch-optische Effizienz des Multiplexers ist abhängig von der Restdivergenz und somit von der Strahlqualität der Eingangsstrahlung. Grundmodestrahlung wird mit einer Effizienz von 97 Prozent überlagert, Strahlung mit einer mittleren Beugungsmaßzahl von  $M^2 = 45$  wird mit einer optisch-optischen Gesamteffizienz von 85 Prozent überlagert. Die Ausgangsleistung des Labordemonstrators beträgt maximal 200 W, die Strahldichte ca.  $70 \text{ GWm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ .

### Anwendungsfelder

Die Multiplexingtechnologie ist primär zur Leistungsskalierung von Diodenlasersystemen für die direkte Materialbearbeitung entwickelt worden. Darüber hinaus wird das Pumpen von Festkörper- und Faserlasern mittels hochbrillanter Diodenlaserstrahlung ermöglicht. Die Multiplexingtechnologie basierend auf Volumenbeugungsgittern ist nicht auf Diodenlaserstrahlung begrenzt, sondern kann in gleicher Ausführung auch für Festkörperlaser wie z. B. Faserlaser und Slabaserstrahlquellen eingesetzt werden.

Die Arbeiten wurden vom BMBF im Rahmen des Vorhabens »SpektraLas« (FKZ 13 N 9729) gefördert.

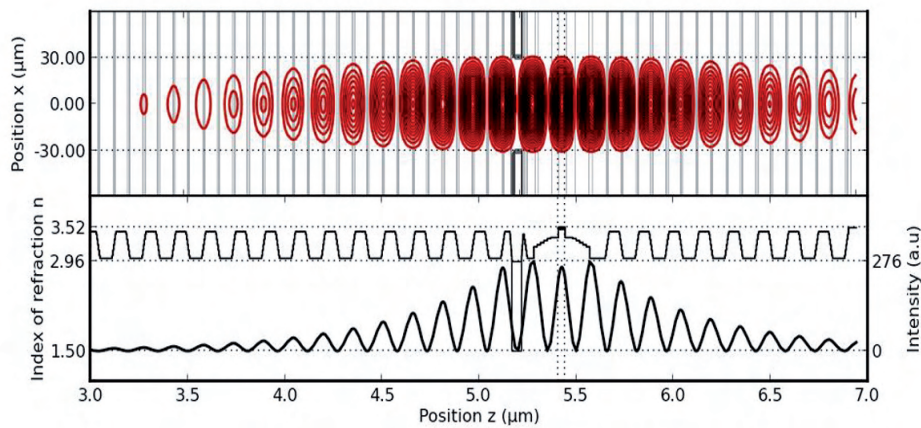
### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Stefan Hengesbach  
Telefon +49 241 8906-565  
stefan.hengesbach@ilt.fraunhofer.de

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

2 *Detailansicht eines spektral stabilisierten Diodenlasermoduls.*

3 *Detailansicht innerhalb des Multiplexers.*



1

## MODELLIERUNG UND SIMULATION VERTIKAL EMITTIERENDER DIODENLASER

### Aufgabenstellung

Oberflächenemittierende Halbleiterlaser mit Vertikalresonator sind aufgrund ihrer Vorteile hinsichtlich der Herstellungskosten, der Modulierbarkeit, der Symmetrie des Strahlprofils und der einfachen Realisierbarkeit von Arrays ein erfolgreiches Konkurrenzkonzept zur konventionellen kantenemittierenden Variante. Monolithische Emittierer (VCSEL) mit Ausgangsleistungen einzelner mW werden seit langem in der optischen Datenübertragung und Sensorik eingesetzt. Mit Hilfe von Arrays aus Hochleistungsemittern sind kW-Ausgangsleistungen bei niedriger Brillanz erzielbar. Brillante Emittierer mittlerer Ausgangsleistung können durch Kombination der Halbleiterchips mit externer Resonatoroptik realisiert werden. Bislang konnten optisch-gepumpte Einzelemittierer (OPSL) mit bis zu 100 W Ausgangsleistung im Grundmode demonstriert werden. Einen vielversprechenden Kompromiss aus Komplexität der Strahlquelle und erzielbarer Brillanz stellen elektrisch-gepumpte Emittierer mit externem Resonator (VECSEL) dar. Am Fraunhofer ILT wurde innerhalb der letzten drei Jahre im Auftrag von Philips Photonics Simulationssoftware zum Zwecke der Optimierung von Resonatorgeometrie und Halbleiterschichtstruktur von Singlemode-VECSELn entwickelt.

### Vorgehensweise

Zur Optimierung des Singlemode-VECSELs wurde Simulationssoftware zur Vorhersage der Leistungs- und Abstrahlcharakteristik in Abhängigkeit der Betriebsparameter

sowie von Geometrieparametern des Resonators und der Zusammensetzung der Halbleiterheterostruktur entwickelt. Der Modellansatz besteht in der Lösung mikroskopischer Gleichungen zur Berechnung der Resonatoreigenlösungen, der Bandstruktur und Verstärkungsspektren der Aktivschichten sowie der Licht-Medium-Wechselwirkung. Elektrische und thermische Eigenschaften werden durch phänomenologische Gesetze berücksichtigt, deren Parameter experimentell ermittelt werden.

### Ergebnis

In enger Zusammenarbeit mit begleitenden experimentellen Arbeiten konnten im Labor beobachtete Tendenzen bzgl. günstiger Resonatorgeometrien in Abhängigkeit der Qualität des Epitaxiematerials verstanden werden. Außerdem wurde ein zentrales Designkriterium für dielektrische, aktivschichtbegrenzende Halbleiterschichten (Oxidblenden) mit guten optischen Eigenschaften in VECSELn ermittelt. Im Anschluss an die Kooperation konnte die Ausgangsleistung der Singlemode-VECSELs von Philips Photonics um einen Faktor 4 gesteigert werden.

### Anwendungsfelder

Potenzielle Anwendungsfelder von VECSELn sind das Pumpen von Festkörperlasern, die Lasermaterialbearbeitung, die Druck- und Beschriftungstechnik sowie die Spektroskopie.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Thomas Schwarz  
Telefon +49 241 8906-657  
thomas.schwarz@ilt.fraunhofer.de

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

1 Numerisch berechnete Fundamentalmode eines VECSELs.



## HOCHBELASTBARE REFLOW-LÖTUNG FÜR KOMPACTE OPTIKMODULE

### Aufgabenstellung

Präzision und Langzeitstabilität von optischen Komponenten sind die Grundvoraussetzungen für den zuverlässigen Betrieb von Lasersystemen. Insbesondere Weltraumapplikationen erfordern bei harschen Umweltbedingungen eine sichere und kompakte Fügechnik, die Glassubstrate im  $\mu\text{rad}$ -Bereich positionstreu und gleichzeitig höchst stabil fixiert.

### Vorgehensweise

Das flussmittelfreie Reflow-Lötverfahren im Vakuum-Ofen wird für die Verbindung zwischen optischen Komponenten und speziell angepassten, metallischen Haltern verwendet. Dazu werden beispielsweise zylindrische Strahlformungsoptiken im Tubus angeordnet und zeitgleich unter Vakuum-Bedingungen zu einem Modul verlötet. Das Rahmendesign der Optikhalter kann sowohl auf zylindrische, oder quaderförmige, als auch auf streifenförmige Optiken angepasst werden.

### Ergebnis

Die modulare Aufbauweise ermöglicht eine kompakte Anordnung mehrerer Optiken unterschiedlichster Geometrie. Linsen und Spiegel mit zylindrischen oder planen Mantelflächen können in minimalen Abständen zueinander positioniert und zu einem Modul verlötet werden. Untersuchungen im Klimaschrank in Temperaturbereichen von  $-30\text{ °C}$  bis  $+50\text{ °C}$  bestätigen die hohe Robustheit der Lötverbindung gegenüber wechselnden Temperaturbelastungen.

### Anwendungsfelder

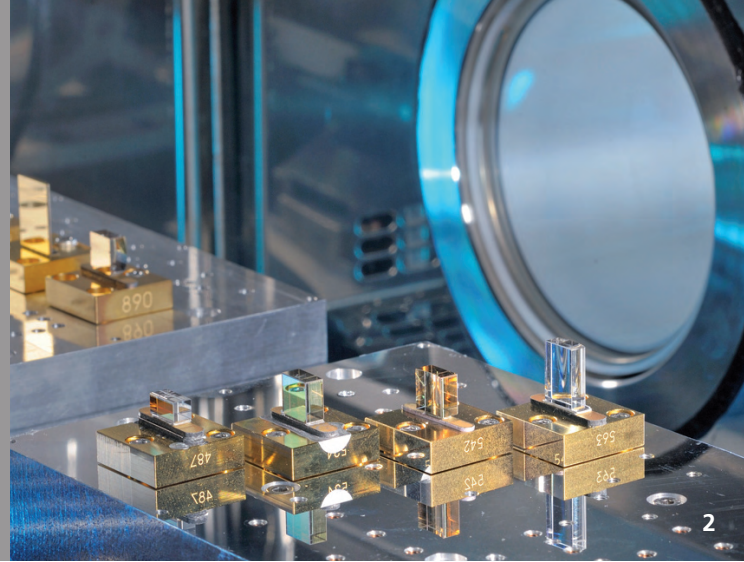
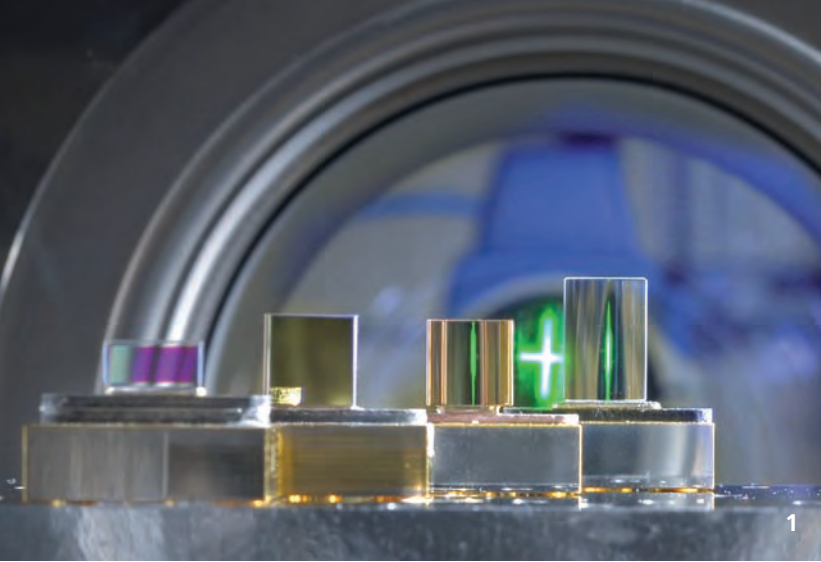
Der am Fraunhofer ILT entwickelte Reflow-Lötprozess für Optiken findet derzeit Anwendung in LIDAR-Systemen für die Luft- und Raumfahrt. Die modulare Anordnung mehrerer Optiken ermöglicht eine kompakte Integration in Lasersystemen. Als Alternative zu Klemm- oder Klebetechniken bietet die Löttechnik für optische Komponenten Vorteile bezüglich Ausgasverhalten, Langzeitstabilität und Beständigkeit in einem breiten Temperaturbereich.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Winzen  
Telefon +49 241 8906-173  
matthias.winzen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Michael Leers  
Telefon +49 241 8906-343  
michael.leers@ilt.fraunhofer.de

- 2 *Asphärische Linsen der Pumpoptik in Streifenform verlötet.*  
3 *Gelötete Zylinderoptiken und Homogenisator der Pumpoptik.*



## AUTOMATISIERTE UMWELTTESTS AN LASERKOMPONENTEN

### Aufgabenstellung

Zur Entwicklung neuartiger Montagetechniken für Laseroptiken wird eine Richtungsstabilität bis in den 10  $\mu$ rad-Bereich ( $\approx 2''$ ) gefordert. Es soll gleichzeitig nachgewiesen werden, dass Optiken, die in weltraumgestützten Lasersystemen eingesetzt werden, auch unter wechselnden Temperaturbelastungen diese Richtungsstabilität einhalten können. Weil diese Temperaturzyklustests mehrere Tage dauern, wurde eine wesentliche Erhöhung der Kapazität erforderlich, um die geforderte Anzahl von Qualifizierungstests im Rahmen der Projektlaufzeit ausführen zu können.

### Vorgehensweise

Die Ausrichtung von Spiegeln kann mit Hilfe eines Autokollimators bestimmt werden. Zur Untersuchung des Einflusses einer wechselnden Temperaturbelastung wurde eine handelsübliche Klimakammer mit seitlichen Fenstern versehen, so dass mit einem Autokollimator von außerhalb die Ausrichtung von Spiegeln vermessen werden kann, die im Inneren mit definierten Temperaturzyklen belastet werden. Zur Automatisierung des Messprozesses wurden jeweils zwei Autokollimatoren derart auf einer Linearachse angeordnet, dass damit Messungen über die gesamte Fensterbreite der Klimakammer vorgenommen werden können. Somit kann

unter gegenwärtigen Verhältnissen jeder einzelne Autokollimator bis zu 8 Spiegel vermessen. Die dabei gleichzeitig zu verarbeitenden Prozessdaten werden so aufbereitet, dass eine schnelle und einfache Ergebnisanalyse vorgenommen werden kann.

### Ergebnis

Durch die vorgenommene Automatisierung können nun bis zu 32 Spiegel einem Klimatest unterzogen werden. Das bedeutet eine erhebliche Ausweitung der Kapazität und ermöglicht auch die Durchführung umfangreicher Langzeittests. Die Winkelauflösung des Messsystems beträgt derzeit etwa 2  $\mu$ rad.

### Anwendungsfelder

Die am Fraunhofer ILT durchgeführten Klimatests sind wesentlicher Bestandteil der Qualifizierung von Laserkomponenten für LIDAR-Systeme in der Luft- und Raumfahrt. Darüber hinaus kann das entwickelte System überall dort eingesetzt werden, wo die Änderung der Richtung von (spiegelnden) Oberflächen unter wechselnden Temperaturen untersucht werden muss.

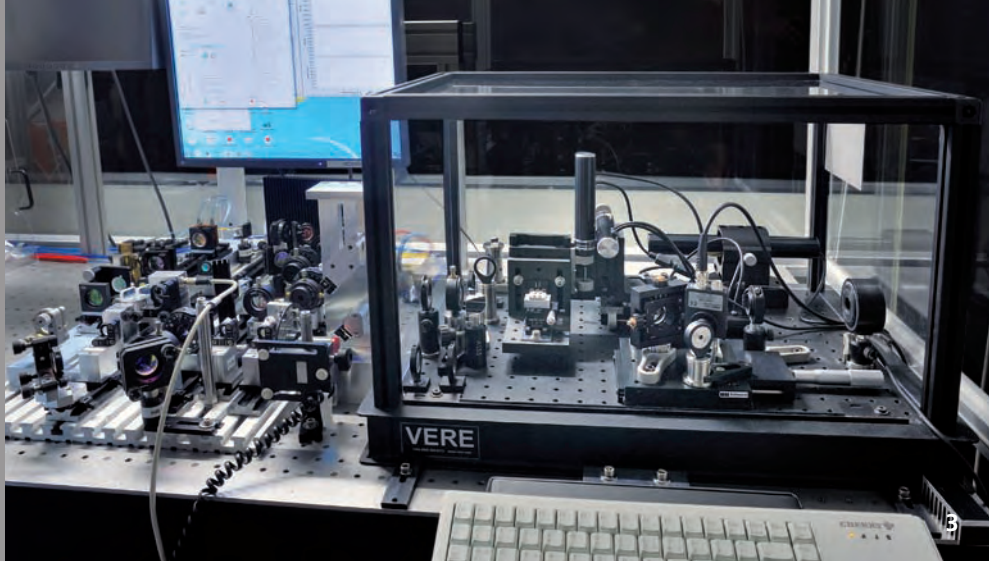
### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Erik Liermann  
Telefon +49 241 8906-8089  
erik.liermann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Michael Leers  
Telefon +49 241 8906-343  
michael.leers@ilt.fraunhofer.de

1 Spiegel mit Autokollimator.

2 Spiegel in der Klimakammer.



## ORTSAUFGEÖSTE ABSORPTIONSMESSUNGEN IM PPM-BEREICH

### Aufgabenstellung

Bei optischen Komponenten für Hochleistungslaser stellt die Absorption einen limitierenden Faktor dar. Die Messung der Absorption – im Volumen und an der Oberfläche der Komponente – ist daher ein wichtiges Hilfsmittel bei der Selektion und Qualifikation geeigneter Optiken. Soll die Absorption im ppm-Bereich bestimmt werden, stoßen herkömmliche Messverfahren (z. B. Kalorimetrie) an ihre Grenzen. Außerdem erlauben sie keine ortsaufgelöste Messung, wie sie z. B. im Rahmen einer Qualitätskontrolle erforderlich ist.

### Vorgehensweise

Mit Hilfe eines Photothermalen Commonpath-Interferometers (PCI) und eines Zwei-Wellenlängen-Pumplasers können Absorptionsmessungen bei 1030 nm und 515 nm oder simultan bei beiden Wellenlängen durchgeführt werden. Messungen sind an transmittiven und reflektiven optischen Komponenten möglich. Das Messverfahren erlaubt eine Unterscheidung zwischen Absorption im Volumen und an der Oberfläche, wobei Streu- und Reflexionsverluste keinen Einfluss auf das Messergebnis haben.

### Ergebnis

Die realisierte Kombination aus Pumplaser und Interferometer ermöglicht eine Messung von Absorptionen mit einer Empfindlichkeit von 1 ppm/cm im Volumen und 0,1 ppm an der Oberfläche. Die Ortsauflösung beträgt transversal 50 µm,

longitudinal 600 µm. Durch Einkopplung weiterer Pumplaser kann die Absorptionsbestimmung auf zusätzliche Wellenlängen erweitert werden. Dies wurde mit einer Strahlquelle bei 2021 nm bereits erfolgreich demonstriert.

### Anwendungsfelder

Da bei der Frequenzkonversion mittels nichtlinear optischer Kristalle bereits geringe Erwärmungen des Kristalls signifikanten Einfluss auf Prozesseffizienz und Strahlqualität der erzeugten Strahlung haben, kommt der Absorptionsbestimmung bei der Prozessauslegung und Materialwahl eine Schlüsselrolle zu. Dies ermöglichte z. B. die Erzeugung von mehr als 400 W mittlerer Leistung bei 515 nm und Pulsdauern unterhalb 1 ps am Fraunhofer ILT.

Auch die Charakterisierung von Substraten und Beschichtungen für die Prozessoptik von Hochleistungslasern stellt ein interessantes Anwendungsfeld dar.

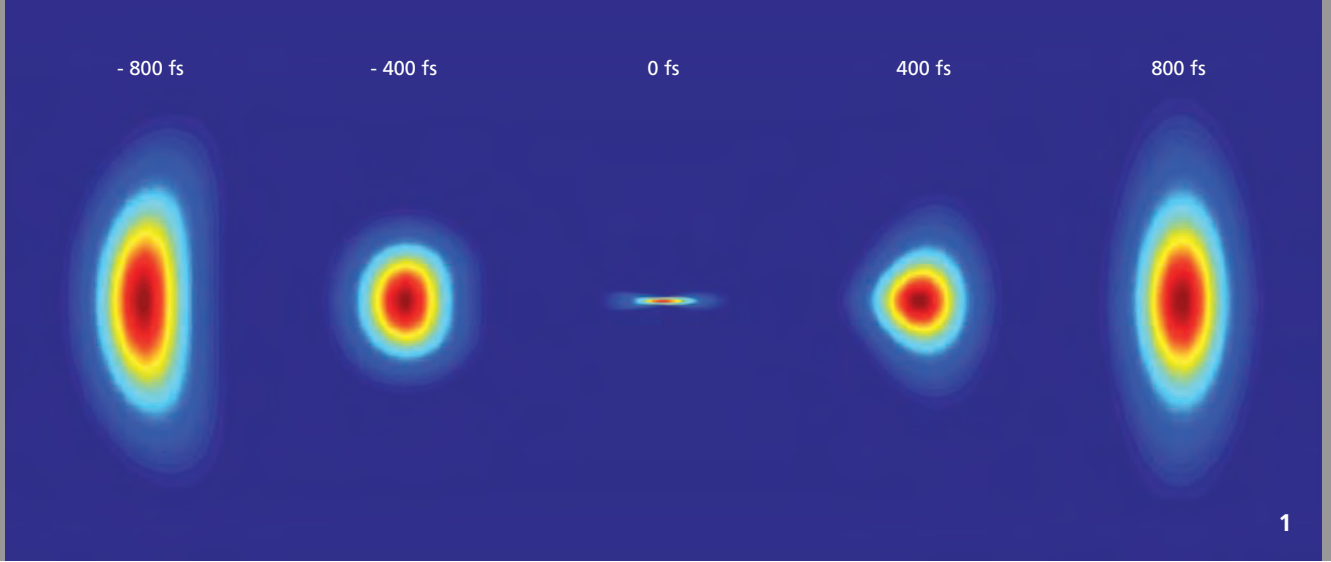
Die Arbeiten wurden unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die vom Land NRW und der Europäischen Union EFRE (»Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007-2013«) unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Bastian Gronloh  
Telefon +49 241 8906-629  
bastian.gronloh@ilt.fraunhofer.de

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





## DEFORMATION ULTRA-KURZER LASERPULSE DURCH OPTISCHE SYSTEME

### Aufgabenstellung

Die Verwendung von Scansystemen hat sich in der Lasermaterialbearbeitung bewährt, stellt aber bei Bearbeitungsprozessen mit ultrakurzen Laserpulsen ( $< 1$  ps) neue Anforderungen an die optischen Systeme zur Fokussierung der Strahlung hinter dem Scanner. Dispersion in Strahlführungs- und Formungsoptiken verursacht Verzögerungen zwischen Puls- und Phasenfront und führt zu einer scanwinkelabhängigen Deformation der Pulsfront. Als Konsequenz ergeben sich bei der Materialbearbeitung auf dem Werkstück lokal variierende Pulseigenschaften, die unerwünschte ortsabhängige Bearbeitungsergebnisse verursachen. Ziel ist, scanwinkelabhängige Pulsfrontdeformationen für optische Systeme zu simulieren sowie geeignete Methoden zur Kompensation zu entwickeln.

### Vorgehensweise

Die vollständige Feldinformation bestehend aus Amplitude und Phase wird in der Beobachtungsebene hinter einem optischen System auf Basis wellenoptischer Methoden simuliert. Daraus werden sowohl die Puls- als auch die Phasenfront extrahiert, deren zeitliche Differenz berechnet und schließlich die Deformation bzw. die Verkipfung der Pulsfront in Bezug auf die Phasenfront bestimmt.

### Ergebnis

Erste Simulationen zeigen, dass die Pulsfront eines Laserpulses, der eine f-Theta-Optik unter einem Winkel durchläuft, gegenüber der Propagationsrichtung verkippt ist. Dieser sogenannte Pulsfront-Tilt ist scanwinkelabhängig. Deformation und Verkipfung der Pulsfront führen zu einer signifikanten Verlängerung der Pulsdauer im Fokus sowie einer Vergrößerung des Fokusvolumens.

### Anwendungsfelder

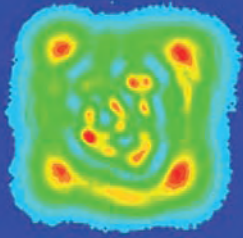
Die Simulationen ermöglichen eine Abschätzung des Einflusses optischer Systeme auf das Fokussierverhalten und damit auf den Materialbearbeitungsprozess. Weitere Schritte bestehen darin, das beschriebene Analyseverfahren in den Designprozess optischer Systeme zu integrieren, um scanwinkelabhängige Effekte der Pulsdeformation zu reduzieren.

### Ansprechpartner

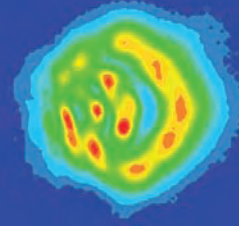
M.Sc. Lasse Büsing  
 Telefon +49 241 8906-359  
 lasse.buesing@ilt.fraunhofer.de

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

1 Räumliche Intensitätsverteilung eines fokussierten Laserpulses zu verschiedenen Zeiten.



2



3

## PROZESSANGEPASSTE LASERSTRAHLFORMUNG MIT MEMBRANSPIEGELN

### Aufgabenstellung

Die Entwicklung von aktiven optischen Systemen eröffnet neue Möglichkeiten in der Lasermaterialbearbeitung. Die Generierung von flexiblen Brennfleckgeometrien mit Membranspiegeln erlaubt durch aktive Variation des optischen Systemverhaltens eine Anpassung der Intensitätsverteilung an die Bearbeitungssituation. Dies führt zu einer verbesserten Prozesseffizienz und höheren Bearbeitungsqualität. Darüber hinaus wird die wirtschaftliche Fertigung auch bei kleinen Losgrößen ermöglicht, da das sonst oftmals erforderliche Wechseln von Strahlformungs- und -führungskomponenten entfällt.

### Vorgehensweise

Am Beispiel des Laserstrahlaufragschweißens wird ein aktives optisches System entwickelt. Durch die Integration eines kommerziell erhältlichen elektrostatischen Membranspiegels erfolgt die Generierung von flexiblen, homogenisierten Brennfleckgeometrien aus dem Rohstrahlprofil eines Faserlasers ( $P_{CW} = 100 \text{ W}$ ,  $\lambda = 1070 \text{ nm}$ ,  $\text{TEM}_{00}$ ). Die Anpassung der verfügbaren Freiheitsgrade des Spiegels zur Erzeugung der Soll-Intensitätsverteilung erfolgt durch kontinuierliche Vermessung des Intensitätsprofils und unter Ausnutzung heuristischer Regelalgorithmen.

### Ergebnis

Mit Hilfe des Membranspiegels können homogene Intensitätsprofile erfolgreich reproduziert werden. In Abhängigkeit der an den Regelalgorithmus übermittelten Zielvorgaben erfolgt die Einregelung der für den Bearbeitungsprozess erforderlichen Brennfleckgeometrie, welche insbesondere in ihren Abmessungen während der Prozesslaufzeit variiert werden kann.

### Anwendungsfelder

Das vorgestellte optische System wurde für das Laserstrahlaufragschweißen entwickelt. Die verfahrenstechnischen Vorteile der dynamischen Laserstrahlformung auf Basis von Membranspiegeln können, insbesondere bei der Skalierung auf höhere Ausgangsleistungen der Laserstrahlquellen, auf andere Anwendungsfelder der Lasermaterialbearbeitung übertragen werden.

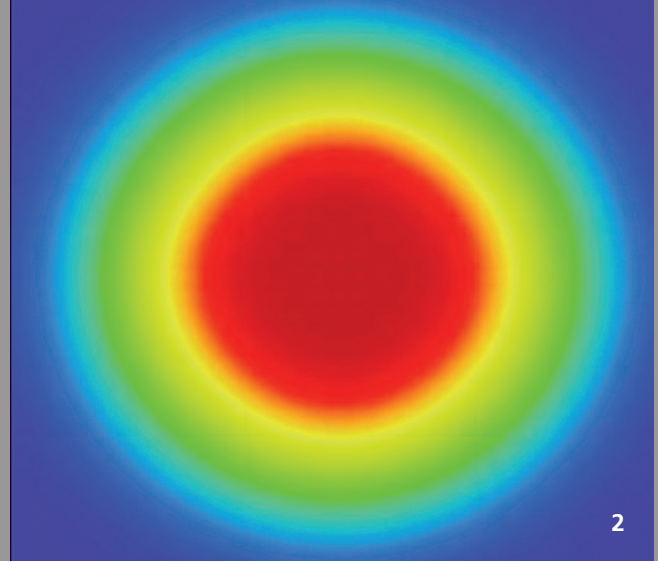
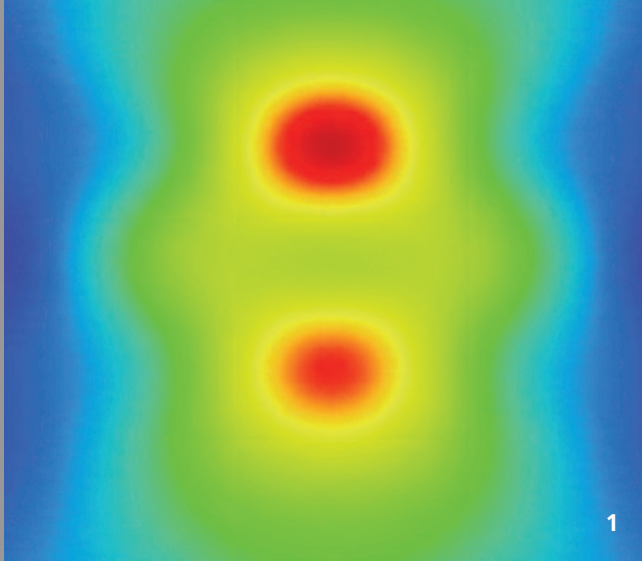
### Ansprechpartner

M.Sc. Dipl. -Ing. (FH) Oliver Pütsch  
Telefon +49 241 8906-617  
oliver.puetsch@ilt.fraunhofer.de

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

2 Angepasste Intensitätsverteilung, quadratisch.

3 Angepasste Intensitätsverteilung, rund.



## SIMULATION: LÖSUNG EINER INVERSEN AUFGABE ZUR STRAHLUNGSPROPAGATION

### Aufgabenstellung

Um die anwendungsspezifischen Kriterien für das Bearbeitungsergebnis optimal erreichen zu können, kann eine Strahlformung vorteilhaft sein, die mit Standard-Optiken nicht erreichbar ist. Die Aufgabe besteht darin, eine Systematik zur Berechnung optimaler optischer Flächen anzugeben und zusätzlich zu gewährleisten, dass die optimale Strahlform auf der gesamten Bearbeitungstiefe eingestellt wird und nicht nur an einer Stelle (Transversal-Ebene) des Propagationswegs der Strahlung eingestellt wird.

### Vorgehensweise

Um das gewünschte Strahlungsfeld längs der gesamten Bearbeitungstiefe zu erhalten, wird zunächst eine geeignete Modenzerlegung bestimmt. In einem zweiten Schritt werden die optischen Oberflächen aufgefunden, welche ein gegebenes Strahlungsfeld auf die vorbestimmten Beiträge der konstituierenden Moden abbildet. Für eine erfolgreiche Vorgehensweise ist ein gekoppeltes Einstellen von Betrag (Intensitätsverteilung) und Phase durch Veränderung der optischen Oberflächen wesentlich.

Die berechneten optischen Oberflächen werden durch Anwendung kommerzieller Strahlpropagations-Software (z. B. ZEMAX) validiert.

### Ergebnis

Die Systematik zur Berechnung optimaler optischer Flächen wurde numerisch implementiert und bereits erfolgreich angewandt. Im Vorlauf zur experimentellen Erprobung im Labor werden die Validierung mit kommerzieller Software und eine Analyse der sensitiven Abhängigkeit von Parametern der Fertigung und Justage durchgeführt.

### Anwendungsfelder

Die implementierten Verfahren zur Optik-Berechnung sind unabhängig vom betrachteten Fertigungsverfahren. Zwei relevante Anwendungsfelder werden betrachtet: die anwendungsspezifische Analyse des Potenzials zur Strahlformung und eine bessere Einschätzbarkeit von Aufwand und Nutzen optimaler Optiken im Vergleich zu approximativen Lösungen mit Standard-Optiken.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Urs Eppelt  
 Telefon +49 241 8906-163  
[urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de](mailto:urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de)

Prof. Wolfgang Schulz  
 Telefon +49 241 8906-204  
[wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de](mailto:wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de)

1,2 *ZEMAX-Validation einer durch berechnete optische Flächen erzeugten Strahlverteilung, Transversalschnitt.*

---

## TECHNOLOGIEFELD LASERMATERIALBEARBEITUNG

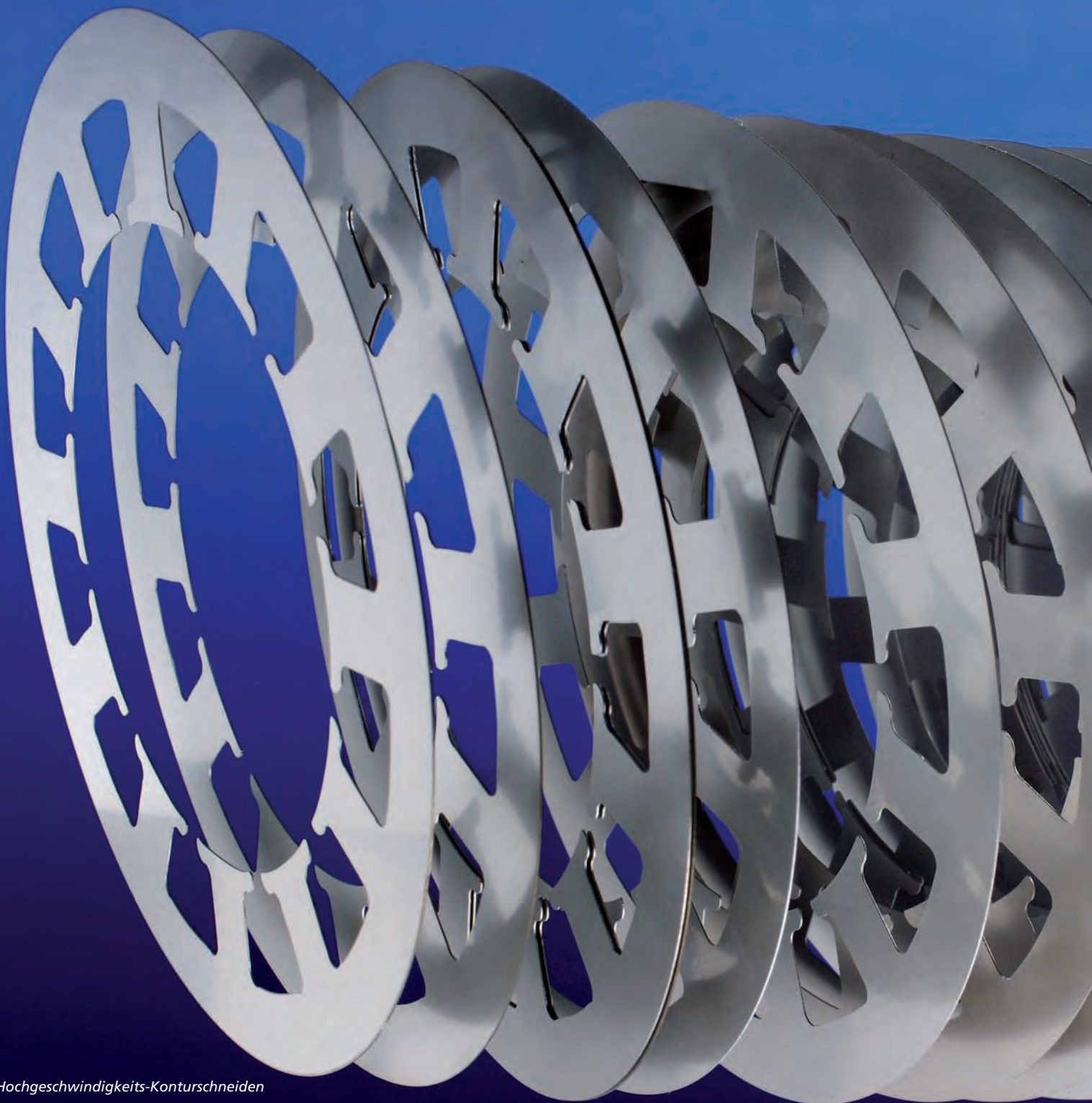
---

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

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

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

# LASERMATERIALBEARBEITUNG



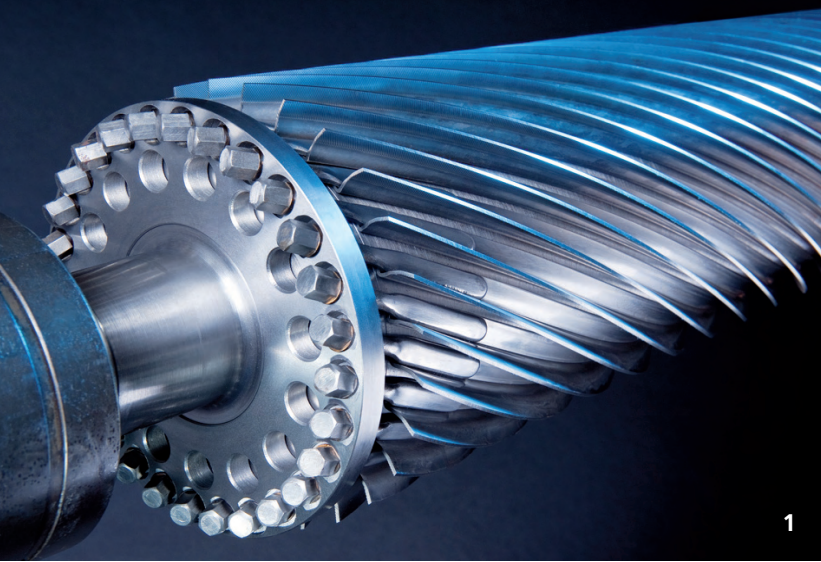
*Hochgeschwindigkeits-Konturschneiden  
von Statorblechen für Elektromotoren.*

---

## INHALT

---

Randschichthärten von Schermessern	62	Laserschweißen von Harnstoffinjektoren	90
Laserbasierte effiziente Herstellung von Carbonfasern	63	Leichtbau-Energiepack	91
Laserbasiertes Tempern von TCO-Schichten	64	Laserstrahlschweißen von DCB-Substraten mit Singlemodelaser	92
Laserpolieren von SLM-Bauteilen aus Inconel 718	65	Laserintegrierter Bondautomat für Dickdraht-Bonds	93
Maschine für die automatisierte Laserpolitur von Bauteilen bis 1 kg	66	Laserlöten von Solarzellen	94
Erprobung einer Laser-Poliermaschine im Werkzeug- und Maschinenbau	67	Laserbasiertes Packaging von Silizium/Glas-Bauteilen mittels Glaslot	95
9-Achs-Simultanbearbeitung	68	Laserstrahlbonden von Glas mit Glas	96
Laserumschmelzstrukturierung (LUST) auf Ti6Al4V	69	Fügen von Kunststoff-Metall-Hybridverbindungen	97
SLM von Nickelbasis-Superlegierungen für den Turbomaschinenbau	70	Abzeichnungsfreies Laserschweißen von Kunststoffen mit Class-A-Oberflächen	98
Adaptive SLM-Prozessführung	71	Optimierte Scan-Strategien für hohe Nahtfestigkeiten beim Kunststoffschweißen	99
Qualitätskontrolle beim SLM mittels Signalerfassung aus der Wechselwirkungszone	72	Laserstrahlschweißen transparenter Kunststoffe ohne Absorberzusatz	100
Ortsaufgelöste Hochgeschwindigkeitspyrometrie für das Selective Laser Melting	73	Konturflexibles und materialunabhängiges Laserdurchstrahlsiegeln für Folienverpackungen	101
Herstellung von Antennenkomponenten für Satelliten aus AlSi10Mg mittels SLM	74	Schneiden von kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK) Bearbeitung von CFK mit ultrakurzgepulster Laserstrahlung hoher mittlerer Leistung	102
Funktionsintegrierter Rim-Support mit interner Gitterstruktur	75	Prozesskette zur Herstellung von FVK-Leichtbauteilen	103
Additive Fertigung von Mikrostrukturen mit SLM	76	Hochgeschwindigkeitskonturscheiden von Statorblechen für Elektromotoren	105
Laserbasierte additive Fertigung mit Eisenaluminid-Legierungen	77	Parameterscreening und Optimierung des Faserlaserschneidens durch Prozesssimulation	106
Beschichten durch extremes Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen	78	Simulation – Numerische Bibliothek für Laserapplikationen	107
Laserauftragschweißen von Mikro-partikulären Metallmatrix-Verbundwerkstoffen	79	Wendelbohren von präzisen Formbohrungen	108
Methodikentwicklung zum Auftragschweißen von Schaufelspitzen	80	Prozessstabilität beim Perforieren mit ultrakurzen Laserpulsen	109
Entwicklung eines »Technologieprozessors« zum Laserauftragschweißen	81	Abtragsschneiden von Siliziumwafern mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung	110
Verschleißschutz von Bauteilen aus Kupfer in der Heißkanaltechnik	82	Simulation des Abtragens von Silizium	111
Oxidationsbeständige Kupferlegierungen durch Zusätze von Chrom	83	Simulation eines Wasserstrahls zur Strahlführung	112
Zertifizierung von Pulverdüsen für das Laserauftragschweißen	84	Erzeugung von hierarchischen Mikro- und Nanostrukturen durch Laserablation	113
Mikro-Laserauftragschweißen mit Mehrstrahloptik	85	Laserstrukturierung dünner funktionaler Schichten für die organische Elektronik	114
Laserstrahlschweißen ultrahochfester Stähle	86	Simulation des Abtragens dünner Schichten	115
Texturbasierte Fugenfolgeregelung beim Fügen mit Laserstrahlung	87	Komplexe Strukturen in Glas durch Selektives Laserinduziertes Ätzen	116
Schnelle Kalibrierung äquivalenter Wärmequellen beim Schweißen	88	Individualisierte Produktion durch Selektives Laserinduziertes Ätzen	117
Geschwindigkeitsgeregeltes Laserstrahlhartlöten	89	Glasbohrungen: Skalierbarkeit des SLE-Verfahrens	118



## RANDSCHICHTHÄRTEN VON SCHERMESSERN

### Aufgabenstellung

Textilien und Teppiche werden mit spiralförmig angeordneten, rotierenden Schermessern und einer Gegenschneide auf eine gleichmäßige Faserlänge beschnitten. Die Firma Heusch aus Aachen ist der weltweit führende Hersteller für solche Hochleistungsmesser und Schersysteme. Um den Verschleiß der spiralförmigen Schermesser im Betrieb zu minimieren, müssen die im Eingriff befindlichen Schnittkanten gehärtet sein. Bisher werden die Schermesser induktiv über die ganze Materialdicke gehärtet. Qualitätsschwankungen, Verzug und die Sprödigkeit des gehärteten Bereichs, welche Richtvorgänge und Montage erschweren, sind Nachteile des Verfahrens. Durch Laserstrahlung soll nur der Bereich lokal gehärtet werden, der für die Scherfunktion erforderlich ist. Das restliche Material bleibt duktil, wodurch Richten und Montage erleichtert werden.

### Vorgehensweise

Zunächst wurde am Fraunhofer ILT an geraden Messerabschnitten das Laserhärteverfahren mit einem fasergekoppelten Diodenlaser und einer Zoomoptik mit einer anpassbaren Laserspotgröße entwickelt. In einem zweiten Schritt wurde das Verfahren bei Heusch unter Produktionsbedingungen weiterentwickelt und spiralförmige Schermesser für den Einsatz bei einem Endanwender gehärtet.

### Ergebnis

Mit einer für die Anwendung angepassten Laserspotabmessung, die mit Standardoptikkomponenten erreicht werden kann, wird in den erforderlichen Bereichen präzise die gewünschte Härte eingestellt. Die bisherige Vorschubgeschwindigkeit konnte im Vergleich zum Induktionshärten verdoppelt werden. Nach dem erfolgreichen Feldeinsatz lasergehärteter Messer bei einem Endanwender soll im kommenden Jahr das Laserhärten bei Heusch in der Produktion eingeführt werden und langfristig das Induktionshärten ersetzen.

### Anwendungsfelder

Neben Schermessern kann dieses Verfahren generell auch für das Härten von dünnen Band- oder Blechwerkstoffen – zum Beispiel für selbstschärfende Schneiden – eingesetzt werden. Mit dem Verfahren kann die Funktionsintegration von Verschleißfestigkeit einerseits und Duktilität andererseits auf kleinstem Raum realisiert werden.

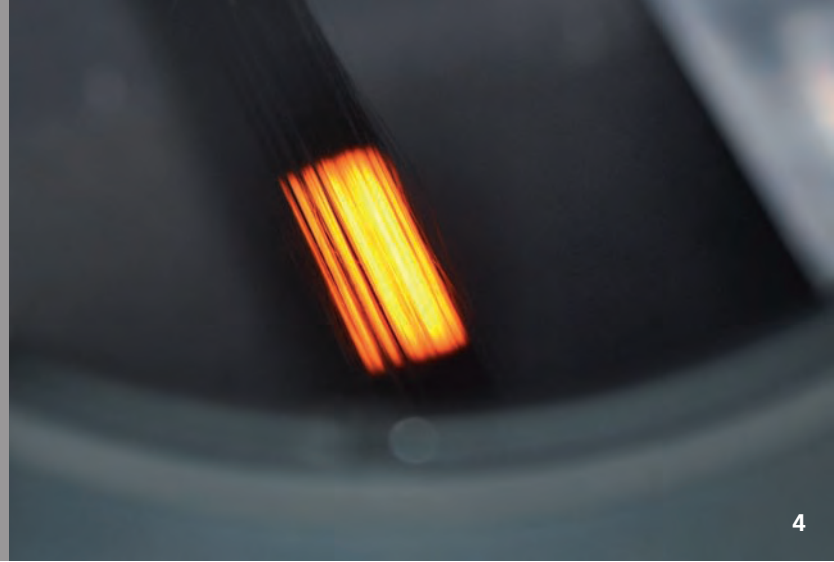
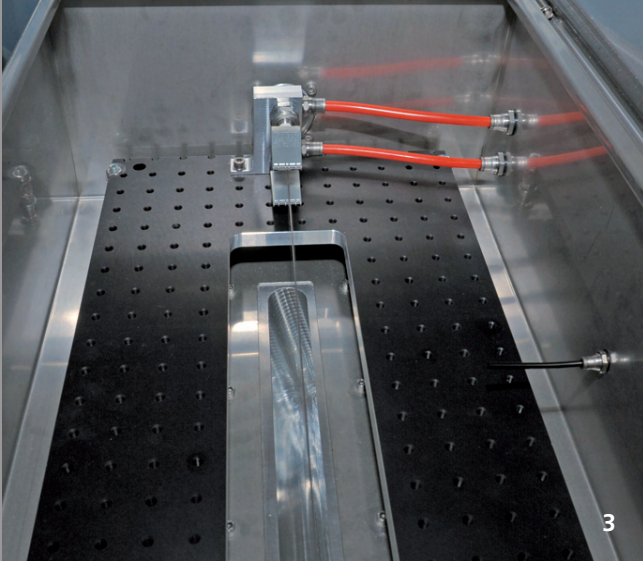
### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Georg Bergweiler  
Telefon +49 241 8906-602  
georg.bergweiler@ilt.fraunhofer.de

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

1 Scherzylinder mit spiralförmigen  
Schermessern (Quelle: Heusch).

2 Detailansicht Schermesser (Quelle: Heusch).



---

## LASERBASIERTE EFFIZIENTE HERSTELLUNG VON CARBONFASERN

---

### Aufgabenstellung

Carbonfaser-verstärkte Kunststoffe (CFK) bieten mit einer bis zu 2,5-fachen höheren spezifischen Festigkeit im Vergleich zu Aluminium einen exzellenten Ansatzpunkt für eine nachhaltige Strategie zur Reduzierung der Schadstoff-Emissionen im Automobil- oder Luftfahrtbereich. Ein Grund für den bisher begrenzten Einsatz sind unter anderem die hohen Herstellungskosten der Carbonfasern. Knapp die Hälfte dieser Kosten ist auf die 2-stufige Wärmebehandlung (Stabilisierung und Carbonisierung) der kohlenstoffhaltigen Vorläuferfasern (meist aus Polyacrylnitril, PAN) zu Carbonfasern zurückzuführen. Grund dafür sind die langen Verweilzeiten in den Öfen (bis zu 2 Stunden) sowie die hohen Energieaufwendungen (Temperaturen bis 1500 °C), die bei der Wärmebehandlung erforderlich sind.

### Vorgehensweise

Durch die Verwendung von Laserstrahlung ist es potenziell möglich, höhere Aufheizraten und damit kürzere Stabilisierungsdauern als im Ofen zu erreichen, da die entstehende exotherme Energie durch die kalte Umgebungsluft besser abgeführt werden kann und so das Risiko der thermischen Schädigung der Fasern verringert wird. Der Forschungsfokus liegt derzeit auf der Entwicklung einer Prozessführung, die es erlaubt, die Vorläuferfasern kontinuierlich mittels Laserstrahlung zu bearbeiten. Dazu wurde eine Versuchsanlage bestehend aus einer Spuleinheit, Prozesskammer sowie Strahlquelle mit angepasster Bearbeitungsoptik realisiert.

### Ergebnis

Erste Versuchsergebnisse zur Stabilisierung im kontinuierlichen Betrieb lassen eine mögliche Zeit- und Energieeinsparung von bis zu 30 Prozent erwarten. Forschungsbedarf besteht noch bei der Homogenität des Stabilisierungsgrads über den Faserquerschnitt sowie der Identifikation von wesentlichen Einflussfaktoren auf die mechanischen Kennwerte der Fasern.

### Anwendungsfelder

Bei erfolgreicher Verfahrensentwicklung wird eine deutliche Erweiterung des Anwendungsspektrums von CFK-Bauteilen durch signifikant reduzierte Herstellungskosten erwartet.

Die Arbeiten werden von der Europäischen Union sowie vom Land NRW im Rahmen des Projekts »MegaCarbon« (FKZ 005-1003-0025) gefördert.

### Ansprechpartner

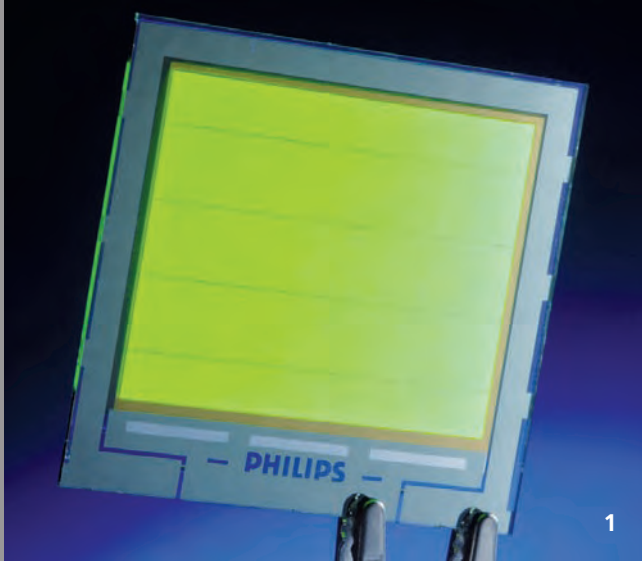
Dipl.-Ing. Philipp Lott  
Telefon +49 241 8906-8036  
philipp.lott@ilt.fraunhofer.de

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

3 Prozesskammer für die Laserbearbeitung.

4 Laserbearbeitung von PAN-Fasern.





## LASERBASIERTES TEMPERN VON TCO-SCHICHTEN

### Aufgabenstellung

TCO-Schichten (transparent conductive oxide) werden als transparente, leitfähige, flächige Anoden z. B. in modernen Computer- und Handy-Displays, Fernsehern und Leuchtmitteln wie organischen LEDs eingesetzt. Konventionell wird Indium-Zinn-Oxid (ITO) genutzt, da es die bisher beste Eigenschaftskombination aus großer elektrischer Leitfähigkeit (geringer Flächenwiderstand) und hoher Transparenz im visuellen Wellenlängenbereich aufweist. Kostengünstigere Alternativen sind z. B. AZO (aluminiumdotiertes Zinkoxid) und  $\text{SnO}_2\text{:F}$  (fluordotiertes Zinnoxid). Die elektrische Leitfähigkeit reicht jedoch nicht aus, um eine flächig homogene Leuchtkraft von größeren OLED-Leuchten zu realisieren; sie fällt aufgrund des zu großen Flächenwiderstands zur OLED-Mitte ab. Daher ist die Verringerung des Flächenwiderstands der Schichten eine wichtige Weiterentwicklung.

### Vorgehensweise

Untersuchungen haben gezeigt, dass ofenbasierte, thermische Nachbehandlungen der o. g. PVD/CVD-beschichteten Gläser zu einer Verringerung des Flächenwiderstands führen. Der Laser bietet im Gegensatz zum Ofen die Vorteile der selektiven, lokal begrenzten, thermischen Behandlung: Neben großen Heiz- und Kühlraten von kleinen Volumina können höhere Schichttemperaturen bei gleichzeitiger Schonung des temperaturempfindlichen Substrats in kürzeren Bearbeitungs-

zeiten durchgeführt werden. Eingesetzt werden kostengünstige und robuste Faser- und Diodenlaser im nahen infraroten Wellenlängenbereich (1064 - 1920 nm) mit unterschiedlichen Leistungsdichteverteilungen (Gauß, Top-Hat, Linie).

### Ergebnis

Momentan kann eine Verringerung von ITO-Flächenwiderständen um mehr als 20 Prozent bei Prozessgeschwindigkeiten von mehr als  $10 \text{ cm}^2/\text{s}$  in Umgebungsatmosphäre erreicht werden. Größere Prozessgeschwindigkeiten sind vor allem durch den Einsatz von breiten, homogenen, linienförmigen (Dioden-) Laserstrahlquerschnitten zu erwarten. Die visuelle Transparenz bleibt dabei nahezu unverändert. Der nächste Schritt ist eine Behandlung von ITO und den o. g. Alternativen in Schutzgasatmosphäre oder Vakuum zur weiteren Verringerung des Flächenwiderstands durch Erhöhung der Sauerstofffehlstellen im Material.

### Anwendungsfelder

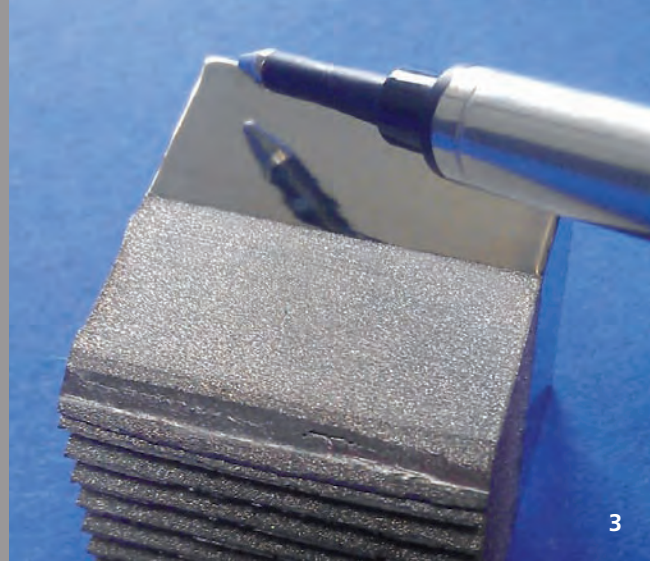
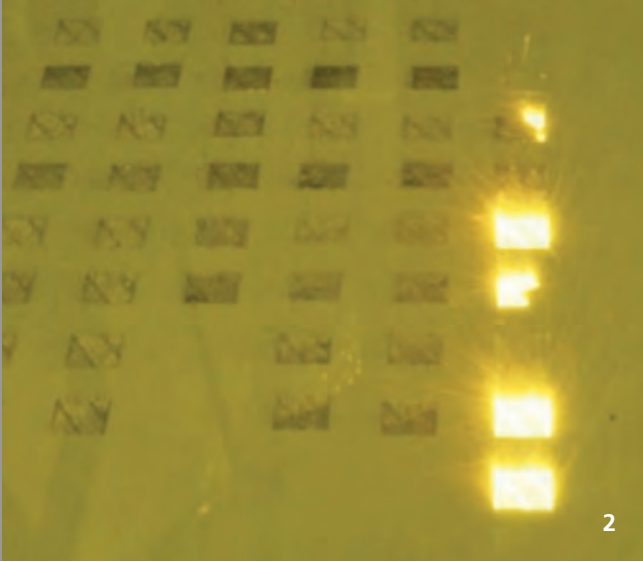
Niederohmige TCO-Schichten werden in allen Technologien eingesetzt, die transparente, leitfähige Schichten nutzen. Auch andere dünne PVD/CVD-hergestellte oder gedruckte Schichten, z. B. für den Korrosionsschutz, können mittels Laserstrahlung thermisch nachbehandelt werden.

Die Arbeiten werden im Rahmen des NRW-Projekts »Prolux« gefördert.

### Ansprechpartner

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

1 OLED mit ITO-Anode und laserapplizierten Leiterbahnen.



## LASERPOLIEREN VON SLM-BAUTEILEN AUS INCONEL 718

### Aufgabenstellung

Das generative Fertigungsverfahren Selective Laser Melting (SLM) bietet aufgrund seiner nahezu uneingeschränkten geometrischen Freiheitsgrade die Möglichkeit, komplexe und individuelle Bauteile aus serienidentischen Werkstoffen herzustellen. Allerdings weisen mittels SLM hergestellte Bauteile aufgrund der schichtweisen Herstellung aus pulverförmigem Material eine, im Vergleich zur zerspanenden Bearbeitung, große Oberflächenrauheit auf ( $R_a$  ca.  $20 \mu\text{m}$ ). Nach derzeitigem Stand der Technik ist daher eine Nacharbeit, z. B. Zerspanen der Funktionsflächen zur Verbesserung der Oberflächenqualität der Bauteile, notwendig.

### Vorgehensweise

Im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts »AMAZE« wird am Fraunhofer ILT die Anwendung des Verfahrens Laserpolieren für die Nachbearbeitung von mittels SLM hergestellten Bauteilen aus der Nickelbasislegierung Inconel 718 entwickelt. Das Laserpolieren beruht auf dem Umschmelzen einer dünnen Randschicht und Glättung der Oberfläche infolge der Grenzflächenspannung. Im Vergleich zu konventionellen Schleif- und Polierverfahren wird kein Material abgetragen, sondern ausschließlich umgeschmolzen. Durch dieses grundlegend andere Wirkprinzip des Laserpolierens in Verbindung mit der Automatisierbarkeit des Verfahrens wird eine Aufwandsreduzierung gegenüber der zeit- und somit kostenintensiven konventionellen Oberflächennachbearbeitung der Funktionsflächen der Bauteile angestrebt.

### Ergebnis

An mit SLM hergestellten würfelförmigen Proben kann die Oberflächenrauheit durch Laserpolieren von  $R_a = 20 \mu\text{m}$  auf  $R_a = 0,19 \mu\text{m}$  reduziert werden. Die Flächenrate beim Laserpolieren beträgt  $2,25 \text{ cm}^2/\text{min}$ . Diese aus ersten Parameterstudien gewonnenen Ergebnisse sind vielversprechend und bilden die Grundlage für weitergehende Entwicklungen der Prozesskombination SLM und Laserpolieren für komplexe Freiformflächen.

### Anwendungsfelder

Mittels SLM hergestellte Bauteile aus Inconel 718 mit komplexen Freiformflächen werden aufgrund ihrer Festigkeit bei hohen Temperaturen in der Luft- und Raumfahrt sowie im Turbinenbau eingesetzt.

Die Arbeiten wurden unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die vom Land NRW und der europäischen Union EFRE (»regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007 - 2013«) unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden.

### Ansprechpartner

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

Dipl.-Phys. Judith Kumstel  
Telefon +49 241 8906-8026  
judith.kumstel@ilt.fraunhofer.de

2 Aufnahme Selective Laser  
Melting (SLM) Prozess.

3 Laserpolierte Oberfläche einer  
SLM-Probe aus Inconel 718.



1



2

## MASCHINE FÜR DIE AUTOMATISIERTE LASERPOLITUR VON BAUTEILEN BIS 1 KG

### Aufgabenstellung

Die bisher verfügbaren Laserpoliermaschinen sind für größere Bauteile wie Werkzeug- und Formeinsätze ausgelegt. Für die Politur von kleineren Bauteilen wie zum Beispiel Implantaten für die Medizintechnik sind diese Maschinen überdimensioniert und damit unnötig kostenintensiv. Zusätzlich können bisher keine Bauteile vollständig automatisiert und unter Beibehaltung der erforderlichen Schutzgasatmosphäre beim Werkstückwechsel laserpoliert werden.

### Vorgehensweise

Ziel ist der Aufbau einer Maschinenteknik für die automatisierte Laserpolitur kleiner Bauteile bis zu einem Gewicht von 1 kg. Die Schutzgasatmosphäre im Prozessraum soll beim Ein- und Ausschleusen von Bauteilmagazinen erhalten bleiben, so dass eine kontinuierliche Politur ermöglicht wird.

### Ergebnis

Die Laserpoliermaschine ist nach dem Glovebox-Prinzip aufgebaut, wobei ein Aufbau aus Granit auf einem Grundgestell aus Stahl verwendet wird. Das optische System ist in einer Box oberhalb des Prozessraums und die erforderliche Steuerungstechnik im Grundgestell untergebracht. Die Bauteile

können durch eine Schleuse in den Prozessraum eingeschleust werden. Bei dieser Laserpoliermaschine wird erstmals ein 6-Achs-Roboter als Achssystem eingesetzt, welcher neben der Bauteilführung während der Politur auch für den Bauteiltransport verwendet wird. Als Laserstrahlquelle wird derzeit ein gepulster Stablaser des Fraunhofer ILT mit Pulsdauern im Bereich 100 - 500 ns verwendet, wobei die Integration von Laserstrahlquellen mit anderen Spezifikationen möglich ist. Durch die Verwendung eines Laserschutzfensters als Sichtfenster stellt die Maschine ein Lasergerät der Klasse 1 dar, so dass am Aufstellort keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

### Anwendungsfelder

Die Laserpoliermaschine kann für die automatisierte Laserpolitur von kleinen Bauteilen aus unterschiedlichen Werkstoffen verwendet werden. Dies sind zum Beispiel Implantate für die Medizintechnik oder Komponenten für die Feinmechanik oder die Mechatronik. Durch das modulare Grundprinzip der Maschine ist eine Adaption auf andere Lasermaterialbearbeitungsprozesse möglich.

Die Arbeiten wurden vom BMWi im Rahmen des Vorhabens »MediSurf« (Förderkennzeichen 16IN0716) gefördert.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Christian Nüsser  
 Telefon +49 241 8906-669  
 christian.nuesser@ilt.fraunhofer.de

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

1 Gesamtansicht der Laserpoliermaschine.

2 Prozessraum (Ansicht ohne Frontklappe).



## ERPROBUNG EINER LASERPOLIERMASCHINE IM WERKZEUG- UND FORMENBAU

### Aufgabenstellung

Für das Oberflächenfinish von Werkzeugen und Formeinsätzen, z. B. für die Produktion von Glasflakons, ist die manuelle Politur bis heute Stand der Technik. Der zunehmende Fachkräftemangel sowie die hohen Kosten und Bearbeitungszeiten, insbesondere bei komplexen Freiformflächen, führen zu einem großen Bedarf an automatisierten Polierverfahren. Daher wurde am Fraunhofer ILT in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Industrie eine Werkzeugmaschine für das Laserpolieren von metallischen Oberflächen entwickelt. Diese für den Werkzeugbau konzipierte Maschine vereint eine 5-Achsen-Portalmaschine mit einem dynamischen 3-Achsen-Laserscannersystem und kann trotz der komplexen Kinematik nach nur kurzer Schulung mit Standard-CAM-Software (z. B. PowerMill oder SiemensNX) und einem am Fraunhofer ILT entwickelten Postprozessor programmiert werden.

### Vorgehensweise

Die industrielle Erprobung der Maschine findet im Formenbau eines Industriepartners aus dem Bereich Flakonglasproduktion statt. Nach Einweisung der Maschinenbediener in die Maschinensteuerung (Siemens Sinumerik 840D sl) und des CAM-Programmierers wird die Laserpoliermaschine bei der Herstellung der Glasblasformen eingesetzt. Die Schwerpunkte bei der Erprobung liegen auf der Bewertung der ergonomischen Bedienbarkeit, der Prozesssicherheit der Maschine unter Industriebedingungen, sowie dem Einsatzverhalten der laserpolierten Oberflächen bei der Glasproduktion.

### Ergebnis

Im Rahmen der laufenden Erprobung zeigt sich die Werkzeugmaschine für das Laserpolieren vollständig industrietauglich und nach kurzer Schulung sowohl der Maschinenbediener als auch des CAM-Programmierers leicht bedienbar. Die gute Zugänglichkeit des Werkstücktischs, sowohl manuell als auch per Kranbeladung, das adaptive Messsystem für die Positionsbestimmung der aufgespannten Werkstücke und die automatisiert ablaufende Politur sorgen für eine gute Ergonomie. Die Formeinsätze aus Grauguss (EN-GJS-400-15) lassen sich reproduzierbar laserpolieren und erweisen sich zudem aufgrund der vergrößerten Härte der umgeschmolzenen Randschicht als widerstandsfähiger im Produktionseinsatz als die handpolierten Oberflächen.

### Anwendungsfelder

Anwendungsfelder sind vor allem im Werkzeug- und Formenbau zu finden, mit Schwerpunkt auf Anwendungen mit mittleren Oberflächenqualitäten im Bereich Ra 0,15 µm bis 0,40 µm. Hierzu zählen unter anderem Formeinsätze für die Glasherstellung und Werkzeuge für die Kalt- oder Warmumformung.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des ERA-Net MANUNET Projekts »Alpine« gefördert.

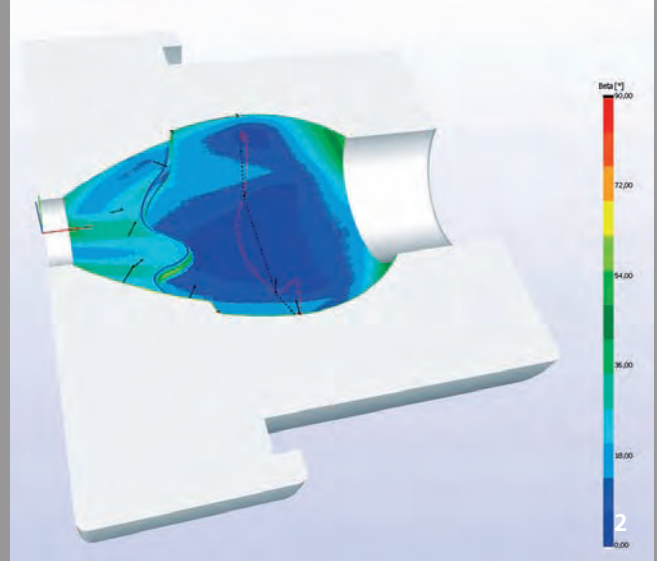
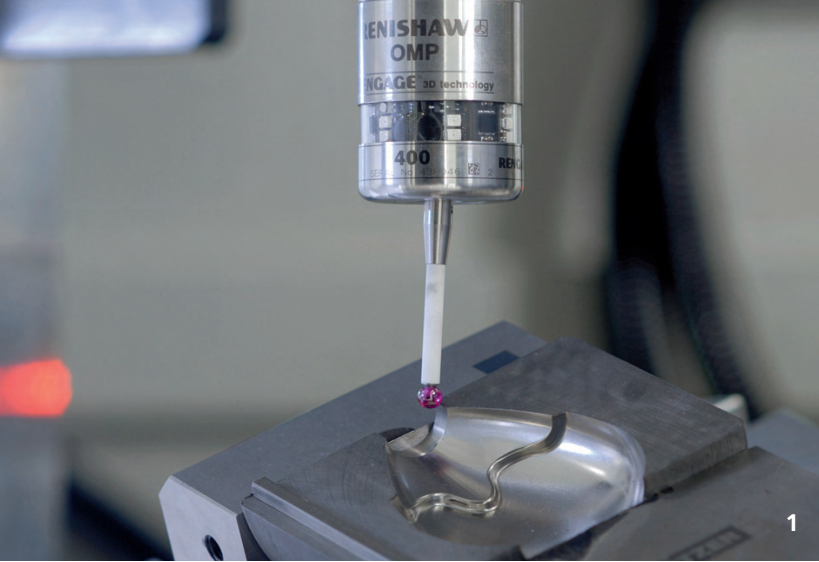
### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Ingo Ross  
Telefon +49 241 8906-8196  
ingo.ross@ilt.fraunhofer.de

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

3 Werkzeugmaschine für das Laserpolieren.

4 Laserpoliertes Werkzeug.



## 9-ACHS-SIMULTAN-BEARBEITUNG

### Aufgabenstellung

Werden bei der Lasermaterialbearbeitung hohe Geschwindigkeit und Dynamik gefordert, sind Galvanometer-Laserscanner Stand der Technik. Diese Systeme sind aufgrund der geringen Trägheit in der Lage, den Laserstrahlfokus mit mehreren Metern pro Sekunde über die Bauteilfläche zu führen. Für die Bearbeitung von 3D-Teilen ist zudem ein konventionelles mechanisches Achs-System mit translatorischen und/oder rotatorischen Achsen erforderlich. Eine Kombination aus beiden Systemen erlaubt eine hohe Dynamik bei großer Flexibilität in Bauteilkomplexität und Bauteilgröße. In bisherigen Ansätzen werden die mechanischen Achsen zum Positionieren des Bauteils genutzt, wobei anschließend die Bearbeitung unter Nutzung des Laserscanners erfolgt. Größere oder stark gekrümmte Flächen werden hierbei aus mehreren Teilflächen aufgebaut, in deren Überlappungsbereichen es zu teils deutlich sichtbaren Ansätzen kommt.

### Vorgehensweise

Ziel ist es, komplexe 3D-Geometrien ohne Ansätze durchgängig zu bearbeiten. Dazu wird ein konventionelles 5-Achs-System mit einem 3-Achs-Laserscanner kombiniert und synchronisiert, so dass eine simultane Bearbeitung mit allen 8 Achsen ohne störende Ansätze ermöglicht wird.

Soll zudem ein Messtaster verwendet werden, der die Lage und Orientierung des Bauteils in der Maschine bestimmt, ist eine weitere neunte Achse erforderlich, die das Scanfeld des Laserscanners dreht. Die Notwendigkeit der weiteren Achse ergibt sich durch die nicht gegebene Rotationssymmetrie des Laserscanners als »Werkzeug«.

### Ergebnis

Durch die Integration eines Messtasters ist es gelungen, eine durchgängige CAM-NC-Kette zu entwickeln. Die Simultanbearbeitung kann am Computer mit Hilfe einer CAM-Software und einem am Fraunhofer ILT entwickelten Postprozessor geplant und berechnet werden. Die vollständige CAM-NC-Kette wurde bereits in Zusammenarbeit mit einem Partner im industriellen Einsatz erfolgreich zum Laserpolieren getestet.

### Anwendungsfelder

Die 9-Achs-Simultanbearbeitung lässt sich für flächenbasierte Laserverfahren, bei denen ein Laserscanner zum Einsatz kommt, nutzen. Dazu zählen z. B. Lasermarkieren, Laserstrukturieren und Laserpolieren.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. John Flemmer  
 Telefon +49 241 8906-137  
 john.flemmer@ilt.fraunhofer.de

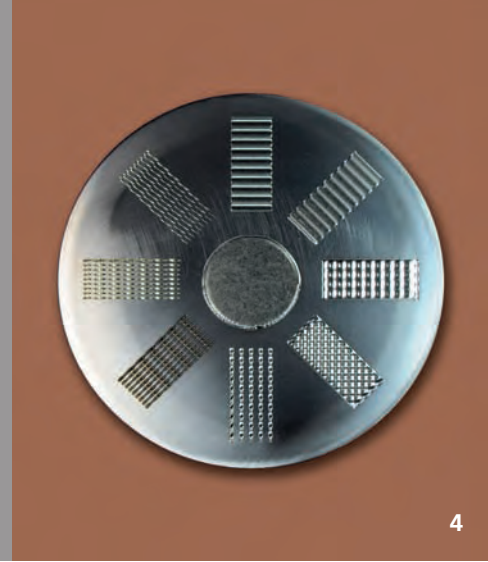
Dr. Edgar Willenborg  
 Telefon +49 241 8906-213  
 edgar.willenborg@ilt.fraunhofer.de

1 Bauteil wird durch Messtaster vermessen.

2 CAM-Planung zum Laserpolieren.



3



4

## LASERUMSCHMELZSTRUKTURIERUNG (LUST) AUF Ti6Al4V

### Aufgabenstellung

In vielen Bereichen sind Bauteile mit strukturierten Oberflächen heutzutage nicht mehr wegzudenken. Die Titanlegierung Ti6Al4V findet in vielen Branchen ein breites Anwendungsspektrum, beginnend mit Triebwerkskomponenten für die Luft- und Raumfahrt über Implantate in der Medizintechnik bis hin zu funktionalen und Designoberflächen für z. B. die Schmuckindustrie. Die derzeit verwendeten Strukturierungsverfahren (z. B. Ätzen, Laserabtrag) sind jedoch oftmals zeit- und/oder kostenintensiv und basieren auf einer Strukturierung durch Materialabtrag. Beide Verfahren erzeugen raue Oberflächen, die z. B. im hygienerelevanten oder Designbereich nur eingeschränkt eingesetzt werden können. Defizite liegen weiterhin häufig in den geringen Abtragraten.

### Verfahrensprinzip

Bei dem neu entwickelten Verfahren zur Laserumschmelzstrukturierung (LUST) wird ein Laserstrahl über das Werkstück geführt und schmilzt die Metalloberfläche lokal auf. Gleichzeitig wird die Laserleistung mit Frequenzen zwischen 10 - 100 Hz moduliert, so dass die Schmelzbadgröße kontinuierlich verändert wird. Durch die Modulation der Schmelzbadgröße wird das Material umverteilt, so dass Berge und Täler erzeugt werden: Die eine Hälfte der entstandenen Struktur liegt oberhalb ihres Ausgangsniveaus, die andere Hälfte darunter. Die Randschicht erstarrt direkt aus der Schmelze, so dass die Oberfläche neben der Strukturierung gleichzeitig poliert wird. Zur Erweiterung des Spektrums der mittels LUST bearbeitbaren Materialien (bisher nur 1.2343) werden im Rahmen des von der VW-Stiftung geförderten Projekts »WaveShape« systematische experimentelle Untersuchungen für Ti6Al4V durchgeführt.

### Ergebnis und Anwendungsfelder

Die Untersuchungen zeigen, dass sich Ti6Al4V grundsätzlich sehr gut zur Laserumschmelzstrukturierung eignet. Dabei wird anhand von Einzelspuren gezeigt, dass Strukturen mit einer Höhe von mehr als 20 µm durch einen einzigen Bearbeitungsschritt erzeugt werden können. Dies entspricht mehr als dem Vierfachen der Strukturhöhen, die mit vergleichbaren Verfahrensparametern auf dem Werkzeugstahl 1.2343 erzeugt werden können. Weiterhin zeigen die Untersuchungen, dass ebenso die Scangeschwindigkeit durch entsprechende Anpassung der Verfahrensparameter um einen Faktor 4 auf 200 mm/s gesteigert werden kann, so dass Bearbeitungszeiten von 30 s/cm<sup>2</sup> für ca. 200 µm hohe Strukturen ermöglicht werden. Das Verfahren eignet sich zur Erzeugung einer breiten Palette von aperiodischen (Bild 3) und periodischen Strukturen (Bild 4). Die strukturierten Oberflächen weisen dabei eine kleine Mikrorauheit ( $R_a < 0,1 \mu\text{m}$ ) auf. Anwendungsfelder für derartige Strukturen liegen u. a. in allen Bereichen, in denen neuartige funktionale Elemente (Strömung, Lichtstreuung) und Designelemente (Optik, Haptik) verwendet werden sollen.

Die Arbeiten wurden unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die vom Land NRW und der europäischen Union EFRE (»regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007 - 2013«) unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden.

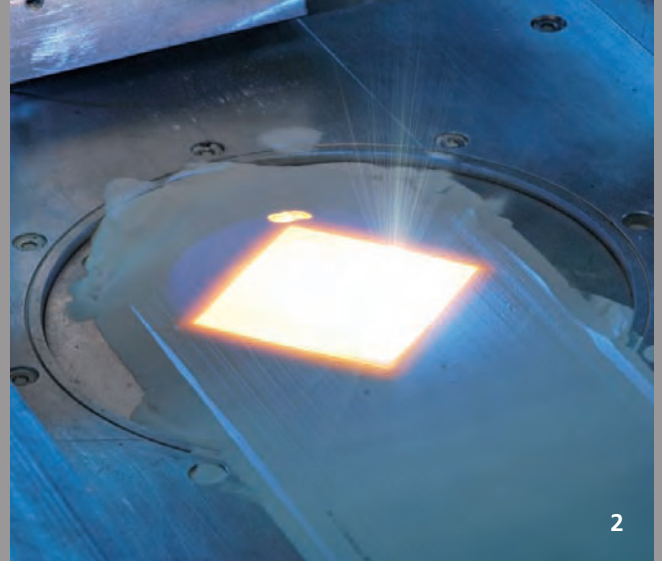
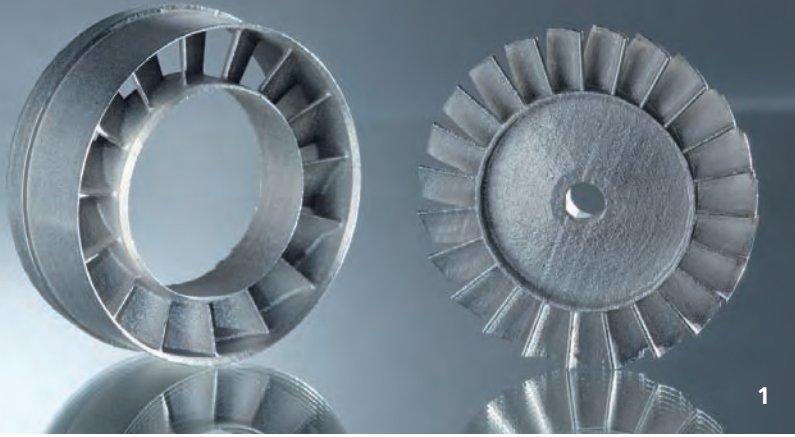
### Ansprechpartner

Dr. Dr. André Temmler  
 Telefon +49 241 8906-299  
 andre.temmler@ilt.fraunhofer.de

*Demonstrationsobjekt aus Ti6Al4V*

*3 ... mit aperiodischer Strukturierung (Ledernarbung).*

*4 ... mit verschiedenen periodischen Strukturen.*



## SLM VON NICKELBASIS-SUPERLEGIERUNGEN FÜR DEN TURBOMASCHINENBAU

### Aufgabenstellung

Angesichts der stetig voranschreitenden Ressourcenknappheit bei gleichzeitig wachsendem Energie- und Mobilitätsbedarf stehen Hersteller von Triebwerken und Turbinen für den Energie- und Aerospacektor vor wachsenden ökonomischen und ökologischen Herausforderungen. Die Möglichkeit, komplexe funktionsoptimierte Bauteile aus hochwarmfesten Nickelbasis-Superlegierungen wie MAR M-247 mittels Selective Laser Melting (SLM) herzustellen, bietet hier Potenzial für Optimierung. Die Aufgabenstellung besteht darin, den SLM-Prozess für die rissfreie Verarbeitung solcher Werkstoffe zu entwickeln.

### Vorgehensweise

Der Werkstoff MAR M-247 gilt als schwer schweißbar und ist daher nach aktuellem Stand der Technik nicht mittels SLM zu verarbeiten. Im Rahmen der marktorientierten Vorlaufforschung »NanoGen« werden Konzepte zur rissfreien Verarbeitung dieses Werkstoffs mittels SLM erarbeitet. Als ein vielversprechender Ansatz kristallisiert sich dabei die Verwendung einer Hochtemperatur-Vorheizung zur Reduzierung thermischer Gradienten und Spannungen während des SLM heraus.

### Ergebnis

Zur Verwirklichung der Hochtemperatur-Vorheizung wurde ein Anlagenkonzept mit induktiv beheizter Bauplattform erarbeitet. Dieser Ansatz ermöglicht Vorwärmtemperaturen von  $> 1200\text{ °C}$  unter einer Inertgasatmosphäre von  $< 10\text{ ppm}$  Sauerstoffanteil. Durch Verwendung dieses Anlagenkonzepts ist es gelungen, MAR M-247 rissfrei im Labormaßstab zu verarbeiten. Die veränderten Abkühlbedingungen erlauben darüber hinaus eine Vergrößerung der Werkstoffisotropie durch eine Reduzierung des gerichteten Kornwachstums. Weitere Arbeiten sollen mechanische Kennwerte der so hergestellten Proben sowie die Möglichkeit zur Generierung komplexer Strukturen mit Oberflächenqualitäten von  $Ra < 20\text{ }\mu\text{m}$  evaluieren.

### Anwendungsfelder

Komplexe Nickelbasis-Superlegierungen wie MAR M-247 finden vor allem im Bereich der Strahltriebwerke und des Turbomaschinenbaus für den Energie- und Aerospacektor Anwendung. Darüber hinaus ist ein Einsatz dieser Materialien für komplexe, gewichtsreduzierte Motorenkomponenten im Automobilbau möglich.

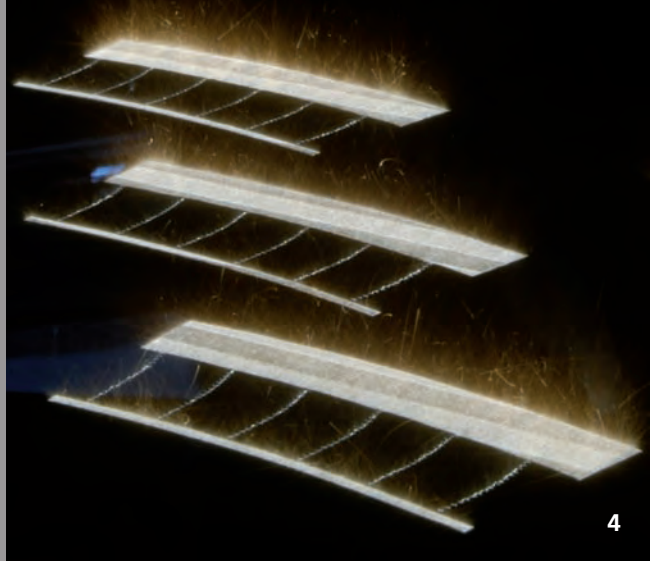
### Ansprechpartner

M.Sc. Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Yves-Christian Hagedorn  
 Telefon +49 241 8906-674  
[yves-christian.hagedorn@ilt.fraunhofer.de](mailto:yves-christian.hagedorn@ilt.fraunhofer.de)

Dr. Konrad Wissenbach  
 Telefon +49 241 8906-147  
[konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de](mailto:konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de)

1 Mikrogasturbine aus IN-718.

2 Prozessbild Hochtemperatur SLM.



## ADAPTIVE SLM-PROZESSFÜHRUNG

### Aufgabenstellung

Ein zentraler Aspekt bei der Entwicklung des SLM-Verfahrens für die Serienfertigung ist die Erhöhung der Produktivität. Eine Hürde stellt der Zielkonflikt zwischen hoher Oberflächenqualität und hoher Aufbaurrate dar. Ein Lösungsansatz ist durch die am Fraunhofer ILT entwickelte Hülle-Kern-Prozessführung gegeben. Das Bauteil wird geometrieabhängig in die Hüll- und Kern-Bereiche geteilt, denen verschiedene Verfahrensparameter zugeordnet werden. Im Hinblick auf die gesamte Prozesskette wird durch die Hülle-Kern-Prozessführung nicht die bestmögliche Lösung des Zielkonflikts erreicht. Passflächen, die nach dem SLM-Prozess eine spanende Nachbearbeitung erfahren, werden z. B. mit hoher Oberflächenqualität und geringer Aufbaurrate gefertigt. Folglich ist eine funktionsabhängige Bauteileinteilung unter Berücksichtigung der Nachbearbeitungsverfahren (z. B. hohe Aufbaurrate für Bereiche, die ohnehin spanend nachbearbeitet werden) erforderlich. Eine derartige Einteilung wird durch die adaptive Prozessführung ermöglicht. Daher ergibt sich die Aufgabenstellung, eine adaptive SLM-Prozessführung zu realisieren und die Einsparung der Prozesszeit zu quantifizieren.

### Vorgehensweise

Die Untersuchung zur adaptiven SLM-Prozessführung erfolgt anhand eines zweireihigen Leitschaufelclusters am Werkstoff Inconel IN718 im Rahmen des Innovationsclusters AdaM. In einem ersten Schritt werden Verfahrensparameter für die jeweiligen Bereiche der adaptiven SLM-Prozessführung ermittelt.

In einem zweiten Schritt wird das Leitschaufelcluster mit der konventionellen, der Hülle-Kern- sowie der adaptiven Prozessführung gefertigt und die Prozesszeiten werden bestimmt.

### Ergebnis

Im Ergebnis wurden Verfahrensparameter ermittelt, die sowohl für die jeweiligen Bereiche der adaptiven SLM-Prozessführung als auch für den Übergang zwischen diesen Bereichen eine Dichte von  $\rho \geq 99,5$  Prozent ergeben. Bei der Fertigung des Leitschaufelclusters wird durch die adaptive SLM-Prozessführung die Prozesszeit im Vergleich zur konventionellen Prozessführung um den Faktor 1,9 und zur Hülle-Kern-Prozessführung um den Faktor 1,6 reduziert.

### Anwendungsfelder

Die aktuellen Forschungen zur adaptiven Prozessführung adressieren den Turbomaschinenbau und sind auf andere Branchen der Serienfertigung (z. B. Automobilindustrie) übertragbar.

Der Fraunhofer-Innovationscluster »AdaM« wird gefördert durch Europäische Fonds für regionale Entwicklung (EFRE): »Investition in unsere Zukunft«.

### Ansprechpartner

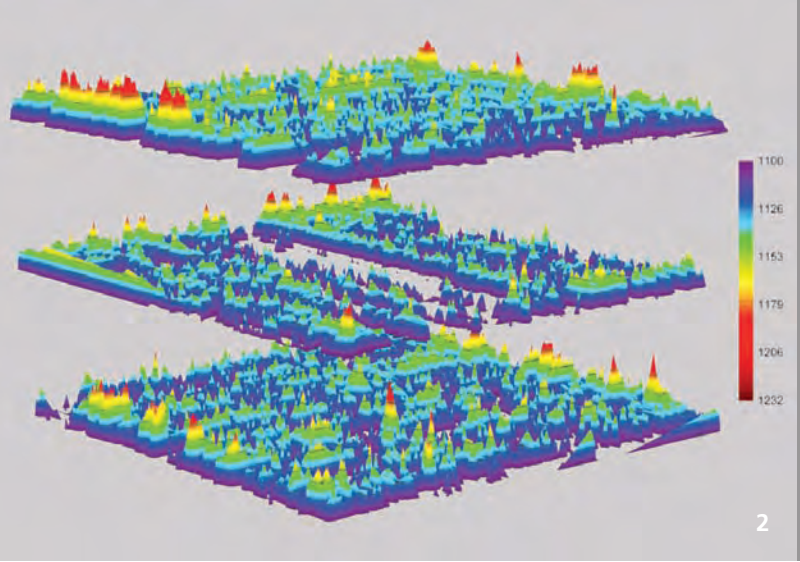
Dipl.-Ing. Anders Such  
Telefon +49 241 8906-511  
anders.such@ilt.fraunhofer.de

Dr. Wilhelm Meiners  
Telefon +49 241 8906-301  
wilhelm.meiners@ilt.fraunhofer.de

3 SLM-gefertigtes Leitschaufelcluster.

4 SLM-Fertigung von Leitschaufelclustern.





## QUALITÄTSKONTROLLE BEIM SLM MITTELS SIGNAL- ERFASSUNG AUS DER WECHSELWIRKUNGSZONE

### Aufgabenstellung

Qualitätskontrolle ist eines der wichtigsten Forschungsthemen bei dem additiven Fertigungsverfahren Selective Laser Melting (SLM), da eines der wesentlichen Hindernisse für eine breite Einführung des Verfahrens in die Serienproduktion die unzureichende Erfassung von Fertigungsfehlern und Defekten ist. Eine vollständige zerstörungsfreie Untersuchung eines SLM-Bauteils nach der Herstellung ist oft nicht möglich. Deshalb wird eine in situ Qualitätskontrolle angestrebt. Ein erster Schritt ist die Entwicklung geeigneter Messmethoden für die Prozessbeobachtung, wobei das Verhalten der Schmelze während des Prozesses erfasst werden soll. Dazu werden Untersuchungen zur Erfassung der Wärmestrahlung aus der Laser/Werkstoff-Wechselwirkungszone mittels Pyrometrie durchgeführt.

### Vorgehensweise

Die eingesetzte Prozessbeobachtungseinheit wird näher beschrieben im Beitrag »Ortsaufgelöste Hochgeschwindigkeitspyrometrie für das Selective Laser Melting«. Bei den Pyrometrieuntersuchungen wird die Wärmestrahlung der Schmelze von zwei Pyrometern registriert, die Messfelder dieser Pyrometer können gegeneinander und gegenüber der Schmelzbadposition bis auf 20 µm genau ausgerichtet

werden. Das ermöglicht nicht nur die koaxiale Detektion der Wärmestrahlung, sondern auch die Detektion an versetzten Positionen, die zur Feststellung der Defekte optimiert werden können. Zum Beispiel reduzieren Messungen knapp hinter dem Schmelzbad die Signalstörungen, die durch Schmelzbewegungen verursacht werden. Der Einsatz von zwei Pyrometern ermöglicht weiterhin die Korrelation der jeweiligen Messungen gegeneinander zur besseren Detektion der Defekte. Zur Prüfung der Eignung des Systems werden Bauteile mit provozierten Defekten aufgebaut.

### Ergebnis

Simulierte Fehlstellen mit Abmessungen > 100 µm können durch die Darstellung der Pyrometriesignale in einer Temperaturlandkarte detektiert werden (Bild 2). Durch Fourier-Analyse der Pyrometerdaten konnte ebenfalls zwischen einer Probe hoher Dichte (> 99,5 %) und einer Probe geringerer Dichte (> 88 %) unterschieden werden, obwohl die geringere Dichte durch viele kleine (10 - 30 µm) nicht einzeln auflösbare Poren verursacht wurde.

### Anwendungsfelder

Ein System zur Prozessbeobachtung ist grundsätzlich für das SLM-Verfahren in allen Anwendungsbereichen vorteilhaft einsetzbar.

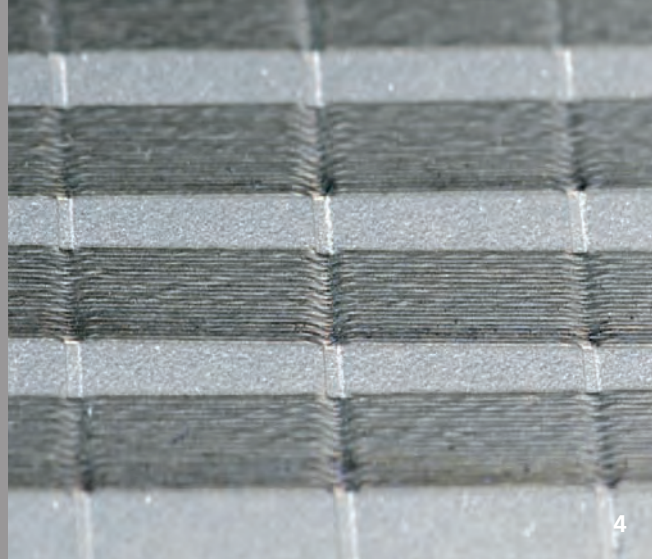
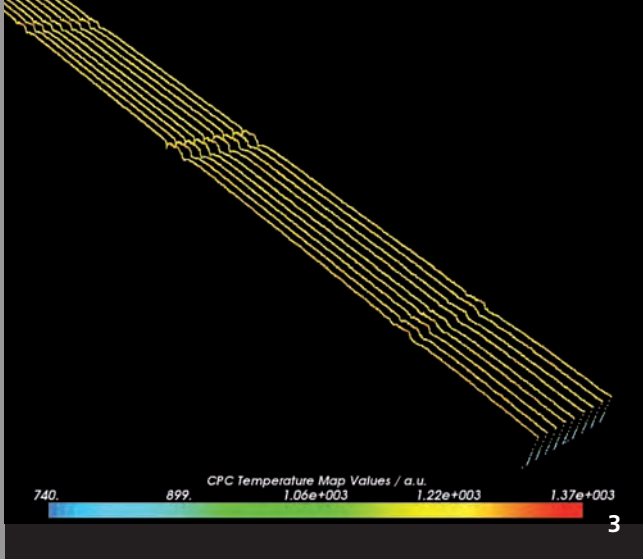
Die Arbeiten wurden innerhalb des Projekts »Genergie« der Förderinitiative »KMU-innovativ« des BMBF gefördert.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Andrei Diatlov  
Telefon +49 241 8906-608  
andrei.diatlov@ilt.fraunhofer.de

1 Messaufbau.

2 Temperaturlandkarte.



## ORTSAUFGELOSTE HOCHGESCHWINDIGKEITS- PYROMETRIE FÜR DAS SELECTIVE LASER MELTING

### Aufgabenstellung

In der Produktion individueller Bauteile gewinnen generative Fertigungsverfahren stetig an Bedeutung. Sie erlauben die Herstellung von Produkten mit geometrischen Eigenschaften, die sich ohne Mehraufwand von Bauteil zu Bauteil unterscheiden können. In diesem Feld realisiert das Selective Laser Melting (SLM) ein Verfahren zum lagenbasierten Aufbau mittels selektivem Schmelzen des Grundwerkstoffs aus einem Pulverbett. Die Qualität des gefertigten Bauteils resultiert vor allem aus einem störungsfreien Prozessverlauf. Dieser wird wesentlich von der Prozesstemperatur bestimmt, die sich aus der Wechselwirkung des Lasers mit dem Pulverbett ergibt.

### Vorgehensweise

In einem typischen SLM-System wird der Laserstrahl der Bauteilgeometrie entsprechend mit einem Scannersystem im Bauraum positioniert. Das Aufschmelzen des Pulvers erfolgt mittels Laserstrahlung und führt zu einem Schmelzbad, dessen emittierte Wärmestrahlung detektiert werden kann.

Die koaxiale Kopplung eines Hochgeschwindigkeitspyrometers mit dem Scannersystem erlaubt die in-situ Detektion der Prozessemission. Dabei wird die vom Schmelzbad emittierte Strahlung auf dem gleichen optischen Pfad wie die Bearbeitungsstrahlung über die Scannerspiegel zum Pyrometer geführt. Über die Zuordnung des Messwerts zum Ort der Emission lässt sich eine »Landkarte« erstellen, welche den Temperaturverlauf örtlich wiedergibt.

### Ergebnis

Die implementierte Prozesssensorik erlaubt die Aufnahme von Temperaturlandkarten während der Bearbeitung, welche die jeweilige Emission des Schmelzbaus zum Ort der Bearbeitung korreliert. Bei typischen Aufnahmezeiten von 100 kHz ergeben sich selbst bei hohen Scangeschwindigkeiten Ortsauflösungen unterhalb des Durchmessers des Laserfokus. Dies ermöglicht eine quasi lückenlose Überwachung der Prozesstemperatur und dient damit der Verfolgung des Prozessverlaufs. Mittels geeigneter Signalverarbeitung können auf Basis dieser Daten eine Vielzahl von Informationen über den Prozessverlauf gewonnen werden.

### Anwendungsfelder

Das System findet Anwendung bei der Prozesskontrolle in der generativen Fertigung von Bauteilen, die mittels Laserstrahlung aus dem Pulverbett erzeugt werden.

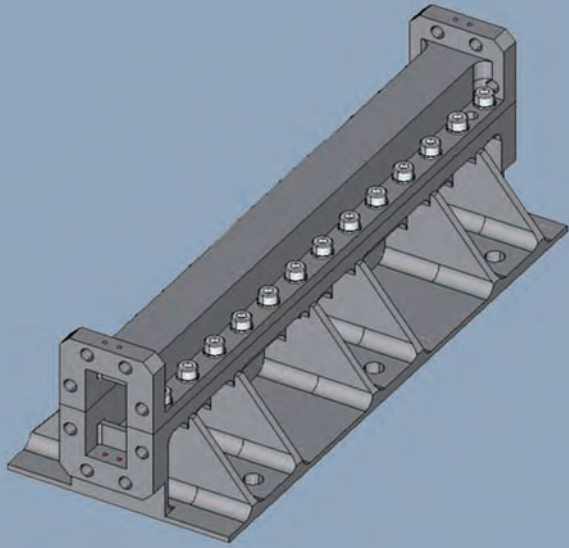
### Ansprechpartner

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

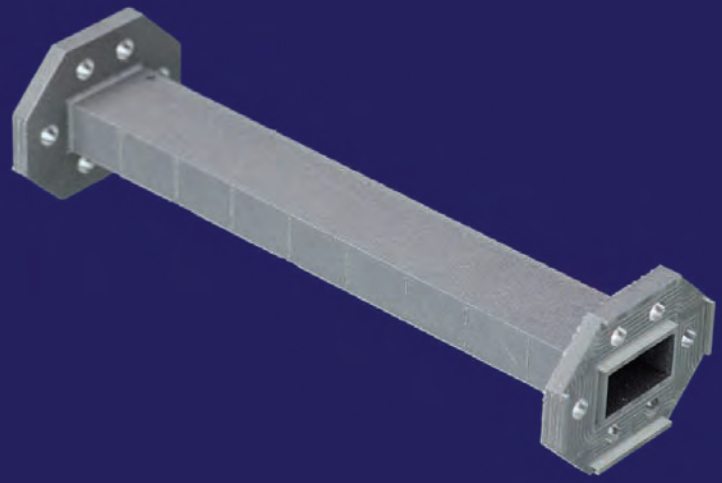
Dipl.-Ing. Peter Abels  
Telefon +49 241 8906-428  
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

3 Emissionslandkarte.

4 Inconel Probe mit Pulverauftrag.



1



2

## HERSTELLUNG VON ANTENNENKOMPONENTEN FÜR SATELLITEN AUS ALSI10MG MITTELS SLM

### Aufgabenstellung

Aluminiumhohlleiter werden aufgrund ihres günstigen Gewichts-/Festigkeitsverhältnisses zusammen mit den guten elektrischen und thermischen Eigenschaften in Satellitenantennen eingesetzt. Die Kosten für den Transport des Satelliten in den Weltraum hängen maßgeblich von dessen Gewicht ab. Die eigentliche funktionale Geometrie, die zur Leitung der elektromagnetischen Wellen benötigt wird, beschränkt sich normalerweise auf ein dünnwandiges (< 1 mm) Hohlprofil. Dennoch weisen die bisher gefertigten Komponenten häufig massive Verbindungsstrukturen auf, die ausschließlich aufgrund der bisher verfügbaren Fertigungstechniken erforderlich sind, da diese keine monolithische Herstellung ermöglichen. Durch Realisierung dieser Hohlleitergeometrie ohne Verbindungselemente mittels SLM soll das Gewicht reduziert werden bei gleichzeitigem Erhalt der Rauheit, Maß- und Formgenauigkeit und der elektrischen Kennwerte.

### Vorgehensweise

Grundlegende Untersuchungen zur Oberflächenqualität, Form- und Maßgenauigkeit und dem Zusammenhang zwischen Rauheit und elektrischen Kennwerten der Hohlleiterbauteile fanden statt. Die Verarbeitung von AlSi10Mg bei High-Power (bis zu 1 kW) und High-Speed (bis zu 5000 mm/s) SLM-Prozessen wurde zum ersten Mal untersucht. Dabei wurden beginnend mit Einzelspuren bis zu komplexen

Bauteilen alle Schritte des SLM Prozesses für AlSi10Mg studiert. Untersuchungen zur Form- und Maßgenauigkeit und deren Abhängigkeit von einer Vorheiztemperatur als auch Untersuchungen verschiedener Aufbaustrategien (z. B. Bauteilorientierung) von diversen gewichtsreduzierten Bauteilgeometrien wurden durchgeführt.

### Ergebnis

Durch Realisierung einer gewichtsreduzierten Geometrie mittels SLM konnte das Gewicht der Hohlleiter um bis zu 60 Prozent gegenüber der konventionellen Geometrie reduziert werden. Die momentan mit SLM mögliche Oberflächenrauheit ist größer als die mit den konventionellen Verfahren erreichbare. Es konnte allerdings gezeigt werden, dass die Rauheit kein Maß für elektrische Kennwerte ist wie bisher angenommen wurde, denn die elektrischen Kennwerte der SLM- und konventionell hergestellten Hohlleiter sind weitgehend identisch.

### Anwendungsfelder

SLM kann im höchst anspruchsvollen Ka-Band zur Herstellung von kurzen Verbindungsstücken verwendet werden. Die unzureichende Formgenauigkeit verhindert zurzeit noch den breiteren Einsatz in der Satellitentechnik.

Die Arbeiten wurden unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die vom Land NRW und der Europäischen Union EFRE (»Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007-2013«) unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden. Die Arbeiten wurden im BMBF-Vorhaben »GenSat« durchgeführt.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Andrei Diatlov  
Telefon +49 241 8906-608  
andrei.diatlov@ilt.fraunhofer.de

1 Konventionell hergestellter Hohlleiter (Quelle: TESAT).

2 Mit SLM hergestellter Hohlleiter.



## FUNKTIONSINTEGRIERTER RIM-SUPPORT MIT INTERNER GITTERSTRUKTUR

### Aufgabenstellung

Konventionelle Fertigungsverfahren können den steigenden hohen Anforderungen an Funktionsbauteile nur noch bedingt gerecht werden. Generative Fertigungsverfahren wie das Selective Laser Melting (SLM) bieten die einzigartige Möglichkeit, komplexe Bauteile ressourceneffizient aufzubauen. Konventionell wird der Rim-Support aus vier verschiedenen Einzelteilen mittels Aluminium-Druckguss hergestellt und dann in einem weiteren Fertigungsschritt verschweißt. Beim Verbinden der Einzelteile tritt durch die Wärmeeinbringung Verzug auf. Ziel ist es, den Rim-Support mit interner Gitterstruktur als funktionsintegriertes Bauteil steifer und leichter auszuliegen und mittels SLM verzugsfrei aufzubauen.

### Vorgehensweise

Zur Neuauslegung des Rim-Supports ist es erforderlich, die mechanischen Eigenschaften von generativ gefertigten Gitterstrukturen zu quantifizieren. Dazu werden einzelne Gitterstrukturen mit unterschiedlichen Einheitszellen aufgebaut und nach DIN 50134 Kompressionstests durchgeführt. Eine f2ccz-Gitterstruktur wird in das konventionelle Design des Rim-Supports integriert. Die Einzelteile des Bauteils werden zu einem Bauteil zusammengefasst. Zur Entfernung des Pulvers in den Gitter-Hohlräumen werden an zwei Seiten Öffnungen platziert. Das innovative Bauteildesign wird auf einer EOS M270 mit einer Laserleistung von 195 W aus AlSi10Mg-Pulver mittels SLM aufgebaut. Eine anschließende Wärmebehandlung steigert die Festigkeit des Grundmaterials.

### Ergebnis

Kompressionstests nach DIN 50134 zeigen, dass sich ein f2ccz-Gittertyp belastungs- und fertigungstechnisch ideal für die Anwendung im Rim-Support eignet. Durch den anisotropen Charakter des f2ccz-Gitters kann in Belastungsrichtung eine höhere Steifigkeit (Faktor 2) erzielt werden. Der Rim-Support kann verzugsfrei in einem Bauteil aufgebaut werden und 50 Prozent Gewicht gegenüber dem konventionellen Design eingespart werden. Durch einen erfolgreich absolvierten Renneinsatz beim Formula Student Wettbewerb hat sich der Rim-Support unter Einsatzbedingungen behauptet.

### Anwendungsfelder

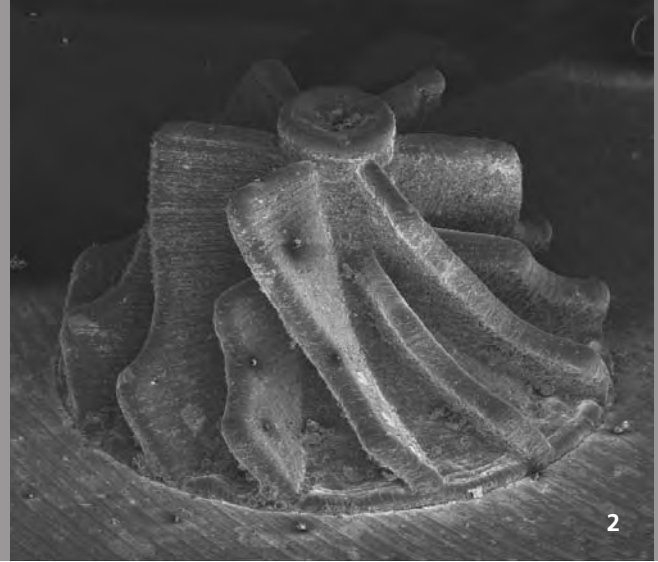
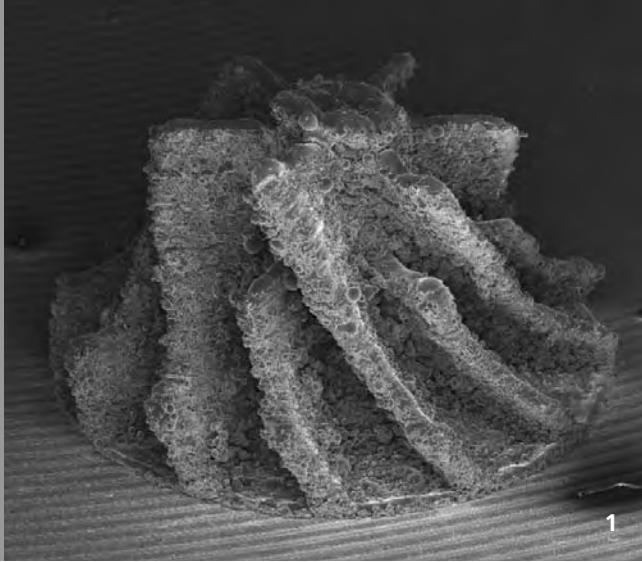
Wesentliche Anwendungsfelder sind die Branchen Luft- und Raumfahrt, Automobil und Medizintechnik.

### Ansprechpartner

Dipl.-Wirt.-Ing. Simon Jens Merkt  
Telefon +49 241 8906-658  
simon.merkt@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Christian Hinke  
Telefon +49 241 8906-352  
christian.hinke@ilt.fraunhofer

- 3 Blick ins Radlager des »Formula Student«-Rennwagens mit eingebautem Rim-Support.  
4 Mittels SLM aufgebauter Rim-Support mit interner Gitterstruktur.



## ADDITIVE FERTIGUNG VON MIKROSTRUKTUREN MIT SLM

### Aufgabenstellung

Um die industrielle Anwendungsbreite des SLM als Fertigungsverfahren zu erweitern, ist eine stetige Weiterentwicklung des Prozesses notwendig. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojekts »MikroGen« soll das SLM zur Herstellung mikrotechnischer Bauteile mit Strukturgrößen kleiner 100  $\mu\text{m}$  entwickelt werden. Die herstellbare Strukturgröße und die erreichbare Oberflächenqualität hängen neben der Kornfraktion des Pulverwerkstoffs und dessen prozesssicherem Auftrag auch maßgeblich von den Schichtdicken und der Größe des fokussierten Laserstrahls ab. Beim SLM ergeben sich prozessbedingt Oberflächenrauheitswerte ( $S_a$  ca. 10 - 30  $\mu\text{m}$ ), die die erzielbare Detailauflösung einschränken. Diese Aspekte machen eine neue Prozessführung erforderlich, die die Verbesserung der Oberflächenqualität und damit der Detailauflösung ermöglicht.

### Vorgehensweise

Um das Ziel zu erreichen Mikrostrukturen herzustellen, wird eine Prozessführung mit diskontinuierlicher Energieeinbringung angewendet. Durch den diskontinuierlichen Energieeintrag in Form einer pulsformigen Leistungsmodulation kann die Schmelze während der Pulspause erstarren.

1 Radialverdichter, hergestellt mit kontinuierlicher (cw) Energiezufuhr.

2 Radialverdichter, hergestellt mit diskontinuierlicher (gepulst) Energiezufuhr.

Damit wiederum wird eine Reduzierung der Fluktuationen der Schmelzbadgröße erreicht, was zu einer Reduzierung der Oberflächenrauheit führt. Zusätzlich ergibt sich an den Außenflächen des Bauteils eine Reduktion der Menge der anhaftenden Pulverpartikel.

### Ergebnis

Durch die diskontinuierliche Energieeinbringung können die Oberflächenrauheit und damit auch die Detailauflösung sowie die Formgenauigkeit von mikroskaligen SLM-Bauteilen verbessert werden ( $S_a$  ca. 1 - 2  $\mu\text{m}$ ). Durch diese Prozessführung können sowohl Mikrobauteile als auch Makrobauteile mit lokalen Mikrostrukturen aufgebaut werden, die Strukturgrößen kleiner 100  $\mu\text{m}$  mit entsprechender Detailauflösung, Form-/Konturtreue und verbesserter Oberflächenqualität aufweisen.

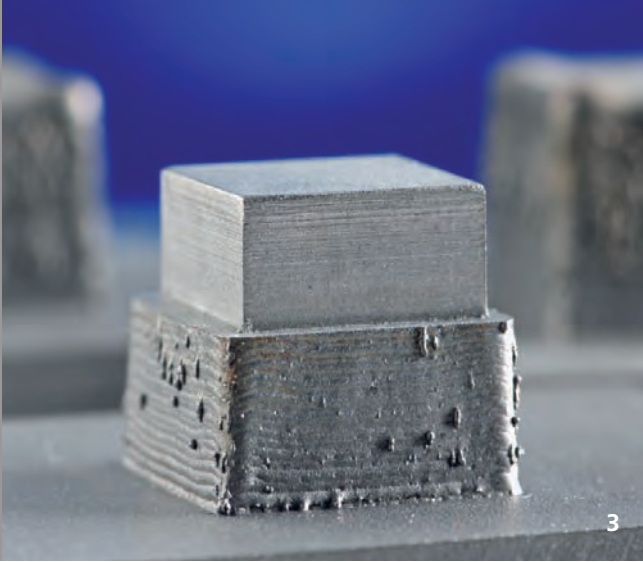
### Anwendungsfelder

Die Erweiterung des Verfahrens zur Realisierung von Strukturgrößen  $\leq 100 \mu\text{m}$  bedeutet eine Vergrößerung des Anwendungspotenzials des SLM-Verfahrens. Dadurch können in verschiedenen Branchen, z. B. Medizintechnik, Elektrotechnik und optischen Technologien, u. a. in der Anwendung für Mikrokanalwärmesenken (MKWS), neue Anwendungsfelder für das SLM erschlossen werden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Rui João Santos Batista  
Telefon +49 241 8906-203  
rui.santos.batista@ilt.fraunhofer.de

Dr. Wilhelm Meiners  
Telefon +49 241 8906-301  
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



## LASERBASIERTE ADDITIVE FERTIGUNG MIT EISEN-ALUMINID-LEGIERUNGEN

### Aufgabenstellung

Das Interesse an Eisenaluminid-Legierungen als Konstruktionswerkstoff für den Leichtbau stieg aufgrund der zahlreichen Vorteile dieses Materials in den vergangenen Jahren stark an. Die geringe Dichte, die Oxidationsbeständigkeit, die Beständigkeit gegen Heißkorrosion sowie der geringe Anteil an strategischen Elementen sind maßgebliche Motivation, Hochtemperaturstähle durch Fe-Al-Legierungen zu ersetzen. Die geringe Duktilität und die geringe Kriechfestigkeit stehen einer breiten Anwendung jedoch noch im Wege. Aus verfahrenstechnischer Sicht bieten additive Laserverfahren durch hohe Abkühlraten die Möglichkeit, kornfeinend auf das Gefüge der Bauteile zu wirken, um so die gewünschten Eigenschaften zu erreichen. Erstes Ziel in dem vom BMBF geförderten Verbundprojekt RADIKAL ist die Überprüfung der Verarbeitbarkeit einer binären Fe-Al-Legierung. Hierfür werden einfache Volumenkörper aufgebaut und auf Dichte und Risse untersucht.

### Vorgehensweise

Erste Versuche werden mit der binären Fe-28at.%Al-Legierung durchgeführt. Diese wird mittels Laser Metal Deposition (LMD) und Selective Laser Melting (SLM) verarbeitet. Ziel ist die Herstellung porenarmer und rissfreier Volumenkörper.

### Ergebnis

Die gewählte Legierung lässt sich zu rissfreien und porenarmen Volumenkörpern verarbeiten. Beim SLM wird eine Dichte > 99,9 Prozent und beim LMD > 99,5 Prozent erreicht. Risse werden durch Vorheizung (100 - 200 °C) vermieden. Erste mechanische Tests haben gezeigt, dass im Vergleich zu gegossenen Proben SLM-Prüfkörper eine höhere Festigkeit aufweisen. Eine Kornfeinung konnte durch Anpassung der Verfahrensparameter nicht erreicht werden. Die erzielten Ergebnisse bilden jedoch die Grundlagen für die Verarbeitung von z. B. ternären Legierungen, die durch ein weiteres Legierungselement kornfeinende Ausscheidungen bilden und so für zukünftige Anwendungen von größerem Interesse sind.

### Anwendungsfelder

Zukünftige Anwendungen von Fe-Al-Legierungen liegen in mechanisch, chemisch, thermisch und korrosiv hochbelasteten Bauteilen. Beispiele sind in Turbintriebwerken, in Aggregaten zur Energieumwandlung oder in der Luft- und Raumfahrt zu finden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Gesa Rolink  
Telefon +49 241 8906-365  
gesa.rolink@ilt.fraunhofer.de

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

- 3 LMD-Volumenkörper aus Fe-28At.%Al.  
4 Mit SLM gefertigte Volumenkörper einer Fe-Al-Legierung.



## BESCHICHTEN DURCH EXTREMES HOCHGESCHWINDIGKEITS- LASERAUFTRAGSCHWEISSEN

### Aufgabenstellung

Der Verschleiß- und Korrosionsschutz von großen, hochwertigen Komponenten der produzierenden Industrie gewinnt unter wirtschaftlichen als auch ökologischen Gesichtspunkten und stetig steigenden Forderungen der Absatzmärkte nach innovativen Produkten mit größerer Leistungsdichte und Funktionsvielfalt zunehmend an Bedeutung. Das Laserauftragsschweißen (LA) konnte sich für diesen Anwendungsbereich bis dato nur für einzelne Applikationen etablieren. Mit LA können hochqualitative, poren- und rissfreie Schichten mit metallurgischer Anbindung und geringer Aufmischung aus einer großen Werkstoffpalette hergestellt werden, jedoch sind typische Schichtdicken ( $> 500 \mu\text{m}$ ) für den Verschleiß- und Korrosionsschutz häufig zu groß und erzielbare Flächenraten im Bereich von  $10 - 40 \text{ cm}^2/\text{min}$  für großflächige Beschichtungen deutlich zu gering.

### Vorgehensweise

Vor diesem Hintergrund wird am Fraunhofer ILT das extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragsschweißen (EHLA) als neue Variante des LA im Schichtdickenbereich von  $10 - 300 \mu\text{m}$  und Flächenraten  $> 250 \text{ cm}^2/\text{min}$  entwickelt. Das Vorgehen besteht darin, eine deutliche Vergrößerung der erzielbaren Prozess-

geschwindigkeit beim LA dadurch zu erreichen, dass der pulverförmige Zusatzwerkstoff mit einer coaxialen Pulverdüse bereits oberhalb des von der Laserstrahlung erzeugten Schmelzbads in den Laserstrahl geführt und auf eine Temperatur möglichst nahe der Schmelztemperatur erhitzt wird, bevor dieser in das Schmelzbad gelangt. Da der Verlust des Wärmestroms durch den Temperaturausgleich zwischen Pulverpartikeln und Schmelzbad verringert wird, wird die Zeit zum Aufschmelzen der Pulverpartikel im Schmelzbad gesenkt – dies wiederum verringert die Zeit, die für die Schichtbildung notwendig ist. Die dafür erforderlichen großen Vorschubgeschwindigkeiten im Bereich von  $10 - 500 \text{ m}/\text{min}$  werden durch Rotation der Bauteile realisiert.

### Ergebnis

Mit dem EHLA-Verfahren wurde mit einer Flächenrate von ca.  $250 \text{ cm}^2/\text{min}$  erfolgreich eine ca.  $100 \mu\text{m}$  dicke Verschleiß- und Korrosionsschutzschicht (WC/IN 625) auf eine Bremscheibe aus Gusseisen mit Lamellengraphit aufgetragen.

### Anwendungsfelder

Im Vordergrund steht die Entwicklung des EHLA-Verfahrens für die Beschichtung großer, rotationssymmetrischer Bauteile zum Schutz gegen Korrosion, Abrasiv- und Adhäsivverschleiß, beispielsweise für Hydraulik- oder Oilfield-Komponenten.

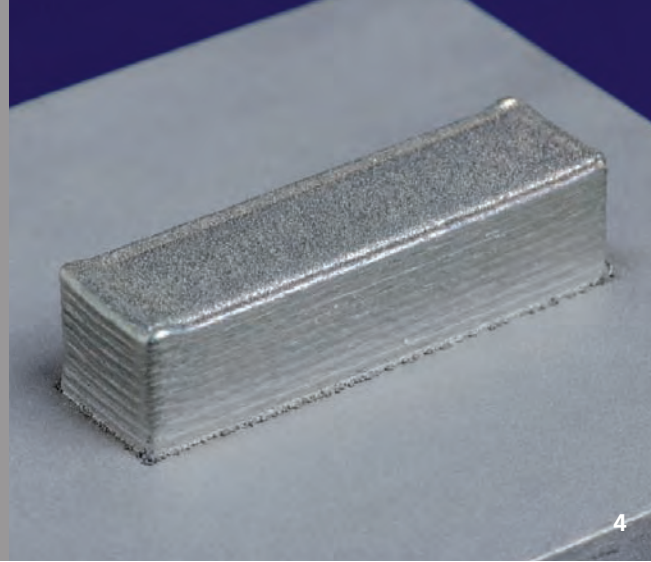
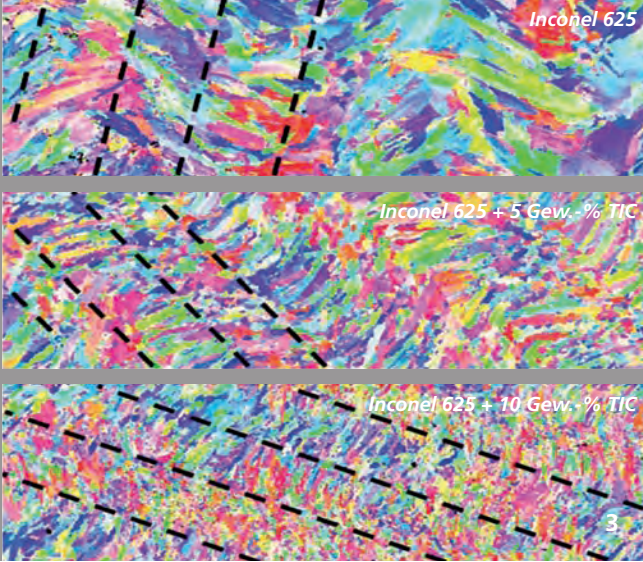
### Ansprechpartner

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

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

1 Für den Verschleiß- und Korrosionsschutz beschichtete Bremscheibe.

2 Extremes Hochgeschwindigkeits-Laserauftragsschweißen einer Welle.



## LASERAUFTRAGSCHWEISSEN VON MIKRO-PARTIKULÄREN METALLMATRIX-VERBUND- WERKSTOFFEN

### Aufgabenstellung

Mikro-partikuläre Zusätze von keramischen Hartstoffphasen in einer Metallmatrix können sowohl zur Reduzierung von abrasivem und adhäsivem Verschleiß als auch zur Verbesserung der statischen mechanischen Festigkeitseigenschaften beitragen. Für Einsatztemperaturen  $> 400\text{ °C}$  werden häufig Nickelbasis-Legierungen, z. B. Inconel 625, eingesetzt. Entscheidend für die Eigenschaften von partikulärverstärkten Verbundwerkstoffen sind eine homogene Verteilung im Matrixwerkstoff und eine exakte örtliche und zeitliche Steuerung der Energiezufuhr und des Zusatzwerkstoffs. Diese Anforderungen können durch Laserauftragschweißen realisiert werden.

### Vorgehensweise

Um den Einfluss des Gehalts von TiC-Partikeln im Mikrometerbereich in der Metallmatrix von Inconel 625 (IN 625) auf die mechanischen Eigenschaften zu untersuchen, werden Pulvermischungen mit unterschiedlichen TiC-Gehalten (2,5, 5, 10 Gew.-Prozent) durch mechanisches Legieren hergestellt. Zugproben werden mit an den TiC-Gehalten angepassten Verfahrensparametern auftragsgeschweißt und metallographisch analysiert. Anschließend werden die Zugproben bei Raumtemperatur und bei  $600\text{ °C}$  geprüft.

### Ergebnis

Ein zunehmender TiC-Gehalt in der IN 625-Matrix führt zu einer Steigerung der Härte auf 410 HV 0,3 bei 10 Gew.-Prozent TiC (260 HV 0,3 ohne TiC-Zusatz). Die Dehngrenze  $R_p 0,2$  steigt im selben Intervall von ca. 660 MPa auf ca. 940 MPa an. Die maximale Zugfestigkeit  $R_m$  wird mit 10 Gew.-Prozent TiC erreicht und beträgt 1270 MPa, gleichzeitig wurde mit zunehmendem TiC-Gehalt eine Kornfeinung des Gefüges festgestellt (vgl. Bild 3). Der Effekt der Kornfeinung bleibt auch bei einer Betriebstemperatur von  $600\text{ °C}$  erhalten. Die Bruchdehnung nimmt tendenziell mit vergrößertem TiC-Anteil ab. Die Proben mit 10 Gew.-Prozent Titankarbid weisen eine signifikant reduzierte Bruchdehnung  $A$  von 3 Prozent auf.

### Anwendungsfelder

Partikulär verstärkte Metallmatrix-Verbundwerkstoffe können in der Luft- und Raumfahrtindustrie sowie dem Energiesektor für die Reparatur und Fertigung hochbelasteter Bauteile eingesetzt werden, die im Betrieb große Temperaturen erfahren. Beispielsweise könnte die Festigkeit, die Verschleißbeständigkeit und die Kriechbeständigkeit von Turbinenbauteilen verbessert werden.

Die Arbeiten werden im Rahmen des Sino-German Research Projekts »nPR MMC by LMD« gefördert.

### Ansprechpartner

M.Sc. Chen Hong  
Telefon +49 241 8906-8025  
chen.hong@ilt.fraunhofer.de

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

3 EBSD-Aufnahmen von Gefügestrukturen von IN 625 bei unterschiedlichen TiC-Gehalten.

4 3D-Volumen für Zugproben.





1



2

## METHODIKENTWICKLUNG ZUM AUFTRAGSCHWEISSEN VON SCHAUFELSPITZEN

### Aufgabenstellung

Im Betrieb unterliegen Turbinen- und Kompressorschaukeln einem Verschleiß, welcher durch den Materialabtrag an der Schaufelspitze die Operationsdauer des Bauteils begrenzt. Mit dem Laserauftragschweißen (LA) steht ein Reparaturverfahren zur Verfügung, um das abgetragene Volumen wieder aufzubauen, wobei die Entwicklung eines solchen LA-Prozesses mit einem hohen experimentellen Aufwand verbunden ist. Am Fraunhofer ILT wurde im Rahmen des Innovationsclusters »TurPro« eine Methodik für das LA von Schaufelspitzen entwickelt, welche die Reparatur ähnlicher Schaufelspitzen ohne zusätzliche Prozessentwicklung ermöglicht.

### Vorgehensweise

Die LA-Parameterentwicklung wird durch Einzelversuche auf Stegen mit unterschiedlichen Breiten durchgeführt. Dazu werden an die jeweilige Stegbreite angepasste Parameter ermittelt. Das Verhalten des Prozesses im Bereich der Ein- und Austrittskanten wird mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitskameraaufnahmen sowie numerischer Simulation untersucht. Es werden Strategien entwickelt, um z. B. das Abschmelzen dieser Kanten zu vermeiden.

1 Mit der entwickelten Methodik reparierte Musterschaufelgeometrien.

2 Detail einer Musterschaufelspitze nach Laserauftrag.

Die auf den Stegen ermittelten Ergebnisse werden aufbereitet und auf drei Musterschaufeln aus Inconel 718 übertragen und erprobt. Dabei wird die Geometrie der Schaufelspitzen mittels eines Laser-Linienscanners erfasst und aus den Daten eine Mittelpunktsbahn auf der Schaufelspitze berechnet. Aus dieser und den ermittelten Parametern wird ein NC-Programm, in welchem bezüglich der lokalen Schaufelbreite Laserleistungen und Strahldurchmesser angepasst sind, erstellt. Die Anpassung des Strahldurchmessers während des Prozesses wird dabei durch eine Optik von TRUMPF realisiert, welche es ermöglicht, wegabhängig die Spurbreite zu verändern.

### Ergebnis

Mit der entwickelten Methodik können LA-Parameter von Stegen auf Schaufeln übertragen und die Parametersätze für die drei Schaufelvarianten bestimmt werden.

### Anwendungsfelder

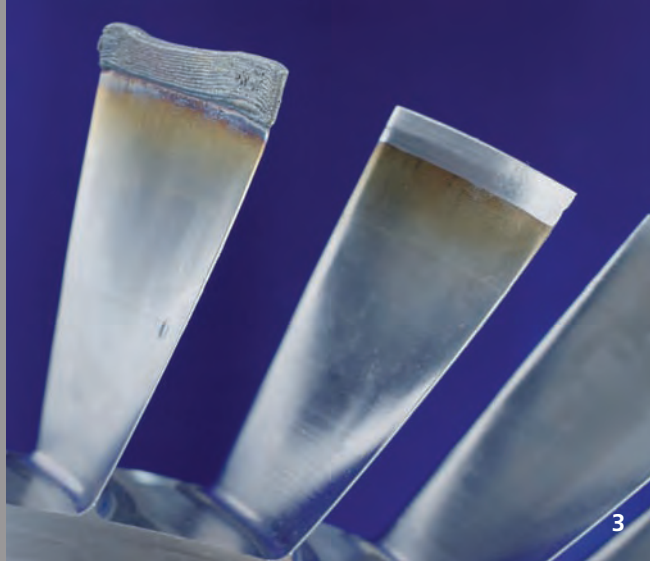
Die entwickelte Methodik ist auf eine Vielzahl von Schaufeltypen (Luftfahrt & Energieerzeugung) und weitere Werkstoffe übertragbar.

Mit freundlicher Genehmigung der TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH.

### Ansprechpartner

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

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



## ENTWICKLUNG EINES »TECHNOLOGIEPROZESSORS« ZUM LASERAUFTRAGSCHWEISSEN

### Aufgabenstellung

Für die Entwicklung eines Reparaturprozesses zur Schaufelspitzenreparatur durch Laserauftragschweißen (LA) muss die Geometrie und die Werkstoffkombination (Substrat und Zusatzwerkstoff) berücksichtigt werden. Der Transfer dieses Prozesses auf eine andere Schaufelgeometrie mit einer anderen Werkstoffkombination erfordert in der Regel einen großen experimentellen Entwicklungsaufwand. Um diesen zu reduzieren, wird im Rahmen des Fraunhofer Innovationsclusters AdaM ein »Technologieprozessor« entwickelt. Dieser basiert auf einer Datenbank, einem Simulationstool für das LA und bauteilspezifischen Prozessstrategien, die nur noch eine Feinabstimmung der Verfahrensparameter erfordern. Für die Datenbank werden experimentelle Untersuchungen an Eisen- und Nickelbasislegierungen an verschiedenen Geometrien durchgeführt. Im Folgenden werden erste experimentelle Ergebnisse für den Eisenbasiswerkstoff 17-4PH am Beispiel einer BLISK-Schaufelspitzenreparatur vorgestellt.

### Vorgehensweise

Mittels Methoden der statistischen Versuchsplanung werden Prozessfenster ermittelt. Aus den resultierenden Prozessdiagrammen werden Modellgleichungen für die Einfluss-Wirkzusammenhänge zwischen den Verfahrensparametern und charakteristischen Kennzahlen für die Schweißraupengeometrien abgeleitet. Die experimentellen Untersuchungen betreffen Einzel- und Überlappspuren und Steggeometrien

unterschiedlicher Wandstärke. Auf Basis dieses Datenmaterials lässt sich vorab ein Prozessfenster zum LA von Schaufelgeometrien mit lokal variierender Wandstärke abgrenzen, das nur noch eine Feinabstimmung erfordert.

### Ergebnis

Mit diesem methodischen Ansatz sind Verfahrensparameter zum LA von Schaufelspitzen einer BLISK ermittelt und aufgeschweißt worden. Die fräsende Nachbearbeitung wurde am Fraunhofer IPT durchgeführt (Bild 3).

### Anwendungsfelder

Die bisher erzielten Ergebnisse zeigen, dass die für den Transfer eines LA-Prozesses auf andere Geometrien und Werkstoffkombinationen ausgewählte Methodik grundsätzlich geeignet ist, den experimentellen Aufwand für diesen Transfer zu reduzieren. Eine grafische Benutzeroberfläche wird erstellt, so dass zukünftig auch externe Benutzer diesen Technologieprozessor nutzen können.

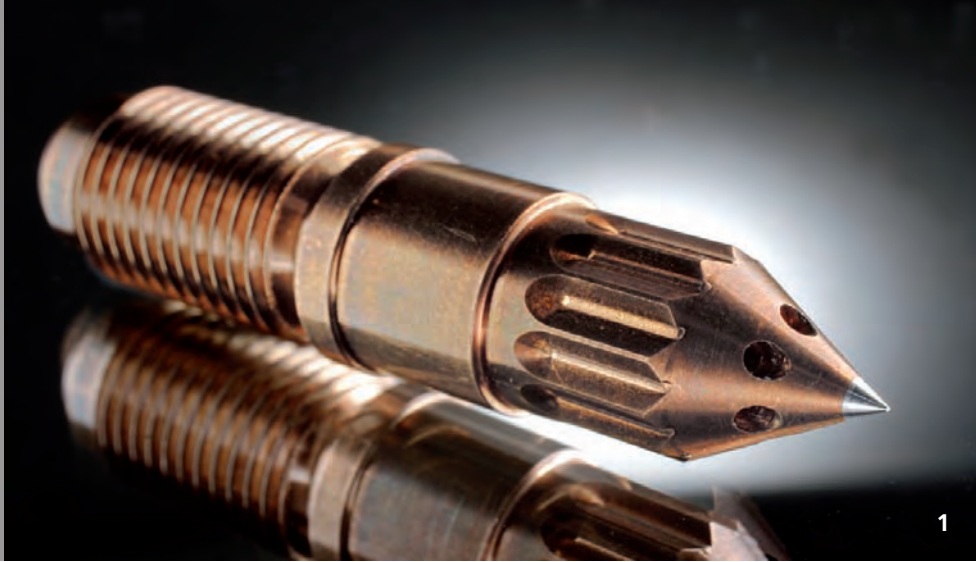
Der Fraunhofer-Innovationscluster »AdaM« wird gefördert durch Europäische Fonds für regionale Entwicklung (EFRE): »Investition in unsere Zukunft«.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Marco Göbel  
Telefon +49 241 8906-8058  
marco.goebel@ilt.fraunhofer.de

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

3 Segment einer BLISK. Links: aufgeschweißte BLISK-Schaufelspitze. Rechts: durch Fräsen nachgearbeitete BLISK-Schaufelspitze.



## VERSCHLEISSCHUTZ VON BAUTEILEN AUS KUPFER IN DER HEISSKANALTECHNIK

### Aufgabenstellung

In der Heißkanaltechnik sind Kupferwerkstoffe aufgrund ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit erste Wahl. Nachteil sind geringe Standzeiten infolge eines hohen abrasiven Verschleißes, der sich aufgrund großer Strömungsgeschwindigkeiten und Drücke von bis zu 2500 bar ergibt. Stand der Technik zur Erhöhung der Standzeit von Angussspitzen ist das Einlöten von Hartmetall in den Kupferwerkstoff. Infolge der thermischen Belastung kann es im industriellen Einsatz zu einem Herauslösen der Spitze oder zur Bildung von Rissen im Kupferwerkstoff kommen.

### Vorgehensweise

Beim Laserauftragschweißen wird in die Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahl und Werkstoff Metallpulver appliziert und im Laserstrahl geschmolzen. Hierdurch erfolgt eine schmelzmetallurgische Anbindung der Beschichtung an den Grundwerkstoff. Mit dem Verfahren ist es möglich, Schichtdicken von mehreren Millimetern aufzutragen. Es erfolgt eine Verfahrensentwicklung zum Auftrag einer Kobaltbasislegierung auf die Kupferlegierung K265 der Firma Schmelzmetall. In einem zweiten Schritt werden aus beschichteten Proben bei der Firma Schmelzmetall Angussspitzen gefertigt und diese im industriellen Einsatz, im Vergleich zu den konventionell gefertigten Angussspitzen, hinsichtlich ihrer Standzeiten getestet.

### Ergebnis

Die Kobaltbasislegierung (JetKote 7206) kann rissfrei und porenarm auf die Kupferlegierung K265 aufgetragen werden. Die Beschichtung bindet schmelzmetallurgisch an den Grundwerkstoff an und hat eine Härte von 600 HV0.3. Die Feldversuche sind Gegenstand laufender Untersuchungen. Parallel dazu wird die Schweißstrategie angepasst, um möglichst kurze Bearbeitungszeiten zu erreichen, damit das Verfahren auch den wirtschaftlichen Anforderungen genügt.

### Anwendungsfelder

Anwendungsfeld ist die kunststoffverarbeitende Industrie und deren Zulieferer. Weitere Anwendungsfelder sind dort zu sehen, wo die hohe Wärmeleitfähigkeit von Kupfer erforderlich ist, gleichzeitig aber auch ein hoher Verschleißschutz gefordert ist, also z. B. in der Druckgießindustrie.

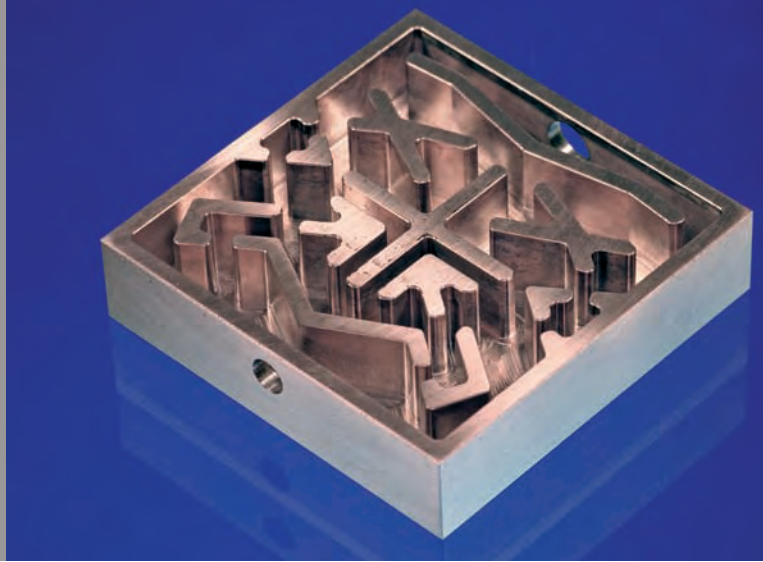
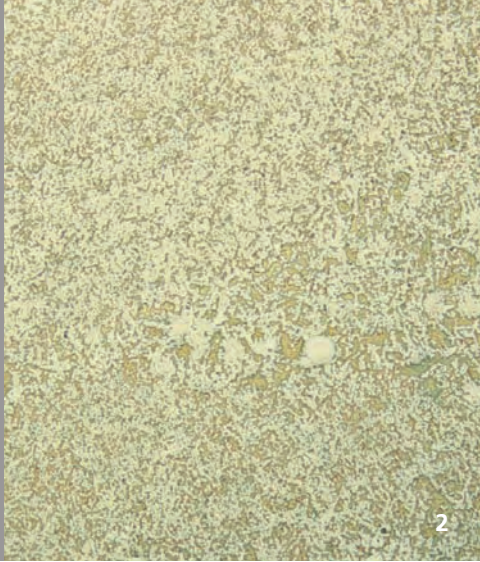
Die Arbeiten erfolgen im Rahmen eines von der Aif geförderten ZIM-Projekts des BMWi.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Dora Maischner  
Telefon +49 241 8906-8017  
dora.maischner@ilt.fraunhofer.de

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

1 Laserbeschichtete Angusspitze der Firma Corvaglia.



## OXIDATIONSBESTÄNDIGE KUPFERLEGIERUNGEN DURCH ZUSÄTZE VON CHROM

### Aufgabenstellung

Die Wärmeleitfähigkeit von Kupferwerkstoffen (200 - 400 W/mK) ist im Vergleich zu Eisen- und Nickelbasislegierungen (10 - 30 W/mK) um mehr als den Faktor 10 größer, was Kupferwerkstoffe für die Effizienzsteigerung von Kühlstrukturen attraktiv macht. Dem steht jedoch die Neigung zur Oxidation entgegen, welche den Einsatzbereich von reinem Kupfer auf Temperaturen unterhalb von 200 °C begrenzt. Zur Verbesserung der Oxidationsbeständigkeit wird daher mit dem Laserauftragschweißen (LA) die Herstellung von Kupfer-Chrom-Legierungen untersucht.

### Vorgehensweise

Das LA mit pulverförmigen Werkstoffen ermöglicht eine Variation der Zusammensetzung der zugeführten Pulverwerkstoffe während des Prozesses. Zuerst wird die Herstellung von Probekörpern aus Kupfer mit unterschiedlichen Gehalten an Chrom (10 - 80 Gew.-Prozent) untersucht. Anhand dieser Proben werden die thermische Leitfähigkeit und die Oxidationsbeständigkeit in Abhängigkeit vom Chromanteil bestimmt.

### Ergebnis

Die geringe Löslichkeit von Chrom in Kupfer (< 0,3 Prozent) führt bei der schnellen Erstarrung beim LA zu feinen homogen verteilten Chromausscheidungen in der Kupfermatrix. Es können rissfreie porearme Proben mit einem Chromgehalt

bis maximal 50 Gew.-Prozent hergestellt werden. Die Wärmeleitfähigkeit liegt in Abhängigkeit vom Chromgehalt bei 90 - 200 W/mK. Durch Bildung einer Passivierungsschicht aus Chromoxid an der Oberfläche kann die Oxidationsbeständigkeit deutlich gesteigert werden. Bereits kleine Chrom-Anteile (> 10 Prozent) zeigen eine Vergrößerung der Oxidationsbeständigkeit bis zu 500 °C. Im Langzeitversuch (1000 h bei 750 °C) konnte die Oxidationsbeständigkeit für einen Chromgehalt von 30 Gew.-Prozent nachgewiesen werden.

### Anwendungsfelder

Die Einsatzmöglichkeiten von Kupferwerkstoffen können durch Zusätze von Chrom zu deutlich größeren Temperaturen erweitert werden. Beschichtungen oder komplette Kühlkörper mit großer Wärmeleitfähigkeit für den dauerhaften Einsatz bei hohen Einsatztemperaturen bis zu 750 °C sind mit dem LA herstellbar.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des BMBF-Förderprojekts »EFCOPOST« durchgeführt.

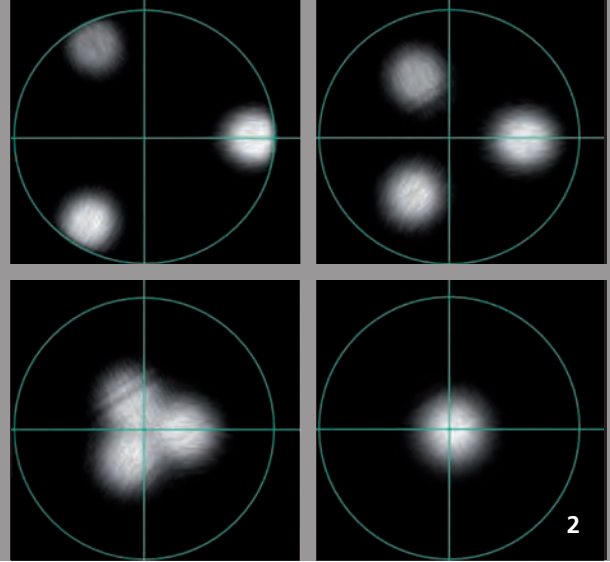
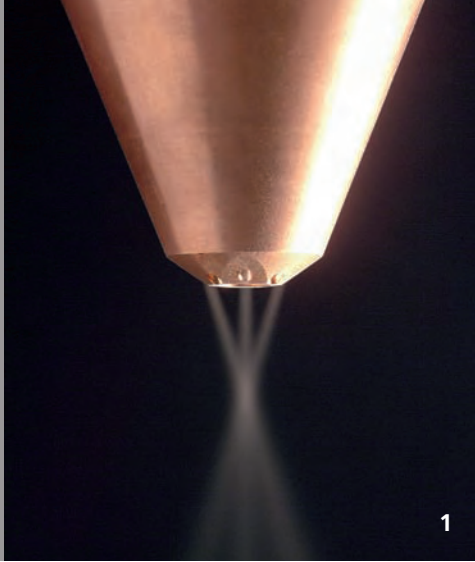
### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Sörn Ocylok  
Telefon +49 241 8906-567  
soern.ocylok@ilt.fraunhofer.de

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

2 *Mikrogefüge bei Chromgehalt von 20 Gew.-Prozent.*

3 *Mittels LA hergestellter und endbearbeiteter Kühlkörper aus Cu-Cr.*



## ZERTIFIZIERUNG VON PULVERDÜSEN FÜR DAS LASERAUFTRAGSCHWEISSEN

### Aufgabenstellung

Beim Auftragschweißen mit Laserstrahlung kommt der Pulverzufuhr in das Schmelzbad eine entscheidende Bedeutung zu. Der Pulvernutzungsgrad, die Oxidation durch die umgebende Atmosphäre sowie die Geometrie und Rauheit der Schicht werden dadurch maßgeblich bestimmt. Daher besteht die Notwendigkeit, den Pulvergasstrahl zur Sicherstellung der Prozessqualität zu charakterisieren. Bisher stand kein standardisiertes Verfahren für die Vermessung von Pulverdüsen zur Verfügung.

### Vorgehensweise

Wichtige zu überwachende Größen stellen die Symmetrie des Pulvergasstrahls, die Lage und Größe des Pulverfokus sowie die Partikeldichteverteilung dar. Um die geforderten Größen messtechnisch erfassen zu können, wird der Pulvergasstrahl mit einer Laserlinie von der Seite beleuchtet und von einer koaxial angeordneten Kamera durch die Pulverdüse hindurch beobachtet. Eine hohe Bildrate erlaubt die einzelnen Pulverpartikel in Anzahl und Position zu erfassen. Durch schrittweises Verfahren entlang des Pulvergasstrahls werden einzelne Schichten aufgenommen, um mit entsprechenden Algorithmen die Partikeldichteverteilung zu errechnen.

Aus dieser Verteilung können Kennzahlen zur Zertifizierung von Pulverzufuhrdüsen abgeleitet werden. Diese Informationen erlauben es, den Justage- und Verschleißzustand einer Düse zu dokumentieren und Prozesse reproduzierbar einzurichten.

### Ergebnis

Das Messverfahren eröffnet erstmalig die Möglichkeit, einen Pulvergasstrahl vollständig zu charakterisieren. Das Verfahren konnte für unterschiedliche Pulverdüsen und Pulverkornfraktionen qualifiziert werden. Ein Prüfstand zur automatisierten und standardisierten Vermessung von Pulverzufuhrdüsen steht zur Verfügung, um die Zertifizierung einzelner Pulverdüsen durchzuführen.

### Anwendungsfelder

Zu den Anwendungsgebieten zählen alle Aktivitäten im Bereich Auftragschweißen mit Laserstrahlung, bei denen die genaue Kenntnis des Pulvergasstrahls erforderlich ist. Diese Kenntnisse können bei der Prozessentwicklung, der Düsenentwicklung und der Produktion von Bauteilen mit hohen Qualitätsanforderungen genutzt werden.

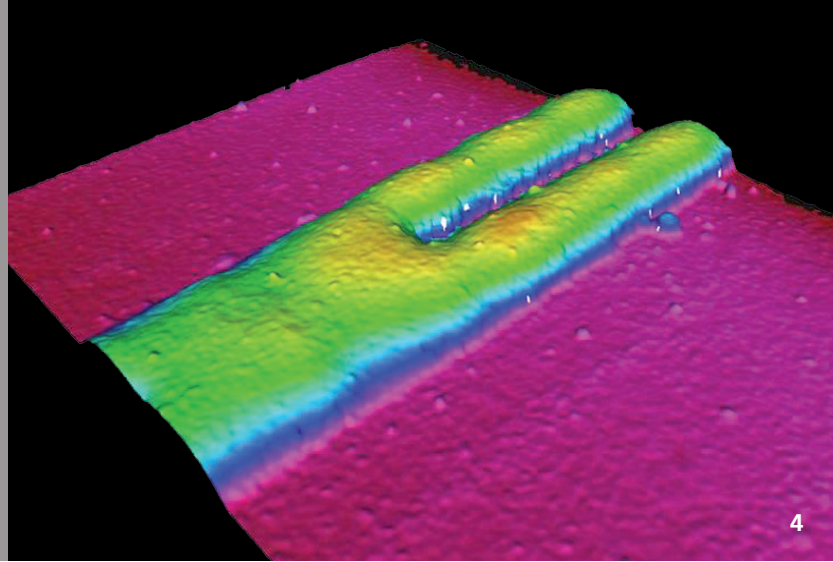
### Ansprechpartner

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

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

1 Pulvergasstrom einer Dreistrahl-Düse.

2 Partikelverteilung einer Dreistrahl-Düse.



## MIKRO-LASER- AUFTRAGSCHWEISSEN MIT MEHRSTRAHLOPTIK

### Aufgabenstellung

In der Elektroindustrie wird eine Fülle von elektrischen Kontaktierungen mittels Goldbeschichtungen durchgeführt. Diese können mit herkömmlichen Verfahren nur großflächig aufgebracht werden. Durch selektives Aufschweißen von Goldkontakten mittels Mikro-Laserauftragschweißen (Mikro-LA) werden nur die Kontaktstellen beschichtet und erlauben eine signifikante Einsparung des wertvollen Zusatzmaterials. Die grundsätzliche Eignung solcher Kontakte ist bereits nachgewiesen. Schichtdicke und Aufmischung mit dem Substrat müssen jedoch weiter reduziert werden, dazu werden am Fraunhofer ILT angepasste Optiken entwickelt und getestet.

### Vorgehensweise

Beim Mikro-LA von Goldkontaktpunkten wird das Zusatzmaterial mittels einer Düse in die Wechselwirkungszone von Laserstrahl und Substratmaterial eingebracht und aufgeschmolzen. Durch die Miniaturisierung der Kontaktpunkte ( $d < 100 \mu\text{m}$ ) schmilzt ein wesentlicher Anteil des Substratmaterials (10 - 30 Prozent) auf, mischt sich mit dem aufgetragenen Gold und verschlechtert die elektrische Leitfähigkeit. Zur Reduktion der Aufmischung werden neue Optikkonzepte erprobt. Eine Laseroptik teilt den einfallenden Laserstrahl in zwei Teilstrahlen auf. Diese werden auf dem Werkstück unmittelbar nebeneinander positioniert, so dass die beiden Schmelzbäder ineinander fließen. Im Vergleich zur Einstrahloptik kann somit eine breitere Schweissspur ohne die typische Erhöhung der Einschmelztiefe in der Spurmitte erzeugt werden.

### Ergebnis

Das Aspektverhältnis (Höhe:Breite) der Goldspuren kann bei konstant gehaltener Einschmelztiefe gegenüber der Einstrahloptik verdoppelt werden (von 1:2 auf 1:4). Durch flachere Spuren mit hohem Goldanteil können somit die hervorragenden Kontakteigenschaften des Edelmetalls beibehalten und gleichzeitig die aufgeschweißte Schichtdicke und damit der Edelmetallverbrauch reduziert werden.

### Anwendungsfelder

Das Mikro-LA von Edelmetallen kann überall dort eingesetzt werden, wo selektiv die hervorragenden elektrischen Eigenschaften der Edelmetalle benötigt werden, aber eine herkömmliche großflächige Beschichtung nicht wirtschaftlich erscheint. Anwendungsfelder sind sowohl die Elektroindustrie aber auch Kontaktierungen innerhalb von Brennstoffzellen.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des BMBF-Projekts »Mifulas« gefördert.

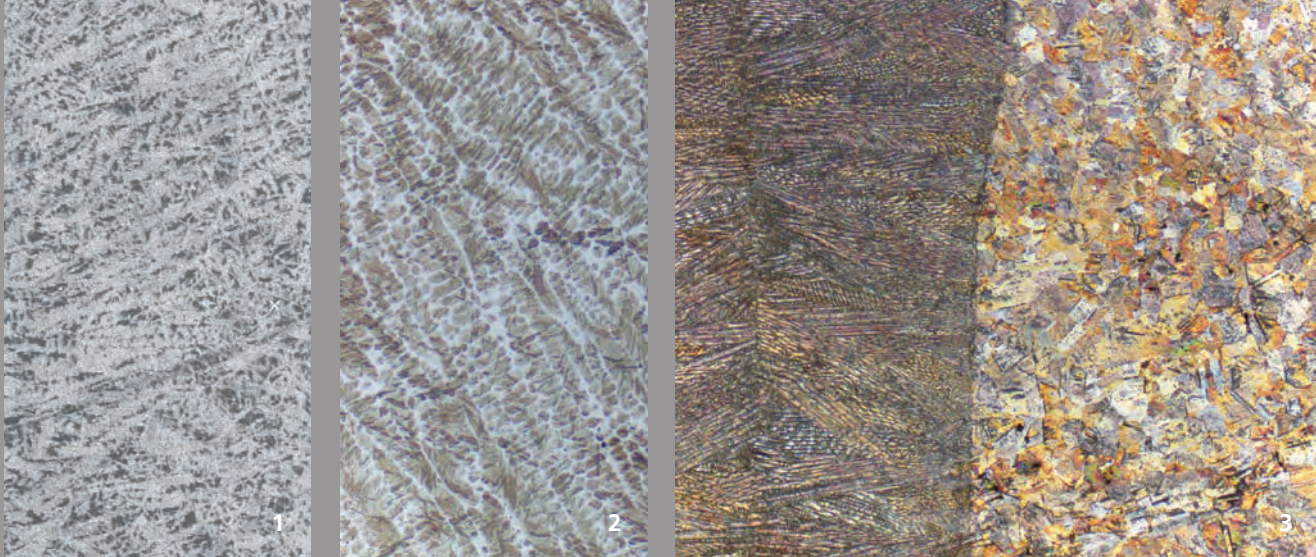
### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Matthias Belting  
Telefon +49 241 8906-624  
matthias.belting@ilt.fraunhofer.de

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

3 Mikro-LA mit 2 Laserstrahlen.

4 Höhenprofil einer Goldleiterbahn auf Edelstahl.



## LASERSTRAHLSCHWEISSEN ULTRAHOCHFESTER STÄHLE

### Aufgabenstellung

Ressourceneffizienz und Leichtbau im Fahrzeugbau ist nicht nur ein Thema für Faserverbundwerkstoffe sondern vor allem auch für ultrahochfeste Stähle. Dies hat zur Entwicklung alternativer Güten an hochfesten Stählen geführt, deren Festigkeit durch Presshärten oder TWIP-Effekte gesteigert werden kann. Gemeinsam ist allen, dass aufgrund der erhöhten Kohlenstoffgehalte bisher keine Prozessfenster für das Laserstrahlschweißen existieren. Das gilt insbesondere für die vergüteten Werkstoffe. Diese sind im Hinblick auf die Einführung der Werkstoffe in die Anwendung zu ermitteln.

### Vorgehensweise

Im Rahmen von Schweißversuchen an Feinblech wurden die Verfahrensparameter für einige Vertreter aus den Klassen ferritisch-martensitische Chromstähle, nickel-legierte bainitisch härtende Stähle und hoch manganhaltige HSD-Stähle entwickelt. Dabei wurden die Ersteren im normalisierten wie im gehärteten Zustand geschweißt. Durch anschließende werkstofftechnische Untersuchungen wurde die Schweißmetallurgie untersucht. Durch Härtemessungen wurden die zu erwartenden Festigkeiten in der Schweißzone abgeschätzt.

1 Mikrostruktur der Schweißzone in 1.4034.

2 Mikrostruktur der Schweißzone in Fe-0,4C-4Ni-1,5Cr-0,5Mo.

3 Schmelzlinie in einem Bandguss Fe-0,29C-27,3Mn.

### Ergebnis

Martensitisch härtende hochlegierte Chromstähle mit 0,02 bis 0,46 Prozent Kohlenstoff können im normalisierten Zustand unter Anwendung der Standard-Wärmeführung geschweißt werden. Für Anwendungen in der Herstellung von Tailored Blanks kann die Wärmebehandlung entfallen. Das Schweißen gehärteter Stähle für die Montage erfordert eine Wärmebehandlung in-situ, um die Zähigkeit der Schweißzone zu erhalten. Presshärten führt zu einem geringfügigen Festigkeitsverlust in der Schweißzone. Gleiches gilt für den bainitisch härtenden Stahl mit 0,4 Prozent Kohlenstoff und 4 Prozent Nickel. Gehärtete Bleche können ohne Einbuße an Festigkeit bei 450 °C angelassen werden. Bei den HSD-Stählen mit 0,3 Prozent Kohlenstoff und 17 - 30 Prozent Mn konnte festgestellt werden, dass die Verformbarkeit durch die Schweißnaht nicht beeinträchtigt wird.

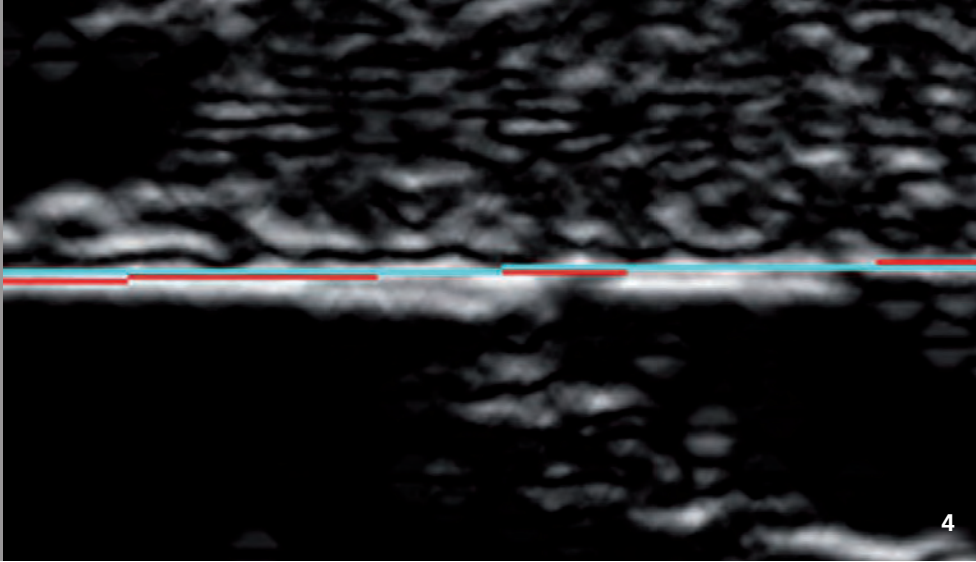
### Anwendungsfelder

Die hochlegierten Stähle mit 12 Prozent Chrom werden dort eingesetzt, wo ihre intrinsische Korrosionsbeständigkeit gepaart mit Festigkeiten von bis zu 1900 MPa erforderlich sind, wie bei Nutzfahrzeugen und Bahnfahrzeugen. Temper Tough™ ist ein Allroundstahl, der durch sein Umwandlungsverhalten sehr tolerant gegen Härtefehler ist. Die hochmanganhaltigen Stähle sind noch in der Entwicklung und bergen aufgrund der Zwillingsverfestigung ein großes Potenzial der Energieeinsparung beim Umformen.

### Ansprechpartner

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

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



## TEXTURBASIERTE FUGENFOLGEREGELUNG BEIM FÜGEN MIT LASERSTRAHLUNG

### Aufgabenstellung

Um die Dauerfestigkeit einer Schweißverbindung zu gewährleisten, muss beim Fügen von Werkstücken mit Laserstrahlung der fokussierte Laserstrahl präzise in engen Toleranzbereichen entlang der Stoßfuge geführt werden. Wenn die Bauteilabmessungen Schwankungen aufweisen, die größer als diese Toleranzen sind, ist eine Korrektur der Bahn entweder durch ein Teach-In am betreffenden Bauteil oder - für die Serie wirtschaftlicher - der Einsatz von Sensoren und Reglern zur automatischen Kompensation von Abweichungen erforderlich. Industriell werden bisher Lichtschnitt-Triangulationssensoren zur Detektion der Fugenposition eingesetzt, die eine automatische Korrektur des Laserfokus relativ zur Stoßfuge ermöglichen. Da diese Sensoren im Vorlauf angeordnet werden müssen, wird die Zugänglichkeit zum Werkstück durch deren Störkontur beeinträchtigt. Außerdem müssen an einem Stumpfstoß die Kanten entsprechend vorbereitet und strukturiert sein, z. B. durch eine Fase, damit diese Sensoren die Fuge noch erkennen können. An technischen Nullspalten funktioniert das Lichtschnitt-Triangulationsprinzip bisher noch nicht.

### Vorgehensweise

Beim Laserstrahl-Lichtbogen-Hybridschweißen wird die Breite und Lage einer Fuge relativ zum Fokuspunkt des Laserstrahls mit einem koaxial im Strahlengang des Lasers angeordneten Bildsensor und mittels texturbasierter Bildverarbeitung ermittelt.

Im FuE-Vorhaben QulnLas ist durch die Offline-Analyse von Bilddaten bereits nachgewiesen worden, dass mit diesem texturbasierten Ansatz eine robuste, von variierenden Beleuchtungsverhältnissen weitgehend unbeeinflusste Identifikation der Stoßfuge möglich ist. Die Leistungsfähigkeit aktueller kostengünstiger PC-Hardware, wie z. B. Grafikkarten mit parallel arbeitenden Grafikprozessoren, ermöglicht jetzt die wirtschaftliche Echtzeit-Implementierung der rechenintensiven texturbasierten Bildverarbeitungsalgorithmen (Bild 4).

Mit diesem technologischen Ansatz soll gezeigt werden, dass mit dem koaxialen texturbasierten Ansatz

- Fügespalte zuverlässig identifiziert,
- auf eine strukturierende Kantenvorbereitung verzichtet,
- die Flexibilität des Fügens mit Laserstrahlung gesteigert,
- der Anwendungsbereich auf das autonom geführte Fügen von 3D-Strukturen erweitert sowie
- die Prozesskette von der Bahnplanung über die Bahnprogrammierung bis zum Fügeprozess verkürzt und wirtschaftlich optimiert werden kann.

### Ergebnis

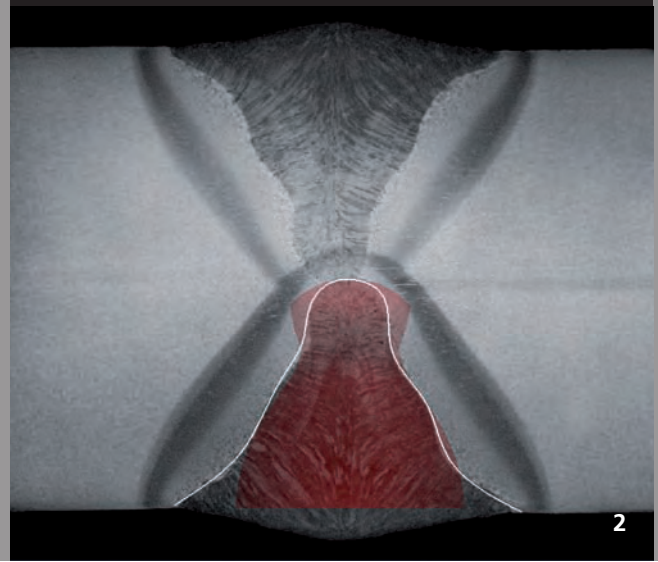
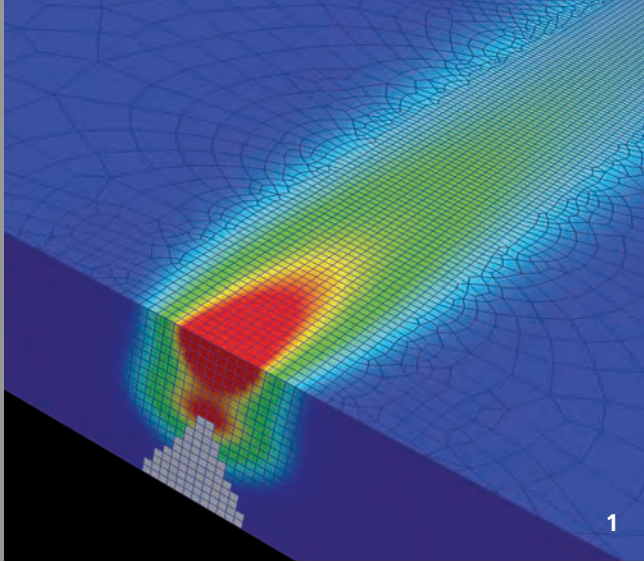
Mit Erreichen dieser Zielsetzung wird die Beherrschbarkeit des Fügens mit dem Laser-MAG-Lichtbogen-Hybridprozess gesteigert und damit die weitere industrielle Verbreitung dieses innovativen Fügeprozesses im Bereich des Fahrzeug- und Stahlbaus gefördert.

### Ansprechpartner

Dr. Alexander Drenker  
Telefon +49 241 8906-223  
alexander.drenker@ilt.fraunhofer.de

4 Identifikation einer Stoßfuge  
anhand des Texturgradienten.





## SCHNELLE KALIBRIERUNG ÄQUIVALENTER WÄRME- QUELLEN BEIM SCHWEISSEN

### Aufgabenstellung

Die Kenntnis der beim Schweißen im Bauteil erzeugten Temperatur ist Voraussetzung zur Berechnung von Verzug und Rissneigung. Die Anwendung von Simulationssoftware zum Schweißen ist bisher meist Experten vorbehalten, da die Wirkung des Prozesses auf das Temperaturfeld im Bauteil durch eine äquivalente Wärmequelle abstrahiert werden muss. Eine Vielzahl von Iterationsrechnungen ist notwendig, bis eine ausreichende Übereinstimmung des mit einer äquivalenten Wärmequelle berechneten Temperaturfelds mit dem Experiment gefunden ist. Je zeitintensiver die Berechnung eines Modells ist, desto geringer ist daher dessen Anwendbarkeit im industriellen Umfeld. Ziel ist die schnelle und automatisierte Kalibrierung der Wärmequellen bei gleichzeitig erhöhter Genauigkeit, um die Anwendbarkeit der Schweißsimulation zu verbessern.

### Vorgehensweise

Zur Kalibrierung der Parameterwerte für die Wärmequelle werden Optimierungsverfahren angewandt. Zur Beschleunigung des Verfahrens wird eine Methode zur numerischen Modellreduktion, die Proper Orthogonal Decomposition Methode (POD), angewandt. Die POD-Methode hat aufgrund ihrer Flexibilität keine Einschränkung bezüglich der Materialeigenschaften oder der Bauteilgeometrie.

### Ergebnis

Die entwickelten numerischen Verfahren bringen im Vergleich zu herkömmlichen FE-Verfahren eine erhebliche Zeitersparnis. So können die Parameterwerte einer Volumenquelle innerhalb weniger Stunden automatisiert und mit kontrolliertem Fehler bestimmt werden. Die Anwendbarkeit der eingesetzten Methoden ist unabhängig vom Schweißprozess sowie vom Werkstoff. Durch die automatisierte und zuverlässige Bestimmung der Parameterwerte für die Wärmequelle entfällt die zeit- und somit kostenintensive Kalibrierungsphase durch einen Experten.

### Anwendungsfelder

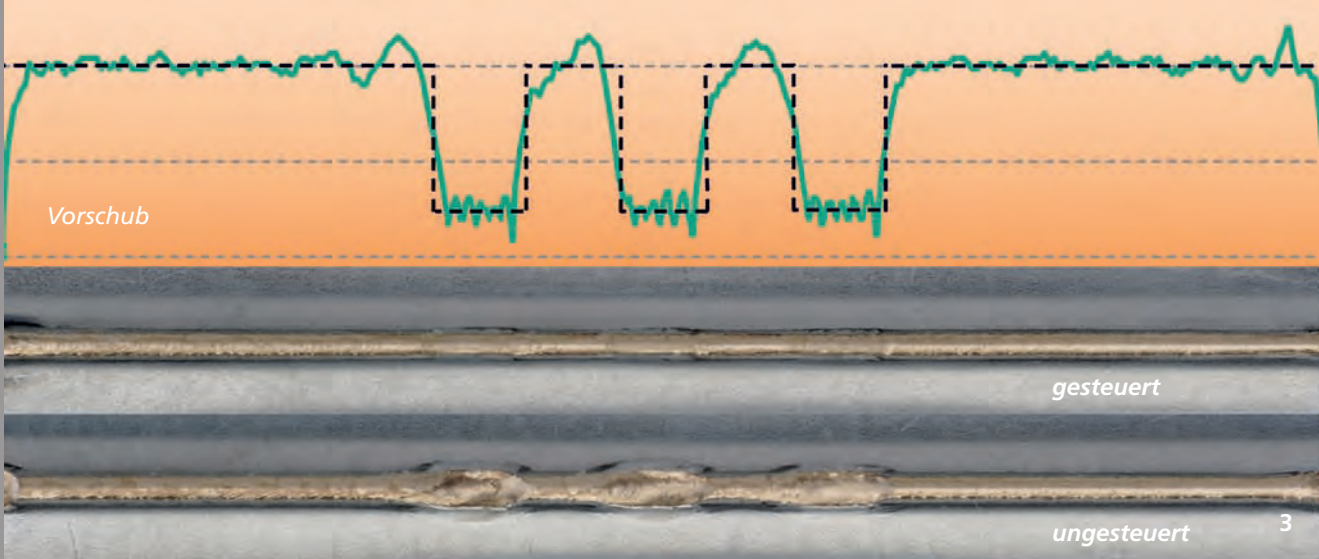
Die entwickelten Methoden ermöglichen eine automatisierte, schnelle und zuverlässige Kalibrierung der parametrisierten Wärmequellen. Dies ist die Grundlage für eine effiziente Schweißsimulation zur Vorhersage von Prozessqualitätsmerkmalen wie Spannungen, Verzug und Rissneigung.

Dipl.-Phys. Ulrich Jansen  
Telefon +49 241 8906-680  
ulrich.jansen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Markus Nießen  
Telefon +49 241 8906-307  
markus.niessen@ilt.fraunhofer.de

1 Mit POD berechnetes Temperaturfeld bei einer MSG-Zweilagenschweißung.

2 Vergleich Simulation und Experiment am Makroschliff der MSG-Zweilagenschweißung für die Unterraupen.



## GESCHWINDIGKEITS- GEREGELTES LASERSTRAHL- HARTLÖTEN

### Aufgabenstellung

Das Laserstrahlhartlöten hat sich als Fügeverfahren in der Automobilindustrie für die Karosseriefertigung etabliert. Zweiteilige Heckklappen aber auch die Verbindung zwischen Dach und Seitenwand werden mit diesem Verfahren mit einer Sichtnaht gefügt. Die Anforderungen an die optische Erscheinung der Lötnaht sind daher hoch. Die Qualität der Lötnaht in Bezug auf Anmutung, Oberflächenrauheit sowie Porenfreiheit wird maßgeblich von der Konstanz der eingebrachten Streckenenergie beeinflusst. Je nach Prozessführung treten jedoch dynamische Geschwindigkeitsänderung auf – beispielsweise beim Umorientieren der Laseroptik sowie bei großen Beschleunigungen des Handhabungssystems.

Am Fraunhofer ILT wird daher ein gesteuerter Laserstrahlhartlötprozess entwickelt, welcher eine konstante Streckenenergie auch bei sich ändernden Vorschubgeschwindigkeiten gewährleistet.

### Vorgehensweise

Ein kamerabasiertes Überwachungssystem wird koaxial in den Strahlengang eines industrietauglichen Bearbeitungskopfs integriert. Die Vorschubgeschwindigkeit wird durch Berechnung eines Verschiebungsvektors zweier aufeinanderfolgender Bilder ermittelt. Hierbei wird das so genannte »full-search block-matching« mittels FPGA-Technologie in Echtzeit umgesetzt.

Auf Basis der aktuell gemessenen Geschwindigkeit werden so analoge Steuersignale bereitgestellt, welche als Eingang für die Steuerung der Laserleistung sowie der Drahtförderrate genutzt werden.

### Ergebnis

In ersten Labortests konnten sowohl die Laserleistung wie auch die Drahtförderrate entsprechend der gemessenen Geschwindigkeit angepasst werden. Beim Fügen von Bördelnähten wurde die Vorschubgeschwindigkeit des Lasers in einem Bereich mehr als 400 Prozent variiert. Trotz dieser Geschwindigkeitsvariation verblieb der Prozess stabil – eine glatte und nahezu homogen anmutende Nahtoberfläche wurde erreicht.

### Anwendungsfelder

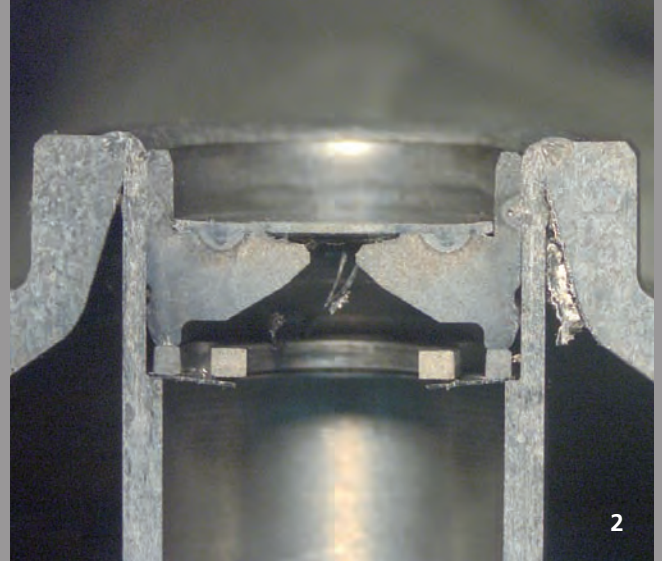
Durch die vollautomatische Anpassung aller Lötparameter an die Prozessführung wird ein stabiler Lötprozess gewährleistet. Darüber hinaus können Einrichtzeiten verkürzt werden, was den Laserstrahlhartlötprozess auch für kleine Losgrößen in KMU wirtschaftlich nutzbar macht.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Michael Ungers  
Telefon +49 241 8906-281  
michael.ungers@ilt.fraunhofer.de

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

<sup>3</sup> Gemessene Vorschubgeschwindigkeit (grün), programmierte Vorschubgeschwindigkeit (schwarz) sowie je ein Lötergebnis mit und ohne geschwindigkeitsbasierter Steuerung.



## LASERSCHWEISSEN VON HARNSTOFFINJEKTOREN

### Aufgabenstellung

Harnstoff wird in Abgasstränge von Dieselaggregaten zur Reduktion von Stickoxiden injiziert. Für die Herstellung von geeigneten Injektoren müssen mehrere Komponenten montiert und in unterschiedlichen Stoßkonfigurationen (Kehlnaht, I-Naht und Überlappnaht) in verschiedenen Werkstoffkombinationen geschweißt werden. Insgesamt sind im betrachteten Herstellungsprozess vier unterschiedliche Schweißaufgaben betroffen.

### Vorgehensweise

Aufgrund der geringen Stückzahlen beim Serienanlauf ist eine komplexe automatisierte Fertigungslinie für die Herstellung der Bauteile nicht rentabel. Zur Evaluierung der Prozessfähigkeit wurde daher ein für alle Schweißaufgaben identischer optischer Aufbau (Lichtleitfaserkerndurchmesser, Kollimation, Fokussieroptik, Strahlquelle) auf einer flexiblen Portalanlage mit Laserscanner gewählt. Die variablen Parameter (Fokuslage, Leistung, Schweißgeschwindigkeit) wurden an die jeweiligen Anforderungen für die betreffende Fügeaufgabe angepasst. Die bei den Versuchen erreichten Festigkeiten wurden zur Ermittlung der Prozessfähigkeitsindizes herangezogen. Durch eine geeignete Dimensionierung der Nähte zur Erreichung hoher Fähigkeitsindizes lassen sich Prüfkosten reduzieren und Fehlerfolgekosten vermeiden.

Zur Absicherung der Qualität wurde die Prozessfähigkeit für die entwickelten Schweißprozesse dargestellt. Neben zu erreichenden Zug- bzw. Scherkräften sind auch Dichtigkeit und die Stabilität der Anbindungsbreite bzw. Einschweißtiefe relevant. Als geeigneter Schweißprozess wurde aufgrund der geringen Bearbeitungszeit, des geringen Wärmeeintrags und der geringen erzielbaren Nahtabmessungen das Laserstrahlschweißen identifiziert.

### Ergebnis

Für die Fertigung von Harnstoffinjektoren konnten mit einem für alle vier Fügeaufgaben gemeinsam genutzten optischen Aufbau fähige Prozesse ( $c_{pk} \gg 1,67$ ) etabliert werden, die mittlerweile für eine Kleinserienfertigung genutzt werden. Durch die hohen Fähigkeitsindizes konnte der Prüfaufwand (in der Prozessentwicklung und Serienfertigung) stark eingeschränkt werden.

### Anwendungsfelder

Die Ergebnisse der Schweißprozessentwicklung veranschaulichen die Möglichkeiten und die Flexibilität, die ein Lasersystem auch in einer nicht-automatisierten Anlage mit manueller Bestückung bietet. Durch eine geeignete Dimensionierung der Schweißprozesse und somit resultierenden Nahteigenschaften lassen sich Fehlerkosten und Prüfaufwand reduzieren.

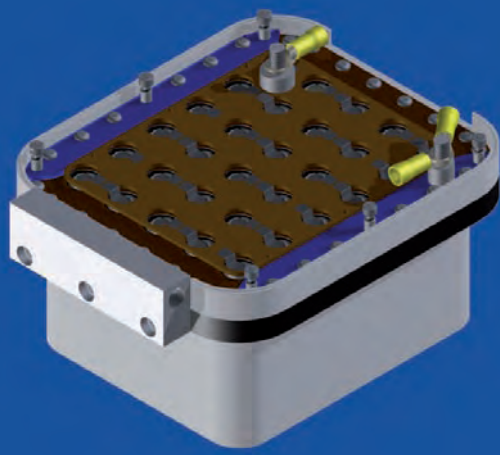
### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Paul Heinen  
 Telefon +49 241 8906-145  
 paul.heinen@ilt.fraunhofer.de

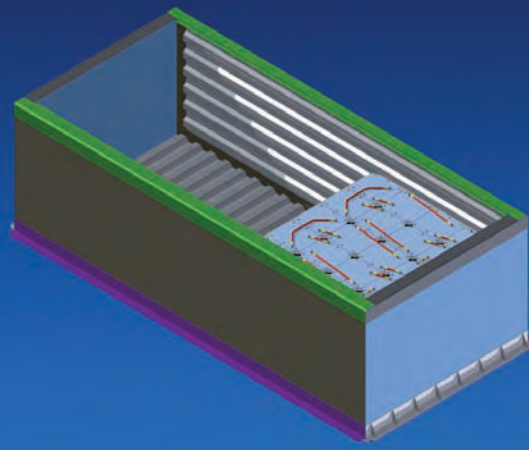
Dr. Alexander Olowinsky  
 Telefon +49 241 8906-491  
 alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

1 Aufsicht einer Dichtnaht zwischen Harnstoffinjektor und Kühlkörper.

2 Querschliff der in Bild 1 gezeigten Schweißnaht.



3



4

## LEICHTBAU-ENERGIEPACK

### Aufgabenstellung

In der Elektromobilität stellt das Energiepack eine wichtige Komponente dar, die erstens über eine hohe Energiedichte und zweitens über ein geringes Gewicht verfügen muss. Im Rahmen des Fraunhofer-Projekts »Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität« entwickelt das Fraunhofer ILT zusammen mit den Fraunhofer-Instituten ISE, IWM und UMSICHT ein »Leichtbau-Energiepack«. Das »Pack« besteht aus hochintegrierten und austauschbaren Energiekomponenten im Bereich des Batteriepacks und des Thermoaggregats und ist für ein All-electric/Multi-user Vehicle vorgesehen. Das »Leichtbau-Energiepack« soll sich durch den Einsatz verschiedener Leichtbautechniken sowie durch neuartige Kühl- und Aufbaustrategien auszeichnen.

### Vorgehensweise

Im Rahmen des Projekts werden am Fraunhofer ILT die drei Bereiche Batteriepack, Gehäuse/Leichtbau und Kühlung bearbeitet.

Im Arbeitsgebiet Batteriepack werden die Stränge des Batteriepacks aus kleinformatischen zylindrischen Zellen vom Typ 18650 aufgebaut. Diese bieten aufgrund ihres metallischen Gehäuses Möglichkeiten zur direkten Kühlung. Mittels Lasermikroschweißen werden beide Pole der Zelle oberseitig kontaktiert und die Zellen parallel zu Blöcken verschaltet, welche gegenüber dem Batteriemanagementsystem (Fraunhofer ISE) und dem Gesamtsystem als einzelne Zelle fungieren. Ein Block wird intern zum direkten Kühlen der einzelnen Zellen mit PCM-Slurry (Fraunhofer UMSICHT) ohne zusätzliche Wärmeleitstrukturen versehen.

Für das Gehäuse wird eine Leichtbaukonstruktion aus hochfestem Stahl, Kunststoff-Metall-Verbindungen und Organoblechen eingesetzt. Hierzu werden Crash-Simulationen am Fraunhofer IWM durchgeführt, um eine entsprechende Sicherheit zu gewährleisten und gleichzeitig ein geringes Gewicht bei günstiger Produzierbarkeit zu erreichen.

### Ergebnis

Die Entwicklung des Energiepacks und der Nachweis der Produzierbarkeit einzelner Komponenten stehen momentan im Vordergrund. Die entworfenen Bauteile aus Organoblech, Verstärkungsstrukturen und Kunststoff-Metall-Verbindungen werden getestet. Untersuchungen zum Verschweißen der Zellen mit einer Kupferlegierung hinsichtlich elektrischem Widerstand und Stabilität der Verbindungen bei thermischen Zyklen weisen ein positives Ergebnis auf.

### Anwendungsfelder

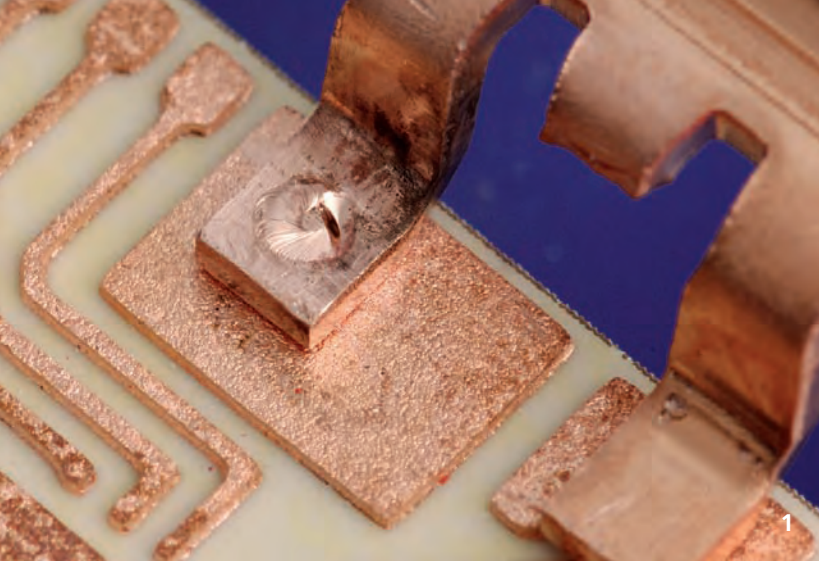
Die hier für die Batterietechnik angewandten Prozesse sind auf viele Bereiche der elektrischen Kontaktierung und des Leichtbaus anwendbar und gehen über den Einsatz in der Elektromobilität hinaus.

Die Arbeiten wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF innerhalb des Rahmenkonzepts »Optische Technologien« gefördert und vom Projektträger VDI Technologiezentrum betreut.

### Ansprechpartner

Dip.-Ing. Benjamin Mehlmann  
 Telefon +49 241 8906-613  
 benjamin.mehlmann@ilt.fraunhofer.de

3 CAD-Modell eines Blocks (ohne Deckel).  
 4 CAD-Modell des Gehäuses (ohne Deckel).



## LASERSTRAHLSCHWEISSEN VON DCB-SUBSTRATEN MIT SINGLEMODELASER

### Aufgabenstellung

In der Leistungselektronik gewinnt der Einsatz von Direct Copper Bonded (DCB)-Substraten immer mehr an Bedeutung. Bei diesem Verfahren wird das Hochleistungshalbleiterelement direkt auf ein spezielles Keramiksubstrat (Aluminiumoxidkeramik oder Aluminiumnitrid) aufgebracht, das mit Kupfer beschichtet ist. Bei dem derzeit verwendeten Fügeverfahren zur elektrischen Kontaktierung auf den wenige hundert Mikrometer dicken Metallschichten der Substrate besteht die Gefahr von Brüchen und Mikrorissen im Keramiksubstrat.

Für eine langzeitstabile Verbindung der DCB-Substrate mit den Leistungsableitern wird eine Verbindungstechnik gesucht, die erstens eine hohe Verbindungsfestigkeit, zweitens eine minimale Substratbeeinflussung und drittens eine Verbindung mit großen Anschlussquerschnitten ermöglicht.

### Vorgehensweise

Zur Realisierung der Fügeverbindung wird ein neues Laserschweißverfahren zur Erzeugung von Schweißnähten mit konstanter Einschweißtiefe untersucht. Neben der Variation von Strahldurchmesser, Strahlleistung und Vorschub wird eine schnelle örtliche Leistungsmodulation eingesetzt. Hierbei wird die Vorschubbewegung von einer kreisförmig oszillierenden Bewegung überlagert. Die örtliche Leistungsmodulation beeinflusst positiv die Schmelzbadgeometrie und den Temperaturgradienten im Schmelzbad und führt somit zu einer erheblichen Steigerung der Prozessstabilität.

### Ergebnis

Durch Einsatz der örtlichen Leistungsmodulation im Bereich von einigen hundert Hertz kann die Schmelzbaddynamik der Schweißnaht kontrolliert und eine nahezu gleichmäßige Einschweißtiefe bei CU-ETP Dicke 1 mm auf DCB mit einer Dicke von 0,25 mm im Überlapp-Stoß erreicht werden. Durch die Reduzierung der Laserleistung und Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit am Nahtende wird der Wärmestau reduziert und die Beschädigung der Keramikplatte verhindert.

### Anwendungsfelder

Das Einsatzfeld der neuen Fügetechnik ist das Hochleistungs-packaging in der Leistungselektronik mit großen Anbindungsquerschnitten. Aufgrund der hohen verwendeten Laser-Intensitäten ist auch das Schweißen schwierig schweißbarer Werkstoffe wie z. B. Kupfer oder Aluminium möglich, das insbesondere in der Leistungselektronik oder der Batterietechnik zum Tragen kommt.

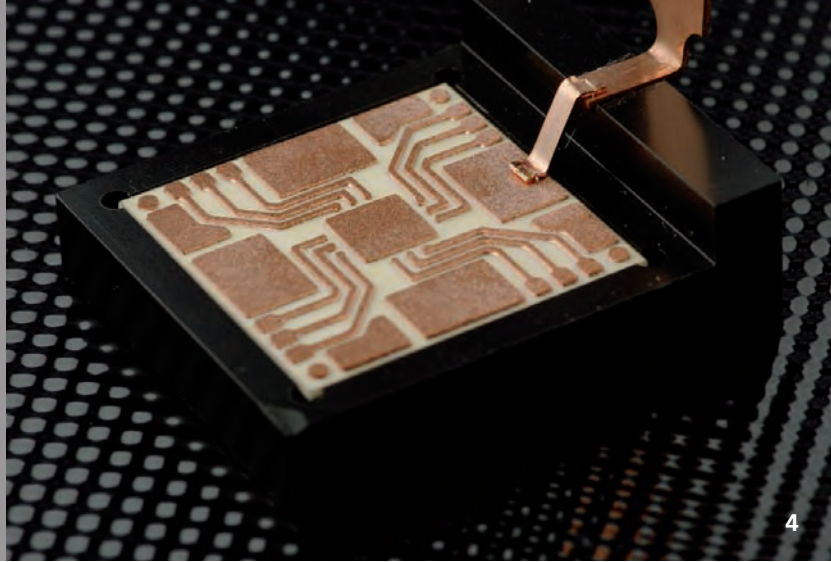
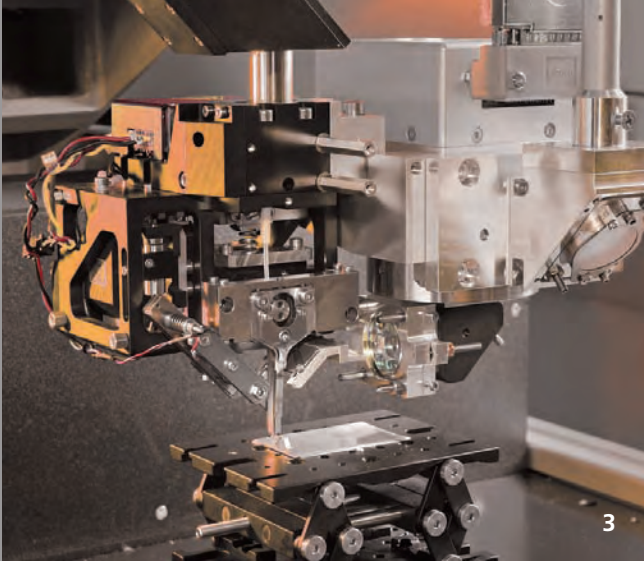
### Ansprechpartner

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

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

1 DCB-Substrat mit elektrischer  
Kontaktierung im Überlappstoß.

2 Querschliff durch elektrischen Anschluss,  
Kupfer-Schicht und Keramiksubstrat.



## LASERINTEGRIERTER BONDAUTOMAT FÜR DICKDRAHT-BONDS

### Aufgabenstellung

In leistungselektronischen Systemen stellen Bondverbindungen die zentrale elektrische Verbindung sowohl zwischen den Halbleiterbauelementen und als auch zwischen den Substraten und Anschluss terminals her. Diese Bondverbindungen sind verantwortlich für die Zuverlässigkeit und Einsatzbereitschaft des Antriebs von Elektrofahrzeugen. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojekts »Robustheit für Bonds in E-Fahrzeugen« entwickelt das Fraunhofer ILT zusammen mit Partnern eine laserbasierte Verfahrensalternative zur Erstellung dieser Bonds ohne Ultraschallschweißen.

### Vorgehensweise

Als eigentlicher Fügeprozess wird hierbei das Laserstrahlmikroschweißen verwendet. Insbesondere für Kupferwerkstoffe werden somit mehr Möglichkeiten für den Einsatz der Bondtechnologie geschaffen. Basierend auf dem Einsatz moderner Laserstrahlquellen mit einer sehr guten Strahlqualität können Kupfer- und Aluminiumwerkstoffe sehr präzise und reproduzierbar gefügt werden. Zusätzlich wird zum Design der Anbindungszone von Drähten und Bändchen der Laserprozess mit einem Oszillationsschweißprozess erweitert, welcher erhöhte Anbindungskräfte im Vergleich zum Fügen ohne Oszillation erreicht. Im Gegensatz zum herkömmlichen Ultraschall-Bonden sind Oberflächengüte und Reinigungsprozesse weniger anspruchsvoll. Zudem wird durch diesen Prozess eine größere Unabhängigkeit vom Unterbau und Schwingungsverhalten des Werkstücks erreicht.

### Ergebnis

Zur Kombination des Laserstrahlbondprozesses mit der bekannten Bondtechnologie wurde ein herkömmlicher Bondautomat mit einer Laserschweißeinheit umgerüstet. Dieser erlaubt nun das Fügen mittels schnell gescannter Laserstrahlung. Der primäre Einsatzbereich dieser Anlage ist das Bändchenbonds unter anderem auf DCB-Substraten und Kupferterminals in Gehäusen von Leistungselektronikmodulen.

### Anwendungsfelder

Besonders im Bereich der Leistungselektronik aber auch dort, wo hohe Ströme über kleine Anbindungen transportiert werden müssen, wie z. B. in der Batterietechnik, wird der Einsatz von Kupfer-Bändchen als leistungsstarke Alternative zu Aluminium-Bändchen geprüft. An dieser Stelle schafft der Einsatz des Laserstrahlmikroschweißens neue Möglichkeiten.

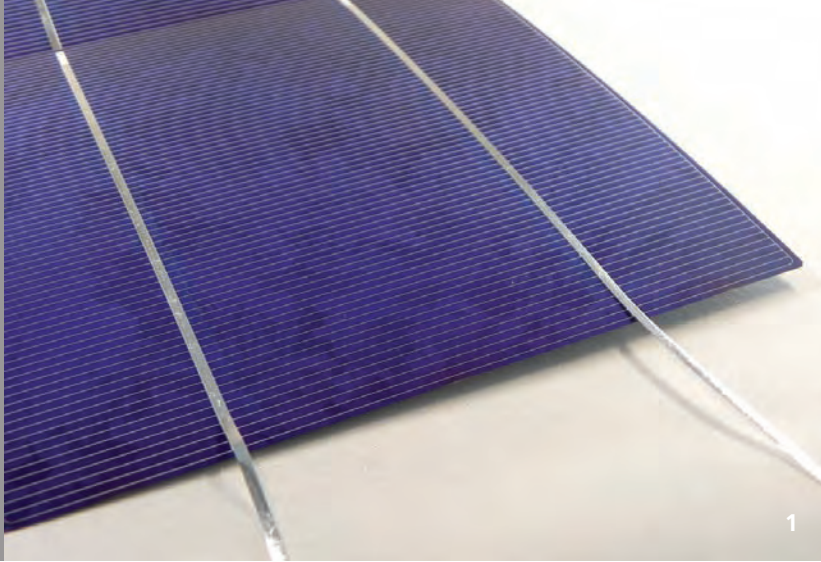
Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF im Themenfeld »Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)« gefördert und vom Projektträger VDI/VDE Innovation+Technik betreut.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Benjamin Mehlmann  
Telefon +49 241 8906-613  
benjamin.mehlmann@ilt.fraunhofer.de

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

- 3 *Bondkopf der »Laserbonders« bestehend aus Bondtool und Optikkopf.*  
4 *Lasergeschweißtes Cu-Bändchen auf DCB-Substrat und Terminal.*



## LASERLÖTEN VON SOLARZELLEN

### Aufgabenstellung

Die Anforderungen an die Lebensdauer und die damit verbundene erforderliche Fertigungsqualität von Photovoltaikmodulen sind in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen. Gleichzeitig müssen die Produktionskosten durch eine Verringerung der Waferdicke auf unter  $150\ \mu\text{m}$  und eine höhere Prozesstaktung gesenkt werden. Ein Schlüsselprozess bei der Modulfertigung ist die Zellkontaktierung, bei der metallische Zellverbinder mittels Löten an die Solarzelle gefügt werden. Ziel ist die mechanische und thermische Belastung beim Fügen des Zellverbinders zu minimieren, um Zellbrüche durch induzierte Spannungen zu vermeiden. Dabei soll die Prozesszeit unter 3 s betragen.

### Vorgehensweise

Durch die geringe Energieeinbringung birgt das Laserlöten gegenüber konventionellen Verfahren das größte Potenzial zur Erfüllung der gestellten Anforderungen. Für die Bestrahlung der Zellverbinder wird sowohl ein Verfahrensansatz unter Nutzung eines Laserscanners sowie die Verwendung einer Festoptik mit linienförmiger Strahlformung gewählt. Die Integration eines pyrometrischen Messsystems mit einem Galvanometerscanner ermöglicht die Ermittlung der Temperaturverteilung in der Fügezone, um eine individuelle

Energieeinbringung zu ermöglichen. Im Zuge der Optimierung der Verfahrensparameter, wie z. B. Laserleistung, Vorschubgeschwindigkeit und Bearbeitungsstrategie, wird die Ursache für entstehende Mikrorisse analysiert. Durch die Strahlformung mit Festoptik wird die gesamte Fügezone simultan aufgeheizt. Gleichzeitig wird der Prozess mittels Wärmebildkameras auf Prozessfehler hin überprüft.

### Ergebnis

Durch die Verwendung einer linienförmigen Festoptik kann der Zellverbinder über die gesamte Länge innerhalb bis zu 0,2 s gefügt werden. Der Galvanometerscanner ermöglicht Prozesszeiten im Bereich 1 - 2 s und erreicht durch verzugsminimierte Bearbeitungsstrategien Kontaktierungen mit Abzugskräften bis zu 6 N. Die Rissbildung im Kontaktierungsprozess kann durch minimale Energieeinbringung verhindert werden.

### Anwendungsfelder

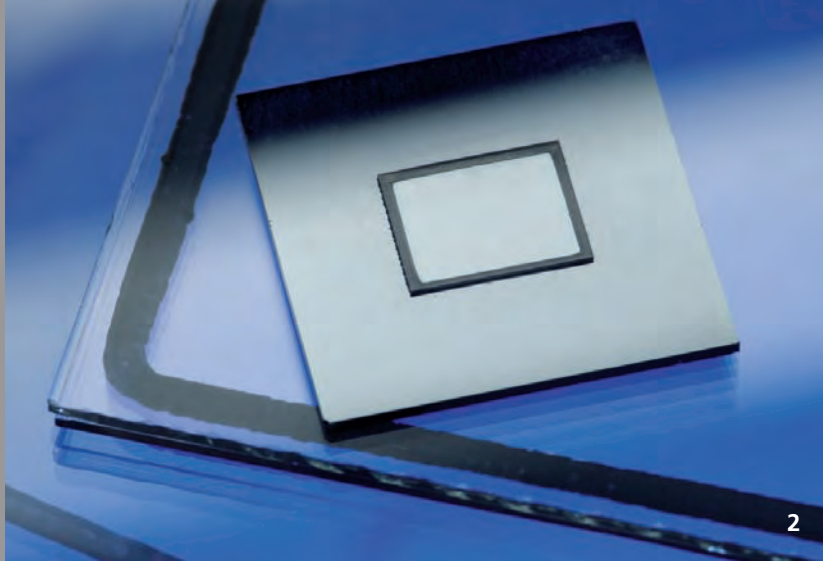
Die Laserverbindungstechnik wird in der Kontaktierung von konventionellen kristallinen Siliziumsolarzellen angewendet. Durch die Geometriefreiheit bei der scannenden Bearbeitung ist die Erweiterung der Anwendung auf neuartige Rückseitenkontaktzellen mit punktuellen Kontaktierungen möglich. Potenzielle weitere Anwendungen sind bei der Verbindungstechnik im Elektronikbereich möglich.

Die Arbeiten werden im BMU-Vorhaben »Innovative qualitäts-optimierte Laser-Verbindungstechnik für Photovoltaikmodule« unter dem Kennzeichen 0325265 gefördert.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Simon Britten  
Telefon +49 241 8906-322  
simon.britten@ilt.fraunhofer.de

1 Solarzelle mit gefügten Zellverbindern.



## LASERBASIERTES PACKAGING VON SILIZIUM/GLAS-BAUTEILEN MITTELS GLASLOT

### Aufgabenstellung

Bei der Herstellung von Präzisionsbauteilen wie Sensoren finden immer häufiger Kombinationen aus artungleichen Werkstoffen zur Herstellung eines hermetisch dichten Packagings Verwendung. Die Materialpaarung Silizium und Glas (Borofloatglas) kommt dabei nicht selten zum Einsatz. Da das Packaging oftmals temperaturempfindliche Komponenten umschließt, entfallen Ofenprozesse wie das anodische oder das konventionelle Glasfrit-Bonden, da hierbei integrierte, temperaturempfindliche Bauteilkomponenten geschädigt werden. Klebverfahren entfallen ebenso, da diese keine langzeitstabile Gasdichtheit zur Vermeidung einer Sauerstoff- und Feuchtigkeitspermeation gewährleisten.

### Vorgehensweise

Das Verfahren des laserstrahlbasierten Glasfritbondens ermöglicht eine Minimierung der Energiedeposition, da lediglich die zum Schmelzen des Lots notwendige Energie direkt im Lot appliziert wird. Eine thermische Belastung empfindlicher, integrierter Komponenten wird vermieden. Für die Herstellung eines Packagings artungleicher Werkstoffe ist allerdings eine Kompatibilität der Wärmeausdehnungskoeffizienten (CTE) der Einzelkomponenten des Gesamtverbands erforderlich.

Der eigentliche Lötprozess verläuft quasisimultan. Bei einer quasisimultanen Prozessführung wird der Laserstrahl mittels Scanner mit Geschwindigkeiten von ca. 1000 mm/s einige hundert Mal über die Lotkontur bewegt, um so eine gleichmäßige Verbindungsbildung zu gewährleisten.

### Ergebnis

Durch die kontinuierliche Prozessführung kann eine homogene Lötverbindung zwischen den beiden Fügepartnern realisiert werden. Für die Verbindung eines 5,5 x 6,5 mm<sup>2</sup> großen Glasdeckels mit einem entsprechenden Siliziumsockel wird eine Prozesszeit von 10 s erreicht, die den geforderten Verbindungskräften gerecht wird.

### Anwendungsfelder

Mögliche Anwendungen für dieses Verfahren sind das Verkapseln von Sensoren, Komponenten optischer bzw. medizintechnischer Produkte und das Packaging von Displays.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Heidrun Kind  
Telefon +49 241 8906-490  
heidrun.kind@ilt.fraunhofer.de

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





## LASERSTRAHLBONDEN VON GLAS MIT GLAS

### Aufgabenstellung

In der hybriden Mikrosystemtechnik aber auch im medizintechnischen Bereich ist die hermetische Versiegelung funktionaler Bauelemente zum dauerhaften Schutz vor Umgebungseinflüssen von großer Bedeutung. Bei Substraten auf Basis von Glas erfolgt die Verkapselung derzeit über Klebe- oder Lötverfahren. Nachteilig erweist sich bei diesen Verfahren die fehlende langzeitstabile Gasdichtheit bzw. die hohe thermische Belastung im ofenbasierten Lötprozess. Eine Alternative wird durch den Einsatz eines Lasers ermöglicht. Vorteile des Lasers sind neben einer exakt steuerbaren Wärmeeinflusszone eine hohe geometrische Flexibilität.

### Vorgehensweise

Das Laserstrahlbonds beruht auf dem Transmissionsfügen, wobei die Laserstrahlung durch einen Fügepartner transmittiert und durch den anderen Fügepartner absorbiert wird. Bei werkstoffgleichen Fügepartnern werden z. B. absorbierende Zwischenschichten eingesetzt. Das selektive Laserstrahlbonds von Glas mit Glas wird derzeit am Fraunhofer ILT mit einem Scheibenlaser ( $\lambda = 1030 \text{ nm}$ ) durchgeführt. Die eingesetzte Laserstrahlung wird vom Glas-Grundmaterial nicht absorbiert; zur Absorption werden metallische Zwischenschichten eingesetzt. Im Rahmen der Verfahrensentwicklung werden geeignete Prozessparameter wie z. B. Laserleistung, Vorschub- bzw. Scangeschwindigkeit und Anpressdruck für verschiedene metallische Zwischenschichtmaterialien ermittelt.

*1 Laserstrahlbonds eines Glas-Mikrofluidikchips mit einem Glas-Injektionsröhrchen.*

### Ergebnis

Glas-Glas-Bonds konnten bislang erfolgreich mit dem Zwischenschichtmaterial Titan hergestellt werden. Dabei wurden auf Chip-Ebene ( $5 \times 5 \text{ mm}^2$ ) sowohl Bonds mit nur einem Fügepartner mit metallischen Zwischenschichten realisiert als auch Bonds, bei denen beide Fügepartner mit gleichen Zwischenschichten belegt waren. Durch angepasste Prozessparameter und Scanstrategien konnten flächige und selektive Bonds mit Bondbreiten  $\geq 50 \mu\text{m}$  erzeugt werden.

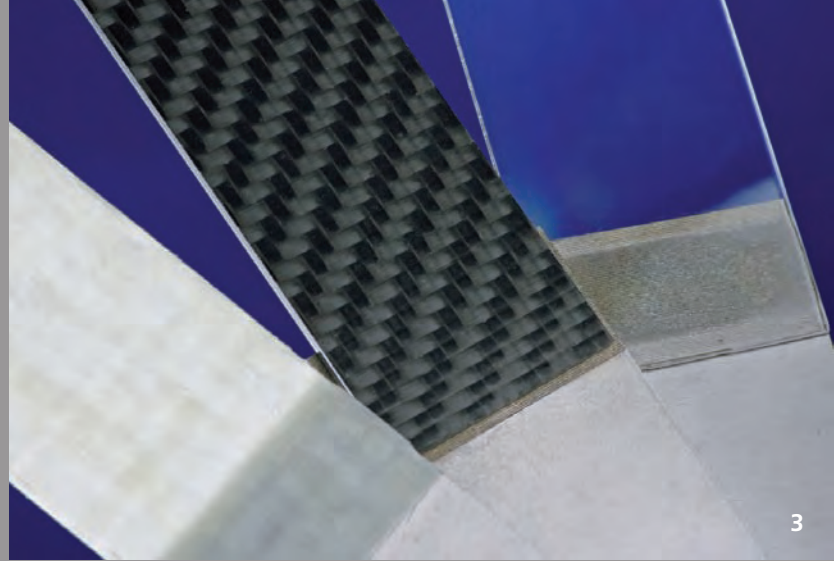
### Anwendungsfelder

Anwendungsfelder finden sich z. B. in der hybriden Mikrosystemtechnik, der Mikrofluidik und der Medizintechnik. Mögliche Anwendungen für dieses Verfahren sind das Verkapseln von Mikrosensoren bzw. Mikroaktuatoren oder Komponenten optischer bzw. medizintechnischer Produkte.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Anselm Wissinger  
Telefon +49 241 8906-500  
anselm.wissinger@ilt.fraunhofer.de

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



## FÜGEN VON KUNSTSTOFF-METALL-HYBRIDVERBINDUNGEN

### Aufgabenstellung

Besonders im Automobilbau ist die Verbindung verschiedenartiger Werkstoffe eine wichtige Anforderung. Der an die lokalen Belastungen angepasste Einsatz verschiedener Werkstoffe wie Kunststoff und Metall soll hier neue Wege für eine weitere Gewichtsoptimierung eröffnen. Während Kunststoffe besonders durch ihr geringes Gewicht, ihren günstigen Preis und die fast unbeschränkte Formgebung charakterisiert sind, widerstehen Metalle aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften deutlich höheren mechanischen Belastungen. Eine direkte stoffschlüssige Verbindung scheidet jedoch an der chemischen Unterschiedlichkeit von Kunststoff und Metall. Eine Anbindung durch Formschluss oder die Verwendung von Zusatzwerkstoffen ist daher erforderlich.

### Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wurde eine Prozesskette entwickelt, bei der mittels Laserstrahlung Mikrostrukturen im metallischen Fügepartner erzeugt werden. Im nachfolgenden Laserfügeverfahren wird der Kunststoff durch Verkrallung in der Mikrostruktur formschlüssig angebunden. Für eine feste Verbindung muss der plastifizierte Kunststoff in die erzeugten Strukturen mit Hinterschnittgeometrie fließen und anschließend dort erstarren.

### Ergebnis

Die erzielte mechanische Festigkeit der Fügeverbindung hängt neben den mechanischen Eigenschaften des Kunststoffs maßgeblich von der Strukturdichte und der Temperatur beim Fügen ab. Beim Laserdurchstrahlfügen wird durch die temperaturgestützte Regelung der Laserleistung eine gezielte Fügetemperatur zur Plastifizierung des Kunststoffs eingesetzt. So werden Festigkeiten oberhalb einer Klebeverbindung erreicht, ohne dass deren spezifische Nachteile auftreten. Mit dem neuartigen Fügeverfahren lassen sich verschiedene Kunststoffe mit Metall verbinden (Bild 3), eine geeignete konstruktive Auslegung der Fügeverbindung ermöglicht hohe Kräfte ( $> 16.000 \text{ N}$ , Bild 2) durch eine Doppellaschenverbindung.

### Anwendungsfelder

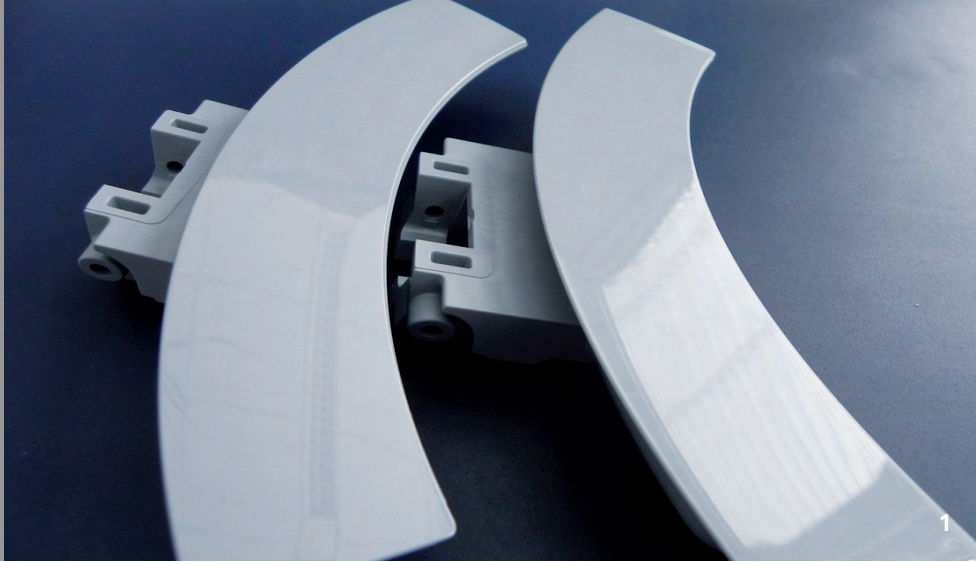
Durch die Hybridisierung von Bauteilen werden die werkstoffspezifischen Vorteile unterschiedlicher Materialien kombiniert, wodurch gleichzeitig leichte und steife Bauteile entstehen. Aus diesem Grund ist das vorgestellte zweistufige Verfahren besonders für die Luft- und Raumfahrtindustrie und den Automobilbau geeignet.

### Ansprechpartner

Dipl.-Wirt.-Ing. Christoph Engelmann  
Telefon +49 241 8906-217  
christoph.engelmann@ilt.fraunhofer.de

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

- 2 Metall-Kunststoff-Doppellaschenverbindung (Tragkraft  $> 1,6 \text{ t}$ ).  
3 Kombination von Stahl (1.4301) mit verschiedenen Kunststoffen (GFK, CFK, PC).



## ABZEICHNUNGSFREIES LASERSCHWEISSEN VON KUNSTSTOFFEN MIT CLASS-A-OBERFLÄCHEN

### Aufgabenstellung

Das abzeichnungsfreie Verschweißen von Kunststoffen im Überlapp wird bevorzugt durch Verwendung von (Dioden-) Laserstrahlung im Bereich 1000 nm durchgeführt, da die Wärmeeinflusszone im Gegensatz zum Ultraschall-, Reib- und Heizelementschweißen lediglich auf einen schmalen Bereich um die Kontaktfläche der beiden Fügepartner herum begrenzt ist und sich nicht bis zur Oberfläche erstreckt. Bei glänzend hellen Farbstellungen der beteiligten Polymere, wie es typisch bei Haushaltsgeräten ist, ist das Laserschweißverfahren wegen der geringen Transparenz des oberen Fügepartners allerdings bisher nicht etabliert.

Im Rahmen des von der EU geförderten Verbundvorhabens »Extending the process limits of laser polymer welding with highbrilliance beam sources«, Kurztitel »PolyBright«, wird die Verschweißung von weiß-weiß Verbindungen durch Verwendung alternativer Faserlaser-Wellenlängen um 1500 nm erfolgreich demonstriert.

### Vorgehensweise

In enger Kooperation zwischen den beteiligten Projektpartnern wurde zunächst ein Türgriff als konkreter Anwendungsfall ausgewählt (Electrolux), geringfügig modifiziert sowie die zuvor

entwickelten Farbadditive und Strahlungsabsorber ausgewählt (Treffert). Anschließend erfolgte die Verschweißung in einer am Fraunhofer ILT aufgebauten Prototypanlage, die einen 1567 nm Faserlaser (IPG) enthält.

### Ergebnis

Der Deckel aus hellgrauem, glänzendem PC wird auf das gleichfarbige Unterteil abzeichnungsfrei mittels 1567 nm Erbium Faserlaserstrahlung bei  $v = 15 \text{ mm/s}$  und  $P = 30 \text{ W}$  im TWIST®-Konturverfahren geschweißt. Die Komponenten werden in einer üblichen Vorrichtung gegen eine Glasplatte gepresst, ein Scanner (Arges) sorgt für die Bewegung des kreisrunden Laserstrahls mit 1,8 mm Durchmesser entlang der an der Außenkante des Türgriffs angeordneten Schweißkontur sowie für die überlagerte kreisförmige Wobbelbewegung mit 0,5 mm Radius. Basis für die beschriebene Anwendung ist neben der Verfügbarkeit leistungsstarker 1500 nm Laser die hohe Transmission vieler Polymere bei diesen Wellenlängen.

### Anwendungsfelder

Hell glänzende Kunststoffe werden meist dort verwendet, wo das optische Erscheinungsbild von großer Bedeutung ist. Dies ist der Fall für Haushaltsgeräte, Möbel, Gebrauchsgegenstände und Kfz-Innenausstattungen.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU-Projekts »PolyBright« unter dem Kennzeichen NMP2-LA-2009-228725 gefördert.

### Ansprechpartner

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

1 Türgriff aus PC (Deckel), geschweißt auf Unterteil  
aus ABS mittels 1567 nm Erbium-Faserlaserstrahlung.



## OPTIMIERTE SCAN-STRATEGIEN FÜR HOHE NAHTFESTIGKEITEN BEIM KUNSTSTOFFSCHWEISSEN

### Aufgabenstellung

Das Laserdurchstrahlweißen von Kunststoffen nach dem TWIST®-Verfahren zeichnet sich unter anderem durch seine hohe Flexibilität und hohe Festigkeit der Verbindung aus. Die Nahtfestigkeit hängt dabei neben dem Strahldurchmesser von den beiden Amplituden der periodischen Scanbewegung ab, die das Temperaturfeld bestimmen und somit die Nahtfestigkeit beeinflussen.

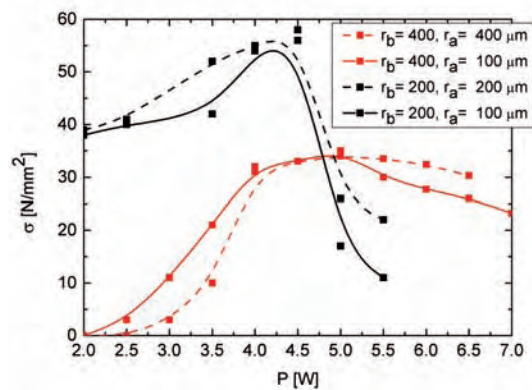
### Vorgehensweise

Zur Optimierung der Scanstrategien beim TWIST®-Schweißen werden mit einem Faserlaser bei einer Wellenlänge von 1060 nm unterschiedliche Scanstrategien mit variablen Strahlbewegungen evaluiert. Verglichen werden kreisförmige und elliptische periodische Scanbewegungen. Die Festigkeit wird mit Zugversuchen an Doppel-T-Proben als Funktion der Laserleistung  $P$  bestimmt. Die Geometrie der Schweißnaht wurde mit Mikrotomschnitten untersucht.

### Ergebnis

Mikrotomschnitte für unterschiedliche Amplituden zeigen, dass die Schweißnaht für elliptische Scanbewegungen homogener ist als für kreisförmige. Dieser Effekt ist für große Nahtbreiten bzw. Amplituden  $r_b$  ausgeprägter. Wird die

Festigkeit ( $\sigma$ ) über der Leistung aufgetragen, so nimmt sie ein lokales Maximum an. Bei Leistungen oberhalb des Maximums steigt die Zersetzungswahrscheinlichkeit. Für große Amplituden  $r_b$  führt die elliptische Scanbewegung zu einem größeren Prozessfenster.



### Anwendungsfelder

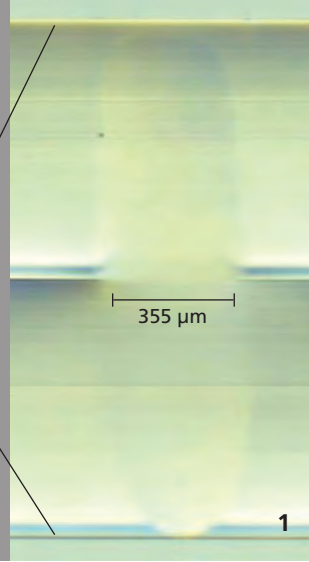
Flache homogene Anbindungsquerschnitte sind besonders für das abzeichnungsfreie Fügen von Kunststoffbauteilen wichtig, wie sie im Sichtbereich in der Automobilindustrie eingesetzt werden, sowie für das Verbinden dünner Bauteile und Folien aus den Bereichen des Packagings und der Sensortechnik.

### Ansprechpartner

Dr. Mirko Aden  
 Telefon +49 241 8906-469  
 mirko.aden@ilt.fraunhofer.de

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

*Mikrotomschnitte mit 2 W (A und B) und 4 W (C und D) Leistung.*



## LASERSTRAHLSCHWEISSEN TRANSPARENTER KUNSTSTOFFE OHNE ABSORBERZUSATZ

### Aufgabenstellung

Das Laserstrahlschweißen von Kunststoffen zeichnet sich durch einen gezielten und kontaktfreien Energieeintrag aus und ist aufgrund der Schmutz- und Partikelfreiheit ideal zum Verschweißen medizinischer Bauteile geeignet (Bild 1, links). Allerdings wird für diese Bauteile oftmals vollkommene Transparenz gefordert, die bisher aufgrund des notwendigen Einsatzes von Absorbern für das Laserstrahlschweißen nicht gewährleistet werden konnte. Auch werden bei Verwendung von Zusatzstoffen, vor allem in der Lebensmittel- und Medizinbranche, kosten- sowie zeitintensive Materialqualifizierungen gefordert.

### Vorgehensweise

Ein Großteil der Kunststoffe weist im nahen Infrarotbereich oberhalb von 1,1 µm Wellenlänge charakteristische Absorptionsbanden auf. Durch Wahl einer Strahlquelle mit geeigneter Emissionswellenlänge können diese ausgenutzt werden, um den Einsatz von Absorbern entbehrlich zu machen. Bei fehlendem Absorber haben beide Fügepartner die gleichen optischen Eigenschaften, folglich erfolgt die Absorption der Laserstrahlung nicht nur an ihrer Grenzfläche. Um dennoch

die Energie gezielt in die Fügeebene einzubringen, wird der Laserstrahl mittels einer Optik mit hoher numerischer Apertur (NA) fokussiert. Dadurch erreicht der Strahl im Fügebereich die zum Schmelzen des Materials notwendige Intensität, an den Außenseiten bleibt das Material hingegen fest.

### Ergebnis

Durch Verwendung von Hochleistungsdiodenlasern mit Emissionswellenlängen, die in den Absorptionsbanden der Kunststoffe liegen, kann anhand einer Waschammer aus einem biotechnologischen Anwendungsbereich die Eignung des Verfahrens demonstriert werden. Mit dem Verfahren lassen sich Schweißnähte mit Mindestbreiten unter 100 µm realisieren als auch Spaltmaße über 100 µm überbrücken. Die Verschweißung ist mediendicht und erfolgt ohne optische Beeinträchtigung des Bauteils (keine Blasen/Oberflächenabzeichnungen, Bild 1, rechts).

### Anwendungsfelder

Das vorgestellte Verfahren findet hauptsächlich im Medizin- und Verpackungsbereich Anwendung, in dem oftmals transparente Materialien gefordert werden. Neben der Transparenz bietet das Verfahren auch Kostenvorteile, da nicht nur die Kosten für den Absorber sondern auch die für dessen Einsatz notwendigen zeit- und kostenintensiven Zulassungsverfahren eingespart werden können.

Die Forschungsergebnisse sind Teil des Projekts »POLYNIR«, gefördert durch das Ziel-2-Programm der Europäischen Union unter dem Förderkennzeichen 300119502.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Viktor Mamuschkin  
Telefon +49 241 8906-8198  
viktor.mamuschkin@ilt.fraunhofer.de

1 Waschammer zur Zellseparation  
mit Querschnitt (Quelle: Miltenyi Biotec).



## KONTURFLEXIBLES UND MATERIALUNABHÄNGIGES LASERDURCHSTRAHLSIEGELN FÜR FOLIENVERPACKUNGEN

### Aufgabenstellung

Durch die Anforderungen in der Verpackungsindustrie, zum einen an immer individuellere Verpackungsgestaltungen und zum anderen an kleinere Losgrößen und höhere Formatflexibilität, sind innovative Lösungsansätze für den Siegelprozess gefordert. Die bisher dort eingesetzten Siegelverfahren wie beispielsweise das Wärmekontaktsiegeln oder Ultraschallsiegeln nutzen Werkzeuge mit einer festen Siegelkontur und erfordern zudem spezielle Siegelschichten. Eine Flexibilität hinsichtlich Werkstoffwahl und Verpackungsgeometrie ist hiermit nicht gegeben.

### Vorgehensweise

In Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung wird der Einsatz einer neuen Generation von Hochleistungs-Diodenlaserstrahlquellen zum Siegeln von Folienverpackungen untersucht. Mit einem Wellenlängenbereich zwischen 1,5 und 1,9  $\mu\text{m}$ , in dem viele marktübliche Kunststoffe in der Verpackungstechnik einen Absorptionspeak aufweisen, ist es möglich, ohne zusätzliches Einbringen von Absorbieren diese Kunststoffe direkt miteinander zu versiegeln. Darüber hinaus kann durch den Einsatz eines frei positionierbaren Laserstrahls als Siegelwerkzeug jede gewünschte Siegelnahtkontur realisiert und zugleich schnelle Formatwechsel ermöglicht werden.

### Ergebnis

Für mehrere marktübliche Verpackungsfolien bzw. Folienkombinationen konnte die Eignung des Laserdurchstrahlsiegeln als Siegelverfahren gezeigt werden. Die in der Analyse ermittelten Nahttrennkräfte gemäß DIN 55529, die zum Öffnen einer Folienverpackung nötig sind, liegen dabei innerhalb der geforderten bzw. marktüblichen Werte und weisen geringe Variationskoeffizienten auf. Durchgeführte Dünnschnitte in Siegelnahtbereichen zeigen zudem homogene Verbindungen.

### Anwendungsfelder

Das Laserdurchstrahlsiegeln eignet sich für die Anwendung im Lebensmittel-, Kosmetik-, Pharma- und Medizinprodukteverpackungsbereich sowie im Verbrauchsgütersegment. Insbesondere in Bereichen, wo das Einbringen von Zusatzstoffen schwierig und nur mit hohem Kostenaufwand realisiert werden kann, ist ein hohes Anwendungspotenzial für das Laserdurchstrahlsiegeln zu identifizieren.

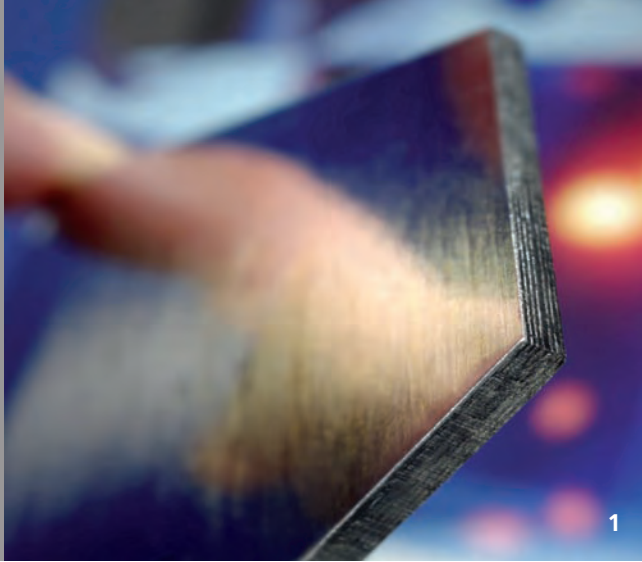
### Ansprechpartner

M.Eng. Maximilian Brosda  
Telefon +49 241 8906-208  
maximilian.brosda@ilt.fraunhofer.de

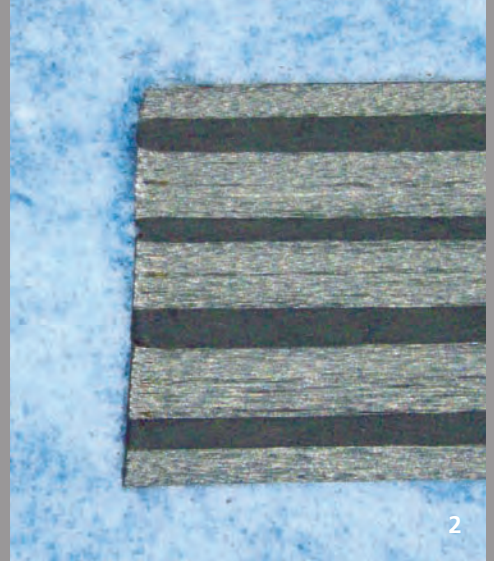
Dr. Alexander Olowinsky  
Telefon +49 241 8906-491  
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

2 Lasergesiegelte Lebensmittelverpackung.

3 Flexible Siegelnahtkontur.



1



2

## SCHNEIDEN VON KOHLEFASERVERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFEN (CFK)

### Aufgabenstellung

Faserverstärkte Kunststoffe (FVK) sind eine bedeutende Materialgruppe zur Realisierung von Leichtbaukonzepten beispielsweise im Materialmix für gewichtsreduzierte Fahrzeuge. Durch einen steigenden Einsatz von Elektro- und Hybridfahrzeugen werden diese Leichtbaubestrebungen weiter forciert. FVK sind mechanisch schwer zu bearbeiten, weil hoher Werkzeugverschleiß zu abnehmender Qualität über der Einsatzdauer und kurzen Standzeiten der Werkzeuge führt. Das berührungslose und kräftefreie Laserschneiden kann eine konstante Qualität liefern. Dazu sind Schneidverfahren mit wirtschaftlichen Zykluszeiten erforderlich, die in der Massenfertigung häufig im Bereich einer Minute liegen und nur zu einer minimalen thermischen Schädigung der Schnittkante führen.

### Vorgehensweise

Mit Ultrakurzpulslasern werden sehr gute Schnittqualitäten erreicht, jedoch bei geringen Schneidgeschwindigkeiten. Nanosekundenlaser mit Pulslängen im Bereich von einigen 10 bis einigen 100 Nanosekunden bieten Laserstrahlung mit hoher Intensität, die für eine gute Schnittqualität erforderlich ist, in Verbindung

mit hoher mittlerer Leistung, mit der sich die geforderten Bearbeitungsgeschwindigkeiten realisieren lassen. Voraussetzung dafür ist eine sehr gute Absorption der Laserstrahlung, die mit Wellenlängen typischer Nanosekundenlaser von 1  $\mu\text{m}$  für die Faser aber nicht für die Matrix erreicht wird.

### Ergebnis

Mit einem CO<sub>2</sub>-Nanosekundenlaser mit einer mittleren Leistung bis 1,5 kW konnte für CFK ein Bearbeitungsergebnis erreicht werden, das mit einer wärmebeeinflussten Zone von 100  $\mu\text{m}$  das Prozessregime zwischen schneller Bearbeitung mit multi-kW-Lasern und hochqualitativer Bearbeitung mit Ultrakurzpulslasern besetzt.

### Anwendungsfelder

Die Entwicklung effizienter Schneidverfahren für Löcher und Kantenbeschnitt in CFK und GFK werden durch den zunehmenden Einsatz dieser Materialien in der Luftfahrt und Automobilbranche gefördert, aber auch Produkte im Bereich Maschinenbau, Behälterbau, Freizeit- und Sportartikel profitieren von neuen Bearbeitungsverfahren.

Die Arbeiten wurden gefördert im Rahmen des EU-Projekts »FibreChain«.

### Ansprechpartner

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

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

1 Laserschnittkanten von CFK-Teilen.

2 Querschliff Schnittkante CFK (Dicke 2,6 mm).



## BEARBEITUNG VON CFK MIT ULTRAKURZ GEPULSTER LASERSTRAHLUNG HOHER MITTLERER LEISTUNG

### Aufgabenstellung

Aufgrund des außergewöhnlichen Verhältnisses von mechanischer Festigkeit zu Gewicht findet kohlefaserverstärkter Kunststoff (CFK) breite Anwendung im Leichtbau für die Automobil- und Luftfahrtindustrie. Durch die inhomogenen mechanischen und thermischen Eigenschaften von Kohlefasern und Matrixmaterial ist die Bearbeitung vergleichsweise problematisch. Die auftretenden Schwierigkeiten sind die Delamination der Fasern von der Matrix, die thermische Belastung der Matrix, die sich direkt negativ auf die mechanische Festigkeit auswirkt, sowie ein großer Werkzeugverschleiß durch die sehr harten Kohlefasern. Aus diesem Grund weist Laserstrahlung als ein kontaktloses und verschleißfreies Werkzeug ein großes Potenzial auf, die CFK Bearbeitung effizienter und schneller zu gestalten.

### Vorgehensweise

Um den thermischen Einfluss auf das Werkstück möglichst gering zu halten, wird der Einsatz von ultrakurzgepulster Laserstrahlung mit Pulsdauern  $< 10$  ps evaluiert. Durch den Einsatz von Hochleistungs-UKP-Lasern mit mittleren Ausgangsleistungen von bis zu 400 W soll eine, im Vergleich zum Einsatz von etablierten UKP-Lasern, große Produktivität erzielt werden.

### Ergebnis

Mittels ultrakurzgepulster Laserstrahlung und einer mittleren Leistung von 30 W wird die Bearbeitung von CFK mit Wärmeeinflusszonen unter  $5 \mu\text{m}$  bei Abtragraten von  $30 \text{ mm}^3/\text{min}$  realisiert (Bild 3). Bei der Verwendung von einer mittleren Ausgangsleistung von 400 W können maximale Abtragraten von  $380 \text{ mm}^3/\text{min}$  bei einer Wärmeeinflusszone von ca.  $65 \mu\text{m}$  erzielt werden.

### Anwendungsfelder

Eine potentielle Anwendung ist die Fertigung von CFK-Bauteilen für den Einsatz im Leichtbau. Auch die Verwendung des Prozesses für das gezielte Abtragen von defekten Bereichen an Leichtbaukomponenten im Rahmen eines Reparaturprozesses ist denkbar.

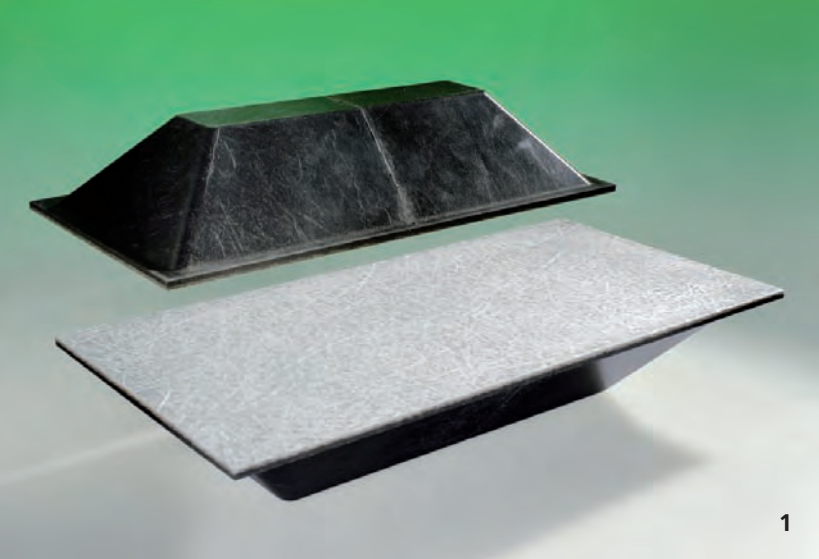
### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Johannes Finger  
Telefon +49 241 8906-472  
johannes.finger@ilt.fraunhofer.de

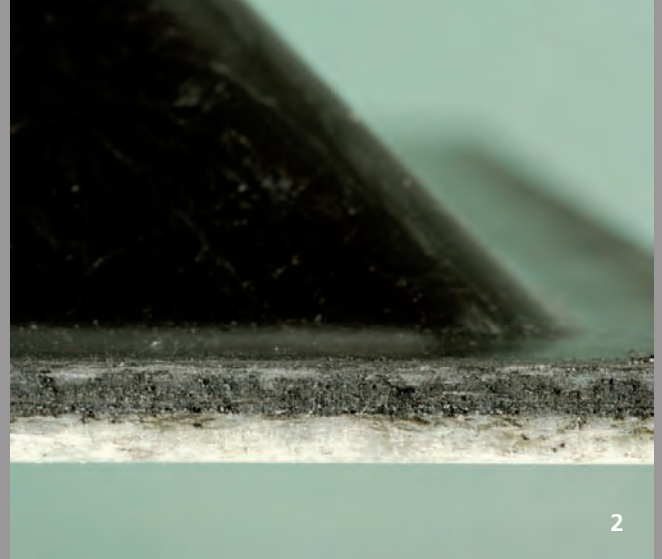
Dr. Ingomar Kelbassa  
Telefon +49 241 8906-143  
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de

- 3 *Mikroskopie-Aufnahme der Schnittkante.*  
4 *Mittels UKP-Laserstrahlung eingebrachte Löcher in CFK.*





1



2

## PROZESSKETTE ZUR HERSTELLUNG VON FVK-LEICHTBAUTEILEN

### Aufgabenstellung

Die Einsparung von Rohstoffen und Energie bei der Herstellung von Produkten bei gleichzeitiger Verbesserung ihrer Leistungsfähigkeit ist eine immer wichtiger werdende Herausforderung in der Fahrzeugindustrie. Innovative Leichtbaukonzepte auf Basis von faserverstärkten thermoplastischen Kunststoffen (TP-FVK) können hierzu einen wesentlichen Beitrag leisten. Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Einsatz der TP-FVK-Bauteile ist jedoch eine deutliche Senkung der Fertigungskosten und der Fertigungszeit bei gleichzeitiger Steigerung der Bauteilkomplexität, um die funktionellen Anforderungen zu erfüllen.

### Vorgehensweise

Mit einem neuen laserbasierten Ansatz soll eine innovative Prozesskette umgesetzt werden, die mit wenigen Prozessschritten zu einer schnellen, serientauglichen und automatisierten Fertigung von Strukturbauteilen aus langfaserverstärkten, thermoplastischen Kunststoffen führt. Kernidee des Ansatzes ist die Herstellung von dreidimensionalen FVK-Rohbauteilen im Faserspritz-Verfahren zur Erzeugung eines leicht handhabbaren Preforms mit einstellbarer Faserorientierung, der

anschließend in einem variothermen Werkzeug konsolidiert und abschließend durch Laserschneid- und Schweißverfahren zu einem Fertigbauteil vollendet wird. Für den Beschnitt wird ein CO<sub>2</sub>-Laser eingesetzt, der Fügeprozess wird mit einem Diodenlaser realisiert.

### Ergebnis

Die Prozesskette verbessert das Leichtbaupotenzial und die Serientauglichkeit bei deutlicher Reduktion der Zykluszeit, welche auf unter 3 Minuten reduziert wird. Durch die Weiterentwicklung der klassischen Laserverarbeitungsverfahren lassen sich die thermische Schädigungszone beim Laserschneiden deutlich reduzieren und thermoplastische FVK verschweißen.

### Anwendungsfelder

Mit der Prozesskettenverkürzung sollen sowohl dem Komponentenbau als auch der Ausrüsterindustrie neue Impulse gegeben werden, Leichtbauprodukte mit deutlich verringerten Kosten herzustellen. Besonders der Fahrzeugindustrie mit dem Schwerpunkt Leichtbau-Komponenten werden neue Fertigungsmöglichkeiten für nachhaltige Bauteile erschlossen.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des BMBF-Projekts »InProLight« gefördert.

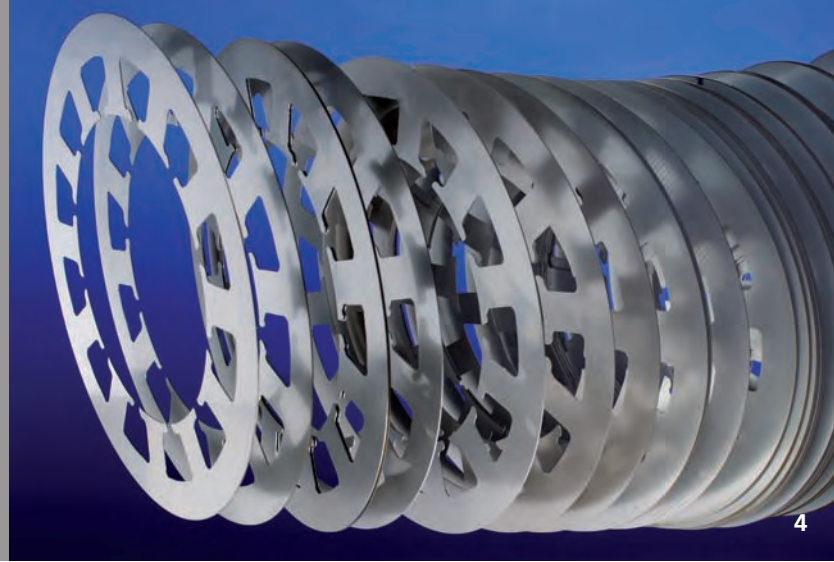
### Ansprechpartner

Dipl.-Wirt.-Ing. Christoph Engemann  
 Telefon +49 241 8906-217  
 christoph.engemann@ilt.fraunhofer.de

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

1 Demonstratorbauteil der Prozesskette.

2 Detail Fügeverbindung und Schnittkante.



## HOCHGESCHWINDIGKEITS- KONTURSCHNEIDEN VON STATORBLECHEN FÜR ELEKTROMOTOREN

### Aufgabenstellung

Das Laserschneiden von Statorblechen ermöglicht die flexible Anpassung der Schneidgeometrien an die jeweilige Motorgroße und Motorgeometrie. Im Gegensatz zum üblichen Stanzen der Statorbleche mit hohem Produktionsvolumen, bei dem für jede Kontur ein neues Werkzeug hergestellt werden muss, kann mittels eines Laserschneidsystems jede beliebige Geometrie mit geringsten Losgrößen erstellt werden. Sonderanfertigungen oder Bauteile mit einem niedrigen Produktionsvolumen können hierdurch wirtschaftlich hergestellt und kostengünstig an die Kundenwünsche angepasst werden.

### Vorgehensweise

Das Laserstrahlschneiden erlaubt Schneidgeschwindigkeiten von mehr als 100 m/min bei 4 kW Laserleistung und 1 mm Blechdicke bei Stahlblechen, bei Aluminiumblechen mit über 150 m/min. Um das Potenzial hoher maximal möglicher Geschwindigkeiten auch in komplexen Konturen nutzen zu können, sind hochdynamische Anlagen erforderlich. Typischerweise wird dabei der Schneidkopf mindestens in einer Achse relativ zum Werkstück bewegt, weil damit geringere Massen beschleunigt werden als bei einem bewegten Werkstück.

Diese Anordnung ist jedoch ungeeignet für Prozessentwicklungen, bei denen die Beobachtung des Prozesses gewünscht ist. Durch den statischen Bearbeitungsort ist die Zugänglichkeit für Hochgeschwindigkeitskameras, Photodioden und weitere Sensoren in koaxialer oder außeraxialer Beobachtungsperspektive optimal.

### Ergebnis

Die hohen Ruck- und Beschleunigungswerte der im Fraunhofer ILT entwickelten Anlage von 5000 m/s<sup>3</sup> und 5 g ermöglichen den Schneidbetrieb einer komplexen Statorgeometrie bei einem Durchmesser von 130 mm in einer Bearbeitungszeit von unter 6 Sekunden. Die flexible Anpassung der Laserleistung an die jeweils vorliegende bzw. erzielbare Prozessgeschwindigkeit optimiert die Energieeffizienz eines solchen Schneidbetriebs.

### Anwendungsfelder

Neben der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung von Metallen und Kunststoffen mit niedrigen Materialstärken kann das Achssystem für die Prozessanalyse im gesamten Dicken-spektrum genutzt werden.

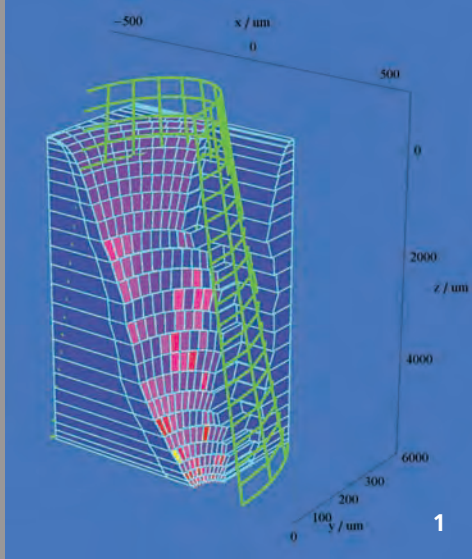
### Ansprechpartner

M.Sc. Thomas Molitor  
Telefon +49 241 8906-8080  
thomas.molitor@ilt.fraunhofer.de

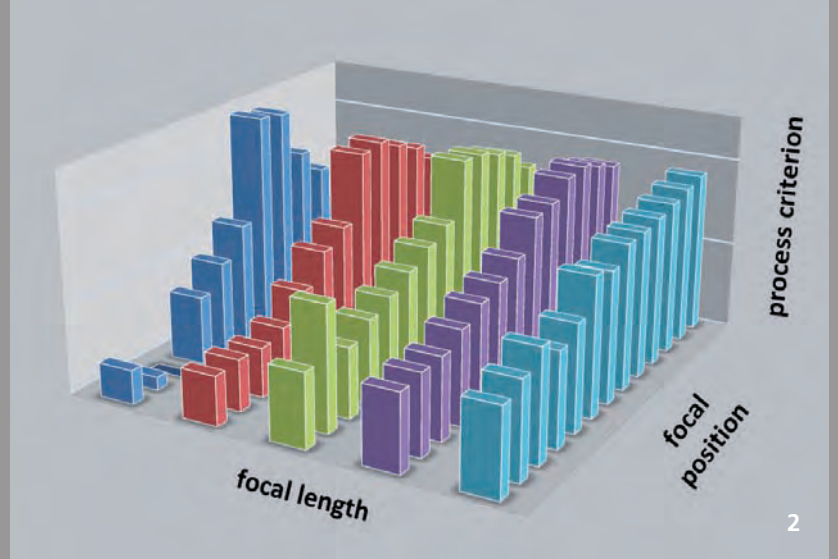
Dr. Dirk Petring  
Telefon +49 241 8906-210  
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de

3 Schneidbetrieb.

4 Lasergeschnittenes Statorblech.



1



2

## PARAMETERSCREENING UND OPTIMIERUNG DES FASERLASERSCHNEIDENS DURCH PROZESSSIMULATION

### Aufgabenstellung

Lasersystemhersteller und Endanwender in der blechverarbeitenden Industrie suchen dringend nach Lösungen, um die Vorteile fasergekoppelter Strahlquellen gegenüber den etablierten CO<sub>2</sub>-Lasern bezüglich Flexibilität und Produktivität mit einer höheren Schnittqualität zu verknüpfen. Fragen bestehen vor allem zu den Mechanismen der Schmelzstufenbildung, der Entstehung von horizontalen und vertikalen Schmelzsträngen sowie Aussagen zur Schmelzfilmoberflächentemperatur und zur Verdampfung und Mehrfachreflexion. Die für den Anwender wichtigen Parameterabhängigkeiten sind fernab davon, durch ein konsolidiertes Verständnis in der Fachwelt abgesichert zu sein. Neben experimentellen Untersuchungen sollen nun systematische Simulationsrechnungen das Parameterscreening unterstützen.

### Vorgehensweise

Im EU-Projekt »FILCO« hat das Fraunhofer ILT im Auftrag von fünf europäischen Hightech-KMUs die Aufgabe übernommen, mit dem Simulationsprogramm CALCut insbesondere das Parameterfeld »Brennweite x Fokusslage« zu screenen und auf Basis der Simulationsergebnisse eine optimierte Laserschneidoptik zu entwickeln.

1 Mit CALCut simulierte Schneidfront (6 mm, Edelstahl).

2 Beispiel eines Screening-Ergebnisses.

### Ergebnis

In der ersten Projektphase wurden für eine vom Projektkonsortium ausgewählte Referenzanwendung mehr als 600 CALCut-Simulationen berechnet. Mit dem Ziel möglichst effizienter Schneidprozesse und qualitativ hochwertiger Schneidergebnisse wurden folgende Simulationsgrößen ausgewertet:

- maximale Schneidgeschwindigkeit,
- Reichweite der Schneidgaströmung in der Fuge,
- Gleichmäßigkeit der Schneidfrontgeometrie,
- Gleichmäßigkeit der absorbierten Leistungsdichte,
- Robustheit bei inkrementalen Parameteränderungen.

Als Ergebnis wurde ein effizientes und robustes Regime für die Wahl der optischen Parameter und das Optikdesign ermittelt.

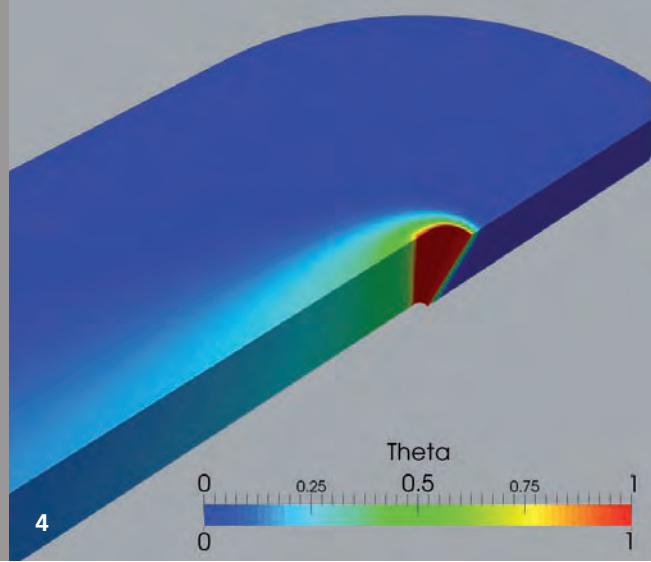
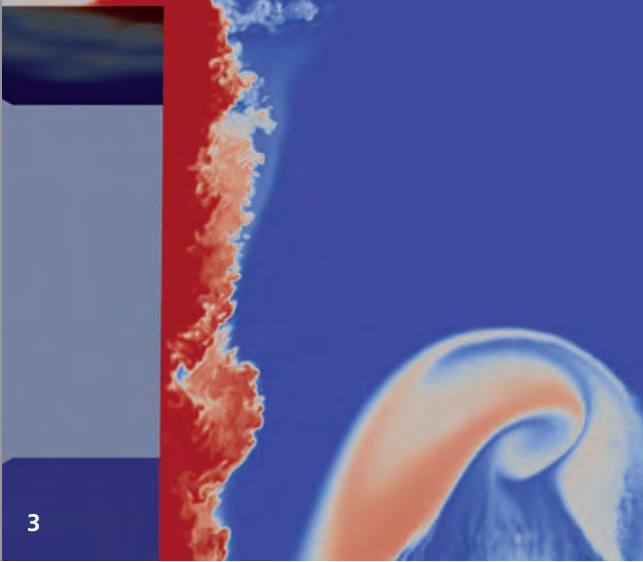
### Anwendungsfelder

Das simulationsgestützte Parameterscreening wird zukünftig in der Laserprozessentwicklung eine Schlüsselrolle einnehmen.

Die Forschungsergebnisse wurden von der EU unter dem 7. Rahmenprogramm über die REA-Research Executive Agency unter dem Förderbescheid FP7-SME-2012-315405-FILCO gefördert.

### Ansprechpartner

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



## SIMULATION – NUMERISCHE BIBLIOTHEK FÜR LASERAPPLIKATIONEN

### Aufgabenstellung

Bei der Lasermaterialbearbeitung ist die Korrelation zwischen Parametern und der Qualität des Bearbeitungsergebnisses häufig stark nicht linear und kann Diskontinuitäten enthalten. Die Simulation gewinnt zunehmend an Bedeutung bei der Analyse von dynamischen Prozessen, die experimentell nur schwer zugänglich sind. Die zu lösenden Multiskalenaufgaben sind an freien Rändern gekoppelt. Erst die schnelle Lösbarkeit dieser numerisch anspruchsvollen Aufgabe bei hinreichender räumlicher und zeitlicher Auflösung erlaubt die effektive Nutzung von Simulationen.

### Vorgehensweise

Ausgehend von den Anforderungen solcher Multiskalenaufgaben, hohe Genauigkeit und räumliche Auflösung in Grenzschichtbereichen bei gleichzeitig möglichst geringen Berechnungszeiten, wurden Spektral-Element und Discontinuous Galerkin Methoden implementiert. Durch eine hybride Massivparallelisierung mit MPI und OpenMP wurden die Berechnungszeiten drastisch reduziert. Die Bewegung der freien Ränder wird numerisch mit einer Interface Capturing Methode, der Level Set Methode, beschrieben. Level Set Methoden stellen robuste und gleichzeitig genaue numerische Methoden zur Beschreibung von komplizierten Oberflächenbewegungen dar, selbst wenn extreme Topologiewechsel auftreten.

### Ergebnis

Die numerischen Verfahren wurden in Form einer modular aufgebauten C++-Bibliothek implementiert. Hierdurch ist die Möglichkeit zur schnellen und flexiblen Entwicklung von parallelisierten Simulationsrechnungen nach dem Baukastenprinzip gegeben. Beispiele sind das schnelle Lösen einer mehrkomponentigen Gasströmung beim Laserbrennschneiden (Bild 3) und eine Berechnung von Oberflächenbewegung und Temperatur beim Laserschmelzschnitten (Bild 4).

### Anwendungsfelder

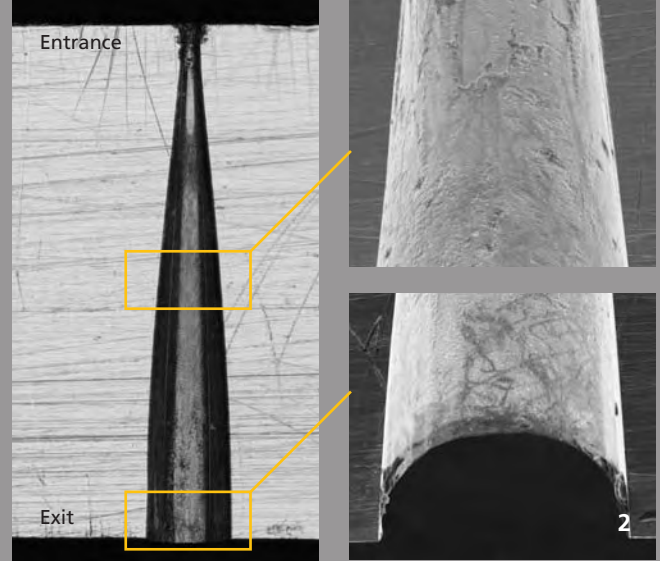
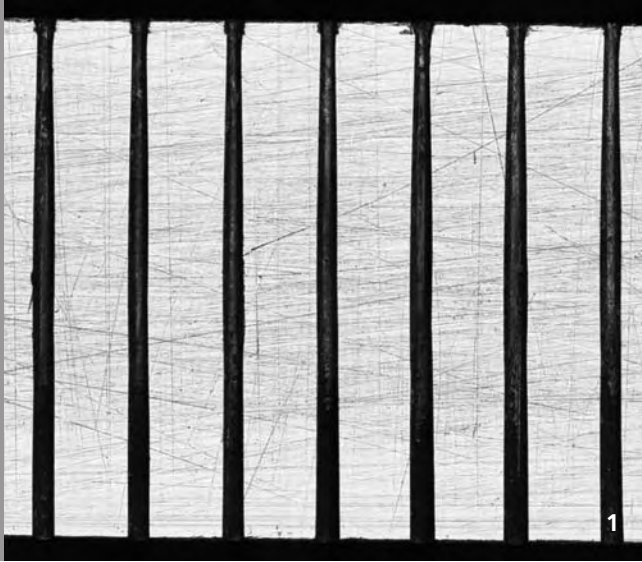
Mit dem neuen Berechnungsverfahren können komplexe Fragestellungen bei der Lasermaterialbearbeitung mit hoher Auflösung in kurzer Rechenzeit simuliert werden. Anwendungen sind z. B. das Auslegen von Düsen für die Gasströmungen beim Schneiden, Schweißen und Bohren mit Laserstrahlung.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Ulrich Jansen  
Telefon +49 241 8906-680  
ulrich.jansen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Markus Nießen  
Telefon +49 241 8906-307  
markus.niessen@ilt.fraunhofer.de

- 3 Simulation einer turbulenten Mehrkomponentenströmung beim Laserbrennschneiden.  
4 Simulation der Temperaturverteilung beim Laserschmelzschnitten mit Level Set und Spektral-Element Methode.



## WENDELBOHREN VON PRÄZISEN FORMBOHRUNGEN

### Aufgabenstellung

Bei der Herstellung von Mikrobohrungen mit Durchmessern kleiner 100  $\mu\text{m}$  hat sich das Laserstrahlbohren bereits in vielen Anwendungsbereichen etabliert. Hierbei ist oft das Erreichen sehr runder Löcher oder einer definierten Bohrungsform – egal ob zylindrisch, positiv konisch oder negativ konisch – ausschlaggebend. Für diese Fälle bietet das Wendelbohren ein gutes Verfahren, mit dem runde Löcher bei definierter Bohrlochform erzeugt werden können.

### Vorgehensweise

Für die Untersuchung des Wendelbohrprozesses werden mit einem frequenzverdoppelten ps-Laser Bohrungen in Metalle eingebracht. Durch die sehr kurze Pulsdauer wird die Wärme-eindringzone in das Metall sehr klein gehalten und nur wenig Schmelze erzeugt. Die Wendelbohrungen werden mit einer am Fraunhofer ILT entwickelten Wendelbohroptik eingebracht, deren optische Rotationsgeschwindigkeit bis 36.000 U/min variiert werden kann. Durch Variation des Anstellwinkels und des Wendeldurchmessers der Laserstrahlung in der Bohroptik können der Bohrungsdurchmesser sowie die Konizität der Bohrung eingestellt werden. Für die Untersuchung der Bohrungsqualität werden Raster-Elektronen-Mikroskopie-Aufnahmen (REM) des Bohrungsein- sowie -austritts und von Querschnitten betrachtet.

- 1 *Zylindrische Bohrungen in Stahl.*  
 2 *Querschnitt einer negativ konischen Bohrung in Stahl.*

### Ergebnis

In Stahl mit einer Dicke  $> 1$  mm können definiert zylindrische, positiv konische und negativ konische Löcher erzeugt werden. Durch die verwendete kurze Pulsdauer wird keine Schmelze erzeugt, so dass keine Schmelzablagerungen sowohl an Eintritt, Austritt oder der Bohrungswand zu detektieren sind. Die Rauigkeit der Bohrungswand beträgt  $Ra < 2 \mu\text{m}$ .

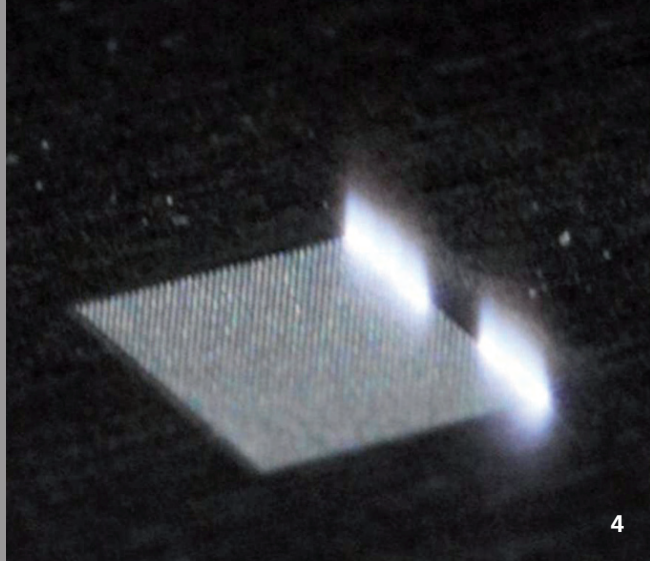
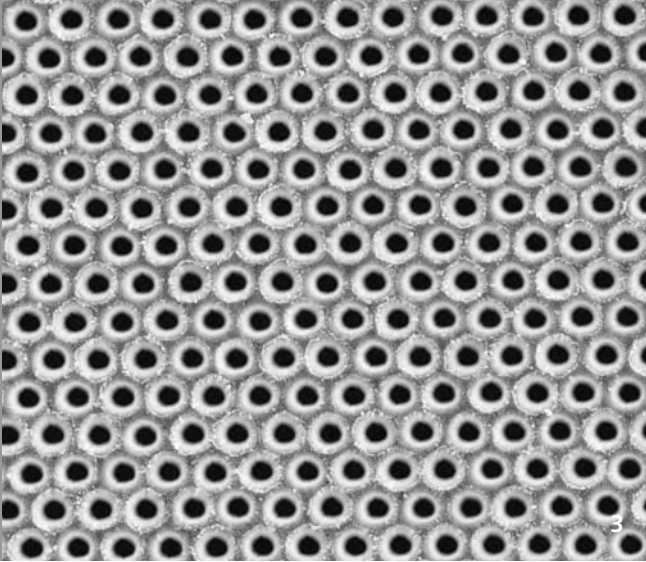
### Anwendungsfelder

Die Anwendungsfelder des Verfahrens liegen in allen Bereichen, in denen sehr präzise Bohrungen benötigt werden. Beispiele hierfür sind z. B. das Bohren von Einspritzdüsen, Startlochbohrungen oder Entlüftungslöcher.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing Dipl.-Wirt.-Ing Christian Fornaroli  
 Telefon +49 241 8906-642  
[christian.fornaroli@ilt.fraunhofer.de](mailto:christian.fornaroli@ilt.fraunhofer.de)

Dr. Jens Holtkamp  
 Telefon +49 241 8906-273  
[jens.holtkamp@ilt.fraunhofer.de](mailto:jens.holtkamp@ilt.fraunhofer.de)



## PROZESSSTABILITÄT BEIM PERFORIEREN MIT ULTRAKURZEN LASERPULSEN

### Aufgabenstellung

In Technik und Medizin werden verstärkt perforierte Materialien z. B. als Filter und Siebe benötigt. Der Perforationsdurchmesser dieser Siebe liegt dabei häufig im Bereich  $< 20 \mu\text{m}$  bei einer Materialstärke von typischerweise  $< 200 \mu\text{m}$ . Die zu bohrenden Materialien sind dabei dünne Folien unterschiedlicher Materialien wie Metalle, Glas, Keramiken aber auch Kunststoffe. Die Anzahl der Bohrungen pro Folie kann mehrere Tausend betragen. Bedingt durch die Anwendung der gebohrten Folien als Filter sind die wichtigsten Anforderungen definierte Lochdurchmesser und Geometrie bei kleinem Lochabstand. Um dies zu erreichen, werden die Einflussfaktoren auf die Prozessstabilität beim Perforieren dünner Folien mit ultrakurzten Pulsen untersucht.

### Vorgehensweise

Um möglichst kleine Lochdurchmesser bei gleichzeitig kleinem Lochabstand erreichen zu können, wird ein frequenzverdrehfacher Nd:YAG ps-Laser eingesetzt. Durch den Einsatz eines ps-Lasers wird die thermische Belastung der Folie bei der Bearbeitung minimiert. Der Laserstrahl wird mittels einer Linse kleiner Brennweite fokussiert. Zur flexiblen und schnellen Positionierung des Laserstrahls wird ein Galvanometerscanner verwendet.

### Ergebnis

Unter Nutzung des Ultrakurzpuls-Ansatzes kann bei einem Lochdurchmesser von ca.  $5 \mu\text{m}$  ein minimaler Lochabstand von  $13 \mu\text{m}$  realisiert werden. Das Prozessfenster zur Erzeugung runder Löcher ist durch zwei Effekte beschränkt. Zum einen wird die Elliptizität der Löcher durch die Reihenfolge beeinflusst, in der die Löcher in die Folie gebohrt werden. Zum anderen kann durch einsetzende Polarisierungseffekte der Lochaustritt unrund werden.

### Anwendungsfelder

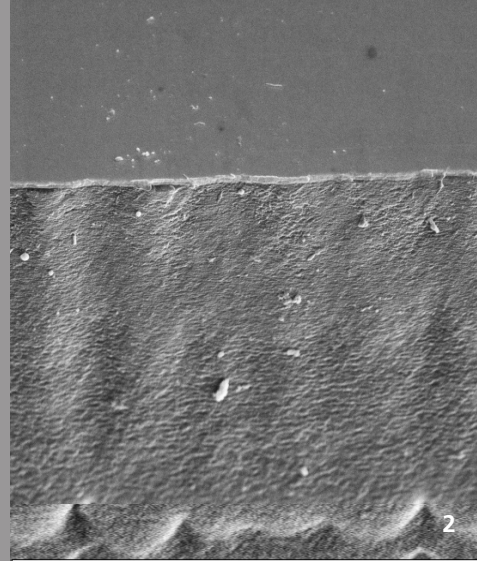
Die Anwendungsfelder des Verfahrens liegen hauptsächlich in der Mikro- und Ultrafiltrationstechnologie zur mechanischen Wasseraufreinigung. Weitere Anwendungen bestehen in der Photovoltaik zur Erzeugung von Rückseitenkontakten in Solarzellen oder auch im Bereich der Li-Ionen-Akkumulatoren.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Claudia Hartmann  
Telefon +49 241 8906-207  
claudia.hartmann@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jens Holtkamp  
Telefon +49 241 8906-273  
jens.holtkamp@ilt.fraunhofer.de

- 3 Perforierte Aluminiumfolie mit Lochdurchmesser  $6 \mu\text{m}$  und Lochabstand  $19 \mu\text{m}$ .  
4 Perforationsprozess einer Aluminiumfolie.



## ABTRAGSSCHNEIDEN VON SILIZIUMWAFERN MIT ULTRAKURZ GEPULSTER LASERSTRAHLUNG

### Aufgabenstellung

Mikroelektronische Bauteile, wie z. B. LED-Chips, werden gemäß dem Stand der Technik in einem Batch-Prozess produziert. Das bedeutet, dass eine Vielzahl an identischen Komponenten auf einem Siliziumwafer prozessiert und schließlich vereinzelt wird. Im Zuge der kontinuierlichen Miniaturisierung von elektronischen Bauteilen schrumpfen die Abmaße der Bauelemente und konventionelle Fertigungstechniken zum Vereinzeln aus dem Wafer stoßen an ihre Prozessgrenzen. Im Gegensatz dazu bietet das Abtragsschneiden mit ultrakurz gepulsten Laserstrahlquellen aufgrund des schonenden und selektiven Abtrags signifikante Vorteile im Hinblick auf Trennstraßenbreite und Bruchfestigkeit der geschnittenen Bauteile.

### Vorgehensweise

Durch die Verwendung ultrakurz gepulster Laserstrahlung im fs- und ps-Bereich wird ein direkter Abtragsprozess als Ansatz für das Wafer-Dicing verfolgt. In grundlegenden Abtragsversuchen wurde zunächst der Einfluss von unterschiedlichen Wellenlängen und Strahlformen ermittelt und ein Abtragsmodell aufgestellt. Weiterhin wurden in ausführlichen Untersuchungen die Grenzen von Laserleistungen in Kombination mit Ablenkgeschwindigkeiten ermittelt,

1 *Polygonscanner.*

2 *Schneidkante eines vereinzelt Siliziumchips.*

die zu einem optimalen Schneidergebnis führen. Die so ermittelten Prozessparameter wurden schließlich auf ihre Skalierbarkeit untersucht. Die Skalierung erfolgt durch eine Erhöhung der Pulsrepetitionraten zusammen mit schneller Strahlableitung auf der Basis eines Polygonscanners.

### Ergebnis

Der Abtrag mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung führt zur Verringerung der Trennstraßenbreite auf bis zu 25 µm bei einer sehr homogenen Schnittkantenqualität und einer marginalen Wärmeeinflusszone. Strahlquellen mit hohen Pulsrepetitionraten im MHz-Bereich können durch einen Polygonscanner für die Anwendung nutzbar gemacht werden.

### Anwendungsfelder

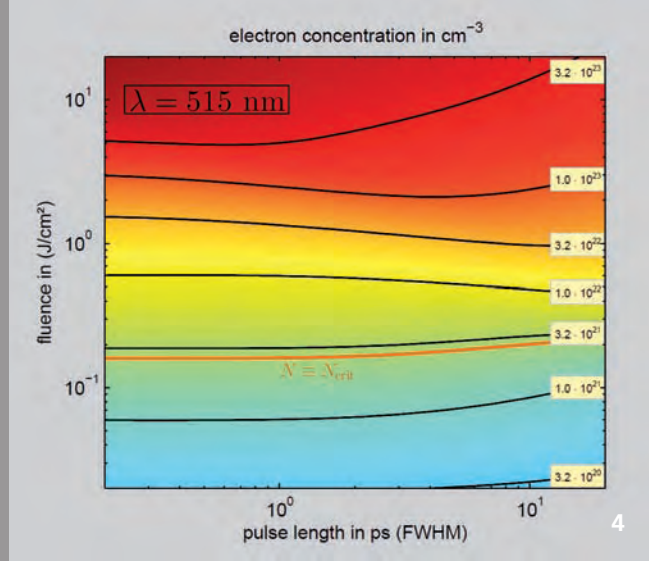
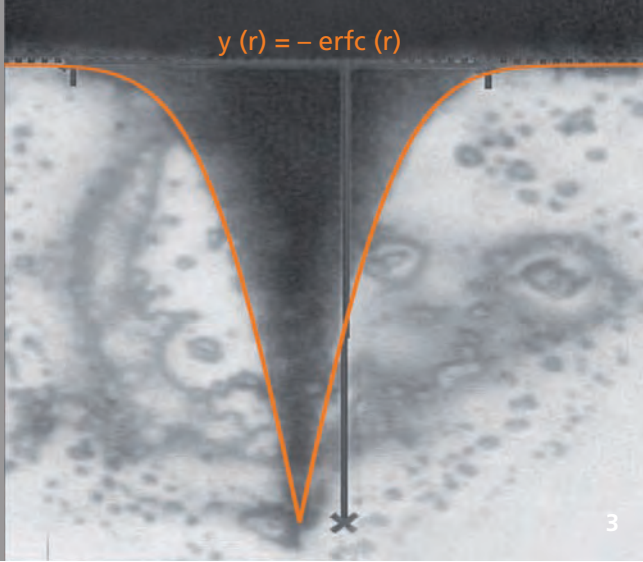
Die generierten Ergebnisse können insbesondere im Bereich der LED-Fertigung umgesetzt werden, um die Chip-Ausbeute pro Wafer und somit die Produktionseffizienz signifikant zu erhöhen. Da parallel auch die Schnittkantenqualität verbessert werden kann, erhöht sich die Bruchfestigkeit der Chips, was zu einer gesteigerten Prozesssicherheit führt.

Das Projekt wird im Rahmen des BMBF-Projekts »SEMILAS« gefördert.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Christian Fornaroli  
Telefon +49 241 8906-642  
christian.fornaroli@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jens Holtkamp  
Telefon +49 241 8906-273  
jens.holtkamp@ilt.fraunhofer.de



## SIMULATION DES ABTRAGENS VON SILIZIUM

### Aufgabenstellung

Das Vereinzeln von Chips auf Silizium-Wafern mit ultrakurzen Laserpulsen wird von der Halbleiterindustrie vielseitig angewandt und zeichnet sich durch hohe Integrationsdichten, große Schnittgeschwindigkeiten und insbesondere die Bearbeitbarkeit sehr dünner Wafer aus. Unter anderem eröffnet die bereits erfolgreiche LED-Produktion mit diesem Verfahren ein großes Marktpotenzial. Um die Potenziale dieser Schneid-Technik zu erweitern, werden die Mechanismen des Abtragens und die Bildung von Schädigungen entlang der Schnittfuge untersucht.

### Vorgehensweise

Das Ziel der Modellierung und Simulation ist eine räumlich aufgelöste Beschreibung des Abtrags von Silizium-Wafern für den Fall ultrakurzer, hoch-intensiver Laserpulse. Dazu werden ein makroskopisches Modell, das die Form der Schnittfuge beschreibt, und ein mikroskopisches Modell, mit dem die Dynamik des Elektronensystems, die Thermodynamik im Festkörper und der Abtrag erfasst werden, kombiniert.

### Ergebnis

Als Ergebnis hängt die asymptotische Form der Schnittfuge (z. B. die maximal erreichbare Schnitttiefe) von dem Strahlprofil des Lasers und der Abtragsschwelle des Wafermaterials ab. Der Querschliff in Abbildung 3 zeigt, dass die Modellvorhersage, die in diesem Fall sogar analytisch angebar ist, die experimentell ermittelte Fugenform gut reproduziert.

Um das lokale Abtragsverhalten als Funktion der Laserparameter (Fluenz, Pulsform, Wellenlänge) vorherzusagen, ist das Modell, in dem die Teilprozesse nichtlineare Absorption, Strahlungspropagation und Anregung von Elektronen enthalten sind, in eine Simulation implementiert. Das Erstellen von »Prozesslandkarten« der relevanten mikroskopischen Parameter (Bild 4) erlaubt die Optimierung auch in Parameterbereichen, die heute experimentell noch nicht zugänglich sind.

### Anwendungsfelder

Die erarbeiteten Modelle und Ansätze lassen sich auf weitere industrierelevante Substrate übertragen. Solche Substrate sind z. B. Saphir (ebenfalls LED-Produktion) und Glas (Display-Fertigung, Photovoltaik), bei denen der gepulste Laserabtrag ebenfalls durch eine »Abtragsschwelle« charakterisiert ist.

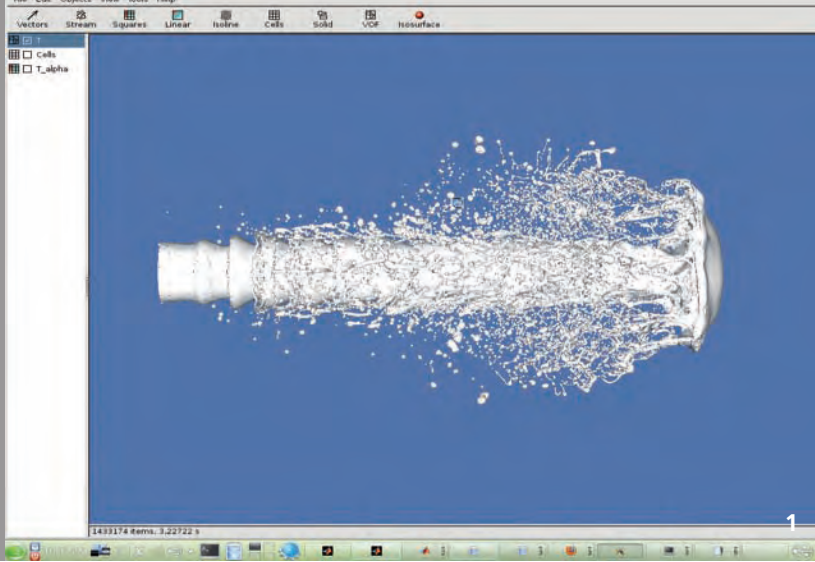
### Ansprechpartner

Prof. Wolfgang Schulz  
 Telefon +49 241 8906-163  
 wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Urs Eppelt  
 Telefon +49 241 8906-163  
 urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de

- 3 Exp. Querschliff und Simulation der asymptotischen Schnittfugenform.
- 4 Prozesslandkarte: Elektronendichte über Fluenz und Pulslänge.





---

## SIMULATION EINES WASSERSTRAHLS ZUR STRAHLFÜHRUNG

---

### Aufgabenstellung

Beim Abtragen von Werkstoffen mit Kurzpulslasern (mit Pulsdauern im Nanosekunden-Regime) werden neben Gas-Jets mittlerweile auch Flüssigkeitsstrahlen – in diesem Fall zur Strahlführung wie auch zur Kühlung – angewandt. Diese Anwendung erfordert die Kenntnis von Strömungseigenschaften, beim Flüssigkeitsstrahl insbesondere die Neigung zur hydrodynamischen Instabilität.

### Vorgehensweise

Das Ziel der Modellierung und Simulation ist die räumlich-aufgelöste Beschreibung der freien Oberfläche des Wasserstrahls sowie dessen Geschwindigkeit. Dazu wird die Hydrodynamik sowohl im Rahmen reduzierter Modelle (Slender-Jet-Equations) als auch vollständig numerisch mittels Volume-of-Fluid-Verfahren berechnet, um die Anwendbarkeit reduzierter Modellgleichungen angeben zu können.

### Ergebnis

Modelle beider Approximations-Stufen wurden numerisch implementiert und stehen für einen Vergleich mit experimentellen Daten zur Verfügung.

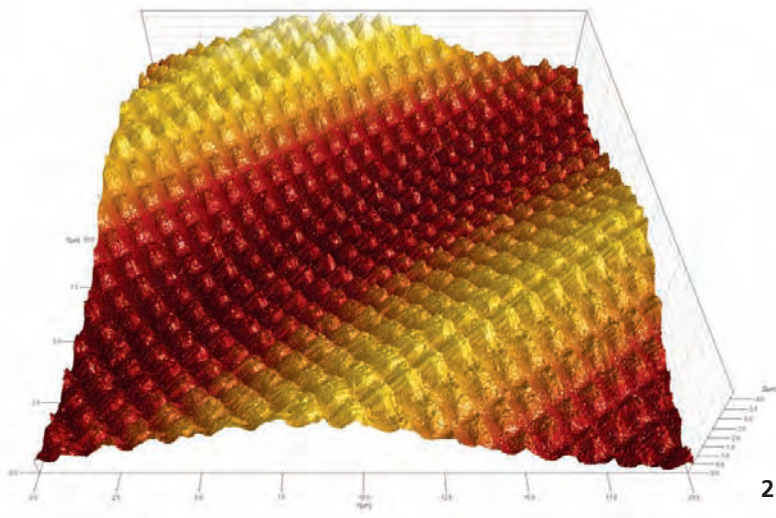
### Anwendungsfelder

Die Simulation ist auf die Modellierung anderer Flüssigkeitsströmungen anpassbar und damit zur Simulation von Laserfertigungsverfahren anwendbar, bei denen die Strömung flüssiger Phasen relevant ist.

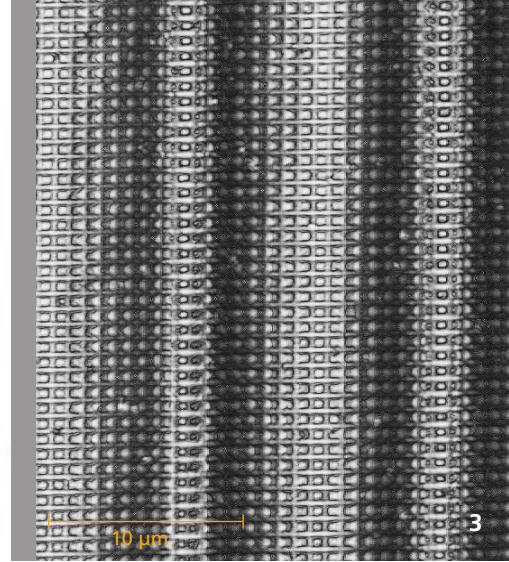
### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Urs Eppelt  
Telefon +49 241 8906-163  
urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz  
Telefon +49 241 8906-163  
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



2



3

## ERZEUGUNG VON HIERARCHISCHEN MIKRO- UND NANOSTRUKTUREN DURCH LASERABLATION

### Aufgabenstellung

Der Einsatz von Oberflächenfunktionalisierung gewinnt sowohl in der Industrie als auch in der Forschung stetig an Bedeutung. Viele dieser Funktionalisierungen ahmen Oberflächen aus der Natur nach, wobei die Imitation des Lotusblatts mit seiner hydrophoben Eigenschaft zu den prominentesten Beispielen zählt. Diese Oberflächen sind häufig Doppelstrukturen, d. h. sie bestehen aus einer  $\mu\text{m}$ -skaligen Struktur, die durch eine Nanostruktur bedeckt wird. Technisch realisierte Oberflächen setzen zumeist nur einkalige Strukturen um, da die Erzeugung von definierten Nanostrukturen auf nicht planen Oberflächen mit gängigen Herstellungsverfahren nicht oder nur schwer möglich ist.

### Vorgehensweise

Mit einem neuen Ansatz können durch einen zweistufigen Laserprozesses derartige hierarchische Strukturen erzeugt werden. Im ersten Schritt wird die Mikrostruktur mit einem UV-Pikosekundenlaser in die Oberfläche eingebracht. Durch die Verwendung von Pulsebursts kann die minimale mögliche Strukturgröße auf Werte  $< 10 \mu\text{m}$  reduziert werden. Im zweiten Schritt wird durch Mehrstrahlinterferenz eine Nanostruktur auf die Mikrostruktur aufgebracht. In diesem Verfahren wird die Intensitätsmodulation in der Überlagerung von kohärenten

Laserstrahlen zur Erzeugung von Strukturen in nm-Bereich verwendet. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt darin, dass die Modulation im gesamten Überlappungsvolumen auftritt, so dass nicht nur lateral tausende Strukturen simultan erzeugt werden sondern auch nicht plane Oberfläche verarbeitet werden können.

### Ergebnis

Mit diesem zweistufigen Laserprozess könnten definierte hierarchische Doppelstrukturen erfolgreich im Kunststoff Polyimid umgesetzt werden. Dabei wurden minimale Strukturgrößen für die Nanostruktur von 200 nm auf periodischen Mikrokanälen im einstelligen  $\mu\text{m}$ -Bereich erreicht.

### Anwendungsfelder

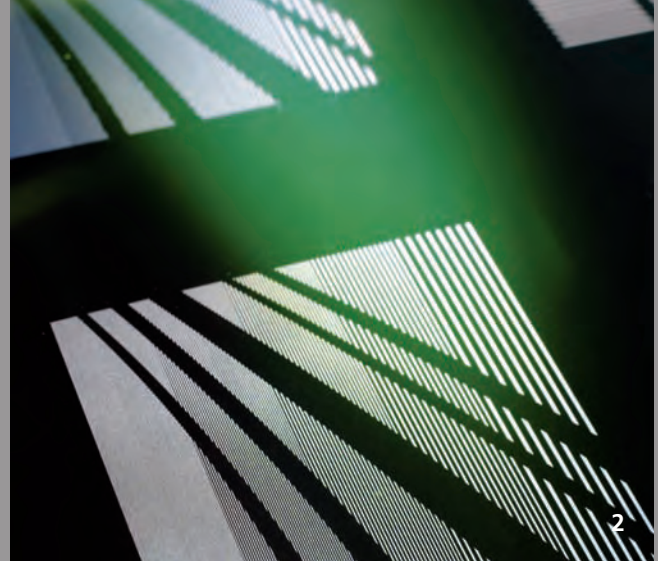
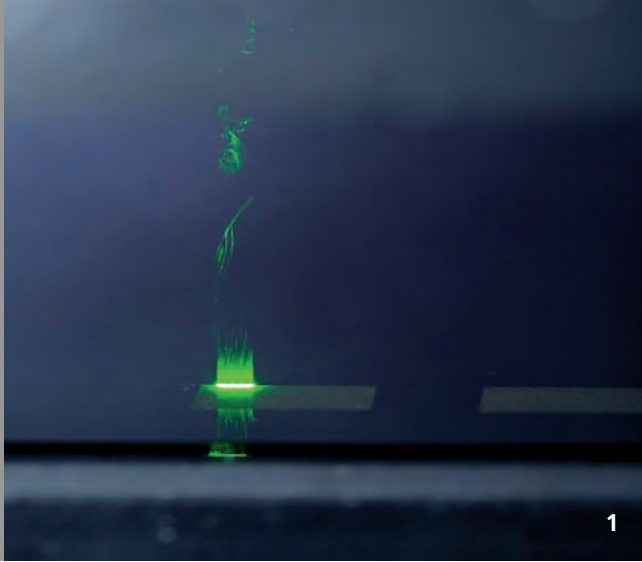
Diese Ergebnisse können sowohl für die Optimierung von bestehenden Funktionalisierungen eingesetzt werden als auch für die Kombination unterschiedlicher Funktionalisierungen in den unterschiedlichen Größenordnungen. So kann z. B. bei hydrophoben Oberflächen die Stabilität des Effekts durch eine Doppelstruktur deutlich gesteigert werden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Michael Steger  
 Telefon +49 241 8906-8051  
 michael.steger@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jens Holtkamp  
 Telefon +49 241 8906-273  
 jens.holtkamp@ilt.fraunhofer.de

- 2 Laser-Scanning-Mikroskopaufnahme einer Doppelstruktur.
- 3 Rasterkraftmikroskopaufnahme einer flachen Doppelstruktur.



## LASERSTRUKTURIERUNG DÜNNER FUNKTIONALER SCHICHTEN FÜR DIE ORGANISCHE ELEKTRONIK

### Aufgabenstellung

Bauelemente der organischen Elektronik, wie beispielsweise organische Leuchtdioden (OLEDs) oder organische Solarzellen (OPV), basieren auf dünnen Schichten aus leitenden, halbleitenden, isolierenden Materialien. Sie weisen Schichtdicken im Bereich einiger Nanometer bis weniger Mikrometer auf. Diese Schichten müssen sowohl elektrische als auch optische Funktionen erfüllen. Um ein funktionsfähiges Bauteil zu generieren, müssen einzelne Schichten strukturiert werden. Dies ist durch die Verwendung von Laserstrahlung mit hoher Auflösung und Selektivität bei gleichzeitig hoher Prozessgeschwindigkeit möglich.

### Vorgehensweise

Als transparente Elektrode von OLEDs wird meist das transparente, elektrisch leitfähige Indium-Zinn-Oxid verwendet. Die Strukturierung erfolgt oft lithographisch. Um die Verwendung von Säuren und Reinigungsmitteln beim Strukturierungsprozess zu verringern sowie um die Designfreiheit zu erhöhen, werden Strukturierungsprozesse mittels Laserstrahlung entwickelt. Hierbei ist insbesondere die Vermeidung von Randaufwürfen und Partikeln von zentraler Bedeutung, da diese im fertigen Bauteil zu Kurzschlüssen führen können.

- 1 Strukturierung dünner Schichten auf Glas.
- 2 Laserstrahlung erlaubt selektiven Abtrag einzelner Schichten.

### Ergebnis

Durch die Verwendung von Wellenlängen im tiefen UV-Bereich oder ultrakurzen Laserpulsen lassen sich transparente, leitfähige Schichten strukturieren. Neben der herkömmlichen Strukturierung mittels Abtrag können leitfähige oder halbleitende Schichten durch Bestrahlung unterhalb der Abtragsschwelle so modifiziert werden, dass sie anschließend in den bestrahlten Bereichen elektrisch isolierend sind. Da bei der Modifikation unterhalb der Abtragsschwelle kein Material abgetragen wird, werden Randaufwürfe und Partikel vermieden. Aufgrund der geringen benötigten Leistung werden durch Multiparallelbearbeitung extrem hohe Strukturierungsgeschwindigkeiten erreicht.

### Anwendungsfelder

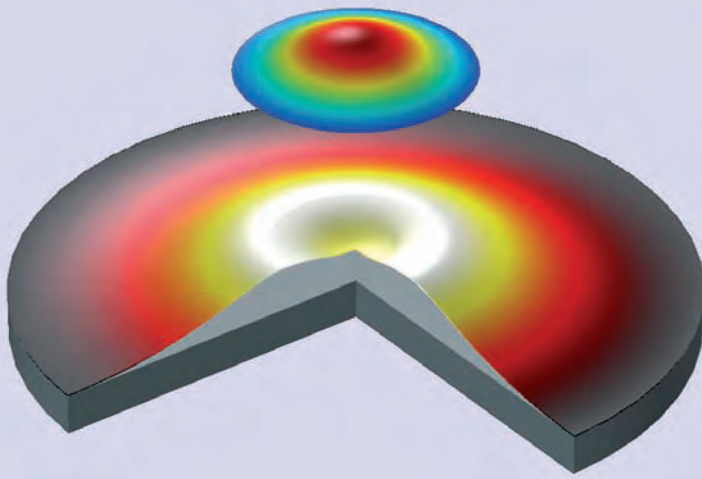
Die hochaufgelösten, schädigungsarmen Strukturierungsverfahren mittels Abtrag und insbesondere mittels Modifikation sind für die Produktion von organischer Elektronik von großer Bedeutung. Auch weitere Anwendungen der Dünnschichtelektronik, wie die monolithische Serienschaltung von Dünnschicht-Solarmodulen, profitieren von den entwickelten Prozessen.

Die Arbeiten wurden unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die vom Land NRW und der Europäischen Union EFRE (»Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007-2013«) unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden.

### Ansprechpartner

Dr. Moritz Schaefer  
Telefon +49 241 8906-305  
moritz.schaefer@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jens Holtkamp  
Telefon +49 241 8906-273  
jens.holtkamp@ilt.fraunhofer.de



3

## SIMULATION DES ABTRAGENS DÜNNER SCHICHTEN

### Aufgabenstellung

Beim Abtragen dünner Schichten (z. B. in der Halbleiterindustrie) mit ultrakurzen Pulsdauern und vergleichsweise kleiner Fluenz nahe der Abtragsschwelle erfolgt der effiziente Abtrag hauptsächlich aufgrund einer thermo-mechanischen Wirkung der Laserstrahlung. Der Abtrag erfolgt dominant durch Aufwölbung (Delamination) und nachfolgendes Abreißen der aufgewölbten, gedehnten Schicht. Um z. B. die Qualität einer nachfolgenden Beschichtung nicht zu vermindern, sind teilweise abgelöste Schichtreste und die Wirkungen thermischer Phasenübergänge (Schmelzen, Verdampfen) zu vermeiden, die insbesondere in den Randbereichen der Laserstrahlung beobachtet werden.

### Vorgehensweise

Das Ziel der Modellierung und Simulation ist die räumlich-aufgelöste Beschreibung des Abtragens dünner Schichten zur Erklärung der beobachteten Abtragsschwelle und des mechanischen Abtragvorgangs. Dazu werden die Dynamik des elektronischen und phononischen Systems im Festkörper sowie die daraus folgenden thermo-mechanischen Wirkungen im Werkstück berechnet.

### Ergebnis

Ein Modell, das die Deposition der eingestrahnten Laserenergie und die daraus folgende mechanische Deformation bis zum Überschreiten der Bruchspannung bestimmt, wurde in eine Simulation implementiert.

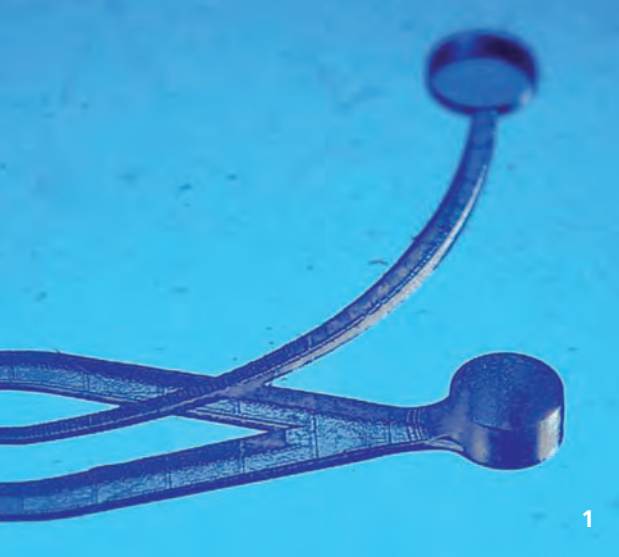
### Anwendungsfelder

Die Simulation beschreibt den thermomechanischen Abtrag dünner Schichten auf Substraten. Es ist damit einsetzbar für die Simulation von Laser-Entschichtungs-Vorgängen, bei denen mit geringen Leistungen gearbeitet wird, also z. B. bei der Herstellung photovoltaischer Zellen (P1-, P2-, P3-Abtrag) oder der Reinigung von Oberflächen mittels Laserstrahlung. Insbesondere wird diese Form des Abtrags relevant, wenn darunterliegende Schichten oder Substrate eine geringe bis gar keine Wärmebelastung erfahren dürfen.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Torsten Hermanns  
 Telefon +49 241 8906-163  
 torsten.hermanns@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Urs Eppelt  
 Telefon +49 241 8906-163  
 urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de



## KOMPLEXE STRUKTUREN IN GLAS DURCH SELEKTIVES LASERINDUZIERTES ÄTZEN

### Aufgabenstellung

Zur Mikrostrukturierung von Dielektrika, wie Gläser und Kristalle, werden heutzutage maskenbasierte und abformende Verfahren sowie direktes Abtragen eingesetzt. Diese Verfahren weisen Beschränkungen hinsichtlich der Herstellbarkeit von Hinterschneidungen, bereits montierten Bauteilen oder innenliegenden Hohlräumen auf. Die vereinfachte Herstellung solcher Strukturen direkt aus CAD-Daten (Digitale Photonische Produktion) eröffnet neue Möglichkeiten zur Fertigung von Mikrofluidiken oder montierten Mikromechaniken. Selektives Laserinduziertes Ätzen ist ein Verfahren, das zur Erzeugung von 3D-Strukturen in Gläsern geeignet ist.

### Vorgehensweise

Das Selektive Laserinduzierte Ätzen (SLE) ist ein zweistufiger Prozess. Im ersten Schritt wird das für die Laserstrahlung transparente Material modifiziert. Dazu wird ultrakurz gepulste Laserstrahlung in das Innere des Werkstücks fokussiert ( $\varnothing 1 - 2 \mu\text{m}$ ). Durch die Bewegung des Fokus wird ein zusammenhängendes Volumen modifiziert, welches Kontakt zu einer der Außenflächen des Werkstücks aufweist. Im zweiten Schritt wird das modifizierte Material durch nasschemisches Ätzen entfernt. Für die digitale photonische Produktion von komplexen Bauteilen werden aus den digitalen CAD-Daten die Bahndaten für den Laserfokus mit unserer Softwareroutine

automatisiert erstellt. Die Bahndaten werden mittels Ablenkung des Laserstrahls durch das Mikrosannersystem in das Glas belichtet. Das Mikrosannersystem und die Bauteile sind durch das ausgegründete Unternehmen LightFab kommerziell verfügbar.

### Ergebnis

In Quarzglas ist die Fertigung eines montierten, pfeilverzahnten Planetengetriebes möglich. Der Durchmesser des Demonstrators beträgt 10 mm. Ein möglicher Antrieb kann durch eine sechsrundförmige Bohrung im Sonnenrad erfolgen (Bild 2). Mikrofluidiken mit Merkmalen 3-dimensionaler Geometrie, wie Überführungen von Mikrokanälen, ermöglichen eine größere funktionale Integrationsdichte für Lab-On-A-Chip Anwendungen (Bild 1).

### Anwendungsfelder

Anwender für die neu entwickelten Möglichkeiten kommen aus der Mikrosystemtechnik, Bio-/Medizintechnik sowie der chemischen Analytik und Verfahrenstechnik.

Die Arbeiten wurden unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die vom Land NRW und der Europäischen Union EFRE (»Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007-2013«) unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden.

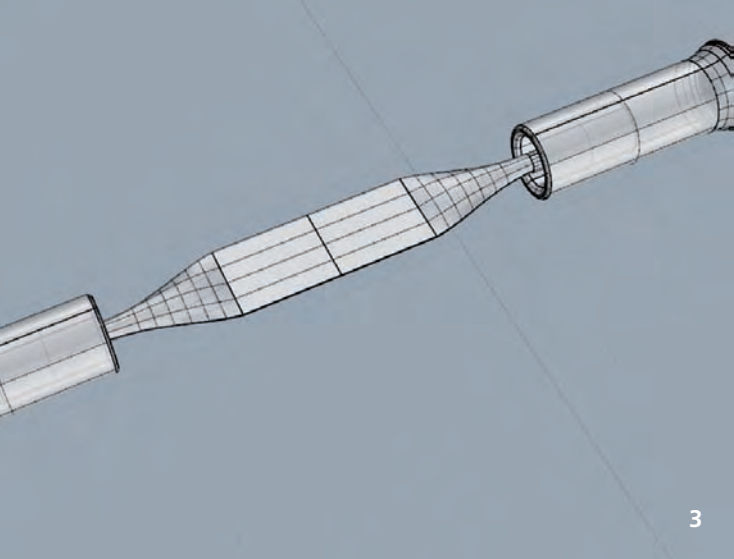
### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Martin Hermans  
Telefon +49 241 8906-471  
martin.hermans@ilt.fraunhofer.de

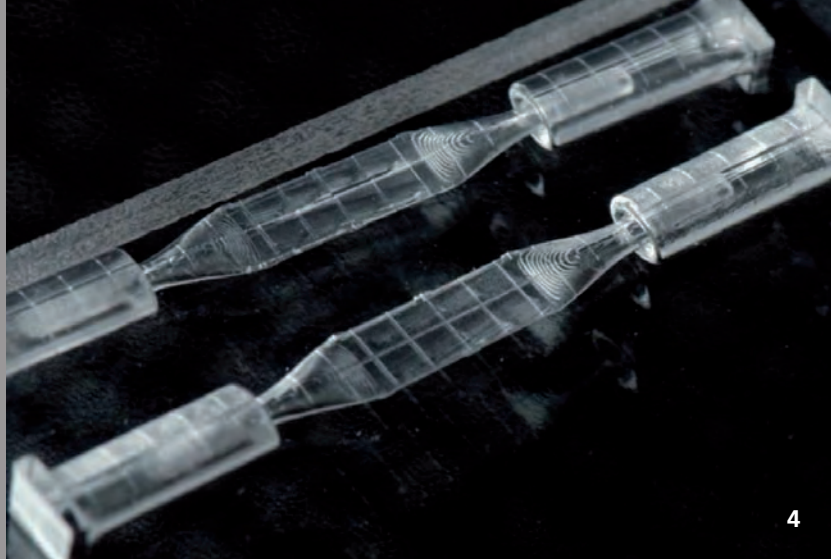
Dr. Jens Gottmann  
Telefon +49 241 8906-406  
jens.gottmann@ilt.fraunhofer.de

1 Mikrokanalüberführung im Inneren eines Biochips.

2 Pfeilverzahntes Planetengetriebe in Quarzglas.



3



4

## INDIVIDUALISIERTE PRODUKTION DURCH SELEKTIVES LASERINDUZIERTES ÄTZEN

### Aufgabenstellung

Zur Fertigung von Bauteilen für die Mikrosystemtechnik ist bei vielen Fertigungsverfahren die Herstellung von Masken, Abformwerkzeugen oder Spritzgussformen erforderlich. Daher ist die Herstellung von Mikrobauteilen als Prototypen oder Kleinserien kostspielig. Ziel ist daher eine individualisierte photonische Produktion, also die laserbasierte Fertigung direkt aus digitalen Daten (CAD). Selektives Laserinduziertes Ätzen (SLE) ist ein zur Umsetzung von digitaler photonischer Produktion geeignetes Verfahren für transparente Werkstoffe.

### Vorgehensweise

SLE ist ein zweistufiger Prozess: Belichtung des transparenten Materials durch dreidimensionales Bewegen des Fokus ultrakurzgepulster Laserstrahlung im Inneren des Werkstücks und Entwickeln der Struktur durch Entfernen des belichteten Materials durch nasschemisches Ätzen.

Anhand eines CAD-Modells der herzustellenden Struktur werden automatisiert die Bahndaten für die Bewegung des Laserfokus generiert. Die erzeugten Bahndaten werden einer CAM-Software übergeben, die die synchronisierte Steuerung der Komponenten eines Mikros scannersystems bewerkstelligt und die automatisierte Belichtung der gewünschten Struktur steuert.

### Ergebnis

Die Entwicklung eines Mikros scannersystems und einer CAD/CAM-Software angepasst an die verfahrenstechnischen Anforderungen des SLE ermöglicht die individualisierte photonische Produktion z. B. einer Durchflusszelle für die medizinische Diagnostik zur automatisierten Zellzählung.

### Anwendungsfelder

Anwendung findet die entwickelte Systemtechnik in der Prototypen- und Kleinserienfertigung mittels SLE für die Mikrosystemtechnik, Bio-/Medizintechnik sowie der chemischen Analytik und Verfahrenstechnik. Weitere Anwendungen für die Systemtechnik sind die 2-Photonen-Polymerisation und der Mikroabtrag mit Laserstrahlung.

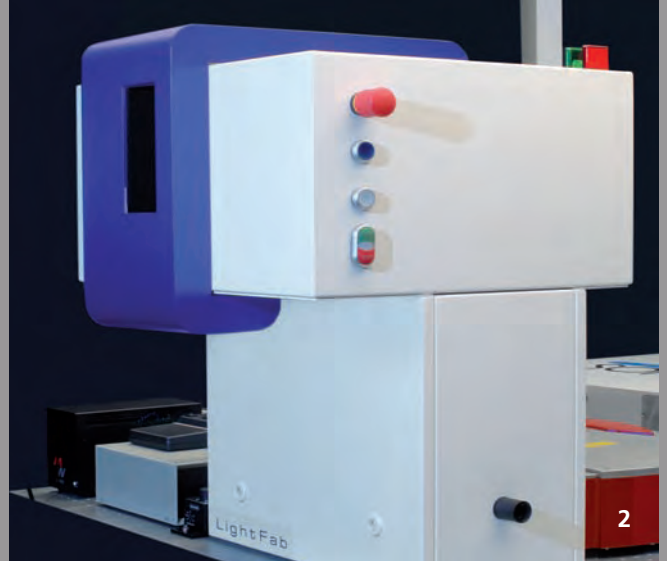
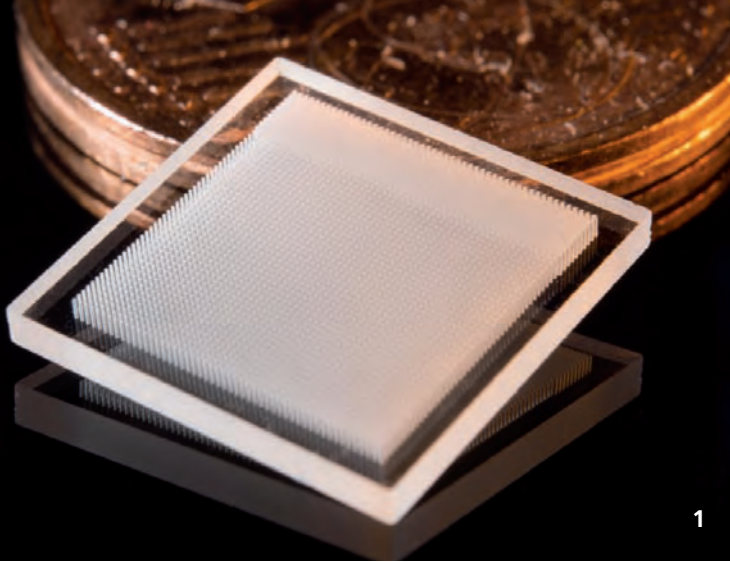
Die Arbeiten wurden unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die vom Land NRW und der Europäischen Union EFRE (»Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007-2013«) unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Martin Hermans  
Telefon +49 241 8906-471  
martin.hermans@ilt.fraunhofer.de

Dr. Jens Gottmann  
Telefon +49 241 8906-406  
jens.gottmann@ilt.fraunhofer.de

3 CAD-Modell einer Mikrofluidik.  
4 Anhand eines CAD-Modells  
mit SLE gefertigte Mikrofluidik.



## GLASBOHRUNGEN: SKALIERBARKEIT DES SLE-VERFAHRENS

### Aufgabenstellung

Hochleistungs-Ultrakurzpulslaser (50 - 500 W) mit Puls-wiederholraten von 4 - 40 MHz ermöglichen in Kombination mit neuen Hochgeschwindigkeitsscannern Produktivitätssteigerungen bei der Bearbeitung transparenter Werkstoffe. Insbesondere mit dem neuen Laserfertigungsverfahren SLE (Selektives Laserinduziertes Ätzen) sind Effizienzsteigerungen zu erwarten, da das Material nicht verdampft sondern eine 3D-Kontur umgeschmolzen wird, welche in einem nachfolgenden nasschemischen Ätzprozess selektiv entfernt wird.

### Vorgehensweise

Ein neu entwickelter 3D-Hochgeschwindigkeitsscanner (Bild 2, kommerziell verfügbar durch die Ausgründung LightFab) erreicht Bahngeschwindigkeiten von bis zu 200 m/s mit einer  $f = 160$  mm Linse (12 m/s mit  $f = 10$  mm Linse für SLE bzw. 2 m/s mit einem  $f = 1,6$  mm Mikroskop Objektiv für 2-Photonen-Polymerisation) und wird mit fs- und ps-Laserstrahlquellen für die Belichtung von Quarzglas eingesetzt, um mittels SLE Durchgangsbohrungen zu erzeugen. Dazu wird der Fokus auf einer Kreisbahn bewegt und gleichzeitig durch das 1 mm dicke Werkstück geführt. Untersucht wird, ob Lochdurchmesser und Bearbeitungsgeschwindigkeit mit der Laserleistung skaliert werden können.

### Ergebnis

Ein minimaler Bohrlochdurchmesser  $< 25 \mu\text{m}$  wird mit fs-Laserstrahlung ab einer Laserleistung von 0,5 W in Quarzglas von 1 mm Dicke erreicht. Mit ps-Laserstrahlung werden Bohrungen von 100  $\mu\text{m}$  Durchmesser bei 6 - 12 W, 200  $\mu\text{m}$  Durchmesser bei 11 - 30 W und 400  $\mu\text{m}$  Durchmesser bei 23 - 80 W erreicht. Das SLE-Verfahren ist sehr gut zu großen Prozessgeschwindigkeiten mit großer UKP-Laserleistung skalierbar.

50 Bohrungen pro Sekunde werden in 1 mm dickem Quarzglas mit Bohrlochdurchmessern von 25 - 500  $\mu\text{m}$  demonstriert. Im zeitlichen Mittel entspricht das beispielsweise bei einem Bohrlochdurchmesser von 400  $\mu\text{m}$  nach dem Ätzen einer Abtragrates von 370  $\text{mm}^3/\text{min}$  und einer maximalen Effizienz von 16  $\text{mm}^3/\text{min}$  pro Watt eingesetzter ps-Laserleistung. Untersucht wird nun, wie diese Ergebnisse auf andere Gläser übertragen werden können.

### Anwendungsfelder

Die Bohrungen und Mikrokanäle können für Mikrofluidiken beispielsweise in der medizinischen Diagnostik, für Filteranwendungen in der Lebensmittelindustrie und als Durchlässe in der Elektronikindustrie eingesetzt werden.

### Ansprechpartner

Dr. Jens Gottmann  
Telefon +49 241 8906-406  
jens.gottmann@ilt.fraunhofer.de

1 Bohrungen von 120  $\mu\text{m}$  Durchmesser in 1 mm Quarzglas.

2 Hochgeschwindigkeitsscanner.

---

## TECHNOLOGIEFELD LASERMESSTECHNIK UND EUV-TECHNOLOGIE

---

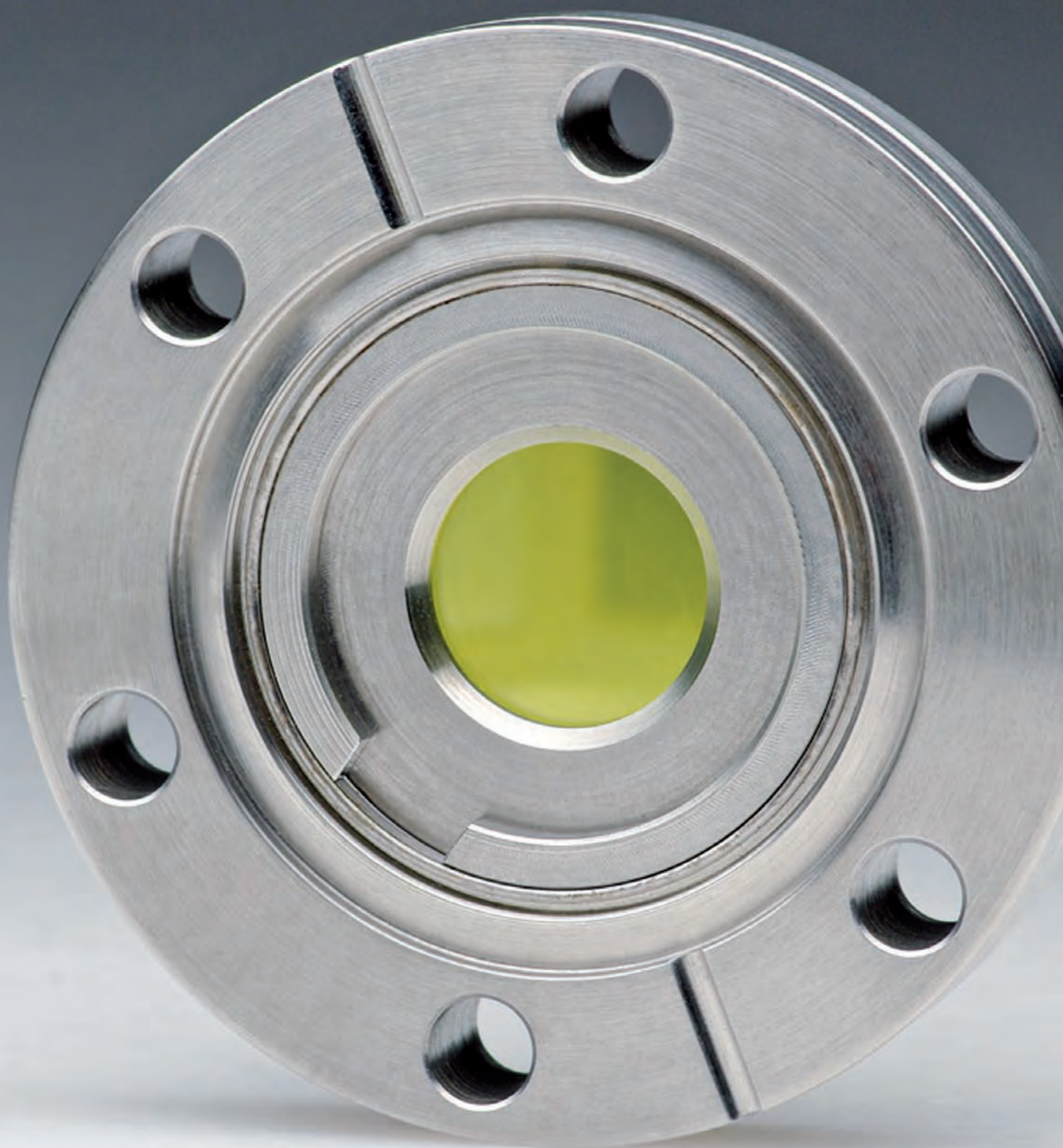
Die Schwerpunkte des Technologiefelds Lasermesstechnik und EUV-Technologie liegen in der Fertigungsmesstechnik, der Materialanalytik, der Identifikations- und Analysetechnik im Bereich Recycling und Rohstoffe, der Mess- und Prüftechnik für Umwelt und Sicherheit sowie dem Einsatz von EUV-Technik. In der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

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

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



# LASERMESSTECHNIK UND EUV-TECHNOLOGIE

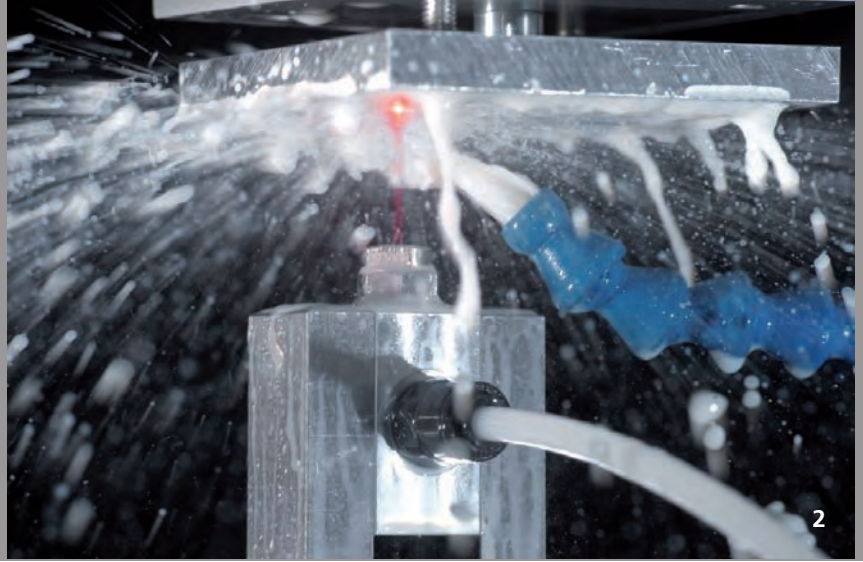
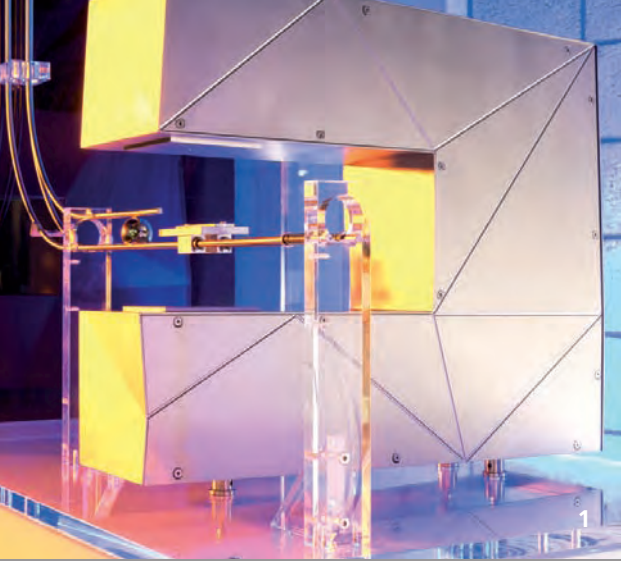


---

## INHALT

---

Dickenmessung an Blechen und Metallfolien	122
Optische Sensorik für Werkzeugmaschinen	123
Optische Sensorik zur Prüfung von Oberflächen	124
Handgeführte Laserdirektanalyse von Metall	125
Bestimmung des Kalkstandards flüssiger Schlacken mit der Laser-Direktanalyse	126
Multi-Elementanalyse in Massenströmen	127
Nahfeldmikroskopie für Halbleiteranalysen	128
Leistungskalibrierung einer Strahlungsquelle im extremen Ultraviolett	129
Untersuchung von Leuchtstoffen für den EUV-Spektralbereich	130



## DICKENMESSUNG AN BLECHEN UND METALLFOLIEN

### Aufgabenstellung

In der Luftfahrt- und Automobilindustrie werden immer höhere Anforderungen an die Material- und Qualitätskontrolle gestellt. Bei der Dickenmessung beispielsweise müssen Sensoren bis in den Mikrometerbereich hinein genau sein und möglichst schnell und sicher direkt in der Produktionslinie messen.

### Vorgehensweise

Für diese Anforderungen wurde am Fraunhofer ILT ein neuartiger optischer Dicken- und Abstandssensor entwickelt. Die Technologie basiert auf der Interferenzfähigkeit der Strahlung von Halbleiterlasern. Ein Messstrahl wird auf die Materialoberfläche geschickt und aus dem reflektierten Signal wird die Entfernung mit einer Präzision besser als 100 nm bestimmt.

### Ergebnis

Das Dickenmesssystem »bd-2« wurde speziell für die Metallverarbeitung entwickelt und wird für die Dickenmessung von Walzbändern, Blechen und Metallfolien im Bereich 10 µm bis 10 mm eingesetzt. Matte Oberflächen werden ebenso sicher gemessen wie glänzende. Im Vergleich zu anderen optischen Methoden – wie der Lasertriangulation – bietet das neue Verfahren einen entscheidenden Vorteil:

1 *Robustes Edelstahlgehäuse des Dickenmesssystems »bd-2«, Live-Messungen auf der CONTROL 2013 in Stuttgart.*

2 *Messung unter rauen Betriebsbedingungen.*

Nur ein kleiner Messkopf zur Ausstrahlung und Messung der Abstandssignale ist erforderlich. Der Platzbedarf ist wesentlich geringer als beispielsweise bei der Triangulation. Der einzelne Messkopf sendet und empfängt durch ein einziges kleines Fenster mit nur 2 mm Durchmesser und kann durch einen Luftstrom auch in rauen Umgebungen zuverlässig vor Verunreinigungen geschützt werden. Im direkten Vergleich mit herkömmlichen Triangulationssensoren lässt der neue Sensor z. B. beim Linearitätsfehler seine Konkurrenz weit hinter sich.

### Anwendungsfelder

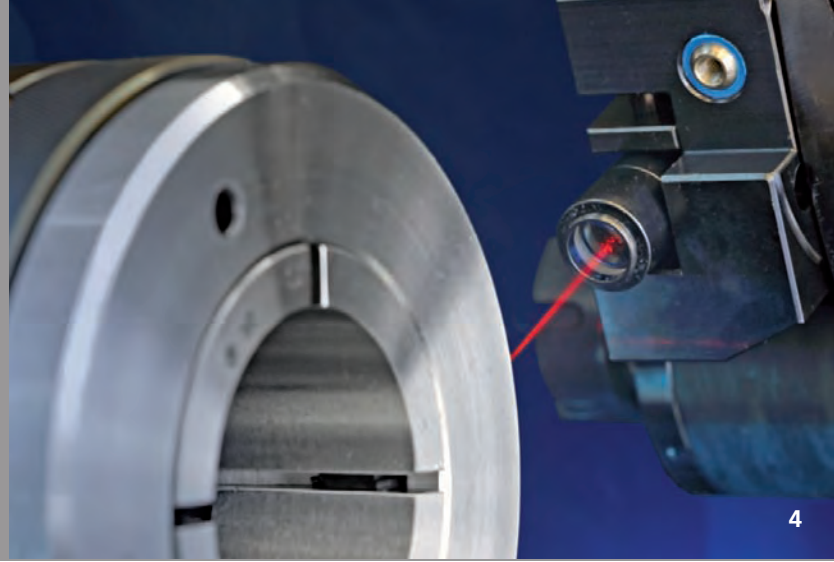
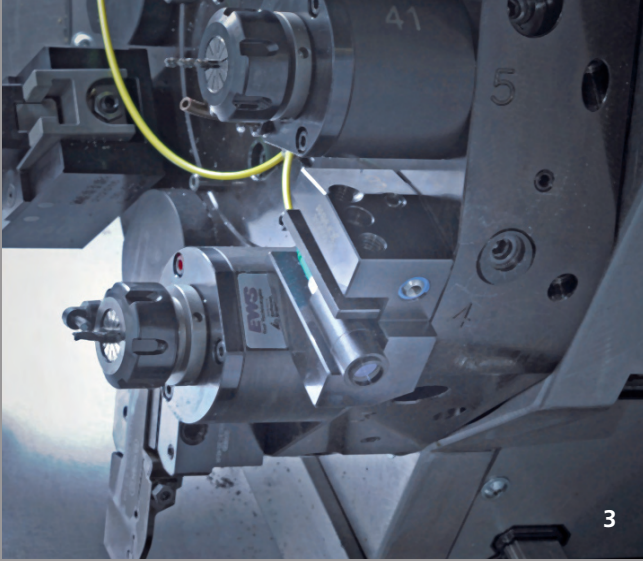
Mit dem Dickenmesssystem »bd-2« wird der Abstand zur Oberfläche bei laufender Fertigung absolut und kontinuierlich gemessen. Zwei Messköpfe in einem C-Rahmen messen die Dicke des durchgeführten Produkts. Messfrequenzen von mehreren 10 kHz ermöglichen Inline-Messungen auch bei hohen Produktgeschwindigkeiten. Die Sensorik ist damit für eine schnelle Prozessregelung nutzbar.

Die Arbeiten wurden unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die vom Land NRW und der Europäischen Union EFRE (»Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007-2013«) unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden.

### Ansprechpartner

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

Priv.-Doz. Dr. Reinhard Noll  
Telefon +49 241 8906-138  
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



## OPTISCHE SENSORIK FÜR WERKZEUGMASCHINEN

### Aufgabenstellung

Steigende Anforderungen an die Fertigungstoleranzen von Werkzeugmaschinen stellen die Messtechnik gegenwärtig vor bisher nicht gelöste Herausforderungen. Etablierte taktile Messverfahren eignen sich in der Regel zur Vermessung des Werkstücks in separaten Messvorrichtungen, nicht aber für die Messung während oder unmittelbar nach der Bearbeitung auf der Maschine.

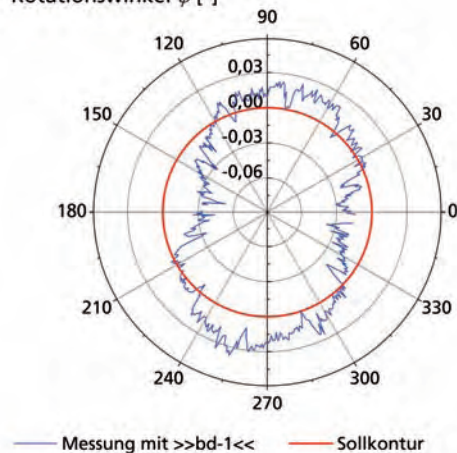
### Vorgehensweise

Das Fraunhofer ILT hat ein neues optisches Verfahren entwickelt, um berührungslos Rundheitsabweichungen von Drehteilen auf Drehmaschinen zu messen. Der fasergekoppelte Messkopf wird hierzu am Werkzeugrevolver befestigt. Der Messstrahl wird auf die Oberfläche des Drehteils gerichtet und wird von dort wieder zurück zum Messkopf reflektiert. Aus dem reflektierten Strahl bestimmt die Auswerteeinheit den Messabstand mit einer Präzision besser als 100 nm.

### Ergebnis

Mit der Sensorik »bd-1« wurde bei Messungen an einer ultrapräzisen CNC-Drehmaschine die Rundheit einer Spindel mit einem Durchmesser von 200 mm bei einer Rotationsgeschwindigkeit von 5000 U/min submikrometergenau bestimmt. Bei einer Messfrequenz von 50 kHz wurden hierbei Abweichungen von unter 30 nm gemessen (siehe Diagramm).

Rundheitsabweichung  $\Delta d$  [ $\mu\text{m}$ ]  
Rotationswinkel  $\varphi$  [ $^\circ$ ]



### Anwendungsfelder

Neben Rundheitsabweichungen können mit »bd-1« auch weitere Geometrieprüfungen, z. B. die Ausrichtung von Werkzeugen und Werkstücken sowie thermische Längenausdehnungen auf der Maschine, präzise erfasst werden.

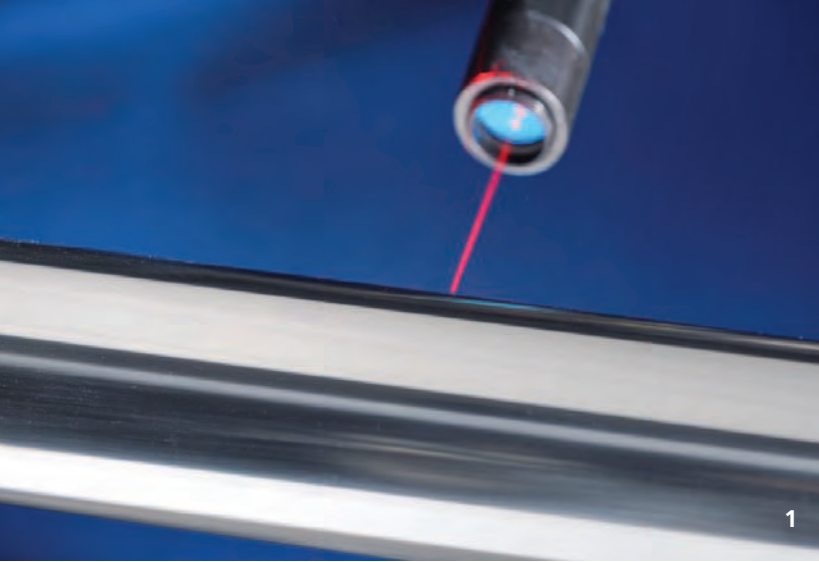
Die Arbeiten wurden unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die vom Land NRW und der Europäischen Union EFRE (»Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007-2013«) unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden.

### Ansprechpartner

M.Sc. Jann Kämmerling  
Telefon +49 241 8906-8109  
jann.kaemmerling@ilt.fraunhofer.de

Priv.-Doz. Dr. Reinhard Noll  
Telefon +49 241 8906-138  
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

- 3 Fasergekoppelter Messkopf der »bd-1«-Sensorik am Werkzeugrevolver.
- 4 Messung an einer Spindel.



1



2

## OPTISCHE SENSORIK ZUR PRÜFUNG VON OBERFLÄCHEN

### Aufgabenstellung

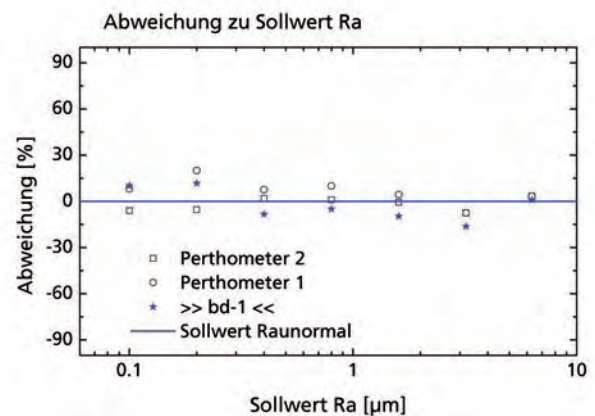
Die Oberfläche eines Bauteils kann dessen Funktion und die Lebensdauer entscheidend beeinflussen. Daher wird bei der Herstellung hoch beanspruchter Oberflächen, beispielsweise Lager- und Gleitflächen von Motorkomponenten im Fahrzeug, höchstes Augenmerk auf die Qualität der Oberfläche gelegt. In der Automobilindustrie wird die Qualität u. a. durch die Oberflächenrauheit festgelegt. Messgrößen für die Rauheit sind z. B. der arithmetische Mittenrauwert Ra oder die gemittelte Rautiefe Rz nach DIN 4287.

### Vorgehensweise

Das Fraunhofer ILT hat einen neuen optischen Abstandssensor entwickelt, um berührungslos die Rauheit technischer Oberflächen zu messen. Die Bestimmung der Messgrößen Ra und Rz orientiert sich an DIN-Normen für das Tastschnittverfahren. Die Messabstände sind einstellbar und reichen bis zu 20 cm. Aufgrund der Messfrequenz für einzelne Abstandsmessungen von 70 kHz kann der Vorschub sehr viel höher eingestellt werden als bei tastenden Verfahren.

### Ergebnis

Mit der Sensorik »bd-1« wurden Testmessungen an Raunormalen mit Ra-Werten in einem Bereich von  $0,05 \mu\text{m} \leq \text{Ra} \leq 10 \mu\text{m}$  durchgeführt. Die Messergebnisse stimmen innerhalb der Toleranzen mit den Ergebnissen kommerzieller Tastschnittgeräten namhafter Hersteller überein.



### Anwendungsfelder

Mit der Sensorik »bd-1« können erstmals inline Rauheitskenngrößen gemessen werden. Darüber hinaus misst »bd-1« gleichzeitig Abstände und Geometriemerkmale mit Submikrometergenauigkeit. An drehenden Teilen werden Rundlaufabweichungen bis herunter zu 100 nm präzise erfasst.

Die Arbeiten wurden unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die vom Land NRW und der Europäischen Union EFRE (»Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007-2013«) unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Cristian Tulea  
Telefon +49 241 8906-431  
cristian.tulea@ilt.fraunhofer.de

Priv.-Doz. Dr. Reinhard Noll  
Telefon +49 241 8906-138  
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

1 Messung an einer geschliffenen Welle.

2 Raunormale.



## HANDGEFÜHRTE LASER-DIREKTANALYSE VON METALL

### Aufgabenstellung

Im Recycling und in der Qualitätskontrolle wächst die Bedeutung chemischer Analysen und es werden immer mehr vor-Ort-Messungen mit handgeführten Systemen durchgeführt. Derzeit verwendete Funkenspektrometer oder Röntgenfluoreszenzanalysatoren erfordern eine aufwendige Probenreinigung und weisen Messzeiten von über 15 Sekunden auf. Bei der Laser-Direktanalyse werden Präparation und Messung in einem Arbeitsablauf kombiniert, so dass ein deutlich höherer Durchsatz erreicht wird. Ziel ist die Erarbeitung eines Verfahrens und der Aufbau eines Demonstrators für die mobile Laser-Direktanalyse von Metallstücken mit einer handgeführten Mess-Sonde.

### Vorgehensweise

Untersuchungen mit einem Faserlaser zeigen, dass aufgrund der hohen Repetitionsrate trotz der kleinen Pulsenergie ein hinreichend stark emittierendes laser-induziertes Plasma auf den Metallstücken generiert werden kann. Bei der Spektrenaufnahme wird über mehrere einzelne Mikroplasmen integriert. Die Verfahrensparameter – wie z. B. Laserpulszahl und Gasaustausch – wurden experimentell untersucht, um die Messgenauigkeit zu optimieren.

Gemeinsam mit den Verbundpartnern wurde ein Demonstrator entwickelt, der aus einer frei beweglichen, mit der Hand zu führenden Mess-Sonde, einer faseroptischen Verbindungsleitung und einer Basiseinheit besteht. Der Demonstrator wurde in Feldversuchen bei Recycling-Unternehmen getestet und zur Bewertung bezüglich Genauigkeit und Durchsatz mit Systemen des Stands der Technik verglichen.

### Ergebnis

Der analytische Vergleich mit konventionellen Verfahren zeigt ähnliche und z. T. bessere Genauigkeiten für die Bestimmung von Elementkonzentrationen in Stahl- und Aluminiumlegierungen. Die Gesamtmesszeit liegt mit etwa einer Sekunde um mehr als eine Größenordnung unter der der konventionellen Systeme.

### Anwendungsfelder

Neben verschiedenen Metallen, wie Stahl, Aluminium oder Titan, können auch andere Feststoffe wie Mineralien oder Gläser analysiert werden. Die Mess-Sonde ist in einen Roboterarm integrierbar, so dass auch automatisierte Prüfungen durchgeführt werden können.

### Ansprechpartner

M.Sc. Michael Scharun  
Telefon +49 241 8906-1030  
michael.scharun@ilt.fraunhofer.de

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

3 Demonstrator.

4 Handgeführte Mess-Sonde für die Laser-Direktanalyse.



## BESTIMMUNG DES KALK- STANDARDS FLÜSSIGER SCHLACKEN MIT DER LASER-DIREKTANALYSE

### Aufgabenstellung

Die bei der Rohstahlerzeugung anfallenden Konverterschlacken bei voestalpine Stahl, Linz, sollen mit der Laser-Direktanalyse im Kübel von Schlacketransportern analysiert werden, um den Kalkstandard zu bestimmen. Die Schlacken im Kübel sind flüssig oder an der Oberfläche teilweise erstarrt bei Temperaturen im Bereich von 600 °C bis über 1300 °C (Bild 1). Die Messung dient der Klassifizierung der Schlacken für die gezielte Verwertung. Die Laser-Messeinrichtung ist für einen automatisierten Betrieb im 24/7-Einsatz zu konzipieren, zu erstellen und in Betrieb zu nehmen.

### Vorgehensweise

Die grundsätzliche Eignung und die erzielbaren Analyse-eigenschaften bei den gegebenen Randbedingungen wurden in Voruntersuchungen gezeigt und die Verfahrensparameter wurden bestimmt. Großes Augenmerk musste bei der Verfahrensentwicklung sowie der Auslegung und Auswahl der Komponenten auf die Anforderungen des 24/7-Dauerbetriebs, große Messabstände, Hitze- und Staubeinwirkung gelegt werden. Die Abstimmung der Schnittstellen erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber.

1 Auskippen der flüssigen Schlacke in eine Schlackengrube (Quelle: K. Pilz, BHM [2012] Vol. 157 [6-7]: 250-257).

### Ergebnis

Die Laser-Messeinrichtung ist im Werk installiert und läuft im Probebetrieb. Die Dauer der Inline-Messung der chemischen Zusammensetzung von der Freigabe bis zur Übertragung zum Leitsystem beträgt weniger als zwei Minuten. Die Richtigkeit im Vergleich zu einer vom Auftraggeber durchgeführten labor-gestützten Referenzanalyse liegt im spezifizierten Bereich.

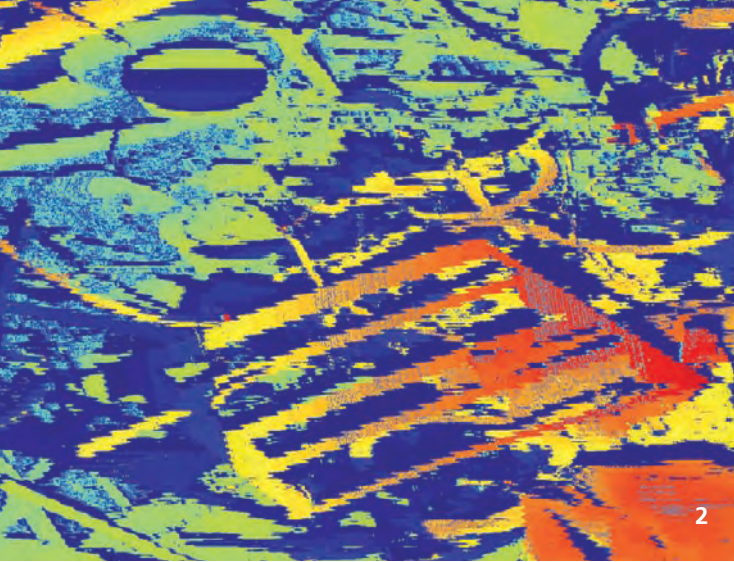
### Anwendungsfelder

Die erarbeiteten Methoden und Vorrichtungen sind für die automatisierte Analyse mineralischer Stoffe im Produktionsprozess unter schwierigsten Randbedingungen geeignet. Damit können im Produktionsablauf anfallende Stoffe frühzeitig klassifiziert und einer gezielten Verwertung zugeführt werden.

### Ansprechpartner

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

Priv.-Doz. Dr. Reinhard Noll  
Telefon +49 241 8906-138  
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



## MULTI-ELEMENTANALYSE IN MASSENSTRÖMEN

### Aufgabenstellung

Stahl kann mit metallurgischen Prozessen recycelt und zu neuwertigen Stahllegierungen verarbeitet werden. Dieser Prozess ist weit verbreitet und wird jährlich mit Millionen Tonnen von Stahl durchgeführt. Da die Zusammensetzung des Schrotts meist unbekannt ist und für neue Schmelzen die Legierungszusammensetzung definiert eingestellt werden muss, wird der eingeschmolzene Stahl zunächst gereinigt, z. B. durch Oxidation unerwünschter Begleitelemente. Für eine stabilere Prozessführung und Energieeinsparung soll in einem europäischen Stahlwerk die Zusammensetzung des Schrotts direkt während der Beschickung des Elektrolichtbogenofens gemessen werden.

### Vorgehensweise

Ein LIBS-Analysesystem (laser-induced breakdown spectroscopy) wurde am Fraunhofer ILT entwickelt und im Stahlwerk erprobt. Der Demonstrator ist über der Fördereinrichtung für den Schrott angeordnet und misst fortlaufend die Zusammensetzung des Schrottmassenstroms. Dazu wird die Oberflächentopologie optisch vermessen und eine Messposition bestimmt, an der eine LIBS-Messung auf der Oberfläche durchgeführt werden kann. Aus einem Abstand von 900 bis 1400 mm werden 15 chemische Analysen pro Sekunde, verteilt über die gesamte Breite des Schrottstroms, durchgeführt und die Spektraldaten vollautomatisch ausgewertet.

Zusammen mit Messwerten des Füllstands und der Fördergeschwindigkeit kann eine Aussage über die Gesamtmasse an Silizium in der Schmelze getroffen sowie die Beladung noch während der Beschickung einer Schmelze angepasst werden.

### Ergebnis

Das System wurde während einer 6-wöchigen Kampagne an über 800 Schmelzen zu je 150 Tonnen Stahl getestet. Zu Vergleichszwecken wurden Schlackeproben der Schmelzen im Labor untersucht. Die Ergebnisse der LIBS-Messungen korrelieren mit denen der Labormessung. Die Inline-Analyse mit dem Laser-Messsystem ermöglicht erstmals eine direkte Rückkopplung zur Optimierung der Ofenbeschickung.

### Anwendungsfelder

Das Verfahren eignet sich zur Multielement-Analyse von verschiedensten Materialien, die in Massenströmen vorliegen. Neben Metallschrott ist die Laser-Direktanalyse auch für metallische Erze sowie für Salze und Kohle einsetzbar.

Die Arbeiten werden vom Research Fund for Coal and Steel of the European Community (RFCs) im Rahmen eines europäischen Verbundvorhabens finanziell unterstützt.

### Ansprechpartner

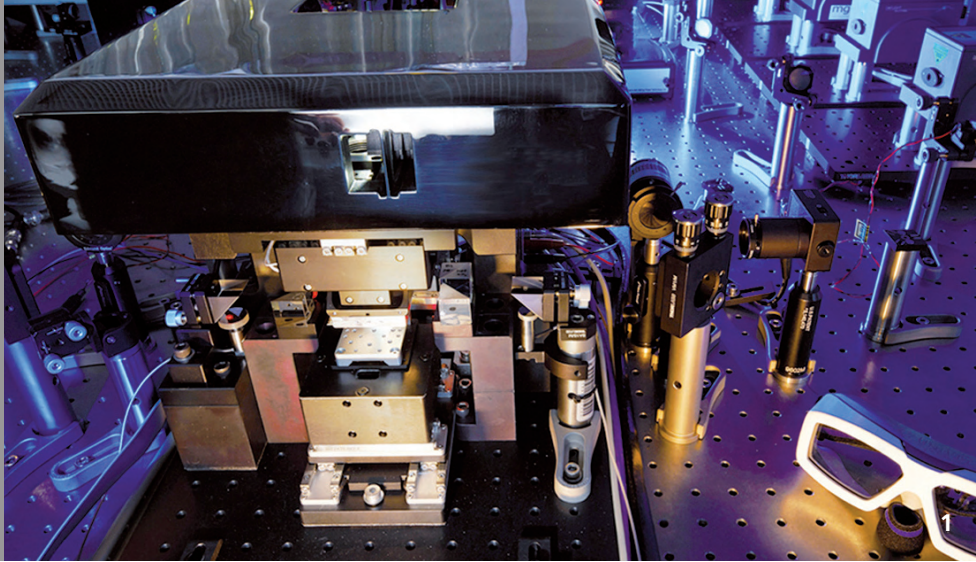
M.Eng. Markus Brunk  
Telefon +49 241 8906-308  
markus.brunk@ilt.fraunhofer.de

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

2 Falschfarbenbild der Höhentopologie des Schrottstroms.

3 LIBS-Plasma im Massenstrom.





## NAHFELDMIKROSKOPIE FÜR HALBLEITERANALYSEN

### Aufgabenstellung

Für die Entwicklung neuer Bauelemente in der Halbleiterindustrie ist die genaue strukturelle und elektronische Charakterisierung von entscheidender Bedeutung. Konventionelle optische Analysetechniken sind zwar prinzipiell in der Lage, diese Eigenschaften zu untersuchen, allerdings ist die durch Beugung begrenzte räumliche Auflösung für moderne Halbleiterstrukturen längst unzureichend.

### Vorgehensweise

Die Nahfeldmikroskopie (Scattering Near-Field Optical Microscopy, SNOM) umgeht das klassische Beugungslimit und erlaubt optische Analysen mit einer Ortsauflösung von wenigen 10 nm – unabhängig von der Wellenlänge des verwendeten Laserlichts. Durch ein am Fraunhofer ILT entwickeltes, breitbandig durchstimmbares Lasersystem im mittleren Infrarot lassen sich neue Spektralbereiche erschließen und damit unterschiedliche Fragestellungen bearbeiten, darunter erstmals auch die Untersuchung von Verspannungen in Galliumnitrid, welches zunehmend an industrieller Bedeutung gewinnt. Ebenso können Dotierkonzentrationen oder freie Ladungsträger in verschiedenen Materialien untersucht werden. Die einzigartige spektrale Breite des entwickelten Lasersystems, in Kombination mit der hohen spektralen Strahlstärke, ermöglicht spektroskopische Analysen auf Nanometerskala innerhalb kürzester Zeit.

1 Nahfeldmikroskop.

### Ergebnis

An Galliumnitrid konnten erstmals induzierte Verspannungen in der Kristallstruktur räumlich hochauflösend sichtbar gemacht und zusätzlich spektroskopisch die vorherrschenden Kräfte quantifiziert werden. Analog hierzu wurde an dotierten Indiumarsenit-Nanodrähten die Verteilung der Ladungsträger dargestellt und bestimmt. Die Übertragung dieser Messtechnik auf weitere Materialsysteme befindet sich in der Planung.

### Anwendungsfelder

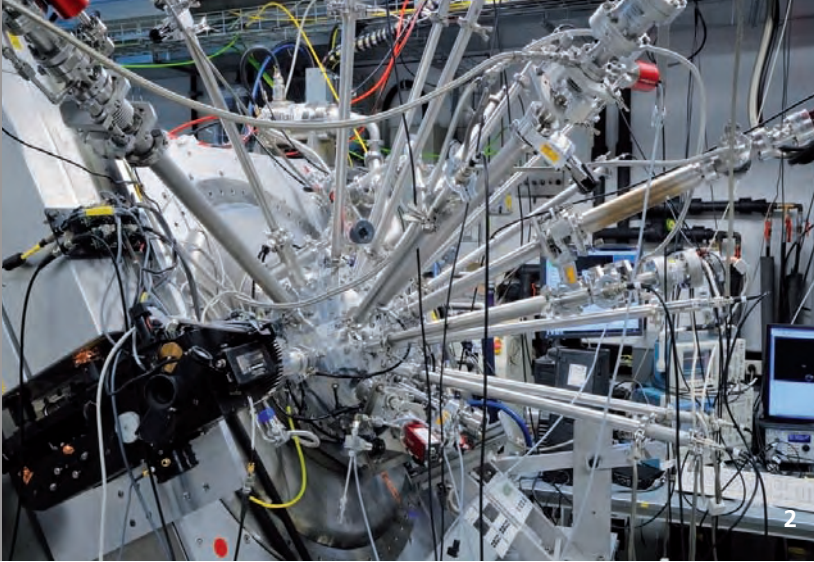
Neben Anwendungen im Bereich der Charakterisierung von Halbleiterbauelementen lässt sich die Nahfeldmikroskopie auch auf andere Themengebiete anwenden. Nanokompositwerkstoffe lassen sich ebenso untersuchen wie handelsübliche Verbraucherprodukte, z. B. mit Nanopartikeln versetzte Kosmetikartikel. Um dieser Breite an Anwendungen gerecht zu werden, entsteht am Fraunhofer ILT ein SNOM-Applikationslabor, welches kombinierend auch auf weitere Mikroskopie- und Analysetechniken, wie z. B. REM, REM-EDX, FTIR, zugreifen wird.

Die Arbeiten wurden unter Nutzung von Geräten und Anlagen durchgeführt, die vom Land NRW und der Europäischen Union EFRE (»Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007-2013«) unter dem Förderkennzeichen 290047022 gefördert wurden.

### Ansprechpartner

Dr. Fabian Gaußmann  
Telefon +49 241 8906-489  
fabian.gaussmann@ilt.fraunhofer.de

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



## LEISTUNGSSKALIERUNG EINER STRAHLUNGSQUELLE IM EXTREMEN ULTRAVIOLETT

### Aufgabenstellung

Für die Produktion künftiger Chips auf Basis der EUV-Lithographie (EUV = extremes Ultraviolett) werden leistungsstarke Strahlungsquellen bei einer Zentralwellenlänge von 13,5 nm benötigt. Das Fraunhofer ILT entwickelt seit mehreren Jahren solche Strahlungsquellen in enger Kooperation mit Industriepartnern. Die technische Basis bildet dabei ein Zinn-Vakuumpfen, bei dem in einer gepulsten elektrischen Entladung Zinn zur Emission charakteristischer Strahlung um 13,5 nm in einem Plasma angeregt wird. Als Entwicklungsziel für diese Strahlungsquellen wird eine Emission von mehreren Kilowatt Lichtleistung in einer spektralen Bandbreite von 2 Prozent um die Zentralwellenlänge von 13,5 nm in den Halbraum vorgegeben. Dieses technische Ziel ist nur dann zu erreichen, wenn Anlagenparameter zur Erzeugung der EUV-Strahlung identifiziert werden, bei denen mittlere elektrische Eingangsleistungen im Bereich über 100 kW optimal in Lichtleistung umgesetzt werden können.

### Vorgehensweise

Zur dafür notwendigen Untersuchung der grundlegenden Zusammenhänge der Lichterzeugung wurde eine Anlage aufgebaut, die sowohl eine hohe Flexibilität bei der Variation der Anlagenparameter zulässt als auch die Möglichkeit, eine Vielzahl von Diagnostiken für das Plasma parallel zu

installieren, um eine möglichst umfassende Charakterisierung der Strahlungsquelle zu gewährleisten. Von wesentlichem Interesse sind dabei die Plasmageometrie, die Abstrahlcharakteristik im EUV und die Konversionseffizienz der elektrisch gespeicherten Energie in EUV-Licht. Variiert wurde unter anderem die Strompulsform vorgegeben durch die Größe der Kondensatorbank, die elektrische Pulsenergie und die Verteilung des Zindampfes zwischen den Elektroden, die durch einen gepulsten Trigger-Laser mit einstellbaren Parametern beeinflusst werden kann.

### Ergebnis

Erstmalig konnte ein Parameterraum identifiziert werden, mit dem der Zinn-Vakuumpfen die Anforderung an eine künftige Produktionsquelle erfüllen kann.

### Anwendungsfelder

Die Technologie wird künftig schwerpunktmäßig in der EUV-Lithographie entweder zur Belichtung von Wafern oder in der EUV-Metrologie, z. B. in der Maskeninspektion, eingesetzt.

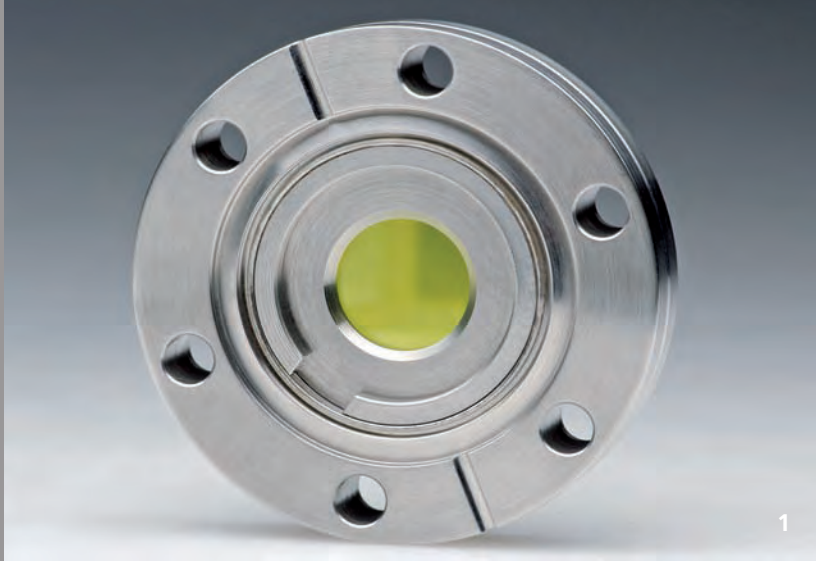
Die Ergebnisse wurden im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der Xtreme Technologies GmbH auf dem Gebiet der laserunterstützten Entladungsquellen (LDP) für die EUV-Lithographie erarbeitet.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Felix Küpper  
Telefon +49 241 8906-211  
felix.kuepper@ilt.fraunhofer.de

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

2 *Strahlquelle im extremen Ultraviolett  
auf Basis eines Zinn-Vakuumpfens.*



## UNTERSUCHUNG VON LEUCHTSTOFFEN FÜR DEN EUV-SPEKTRALBEREICH

### Aufgabenstellung

Leuchtstoffe werden im extrem ultravioletten (EUV) Spektralbereich als bildgebende Komponenten eingesetzt, die kurzwellige EUV-Strahlung in sichtbares Licht umwandeln. Das umgewandelte Licht kann dann mit einer Kamera im sichtbaren Spektralbereich detektiert werden. Die Wahl eines geeigneten Leuchtstoffs für eine bestimmte Anwendung hängt von dessen Eigenschaften hinsichtlich seiner Umwandeleffizienz, Eigenabsorption und Degradationsresistenz ab. Diese Eigenschaften wurden bisher kaum im EUV untersucht. Im Rahmen dieser Arbeit wird das Ziel verfolgt, verschiedene Leuchtstoffe hinsichtlich deren Effizienz und Eigenabsorption zu untersuchen.

### Vorgehensweise

Die zu untersuchenden Leuchtstoffe werden mit EUV-Strahlung beleuchtet und das umgewandelte Licht in Transmissionsrichtung mit einer Photodiode gemessen. Ein Dosismonitor im EUV-Strahlengang misst zeitgleich die Intensität des eingestrahnten Lichts. Aus dem Verhältnis von eingestrahlttem zu umgewandeltem Licht kann die Umwandeleffizienz bestimmt werden. Separat wird die Eigenabsorption in einem Spektrometer gemessen, indem Licht der Wellenlänge der maximalen Emission auf den Leuchtstoff gestrahlt und die Transmission detektiert wird.

### Ergebnis

Es wurden 5 Szintillatoren und 7 Phosphore auf deren Umwandeleffizienz und Eigenabsorption untersucht. Die Szintillatoren zeigten prinzipiell geringere Effizienzen und geringere Eigenabsorptionen als die Phosphore. Der effizienteste Phosphor ist P43 mit einer Effizienz von ca. 16 Prozent. Im Vergleich erreichte der effizienteste Szintillator YAG:Ce eine Effizienz von 1,5 Prozent. Durch die Verringerung der Probendicke und damit der Eigenabsorption ist eine Effizienz für P43 von 25 Prozent sowie für YAG:Ce von 3,5 Prozent möglich.

### Anwendungsfelder

Die Ergebnisse können genutzt werden, um die Herstellung von Leuchtstoffbeschichtungen auf Kameras für die Detektion von EUV-Strahlung zu verbessern. Durch eine deutliche Verbesserung der Eigenschaften einer solchen Kameralösung kann eine kostengünstige Alternative zu den derzeit standardisiert verwendeten rückseitig belichteten CCD-Kameras geschaffen werden.

### Ansprechpartner

M.Sc. Stefan Herbert  
Telefon +49 241 8906-644  
stefan.herbert@ilt.fraunhofer.de

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

1 Szintillatorkristall YAG:Ce in einem vakuumtauglichen Halter.

---

## TECHNOLOGIEFELD MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK

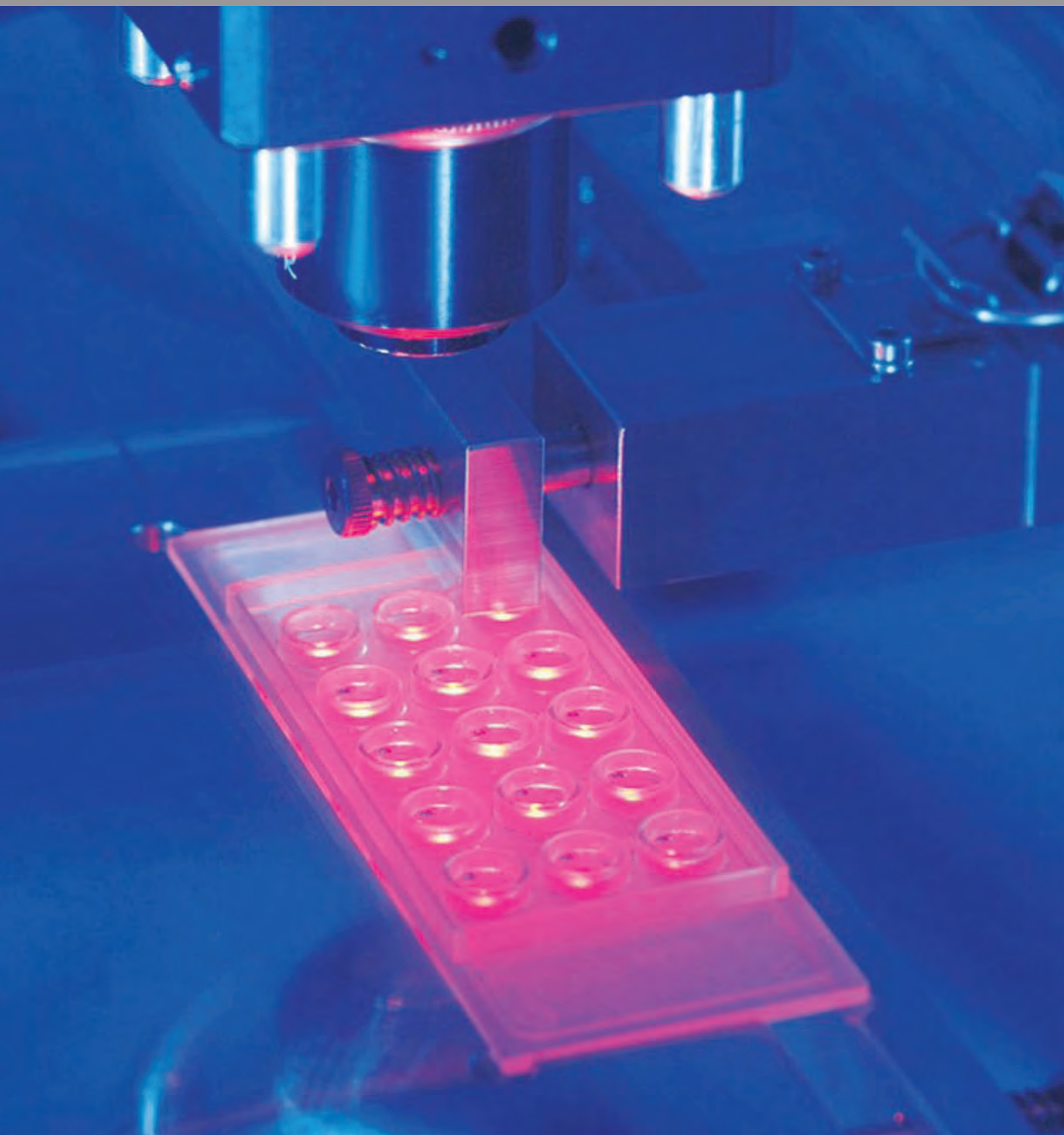
---

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

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

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

# MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK

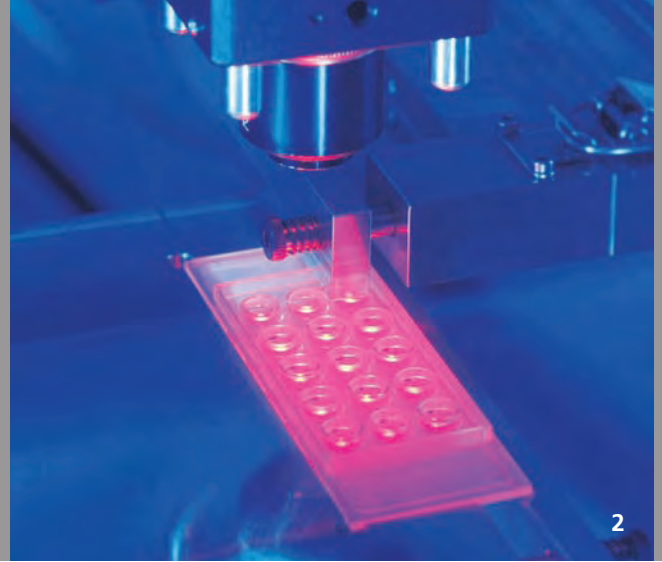


---

## INHALT

---

LIFTSYS – Laserdrucksystem für Zellen und Biomaterialien	134
Multispektraler Vielkanalsensor zur Infektionsdiagnostik	135
Funktionalisierung von Weichgewebeimplantaten	136
Antimikrobielle Photodynamische Therapie	137
Adaptives Handstück für Lasertherapiesysteme	138
Innovative Photo-Polymere für den 3D-Druck	139



## LIFTSYS – LASERDRUCK-SYSTEM FÜR ZELLEN UND BIOMATERIALIEN

### Aufgabenstellung

Die Herstellung biologischer Testsysteme ist oft durch die Viskosität der auf einem Analysechip aufzubringenden biologischen Stoffe limitiert. Bisherige Printtechniken erfordern stark wässrige Trägerflüssigkeiten und erlauben keine exakte Positionierung des Analyten. Glykoproteine, lebende Zellen oder Metalle lassen sich mit den konventionellen Systemen nur bedingt drucken. Eine Technik, mit der Biomoleküle und Zellen mikrometergenau in beliebiger Anordnung auf einem Substrat platziert werden kann, würde neue Möglichkeiten im Hochdurchsatz- oder High-Contentscreening ermöglichen.

### Vorgehensweise

Mit dem am Fraunhofer ILT entwickelten LIFTSYS-System durch Laser Induced Forward Transfer (LIFT) ist die präzise Platzierung von kleinsten Mengen biologischer Stoffe oder sogar einzelner lebender Zellen nahezu ohne Einschränkung möglich. Über dem Empfängerträger befindet sich ein Glasobjektträger mit dem zu übertragenden Biomaterial auf der Unterseite und einer zwischengelagerten Absorberschicht aus Titan. Durch einen gepulsten Laserstrahl wird die Titanschicht verdampft und das Probenmaterial durch den entstehenden Vorwärtimpuls auf den Empfängerträger übertragen. Dieses laserbasierte Verfahren kommt ohne Druckkopf aus und kann Biomaterialien wie RNS, DNS, Proteine und Zellen unabhängig von der Viskosität übertragen.

1 LIFTSYS-Anlage im Labor.

2 Aufbau eines zellbasierten Testsystems mittels LIFT.

### Ergebnis

Als Ergebnis der gerätetechnischen Entwicklung am Fraunhofer ILT entstand eine innovative fünfachsige Anlage mit Bewegungssystemen für Transfer- und Empfängerträger. Die integrierte Strahlquelle lässt sich auf die Wellenlänge 355 nm oder 1064 nm einstellen. Fokusslage, Laserleistung und Pulszahl können automatisch reguliert werden. Dadurch ist der Benutzer in der Lage, eine große Bandbreite an Substanzen, von Biomaterialien bis hin zu Metallen, mit der LIFTSYS-Anlage zu übertragen. Mit der Anlage ist es möglich, dass komplexe Transfermuster programmiert und einem bestimmten Bearbeitungsergebnis zugeordnet werden können.

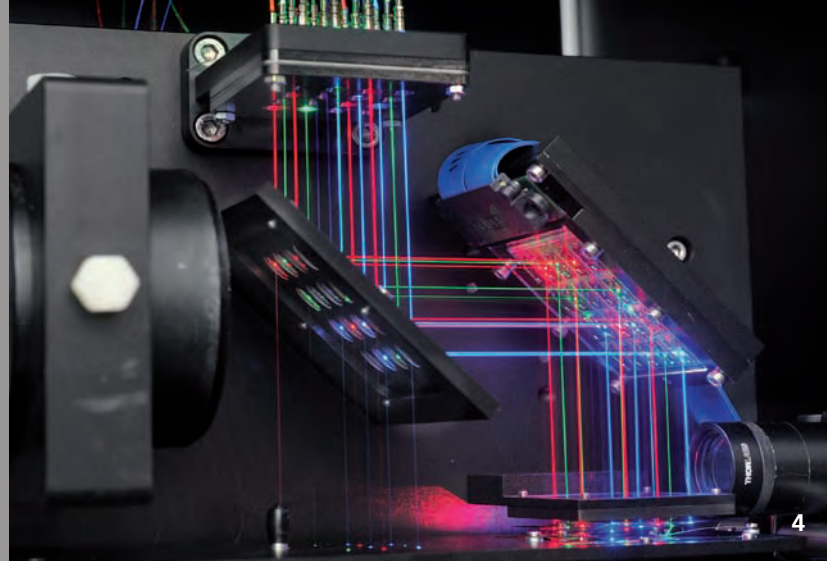
### Anwendungsfelder

Ein breites Anwendungsgebiet ist beispielsweise die medizinische und pharmazeutische Forschung, in der die Reaktion von Zellen auf Wirkstoffe untersucht wird. Insbesondere grundlegende Untersuchungen der mikroskopischen Interaktion unterschiedlicher Zellen miteinander lassen sich dadurch reproduzierbar durchführen. Mit LIFTSYS können darüber hinaus Mikrostrukturen aus unterschiedlichen technischen Materialien zur Herstellung von Sensoren oder biohybride Sensorsysteme hergestellt werden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Biol. Dominik Riester  
Telefon +49 241 8906-529  
dominik.riester@ilt.fraunhofer.de

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



## MULTISPEKTRALER VIELKANALENSOR ZUR INFEKTIONS DIAGNOSTIK

### Aufgabenstellung

In der Infektionsdiagnostik werden immer häufiger Multiplexanalysen durchgeführt, die in einem einzigen Testschritt simultan verschiedene Krankheitserreger nachweisen. Dies wird dadurch erreicht, dass ein Assay aus verschiedenen Antikörper-Farbstoffkonjugaten zusammengesetzt ist, von denen jedes gegen einen anderen Erreger spezifisch bindet und sich von den übrigen durch die spektralen Eigenschaften seines Fluorophors unterscheiden lässt.

### Vorgehensweise

Zur Durchführung eines Multiplextests wurde eine Fluoreszenzsensorik mit 16 Anregungs- und Detektionskanälen entwickelt. Je 4 der 16 Anregungskanäle besitzen die gleiche Laserwellenlänge. Insgesamt stehen damit 4 verschiedene Anregungswellenlängen von 405 nm, 473 nm, 514 nm und 638 nm zur Verfügung. Jeder Detektionskanal ist spektral auf das Emissionsspektrum eines bestimmten Fluorophors abgestimmt, wodurch 16 verschieden markierte Erreger simultan nachgewiesen werden können. Sowohl Anregungs- als auch Detektionslicht werden über Fasern geführt, die gemäß der Probengeometrie angeordnet werden können. Am Ende einer jeden Faser befindet sich eine Mikrolinse, die die Anregungsstrahlung in die zu untersuchende Analytlösung fokussiert und das entstehende Fluoreszenzlicht sammelt. Für den empfindlichen Nachweis von Einzelphotonenereignissen wurde ein Vielkanaldiskriminator (MCD = Multi Channel Discriminator) entwickelt, der die kurzen Stromsignale eines Multianoden Photomultipliers (PMT) in TTL-Pulse umwandelt.

Jeder Kanal besitzt einen Pulsformer, mit dem die Längen der Spannungspulse der PMT-Ausgänge an die signalverarbeitende Elektronik angepasst werden können. Eine für jeden Kanal einstellbare Diskriminatorschwelle erlaubt die Optimierung der Signal-Rausch-Verhältnisse.

### Ergebnis

Der multispektrale Vielkanalsensor wurde für 16 Kanäle aufgebaut und das Detektorrauschen sowie das Übersprechen zwischen benachbarten Kanälen bestimmt. Ein Übersprechen konnte nicht nachgewiesen werden. Bei der eingesetzten nah-infrarot empfindlichen Photokathode werden bei typischen Messbedingungen mit den für den Erregernachweis eingesetzten Fluoreszenzmarkern Signal-Rausch-Abstände der Zählraten größer 10 dB erreicht.

### Anwendungsfelder

Der multispektrale Vielkanalsensor kann in der klinischen Diagnostik zum Nachweis von Infektionskrankheiten, Autoimmunerkrankungen oder Tumormarkern eingesetzt werden. Er eignet sich zur Untersuchung von Forschungsfragen in den Bereichen Bioanalytik, Biochemie und Pharmakologie.

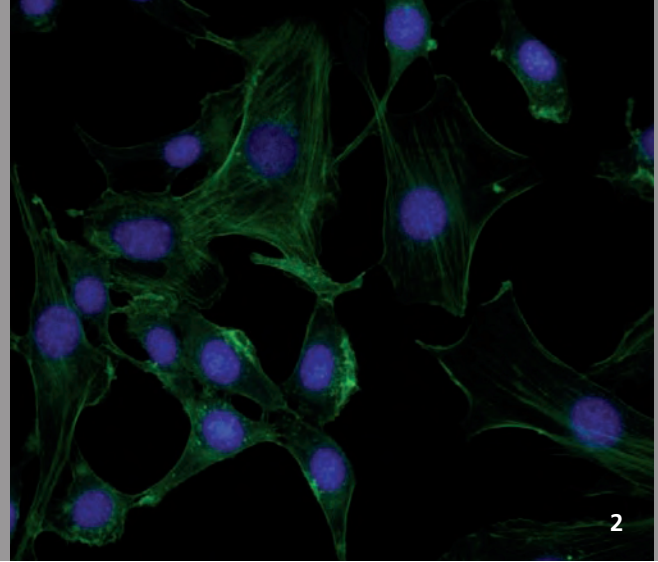
### Ansprechpartner

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

Priv.-Doz. Dr. Reinhard Noll  
Telefon +49 241 8906-138  
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

- 3 Vielkanaldiskriminator zum empfindlichen Nachweis von Einzelphotonenereignissen.
- 4 Anregungslaserstrahlen verschiedener Wellenlängen für den spektralen Multiplextest.





## FUNKTIONALISIERUNG VON WEICHGEWEBEIMPLANTATEN

### Aufgabenstellung

Ein Gewebebruch bezeichnet einen Riss in der Bauchwand, durch den innere Organe, wie beispielsweise der Darm, nach außen dringen. Die häufigste Form (ca. 2 - 3 Prozent der Bevölkerung) stellt dabei der Leistenbruch dar. Defekte in der Bauchwand können angeboren sein oder als Folge von Operationen auftreten. Nach einer operativen Behandlung eines solchen Gewebebruchs leiden heute 30 Prozent der Patienten unter chronischen Schmerzen und bei 10 Prozent der Patienten ist sogar eine erneute Operation unumgänglich. Durch ein geeignetes bioaktives Implantat sollen diese Folgeerscheinungen verringert werden.

### Vorgehensweise

Das untersuchte Implantat besteht aus einer nach außen gerichteten Seite, die möglichst gut in die Bauchdecke einwachsen soll und aus einer im Bauchraum liegenden, möglichst glatten Seite die Verwachsungen der inneren Organe mit dem Implantat verhindern soll. Aus einer künstlich hergestellten Seide werden dazu ein raues Vlies und eine glatte Membran hergestellt und miteinander verbunden. Beide Seiten erhalten durch Laserbestrahlung eine spezifische bioaktive Funktionalisierung. Neben grundlegenden Untersuchungen werden auch Konzepte zur Übertragung der verschiedenen Verfahren vom Labor auf die industrielle Fertigung erforscht.

1 *Seidenmembran mit Vliesoberfläche zur Integration in die Bauchdecke.*

2 *Besiedelung einer Seidenmembran mit 3T3-Zellen nach UV-Funktionalisierung.*

Die Seidenmembran wird mit Licht der Wellenlänge von 330 - 370 nm in einer Sulfo-LC-SDA- und TGF- $\beta$ -Lösung bestrahlt. Dabei findet eine photochemische Reaktion statt, die bioaktive Moleküle an die Seidenmembran bindet. In nachfolgenden Waschschrritten werden die adhesiv an die Oberfläche gebundenen Moleküle entfernt, so dass nur die kovalent gebundenen Ankergruppen in den laserfunktionalisierten Bereichen übrig bleiben.

### Ergebnis

Zur Ankopplung der Ankergruppen wurde ein Prozess unter Verwendung von UV-Licht etabliert. Der Nachweis der photochemischen Bindung wurde zuerst anhand der Bindung eines Fluoreszenzfarbstoffs erbracht. Hier konnte gezeigt werden, dass der Anteil der photochemischen Bindungen gegenüber der unspezifischen Adsorption um etwa einen Faktor 10 höher liegt. Mit Hilfe von Kontaktwinkelmessungen konnte die Anbindung des Wachstumsfaktors TGF- $\beta$  gezeigt werden.

### Anwendungsfelder

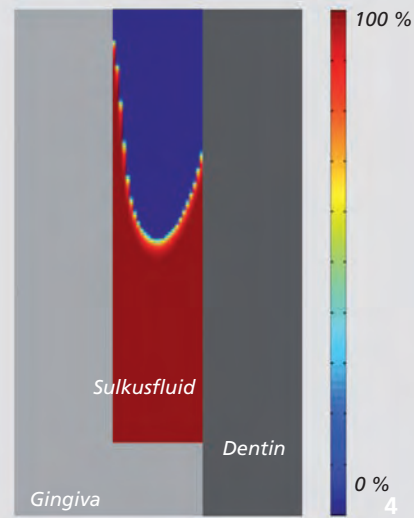
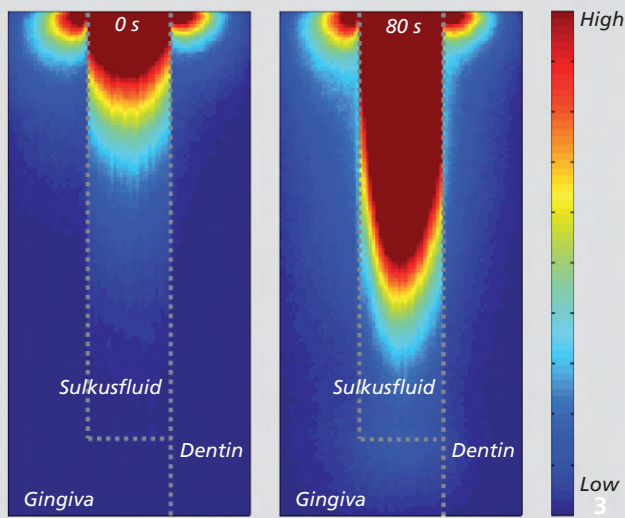
Die betrachteten Funktionalisierungsverfahren befinden sich noch im Laborstadium und sollen in zuverlässige und reproduzierbare Fabrikationsverfahren überführt werden. Durch die unterschiedliche Funktionalisierung können neuartige verbesserte Implantate hergestellt werden.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des BMBF-Projekts »HYPA B« (FKZ: 13N12252) gefördert.

### Ansprechpartner

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

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



## ANTIMIKROBIELLE PHOTODYNAMISCHE THERAPIE

### Aufgabenstellung

Die antimikrobielle Photodynamische Therapie (aPDT) wird zur Behandlung bakterieller Infektionen angewandt. Die Therapie ist zwar wegen der zunehmenden bakteriellen Resistenz relevant, jedoch stellt die mangelnde Beobachtbarkeit des Therapieerfolgs während oder unmittelbar nach der Behandlung noch ein Hindernis dar. Um messbare Größen zur Beobachtbarkeit des Therapieerfolgs zu identifizieren, werden die Methoden der Modellierung und Simulation zur Untersuchung der aPDT angewandt.

### Vorgehensweise

Das Wirkprinzip der aPDT beruht auf einer laserinduzierten elektronischen Anregung photoaktiver Chemikalien, sogenannter Photosensitizer, bei geringer Leistung (~ mW). Resonante Stöße des angeregten Photosensitizers mit molekularem Sauerstoff erzeugen hochreaktiven und cytotoxischen Singulett-Sauerstoff. Innerhalb der kleinen Lebensdauer (~ ns) des Singulett-Sauerstoffs werden Bakterien geschädigt und schließlich inaktiv. Die räumlich und zeitlich verteilten Prozesse (Propagation, Streuung und Absorption der Laserstrahlung, Fortschritt biochemischer Reaktionen) werden durch ein System von Reaktions-Diffusionsgleichungen beschrieben.

### Ergebnis

Als Ergebnis wird ein dynamisches und räumlich zweidimensionales mathematisches Modell angegeben, dessen Lösung das Fortschreiten der Reaktionsfront und das erfolgreich therapierte Gebiet beschreibt. Zur Lösung des Modells und

zur Analyse der Lösungseigenschaften liegt ein Simulationstool vor. Um geeignete Behandlungsprotokolle zu entwickeln, wird die Abhängigkeit des Therapieerfolgs von relevanten Parametern untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Konzentrationen an Photosensitizer und Sauerstoff sowie die Eigenschaften der Laserstrahlung relevant sind. Messbare und mit dem Therapieerfolg veränderliche Größen werden identifiziert und auf ihre Eignung zur Beobachtung des Therapieerfolgs in Echtzeit überprüft.

### Anwendungsfelder

Das entwickelte Modell ist auf die aPDT zur Behandlung von Parodontitis ausgerichtet. Wir erwarten, dass eine Modifikation des Modells ebenfalls zur Beschreibung der Therapie von Wundinfektionen oder lokalen Infektionen mit multiresistenten Keimen angewandt werden kann. Eine Simulation zur Beschreibung der Photodynamischen Therapie bei der Tumorbehandlung ist eine weitere aussichtsreiche Anwendung des Modells.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Lisa Bürgermeister  
 Telefon +49 241 8906-610  
 lisa.buergermeister@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz  
 Telefon +49 241 8906-204  
 wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

- 3 Intensitätsverteilung im Zahnhalteapparat bei der aPDT nach 0 s und 80 s Bestrahlung.
- 4 Überlebensrate der Bakterien bei der aPDT nach 80 s Bestrahlung.



1



2

## ADAPTIVES HANDSTÜCK FÜR LASERTHERAPIESYSTEME

### Aufgabenstellung

In zahlreichen Anwendungen in der Dermatologie, zum Beispiel bei der Behandlung vaskulärer Läsionen, wird Laserstrahlung eingesetzt, um Gewebe abzutragen oder zu koagulieren. Hierzu muss die Laserstrahlung auf das Gewebe fokussiert und über Scannerspiegel auf der Gewebeoberfläche verfahren werden. Dem behandelnden Arzt soll dies durch ein am Fraunhofer ILT entwickeltes Handstück mit integrierter Scannertechnologie ermöglicht werden, wobei er die vollständige Prozesskontrolle behält und durch Assistenzsysteme unterstützt wird.

### Vorgehensweise

Die Therapiestrahlung wird in ein Handstück eingekoppelt, das der Chirurg auf die zu behandelnde Hautpartie aufsetzt. Die Mikroschnitttechnologie sorgt für die Feinpositionierung des Laserfokus. Der Einsatz einer 2D-Bildaufnahme in Kombination mit Scannerspiegeln ermöglicht eine Dokumentation des Behandlungsverlaufs und -erfolgs sowie die automatische Anpassung der Geometrie der zu bestrahlenden Fläche an die Ergebnisse präoperativer Diagnostik. Der Therapiestrahlung kann Messstrahlung eines optischen Kohärenztomographen (engl. Optical Coherence Tomography, OCT) überlagert werden, um den Koagulationsprozess in tieferliegenden Gewebeschichten zu überwachen.

1 Handstück für die Laserchirurgie.

2 Griffstück mit Spülkanälen und Beleuchtung über Glasfasern.



CAD-Entwurf eines Handstücks für die Dermatologie.

### Ergebnis

Am Fraunhofer ILT wurde für den Anwendungsfall der Hartgewebechirurgie eine Handstücktechnologie entwickelt, die während des Schneidens mit gepulster Laserstrahlung eine 2D-Bilderfassung und 3D-OCT-Aufnahmen des Behandlungsorts ermöglicht. Das eigens für den Einsatz in der Laserchirurgie am Fraunhofer ILT entwickelte OCT-System hat einen Messbereich von  $z = 11$  mm, eine Messfrequenz von  $f = 14$  kHz und eine axiale Auflösung von  $dz = 25$   $\mu$ m.

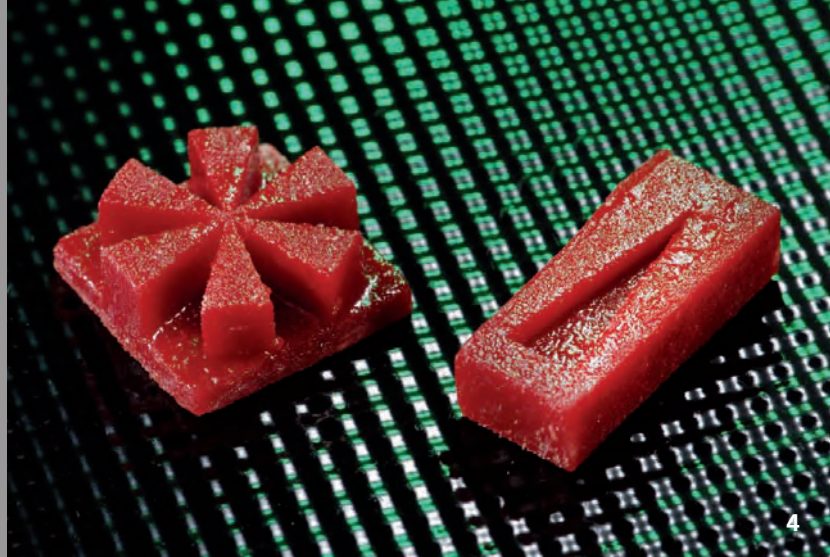
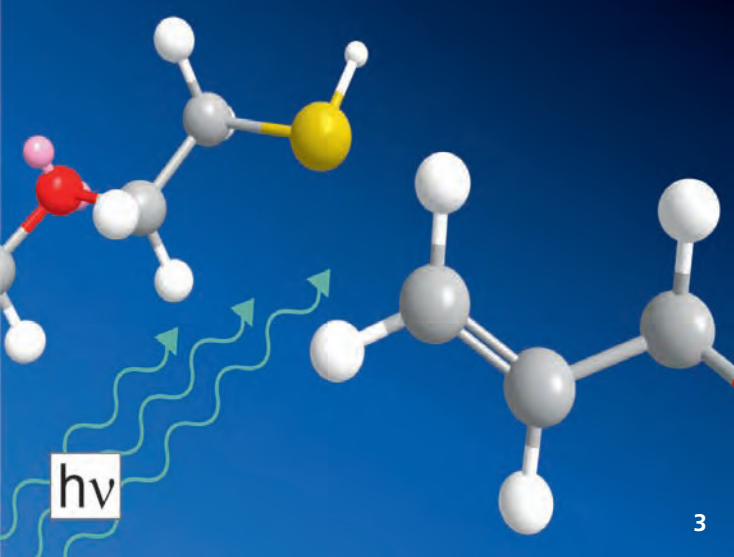
### Anwendungsfelder

Einsatzgebiete des Handstücks sind Lasertherapie- und Chirurgesysteme, bei denen die Laserstrahlung trotz manueller Führung durch den Chirurgen mit hoher Präzision appliziert werden muss.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Cristian Tulea  
 Telefon +49 241 8906-431  
 cristian.tulea@ilt.fraunhofer.de

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



## INNOVATIVE PHOTO-POLY-MERE FÜR DEN 3D-DRUCK

### Aufgabenstellung

Die Technologie des 3D-Drucks erobert die Welt und erweckt das Interesse vieler Nutzer in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten. Diese reichen vom Prototypenbau, über die Produktion mit kleinen Losgrößen bis hin zur personalisierten Fertigung von Implantaten in der Medizintechnik. Neue Anwendungen erfordern neue, angepasste Materialien. Biokompatibilität, die Prozessgeschwindigkeit, die Maßhaltigkeit und einstellbare Produkteigenschaften, wie hohe Bruchfestigkeit und einstellbare Elastizität, sind dabei die Anforderungen bei der Entwicklung neuer lichthärtender Polymersysteme. Die Abstimmung zwischen den Materialien und den 3D-Druckprozessen, wie z. B. Stereolithographie, projektionsbasierte Druckverfahren und Mehrphotonenpolymerisation, stellt dabei die besondere Herausforderung dar.

### Vorgehensweise

Die Thiol-En-Klickchemie hat eine hohe Effizienz im Reaktionsablauf und ist durch eine lokale Initiierung über Lichtexposition zeitlich und räumlich kontrollierbar. In Kombination mit der hohen Präzision der 3D-Druckprozesse ist dieser Reaktionstyp ein vielversprechender Ansatz für neuartige Photoharze. Die Auswahl an Materialien umfasst biokompatible, synthetische, natürliche oder Hybridmaterialien oder Komposite mit einstellbaren mechanischen Eigenschaften. Neben den klassischen UV-härtenden Harzen, wie z. B. Acrylate oder Epoxide, eröffnet die Thiol-En Klickreaktion eine weitere Klasse an Photopolymeren für den 3D-Druck.

### Ergebnis

Im Rahmen der Forschungsaktivitäten im Bereich Life Science konnten biokompatible Materialsysteme auf der Basis von Thiol-En entwickelt werden, die durch stereolithographische Prozesse zu hochaufgelösten 3D-Objekten verarbeitet werden können. Durch den Druck von Normgeometrien konnte die hohe Orts- und Tiefenauflösung der verwendeten Materialsysteme und deren Eignung für hochpräzise Bauteile aus Stereolithographiedruckern nachgewiesen werden (Bild 4).

### Anwendungsfelder

Neben biologischen und medizinischen Anwendungen sowie Anwendungen im dentalen Bereich stehen den Materialsystemen auf Thiol-En Basis auch technische Bereiche offen. Die schnelle und kontrollierbare Härtung der Polymersysteme ermöglicht dabei eine anwendungsspezifische Zusammensetzung der Photoharze. Neben der Formulierung der Photoharze erfolgt am Fraunhofer ILT eine begleitende Entwicklung an den entsprechenden Anlagen, so dass eine optimierte Kundenlösung aus Prozess und Material angeboten werden kann.

### Ansprechpartner

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

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

3 Photochemische Thiol-En Reaktion.

4 3D-Strukturen aus Thiol-En Photopolymeren.

# PATENTE

## Patenterteilungen Deutschland

**10 2007 038 502**  
Verfahren zum Fügen von mindestens zwei Bauteilen mittels Laserstrahlung

**10 2010 033 053 A1**  
Verfahren zum formgebenden Umschmelzen von Werkstücken

**50 2008 009 626.4**  
Verfahren zur Materialabtragung sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

**10 2009 059 894 A1**  
Optische Anordnung zur Symmetrisierung und/oder Homogenisierung optischer Strahlung

**10 2012 012 981 B3**  
Optische Anordnung zur Laserbearbeitung einer Werkstückoberfläche sowie Verfahren zur Überwachung des Bearbeitungsprozesses

## Patenterteilungen Europa

**EP 50 2008 009 626,4**  
Verfahren zur Materialabtragung sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

**EP 2 122 413 B1**  
Verfahren und Anordnung zur Frequenzkonvertierung kohärenter optischer Strahlung

**EP 1541723**  
Verfahren zum Schweißen von Werkstücken aus hocharmfesten Superlegierungen

## Patenterteilungen USA

**US 8,350,188 B2**  
Verfahren zur Materialabtragung sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

**US 8,509,941 B2**  
Method and device for fine positioning of a tool having a handling apparatus

## Patenterteilungen International

**2490102**  
Welding Method and Component

**ZL200880100407,4**  
Verfahren zur Materialabtragung sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

**ZL200880100360,1**  
Verfahren zur Materialbearbeitung mit Laserstrahlung sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

## Patentanmeldungen Deutschland

**10 2013 000 407.1**  
Verfahren zur Verbesserung der Benetzbarkeit einer rotierenden Elektrode in einer Gasentladungslampe

**10 2013 200 888.0**  
Auftragschweißen im Bereich von Kanten

**10 2013 001 940.0**  
Strahlungsquellen im Extremen Ultraviolett und weichen Röntgenbereich durch Anregung von Pinchplasmen mit Elektronenstrahlen

**10 2013 003 640.2**  
Verfahren und Vorrichtung zur optischen Messung von Innengeometrien

**10 2013 004 371.9**  
Verfahren und Vorrichtung zur laserunterstützten Bearbeitung mit dynamischer Kompensation feldvarianter lateraler chromatischer Aberration bei der Prozessbeobachtung

**10 2013 005 008.1**

Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus einem Kohlenstoffnanoröhren enthaltenden Werkstoff

**10 2013 005 135.5**

Verfahren und Vorrichtung zum Abtragen von sprödhartem, für Laserstrahlung transparentem Material mittels Laserstrahlung

**10 2013 005 137.1**

Verfahren zum Abtragen von sprödhartem Material mittels Laserstrahlung (Weichzeichen)

**10 2013 005 136.3**

Verfahren zum Abtragen von sprödhartem Material mittels Laserstrahlung (Brechung)

**10 2013 005 139.8**

Verfahren zum Abtragen von sprödhartem Material mittels Laserstrahlung (Bohrstopp)

**10 2013 008 085.1**

Verfahren und Vorrichtung zum Fügen von Werkstücken mit einem Bearbeitungsstrahl

**10 2013 008 164.5**

Verfahren und Anordnung zur berührungslosen Durchführung optischer Messungen in verschlossenen etikettierten Behältnissen

**10 2013 011 675.9**

Verfahren zur generativen Bauteilfertigung mit reduzierten thermischen Gradienten

**10 2013 011 676.7**

Vorrichtung und Verfahren zur generativen Bauteilfertigung

**10 2013 012 730.0**

Verfahren zur Strukturierung einer elektrisch leitenden oder halbleitenden Schicht

**10 2013 012 956.7**

Kollektoranordnung für EUV- und/oder weiche Röntgenstrahlung

**10 2013 014 069.2**

Verfahren zur Laserbearbeitung eines Werkstücks mit polierter Oberfläche

**10 2013 015 429.4**

Verfahren zum Schneiden von Materialien

**10 2013 017 288.8**

Verfahren und Vorrichtung zur Justierung bidirektionaler optischer Abstandssensoren

**10 2013 017 289.6**

Verfahren und Vorrichtung zur Steigerung der Genauigkeit berührungsfreier Abstands- und Dickenmessungen

### **Patentanmeldungen International**

**EP13 152 064.5**

Auftragschweißen von länglichen, gekümmten Wänden

**EP13 152 060.3**

Verfahrstrategie zur TIP-Reparatur bei Laufschaufeln mittels MicroCladding

**EP13 158 179.5**

Laserverfahren mit unterschiedlichem Laserstrahlbereich innerhalb eines Strahls

**EP13 003 177.6**

EUV discharge lamp with moving protective component

**EP13 189 316.6**

Einkristallines Schweißen von direktional verfestigten Werkstoffen

**13/821,371**

Method and Device for generatively producing at least one component area

**13/919,641**

Laser Processing Apparatus

**PCT/EP 2013/001246**

Verfahren und Vorrichtung zum Fügen von mindestens zwei Werkstücken

**WO PCT/EP 2013/002190**

Vorrichtung zur Thermokoagulation mittels Laserstrahlung

**WO PCT/EP 2013/003350**

Optisch endgepumpter Slab-Verstärker mit verteilt angeordneten Pumpmodulen

**102128219**

Laser Processing Apparatus

**201310418771.8**

Laser Processing Apparatus

# DISSERTATIONEN

# DIPLOMARBEITEN

## Dissertationen

**21.01.2013 – A. Temmler**

Selektives Laserpolieren für metallische Funktions- und De-signoberflächen

**13.03.2013 – A. Richmann**

Polieren von Gläsern und Kunststoffen mit CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung

**27.05.2013 – D. Buchbinder**

Selective Laser Melting von Aluminiumgusslegierungen

**29.05.2013 – S. Jansen**

Generative Fertigung von konturnah temperierten Werkzeugen mittels Selective Laser Melting

**05.06.2013 – C. Vedder**

Hochgeschwindigkeits-Laserfunktionalisierung gedruckter, nanopartikulärer Schichten am Beispiel von Indium-Zinn-Oxid

**05.06.2013 – J. Dietrich**

Synchrone Qualitäts- und Produktivitätssteigerung beim Laserstrahlbohren

**24.06.2013 – A. Boglea**

Laser transmission welding for thermoplastics using local laser beam modulation

**09.07.2013 – M. Strotkamp**

Kompakte, grün emittierende Laser auf Basis von Pr:YLF

**12.07.2013 – M. Schäfer**

Laserstrukturierung transparenter, elektrisch leitfähiger Schichten für die organische Elektronik

**26.08.2013 – Y.-C. Hagedorn**

Additive Manufacturing of High Performance Oxide Ceramics via Selective Laser Melting

**27.09.2013 – A. Bäuerle**

Algorithmen zur Auslegung von Freiformoptiken für die LED-Beleuchtung

**22.10.2013 – T. Westphalen**

Algorithmen zur automatisierten Justage mikrooptischer Komponenten

**25.10.2013 – G. Bergweiler**

Verfahrensentwicklung zur lokalen Wärmebehandlung mit Laserstrahlung zur Verbesserung der Umform- und Funktionseigenschaften von hochfesten Stählen

**16.12.2013 – C. Hartmann**

Laserabtrag mit zeitlicher Modulation der Energiedeposition

## Diplomarbeiten

**Alkhayat, Moritz**

Bestimmung der mechanischen Eigenschaften einer laser auftraggeschweißten, mit feinen TiC-Partikeln verstärkten Inconel 625-Beschichtung

**Ambrosius, Norbert**

Lasertransfer von Lotpasten

**Bürsgens, Gwendal**

Untersuchung von diodengepumpten grundmodigen cw-Faserlasern als Pumpquellen für erbiumdotierte Kristalllaser bei 15342 nm

**Cozub-Poetica, Alexandru-Christian**

Resonant diodengepumpte Laserstrahlquellen mit Erbium-dotierten Kristallen bei Emissionswellenlängen um 1,6 µm

**Gräber, Bastian**

Einfluss des Laserstrahldurchmessers und der Intensitätsverteilung auf die Prozessproduktivität beim HP-SLM

**Holly, Carlo**

Numerische Berechnung der spektralen Stabilisierung von Hochleistungs-Diodenlasern

**Hördemann, Christian**

Laserdurchstrahlschweißen absorberfreier Kunststoffe mit angepasster Wellenlänge und hoher numerischer Apertur

**Israel, Justus**

Sicherstellung einer gleichbleibend großen Qualität der Laserstrahleinkopplung in eine SLM-Prozesskammer

**Kraemer, Bjoern**

Konstruktion, Aufbau und Test eines Abstandssensors zur automatischen Fokuseinstellung eines Scansystems

**Schulz, Michael**

Untersuchungen zum Abtragsschneiden von Siliziumwafern mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung

**Stoyanov, Stoyan**

Untersuchungen zur Erfassung der Wärmestrahlung des Schmelzbad bei Selective Laser Melting

# BACHELORARBEITEN

## **Ullmann, Julian**

Untersuchungen zum Einfluss der Verfahrens- und Anpassungsparameter auf die Formgenauigkeit und Rauheit beim Laserpolieren von sphärischen Linsen aus Quarzglas

## **Wagner, Joachim**

Qualifizierung einer hochtemperaturfesten Nickelbasis Superlegierung (Mar M-247) und Titanaluminid (TiAl) für das SLM unter Verwendung einer Vorheizung

## **Volker, Michael**

Optimierung eines Gas-/Wasserwärmetauschers für Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Laser

## **Bachelorarbeiten**

## **Boekels, Christian**

Entwicklung, Evaluierung und Integration eines Beleuchtungsmoduls zur Prozessüberwachung beim Laserstrahlhartlöten in einen industrietauglichen Bearbeitungskopf

## **Brück, Daniel**

Evaluation von geeigneten Stützen-Geometrien für High-Power SLM Bauteile aus Inconel 718

## **Deuter, Valerie**

Laserbasierte Herstellung von Isolationsschichten

## **Dickheuer, Sven Oliver**

Einfluss der Repetitionsrate auf die Ergebnisse der handgeführten Laser-Direktanalyse

## **Dietz, Thomas**

Abtrag dünner Schichten mittels zeitlicher Überlagerung von Laserpulsen

## **Dreier, Manuel**

Generative Fertigung einer Turbinenschaufel aus Inconel 718 mittels HP-SLM

## **Eisenreich, Nathanael**

Untersuchungen zum laserbasierten Mikroschweißen von Werkstücken mit definiertem Spalt am Beispiel der Kontaktierung von Solarzellen

## **Ermakova, Galina**

Design und Realisierung eines modularen optischen Systems zur passiven Kompensation thermischer Linsen

## **Gausmann, Stefan**

Untersuchung eines diodengepumpten Alexandritlasers

## **Gendraud, Camille**

Untersuchungen zur Bearbeitungsstrategie beim Laserpolieren von Quarzglas zur Reduzierung der Welligkeit und des Formverzugs bei reduzierter Vorheiztemperatur

## **Göhmann, Norman**

Wirtschaftlichkeitsanalyse des Einsatzes diffraktiver optischer Elemente zur Strahlteilung/-formung beim SLM

## **Greger, Dennis**

Konstruktion einer aktiven Vorrichtung zur automatisierten Laser-Resonatorjustage

## **Heußen, Daniel**

Entwicklung eines laserbasierten Verfahrens für die Inline-Batterieelektrodentrocknung unter Berücksichtigung des Einflusses der Temperaturverteilung auf die Schichtstruktur

## **Hollatz, Sören**

Untersuchung des Energieeintrags beim Laserstrahlschweißen mit örtlicher Leistungsmodulation

## **Hopfinger, Michael**

Experimentelle Untersuchungen zum Polieren von Nickelbasiswerkstoffen mit gepulster Laserstrahlung

## **Inacker, Patrick**

Untersuchungen zum ortselektiven Feinstabtrag zur Formkorrektur von Quarzglas mittels CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung

## **Khavkin, Evgeniy**

Endkonturnahes Laser-auftragschweißen einer Kompressorschaukel aus einer Nickelbasis-Superlegierung für ein Flugtriebwerk

## **Klos, Jan**

Aufbau und Charakterisierung eines parallelisierten konfokalen Fluoreszenzsensors

## **Lötgering, Lars**

Coherent diffraction imaging with a discharge produced plasma EUV source

## **Lumberg, Dirk**

Laserbasierte Fügevorbereitung für Metall-Faserverbundkunststoff-Verbindungen im Leichtbau

## **Masseling, Lukas**

Untersuchung zur generativen Fertigung aus Hastelloy X mittels HP-SLM an der SLM280HL



**Mersch, Jonas**

Untersuchungen zur Erhöhung der Detailauflösung mikroskopischer 3D-Strukturen beim SLM mit gepulster Laserstrahlung

**Mikhaylov, Dmitriy**

Konstruktion eines Moduls zur automatischen Vermessung der Laserstrahlparameter in einer SLM-Maschine

**Müller, Gideon Philipp**

Berechnung optischer Freiformflächen in einer transversalen Dimension für ausgedehnte Lichtquellen

**Müther, Max**

Konzeption und Konstruktion einer Pulverauftrageinheit für eine SLM-Anlage mit innovativem Optikdesign

**Overkemping, Fabienne**

Ermittlung charakteristischer Einflussgrößen beim laser-gestützten Fügen von FVK-Metall-Verbänden

**Schrinner, Philip**

Bestimmung absoluter Absorptionskoeffizienten von Borat-Kristallen mit Hilfe der Photothermalen Common-path-Interferometrie und Abschätzung des resultierenden thermischen Dephasings

**Sonnenschein, Tom**

Analyse des Einflusses verschiedener Scanstrategien auf die mechanischen Eigenschaften generativ gefertigter Gitterstrukturen

**Sontag,****Thomas Jens Michael**

Einfluss der Bearbeitungstiefe auf den Fokus beim ISLE

**Tetz, Thomas**

Laserbasierte Mikrostrukturierung von Dichtungsflächen einer gasgeschmierten Pumpengleitringdichtung.

**Walochnik, Martin**

Experimentelle Untersuchungen zur Laserumschmelzstrukturierung von Ti6Al4V

**Wierling,****Maximilian Hartwig**

Entwicklung eines Fügeverfahrens zur Montage eines optischen Isolators

**Wolf, Marcel**

Thermo-mechanische FE-Analyse eines mit Widerstandslöten aufgebauten optischen Systems

**Yalcin, Safak**

Entwicklung und Konstruktion einer Absaugvorrichtung zum Laserstrahlbohren

**Masterarbeiten****Bey, Nadine**

Spektral aufgelöste Strahlqualitätsmessung

**Bläsius, Jana**

Untersuchung von Diffusionsvorgängen bei der zweiphotoneninduzierten Vernetzung

**Caron, Jan**

Untersuchung der laserinduzierten Ablationsmechanismen von Hartgewebe unter Wasser

**Dai, Tao**

Welding analysis of Ni based alloys

**Eugen, Michel**

Untersuchung des nicht-thermischen Abtrags von Graphit in Abhängigkeit der verwendeten Wellenlänge ultrakurz gepulster Laserstrahlung

**Hartung, Andrea**

Untersuchungen zur Machbarkeit eines direkt dioden-gepumpten Alexandrit-Lasers

**Hetzel, Jan Henry**

Laserbasierte Herstellung von piezoelektrischen Schichten

**Hu, Qi**

Modelltheoretische Untersuchung der Fehlstellung mikrooptischer Komponenten für Diodenlaserbarren

**Jäger, Akef Gabriel**

Modifizierung der fluoreszierenden Eindringprüfung (FPI) mittels UV-Bleichung zur Prüfung von generativ mittels SLM gefertigten Gasturbinenkomponenten

**Kunkemoeller, Georg**

Herstellung und Charakterisierung von nanooptischen Komponenten mittels EUV-Lithografie

**Lange, Lucas Christopher**

Untersuchungen zur Strahlungsisolation für Faserlaser

**Nolte, Frank**

Untersuchungen zum Werkstoffeinfluss beim Laserpolieren mit kontinuierlicher Laserstrahlung

**Rittinghaus, SiljaKatharina**

Temperaturverteilung und Prozessführung beim SLM mit lokaler Vorheizung

# WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN

## **Schnitzler, Daniel**

Wellenleiter in Dielektrika  
mittels infraroter und  
grüner fs-Lasereinzeln- und  
-doppelpulse

## **Stittgen, Tobias**

Kamerabasierte Überwachung  
der Längsbewegung von  
Tankern beim Be- und Entladen  
an Öl- und Gasterminals

## **Tempeler, Jenny**

Untersuchung zum Aufbau  
biomimetischer Strukturen  
durch Multiphotonenpoly-  
merisation am Beispiel des  
Flimmerepithels

## **Valentin, Marc**

Grundlagenuntersuchungen  
zum Laserauftragschweißen  
von W-Cu- und Mo-Cu-  
Pseudolegierungen

## **Weingarten, Christian**

Entstehung und Reduzierung  
der Wasserstoffporosität  
beim SLM von Aluminium-  
legierungen

**Aden, M., Otto, G., Duve, C.:** Irradiation strategy for laser transmission welding of thermoplastics using high brilliance laser source. *Int. Polymer Processing* 28 (3), 300-305 (2013)

**Aden, M., Liviany, F., Olowinsky, A.:** Joint strength for laser transmission welding of thermoplastics: A simulation approach. *Int. Polymer Processing* 28 (1), 79-83 (2013)

**Becker, M., Werner, M., Fitzau, O., Esser, D., Kobelke, J., Schuster, K., Lorenz, A., Schwuchow, A., Rothhardt, M., Hoffmann, D., Bartelt, H.:** Laser processed preforms for microstructured optical fibers. *Proc. SPIE* 8785, 8785C9 (8 S.) (2013)

**Becker, M., Werner, M., Fitzau, O., Esser, D., Kobelke, J., Lorenz, A., Schwuchow, A., Rothhardt, M., Schuster, K., Hoffmann, D., Bartelt, H.:** Laser-drilled free-form silica fiber preforms for microstructured optical fibers. *Opt. Fiber Technol.* 19 (5), 482-485 (2013)

**Berens, M., Bruneton, A., Bäuerle, A., Traub, M., Wester, R., Stollenwerk, J., Loosen, P.:** Multiple intensity distributions from a single optical element. *Proc. SPIE*. 8834, 88340M (7 S.) (2013)

**Bi, G., Sun, C. N., Gasser, A.:** Study on influential factors for process monitoring and control in laser aided additive manufacturing. *J. Mat. Proc. Technol.* 213 (3), 463-468 (2013)

**Britten, S., Olowinsky, A., Gillner, A.:** Stress-minimized laser soldering of h-pattern multicrystalline silicon solar cells. *Physics Procedia* 41, 153-163 (2013)

**Bruneton, A., Bäuerle, A., Wester, R., Stollenwerk, J., Loosen, P.:** High resolution irradiance tailoring using multiple freeform surfaces. *Opt. Expr.* 21 (9), 10563-10571 (2013)

**Bruneton, A., Bäuerle, A., Wester, R., Stollenwerk, J., Loosen, P.:** Limitations of the ray mapping approach in freeform optics design. *Opt. Lett.* 38 (11), 1945-1947 (2013)

- Buchbinder, D., Meiners, W., Hinke, C., Merkt, S.:** Generative Fertigung mit Selective Laser Melting auf dem Weg zur Serienproduktion? DVS Congress 2013. Düsseldorf: DVS-Media 2013. DVS-Berichte Bd. 296. ISBN 978-3-87155-614-2. 5 S.
- Büsing, L., Bonhoff, T., Gottmann, J., Loosen, P.:** Deformation of ultrashort laser pulses by optical systems for laser scanners. *Opt. Expr.* 21 (21), 24475-24482 (2013)
- Carstens, H., Holzberger, S., Kaster, J., Weitenberg, J., Pervak, V., Apolonski, A., Fill, E., Krausz, F., Pupeza, I.:** Large-mode enhancement cavities. *Opt. Expr.* 21 (9), 11606-11617 (2013)
- Chen, X., Yagi, M., Akiyama, Y., Machida, O., Ohta, E., Meixner, M.:** Stollenwerk, J., Boettger, U., Schneller, T. : Fabrication of multilayer Pb(Zr<sub>0.53</sub>Ti<sub>0.47</sub>)O<sub>3</sub> film crystallized by laser annealing. *Jap. J. Appl. Phys.* 52, 09KA06 (4 S.) (2013)
- Crump, P., Knigge, S., Maaßdorf, A., Bugge, F., Hengsbach, S., Witte, U., Hoffmann, H. D., Köhler, B., Hubrich, R., Kissel, H., Biesenbach, J., Erbert, G., Tränkle, G.:** Low-loss, smile-insensitive external frequency-stabilization of high power diode lasers enabled by vertical designs with extremely low divergence angle and high efficiency. *Proc. SPIE 8605, OT1 (13 S.) (2013)*
- Danylyuk, S., Kim, H., Brose, S., Dittberner, C., Loosen, P., Taubner, T., Bergmann, K., Juschkin, L.:** Diffraction-assisted extreme ultraviolet proximity lithography for fabrication of nanophotonic arrays. *J. Vac. Sci. Technol. B* 31(2), 21602/1-21602/6 (2013)
- Danylyuk, S., Loosen, P., Bergmann, K., Kim, H., Juschkin, L.:** Scalability limits of Talbot lithography with plasma-based extreme ultraviolet sources. *J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS* 12, 033002 (7 S.) (2013)
- Esser, D., Weitenberg, J., Bröring, W., Pupeza, I., Holzberger, S., Hoffmann, H.-D.:** Laser-manufactured mirrors for geometrical output coupling of intracavity-generated high harmonics. *Opt. Expr.* 21 (22), 26797-26805 (2013)
- Finger, J., Weinand, M., Wortmann, D.:** Ablation and cutting of carbon-fiber reinforced plastics using picosecond pulsed laser radiation with high average power. *J. Laser Appl.* 25 (4), 042007-1 (5 S.) (2013)
- Finger, J., Weinand, M., Wortmann, D.:** Investigations on processing of carbon fiber reinforced plastics using ultrashort pulsed laser radiation with high average power. ICALEO, 32th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics: October 6-10, 2013, Miami/Fl., USA. Orlando/Fl.: LIA (2013). Paper 1905 (6 S.)
- Finger, J., Reininghaus, M., Wortmann, D., Cao, Z., Taubner, T.:** Laser fabricated nanoantennas for near-field applications. ICALEO, 32th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics: October 6-10, 2013, Miami/Fl., USA. Orlando/Fl.: LIA (2013). N302 (5 S.)
- Flemmer, J., Pirch, N., Witzel, J., Gasser, A., Wissenbach, K., Kelbassa, I.:** LACAM3D, CAM solution for tool path generation for build up of complex aerospace components by laser powder deposition. *Proceedings of the 37th International MATADOR Conference*. Eds.: S. Hinduja, L. Li. London [u.a.]: Springer (2013). ISBN 978-1-4471-4479-3. pp. 61-64
- Fornaroli, C., Holtkamp, J., Gillner, A.:** Dicing of thin Si wafers with a picosecond laser ablation process. *Physics Procedia* 41, 603-609 (2013)
- Göttmann, A., Bailly, D., Bergweiler, G., Bambach, M., Stollenwerk, J., Hirt, G., Loosen, P.:** A novel approach for temperature control in ISF supported by laser and resistance heating. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 67, 2195-2205 (2013)
- Gottmann, J., Hermans, M., Ortmann, J.:** Digital photonic production of 3D micro fluidics in glass by high speed micro scanner. *MATEC Web of Conferences* 8, 05003 (2 S.), (2013)
- Gottmann, J., Hermans, M., Ortmann, J.:** Microcutting and hollow 3D microstructures in glasses by In-volume Selective Laser-induced Etching (ISLE). *J. Laser Micro/Nanoeng.* 8 (1), 15-18 (2013)

- Hagedorn, Y.-C., Risse, J., Meiners, W., Pirch, N., Wissenbach, K.:** Processing of nickel based superalloy MAR M-247 by means of High-Temperature Selective Laser Melting (HT-SLT). In: *High Value Manufacturing*. Eds.: P. J. Bartolo et. al. Boca Raton: CRC Pr. (2013). ISBN 978-1-138-00137-4. pp. 291-295
- Hartmann, C., Hambach, N., Jüngst, M., Keller, S., Holtkamp, J., Gillner, A.:** High density perforation of thin Al-foils with ultra short pulse lasers. *J. Laser Micro/Nanoeng.* 8 (3), 266-270 (2013)
- Hartmann, C., Hambach, N., Jüngst, M., Keller, S., Holtkamp, J., Gillner, A.:** High density perforation of thin Al-foils with ultra short pulse lasers. *Proc. of LAMP2013 - the 6th Int. Congr. on Laser Advanced Materials Processing*. Washington, D.C.: The Catholic Univ. of America (2013). 4 S.
- Hauschild, D., Kumstel, J., Willenborg, E.:** Produktivität bei der Laserpolitur deutlich steigern. *WT-Online* 103 (11/12), 1-5 (2013)
- Hawelka, D., Stollenwerk, J., Pirch, N., Wissenbach, K., Loosen, P.:** Improving surface properties by laser-based drying, gelation, and densification of printed sol-gel coatings. *J. Coat. Technol. Res.* 10 (8 S.) doi 10.1007/s11998-013-9516-0 (2013)
- Heidrich, S.:** Fast freeform processing. *Mikroniek* 53, (3), 48-50 (2013)
- Heidrich, S., Richmann, A., Willenborg, E.:** Laser-based optics manufacturing. 3rd EOS Conference on Manufacturing of Optical Components (EOSMOC 2013). International Congress Centre Munich (ICM), Germany, 13 May 2013 - 15 May 2013. (2013). 2 S.
- Hengesbach, S., Witte, U., Traub, M., Hoffmann, D.:** Design of a DFB/DBR diode laser module including spectral multiplexing based on VBGs. *High Power Diode Lasers and Systems Conference (HPD), 2013*. West Midlands, United Kingdom, 16-17 Oct. 2013. Piscataway, N.J.: IEEE 2013. pp. 16-17. ISBN: 978-1-4799-2747-0. doi 10.1109/HPD.2013.6706596
- Hengesbach, S., Krauch, N., Holly, C., Traub, M., Witte, U., Hoffmann, D.:** High-power dense wavelength division multiplexing of multimode diode laser radiation based on volume Bragg gratings. *Opt. Lett.* 38, 3154-3157 (2013)
- Hilzensauer, S., Gilly, J., Friedmann, P., Werner, M., Traub, M., Patterson, S., Neukum, J., Kelemen, M. T.:** High-power diode lasers between 1.8  $\mu\text{m}$  and 3.0  $\mu\text{m}$ . *Proc. SPIE* 8640, 86401P (10 S.) (2013)
- Hinke, Christian:** Digital photonic production and its emerging opportunities. *LIA Today* 2013, 14-16 (2013)
- Holly, C., Hengesbach, S., Traub, M., Hoffmann, D.:** Simulation of spectral stabilization of high-power broad-area edge emitting semiconductor lasers. *Opt. Expr.* 21, 15553-15567 (2013)
- Holters, M., Loosen, P.:** Selbstoptimierende Montage von Lasern unter Berücksichtigung von Bauteiltoleranzen. *DGaO-Proceedings* 114, 36 (2 S.) (2013)
- Hong, C., Gu, D., Dai, D., Gasser, A., Weisheit, A., Kelbassa, I., Zhong, M., Poprawe, R.:** Laser metal deposition of TiC/Inconel 718 composites with tailored interfacial microstructures. *Opt. Laser Technol.* 54, 98-109 (2013)
- Ivanov, D. S., Kuznetsov, A.I., Lipp, V. P., Rethfeld, B., Chichkov, B. N., Garcia, M. E., Schulz, W.:** Short laser pulse nanostructuring of metals: direct comparison of molecular dynamics modeling and experiment. *Appl. Phys. A*, 111 (3), 675-687 (2013)
- Janssen, S., Uchtmann, H., Kelbassa, I.:** Determination of the bore hole diameter by analyzing process emissions. *ICALEO, 32th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics: October 6-10, 2013, Miami/FL, USA. Orlando/FL: LIA (2013). Paper 701 (9 S.)*
- Kelbassa, I., Gasser, A., Meiners, W., Backes, G., Müller, B.:** High speed LAM. *Proceedings of the 37th International MATADOR Conference*. Eds.: S. Hinduja, L. Li. London [u.a.]: Springer (2013). ISBN 978-1-4471-4479-3. 5 S.

- Kumstel, J., Kirsch, B.:** Polishing titanium- and nickel-based alloys using cw-laser radiation. *Physics Procedia* 41, 355-364 (2013)
- Larsen, C., Giesberts, M., Nyga, S., Fitzau, O., Jungbluth, B., Hoffmann, H. D., Bang, O.:** Gain-switched all-fiber laser with narrow bandwidth. *Opt. Expr.* 21 (10), 12302-12308 (2013)
- Li, J., Yang, S. H., Meissner, A., Hofer, M., Hoffmann, D.:** A 200 W Innoslab Tm:YLF laser. *Laser Phys. Lett.* 10 (5), 55002 (5 S.) (2013)
- Liu, J., Dahmen, M., Ventzke, V., Kashaev, N., Poprawe, R.:** The effect of heat treatment on crack control and grain refinement in laser beam welded  $\beta$ -solidifying TiAl-based alloy. *Intermetallics* 40, 65-70 (2013)
- Maischner, D., Barz, J., Weisheit, A., Backes, G.:** Gut gerüstet für langen Einsatz. *Form + Werkzeug* 2013 (1), 25-27 (2013)
- Mehlmann, B., Olowinsky, A., Thuilot, M., Gillner, A.:** Spatially modulated laser beam micro welding of CuSn6 and nickel-plated DC04 steel for battery applications. *Proc. of Lamp2013 - the 6th Int. Congr. on Laser Advanced Materials Processing. Washington, D.C.: The Catholic Univ. of America* (2013). 7 S.
- Meineke, G., Flitsch, D., Lenenbach, A., Noll, R.:** Fluorescence sensors for parallel measurements in multichannel microfluidic devices covering the full channel cross sections. *Proc. SPIE* 8615, 86151C-1 (7 S.) (2013)
- Meissner, A., Kucirek, P., Li, J., Hofer, M., Hoffmann, D.:** Simulations and experiments on resonantly-pumped single-frequency Erbium lasers at 1.6  $\mu\text{m}$ . *Proc. SPIE* 8599, H1-8 (8 S.) (2013)
- Meissner, A., Li, J., Lopez-Perez, I., Yang, S., Hofer, M., Hoffmann, D.:** 200-W Tm:YLF INNOSLAB laser. *Proc. SPIE* 8599, C1 (7 S.) (2013)
- Merkt, S., Hinke, C., Dalae, M., Salminen, A., Purtonen, T., Bültmann, J.:** Compressive behavior of lattice structures in solid shells manufactured by SLM. 14th NOLAMP Conference, Gothenburg, Sweden, August 26th - 28th, 2013. Ed.: A. Kaplan [u.a.]. Lulea: Univ. of Technology (2013). pp. 91-100. ISBN: 978-91-7439-688-1 (Print), 978-91-7439-689-8 (Pdf)
- Mingareev, I., Bonhoff, T., El-Sherif, A. F., Meiners, W., Kelbassa, I., Biermann, T., Richardson, M.:** Femtosecond laser post-processing of metal parts produced by laser additive manufacturing. *J. Laser Appl.* 25 (5), 052009 (4 S.) (2013)
- Nastasi, G., Wester, R., Colla, V., Noll, R.:** Determining inclusion size distributions from OES/IDA data. *Metallurgical analysis/Yejin-fenxi: shuangyuekan* (3), 9-13 (2013)
- Noll, R., Hölter, S., Kämmerling, J., Lenenbach, A.:** Präzision bei 210 km/h - Laserabstandssensoren messen die Dicke von Walzbändern. *QZ* 58 (10), 44-47 (2013)
- Nüsser, C., Sändker, H., Willenborg, E.:** Pulsed laser micro polishing of metals using dual-beam technology. *Physics Procedia* 41, 346-355 (2013)
- Oezmert, A., Drenker, A., Nazery, V.:** Detectability of penetration based on weld pool geometry and process emission spectrum in laser welding of copper. *Physics Procedia* 41, 502-507 (2013)
- Papadakis, L., Loizou, A., Risse, J., Bremen, S., Schrage, J.:** A thermo-mechanical modeling reduction approach for calculating shape distortion in SLM manufacturing for aero engine components. In: *High Value Manufacturing*. Eds.: P. J. Bartolo et. al. Boca Raton: CRC Pr.(2013). ISBN 978-1-138-00137-4. pp. 613-618
- Petring, D.:** Developments in hybridisation and combined laser beam welding technologies. In: *Handbook of laser welding technologies*. Ed. by S. Katayama. Oxford [u.a.]: WP Woodhead Publ. (2013). (Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials. Nr. 41). ISBN 978-0857092649. pp. 478-504

**Pirch, N., Keutgen, S., Gasser, A., Wissenbach, K., Kelbassa, I.:** Modeling of coaxial single and overlap-pass cladding with laser radiation. *Proceedings of the 37th International MATADOR Conference*. Eds.: S. Hinduja, L. Li. London [u.a.]: Springer (2013). ISBN 978-1-4471-4479-3. pp. 377-380

**Pütsch, O., Temmler, A., Stollenwerk, J., Willenborg, E., Loosen, P.:** Active optical system for laser structuring of 3D surfaces remelting. *Laser Beam Shaping XIV*. Ed.: Andrew Forbes, Todd E. Lizotte. *Proc. SPIE 8843, 88430D* (8 S.) (2013)

**Pütsch, O., Bahrenberg, L., Loosen, P.:** Opto-mechatronisches System zur Erzeugung prozessangepasster Intensitätsverteilungen für die Lasermaterialbearbeitung. *Fachtagung Mechatronik 2013*. Aachen, 06.03. - 08.03.2013. Aachen: RWTH (2013). ISBN 3-86130-958-0. 9 S.

**Pupeza, I., Holzberger, S., Eidam, T., Esser, D., Weitenberg, J., Rußbüldt, P., Rauschenberger, J., Limpert, J., Udem, Th., Tünnermann, A., Hänsch, T. W., Apolonski, A., Krausz, F., Fill, E.:** Compact high-repetition-rate source of coherent 100 eV radiation. *Nature Photonics* 7 (8), 608-612 (2013)

**Reinhard, R., Al Khawli, T., Eppelt, U., Meisen, T., Schilberg, D., Schulz, W., Jeschke, S.:** The contribution of virtual production intelligence to laser cutting planning processes. In: *Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability. Proceedings of the 5th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual production (CARV2013)*. October 6th - 9th 2013, Munich. Heidelberg [u.a.]: Springer 2013. ISBN 978-3319020532. pp. 117-124

**Reinhard, R., Eppelt, U., Al-Khawly, T., Meisen, T., Schilberg, D., Schulz, W., Jeschke, S.:** How virtual production intelligence can improve laser-cutting planning processes. *22nd International Conference on Production Research, ICPR 2013*. July 28th - August 1st, 2013, Iguassu Falls, Brazil. Iguassu Falls: *Int. Found. for Production Research (IFPR) [u.a.]* 2013. 7 S. CD-ROM : ISBN 978-85-88478-47-3

**Reininghaus, M., Wortmann, D., Cao, Z., Hoffmann, J. M., Taubner, T.:** Fabrication and spectral tuning of standing gold infrared antennas using single fs-laser pulses. *Opt. Expr.* 21 (26), 32176-32183 (2013)

**Reininghaus, M., Wortmann, D., Cao, Z., Taubner, T.:** fs-laser fabricated gold antennas for infrared near-field enhancement. *Proceedings of LAMP2013 – the 6th International Congress on Laser Advanced Materials Processing*. Washington, D.C.: The Catholic Univ. of America (2013). 5 S. (2013)

**Risse, J., Golebiewski, C., Meiners, W., Wissenbach, K.:** Einfluss der Prozessführung auf die Rissbildung in mittels SLM hergestellten Bauteilen aus der Nickelbasislegierung IN738LC. *Tagungsband der Fachmesse und Anwendertagung für Rapid-Technologie*. Erfurt : Desotron Verl. Ges. (2013). ISBN 978-3-932875-35-9.7 S.

**Rösner, A.:** Der Laser verbindet Kunststoffe mit metallischen Bauteilen. *MM Maschinenmarkt* Nr. 18, 36-38 (2013)

**Rösner, A., Olowinsky, A.:** Laser welding of polymers. *Ind. Laser Sol.* 28 (1), 29-31 (2013)

**Russ, S., Siebert, C., Eppelt, U., Hartmann, C., Faißt, B., Schulz, W.:** Picosecond laser ablation of transparent materials. *Proc. SPIE 8608, 86080E-1* (11 S.) (2013)

**Sandner, T., Kimme, S., Grasshoff, T., Todt, U., Graf, A., Tulea, C., Lenenbach, A., Schenk, H.:** Micro-scanning mirrors for high-power laser applications in laser surgery. *Int. Conf. on Optical MEMS and Nanophotonics 2013*. August 18-22, 2013, Kanazawa, Japan. Piscataway, N.J.: IEEE (2013). ISBN 978-1-4799-1512-5. pp.83-84

**Schaefer, D., Schnitzler, D., Kelbassa, I.:** Fundamental processes of refractive index modifications during femtosecond laser waveguide writing. *Proc. SPIE 8613, X1* (7 S.) (2013)

- Schaefer, D., Gottmann, J., Hermans, M., Ortmann, J., Kelbassa, I.:** High speed micro scanner for 3D in-volume laser micro-processing. *Proc. SPIE 8608, 860808* (6 S.) (2013)
- Scharun, M., Noll, R.:** Analyse von Sekundärrohstoffen durch mikrowellenunterstützte Laser-Emissionsspektroskopie. In: *Innovative Technologien für Ressourceneffizienz in rohstoffintensiven Produktionsprozessen*. Hrsg.: J. Woidasky [u.a.]. Stuttgart: Fraunhofer Verl. (2013). pp. 38-51
- Scharun, M., Fricke-Begemann, C., Noll, R.:** Laser-induced breakdown spectroscopy with multi-kHz fibre laser for mobile metal analysis tasks - a comparison of different analysis methods and with a mobile spark-discharge optical emission spectroscopy apparatus. *Spectrochim. Acta, Part B: Atomic Spectrosc.* 87, 198-207 (2013)
- Schneider, F., Wolf, N., Petring, D.:** High power laser cutting of fiber reinforced thermoplastic polymers with cw- and pulsed lasers. *Physics Procedia* 41, 408-413 (2013)
- Schniedenharn, M., Belting, M., Santos Batista, R. J., Meiners, W., Weisheit, A.:** Micro scale laser based additive manufacturing for metals. *ICALEO, 32th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics: October 6-10, 2013, Miami/FL, USA. Orlando/FL.: LIA* (2013). M101 (6 S.)
- Schwarz, T., Berens, M., Gronenborn, S., Kolb, J., Loosen, P., Miller, M., Mönch, H., Wester, R.:** Analysis of single-mode efficiency of electrically pumped VECSELS. *Proc. SPIE 8606, 86060 H* (10 S.) (2013)
- Scotti, G., Trusheim, D., Kanninen, P., Naumenko, D., Schulz-Ruhtenberg, M., Snitka, V., Kallio, T., Franssila, S.:** Picosecond laser ablation for silicon micro fuel cell fabrication. *J. Micromech. Microeng.* 23, 055021 (14 S.) (2013)
- Seiler, N., Leonhäuser, D., Bongard, Y., Bremus-Köbberling, E., Gillner A.:** Local ultraviolet laser irradiation for gradients on biocompatible polymer surfaces. *J. Biomed. Mat. Res. A, online first* (2013)
- Shah, L., Bonhoff, T., El-Sherif, A., Kadwani, P., Gebhardt, M., Gaida, C., Mingareev, I., Richardson, M.:** Backside surface machining of silicon wafers using a nanosecond Tm: fiber MOPA System. *CLEO 2013, June 9 - 14, San Jose, Calif.* (2013). 2 S.
- Shah, L., Bonhoff, T., Ferhat, T., El-Sherif, A. F., Ramme, M., Willis, C. C., Baudelet, M., Kadwani, P., Gaida, C., Gebhardt, M., Mingareev, I., Richardson, M.:** Silicon backside machining using a nanosecond 2  $\mu\text{m}$  Tm: fiber laser. *Proc. SPIE 8612, 861207* (6 S.) (2013)
- Steger, M., Hartmann, C., Beckemper, S., Holtkamp, J., Gillner, A.:** Fabrication of hierarchical structures by direct laser writing and multi-beam-interference. *J. Laser Micro/Nanoeng.* 8 (3), 210-215 (2013)
- Steger, M., Hartmann, C., Beckemper, S., Holtkamp, J., Gillner, A.:** Fabrication of hierarchical structures by direct laser writing and multi-beam-interference. *Proc. of LAMP2013 – the 6th International Congress on Laser Advanced Materials Processing. Washington, D.C.: The Catholic Univ. of America* (2013). 6 S. (2013)
- Stollenwerk, J.:** Energie- und ressourceneffiziente Funktionalisierung temperaturempfindlicher Substrate. *Laser Mag.* 2013, 8-9 (2013)
- Strotkamp, M., Munk, A., Jungbluth, B., Dahlhoff, K., Jansen, P., Broch, S., Gomm, S., Bachner, M., Fuchs, H., Holland, Hofzumaha, A.:** Design of a rugged 308 nm tunable UV laser for airborne LIF measurements on top of Zeppelin NT. *Proc. SPIE 8599, L1* (10 S.) (2013)
- Sun, M., Eppelt, U., Russ, S., Hartmann, C., Siebert, C., Zhu, J., Schulz, W.:** Numerical analysis of laser ablation and damage in glass with multiple picosecond laser pulses. *Opt. Expr.* 21 (7), 7858-7867 (2013)

- Sun, M., Eppelt, U., Schulz, W., Zhu, J.:** Role of thermal ionization in internal modification of bulk borosilicate glass with picosecond laser pulses at high repetition rates. *Opt. Mat. Expr.* 3 (10), 1716-1726 (2013)
- Thombansen, U., Purrio, M., Buchholz, G., Hermanns, T., Molitor, T., Willms, K., Schulz, W., Reisgen, U.:** Measurement of process variables in melt based manufacturing processes. *ISMTII 2013 - The 11th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments. Aachen/Braunschweig July 1st-5th 2013.* (Hrsg.: Robert Schmitt, Harald Bosse. Aachen: Apprimus Verl. 2013. ISBN: 978-3-86359-138-0. (6 S.)
- Thombansen, U., Diatlov, A.:** Sensor system for spatially resolved observation of the melt pool in Selective Laser Melting. *ICALEO, 32th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics: October 6-10, 2013, Miami/Fl., USA. Orlando: Fl.: LIA (2013).* 31 S.
- Tulea, C., Caron, J., Wahab, H., Gehlich, N., Hoefler, M., Esser, D., Jungbluth, B., Lenenbach, A., Noll, R.:** Highly efficient nonthermal ablation of bone under bulk water with a frequency-doubled Nd:YVO4 picosecond laser. *Proc. SPIE 8565, 85656 E-1 (11 S.) (2013)*
- Uchtmann, H., Kelbassa, I.:** Cax process chain for laser drilling of tool molds. *ICALEO, 32th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics: October 6-10, 2013, Miami/Fl., USA. Orlando/Fl.: LIA (2013).* Paper 702
- Unger, A., Brand, T., Bull, S., Larkins, E. C., Traub, M., Hengesbach, S., Uusimaa, P., Vilokinen, V., Crump, P., Erbert, G., Lucas-Leclin, G., Georges, P., Rataj, T., Deichsel, E.:** The Bridle project: High brilliance diode lasers for industrial applications. *High Power Diode Lasers and Systems Conference (HPD), 2013. West Midlands, United Kingdom, 16-17 Oct. 2013. Piscataway, N.J.: IEEE 2013.* pp. 28-29. ISBN: 978-1-4799-2747-0. doi 10.1109/HPD.2013.6706602
- Vossen, G., Hermanns, T., Schüttler, J.:** Analysis and optimal control for free melt flow boundaries in laser cutting with distributed radiation. *ZAMM Zs. Angew. Math. Mech. (Early view)* 20 S. (2013)
- Weisheit, A., Gasser, A., Backes, G., Jambor, T., Pirch, N., Wissenbach, K.:** Direct laser cladding, current status and future scope of application. In: *Laser-assisted fabrication of materials.* Ed.: J. D. Majumdar, I. Manna. Heidelberg [u.a.]: Springer (2013). *Springer Series in Materials Science. Vol. 161.* ISBN 978-3-642-28358-1. pp. 221-239
- Weisheit, A., Dobrzanski, D., Valentin, M., Ocylok, S., Wissenbach, K., Kelbassa, I.:** Laser additive manufacturing – a new manufacturing technology for parts of composites with refractory metals? *18. Plansee-Seminar 2013. Int. Conf. on Refractory Metals and Hard Materials. Reutte, Austria. Reutte: Plansee SE (2013).* RM 39. pp. 1-12
- Wester, R., Bruneton, A., Bäuerle, A., Stollenwerk, J., Loosen, P.:** Irradiance tailoring for extended sources using a point-source freeform design algorithm. *Proc. SPIE 8550, 8 S. (2012)*
- Wester, R., Bäuerle, A.:** Light shaping for illumination. *Adv. Opt. Technol.* 2 (4), 301-311 (2013)
- Wester, R.:** Physical optics methods for laser and non-linear optics simulations. *Adv. Optical Technol.* 2 (3), 247-255 (2013)
- Wilkes, J., Hagedorn, Y.-C., Meiners, W., Wissenbach, K.:** Additive manufacturing of ZrO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic components by selective laser melting. *Rapid Prototyping J.* 19 (1), 51-57 (2013)
- Willenborg, E., Ross, I., Kumstel, J., Flemmer, J.:** Werkzeugmaschine für das Laserpolieren. *wt Werkstattstechnik online* 103, (6), 465-469 (2013)



# VORTRÄGE

**Wissinger, A., Olowinsky, A., Gillner, A., Poprawe, R.:** Laser transmission bonding of silicon to silicon with metallic interlayers for wafer-level packaging. *Microsyst. Technol.* 19 (5), 669-673 (2013)

**Witte, U., Hengesbach, S., Traub, M., Strotkamp, M., Jungbluth, B., Hoffmann, D.:** High brightness diode laser module in the red spectral range for pumping applications. *High Power Diode Lasers and Systems Conference (HPD)*, 2013. West Midlands, United Kingdom, 16-17 Oct. 2013. Piscataway, N.J.: IEEE 2013. pp. 30-31. ISBN: 978-1-4799-2747-0. doi 10.1109/HPD.2013.6706603

**Zhu, P., Li, D., Liu, Q., Chen, J., Fu, S., Shi, P., Du, K., Loosen, P.:** 39.1  $\mu$ J picosecond ultraviolet pulses at 355 nm with 1 MHz repeat rate. *Opt. Lett.* 38 (22), 4716-4718 (2013)

**Zhuang, F., Jungbluth, B., Gronloh, B., Hoffmann, H.-D., Zhang, G.:** Dual-wavelength, continuous-wave Yb:YAG laser for high-resolution photothermal common-path interferometry. *Appl. Opt.* 52 (21), 5171-5177 (2013)

**Zibner, F., Ryll, J., Holtkamp, J., Gillner, A.:** High precision 2.5D laser cutting of thin nitinol and polyurethane for medical applications. *ICALEO, 32th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics: October 6-10, 2013, Miami/Fl., USA. Orlando/Fl.: LIA (2013). M4154 (6 S.)*

**02.02.2013 - C. Tulea:** Highly efficient nonthermal ablation of bone under bulk water with a frequency-doubled Nd:YVO4 picosecond laser, *Photonics West, San Francisco, CA, USA*

**03.02.2013 - M. Strotkamp:** Design of a rugged 308 nm tunable UV laser for airborne LIF measurements on top of a zeppelin, *Photonics West, San Francisco, CA, USA*

**03.02.2013 - A. Meissner:** Simulations and experiments on resonantly-pumped single-frequency Erbium lasers at 1.6  $\mu$ m, *Photonics West, San Francisco, CA, USA*

**04.02.2013 - A. Meissner:** 200-W Tm:YLF INNOSLAB Laser, *Photonics West, San Francisco, CA, USA*

**05.02.2013 - F. Schneider:** Laserschneiden von faserverstärkten Kunststoffen, 2. Leichtbautagung - Lasertechnik im Leichtbau, Dresden

**06.02.2013 - A. Roesner:** Laserfügen von reinen und faserverstärkten Polymeren, 2. Leichtbautagung - Lasertechnik im Leichtbau, Dresden

**06.02.2013 - M. Dahmen:** Laserschweißen schwer schweißbarer metallischer Leichtbauwerkstoffe, 2. Leichtbautagung - Lasertechnik im Leichtbau, Dresden

**06.02.2013 - J. Gottmann:** Fundamental processes of refractive index modifications during femtosecond laser waveguide writing, *Photonics West, San Francisco, CA, USA*

**12.02.2013 - C. Hinke:** Digital Photonic Production and its emerging opportunities, *LIA's 6th annual Laser Additive Manufacturing Workshop LAM, Houston, TX, USA*

**08.03.2013 - O. Pütsch:** Opto-mechanisches System zur Erzeugung prozessangepasster Intensitätsverteilungen für die Lasermaterialbearbeitung, *Fachtagung Mechatronik 2013, Aachen*

**13.02.2013 - S. Hoelters:** Optical coherence tomography for the inline measurement of translucent multilayer structures, Research Center for Non-Destructive Testing GmbH, Linz, Österreich

**19.02.2013 - R. Poprawe:** Laser technology as a key enabler for solutions of the future societal challenges, Mobility Automotice Circle International, Bad Nauheim

**21.02.2013 - A. Gasser:** Additive manufacturing in turbo-engine applications, 3rd International Conference on Turbomachinery Manufacturing, Aachen

**26.02.2013 - I. Kelbassa:** High-speed laser additive manufacturing, 2nd International Conference on Net Shape Manufacturing, Monash University, Victoria, Australien

**27.02.2013 - D. Hoffmann:** The Innoslab Laser Platform - ns to fs pulse duration at kW class output power, DPG Symposium Aktuelle Entwicklungen von Hochleistungslasern und deren Anwendungen, Jena

**05.03.2013 - M. Scharun:** Mobile Laser-Direktanalyse, 20. Anwendertreffen Röntgenfluoreszenz- und Funkenemissions-spektrometrie, Steinfurt

**06.03.2013 - R. Poprawe:** Die Zukunft von Forschung und Innovation "Wissen, wo Wissen entsteht", Vortrag Trumpf Einweihung, Schramberg

**08.03.2013 - S. Bremen:** Selective Laser Melting (SLM) am Fraunhofer ILT - Ein generatives Fertigungsverfahren für die Produktion der Zukunft, Metall 2013, München

**12.03.2013 - D. Petring:** Still some secrets to be disclosed about laser beam cutting, ILAS - The International Laser Applications Symposium, Nottingham, England

**12.03.2013 - R. Poprawe:** State of the art laser applications in support of manufacturing industry, ILAS, Nottingham, England

**19.03.2013 - D. Hoffmann:** INNOSLAB Laser, Laserstammtisch, FH Mittweida

**19.03.2013 - R. Poprawe:** LAM – Laser Additive Manufacturing, World of Photonics China, Shanghai, China

**21.03.2013 - R. Poprawe:** Digital Photonic Production "Ultrafast Lasers – Technologies and Applications", Fertigungstechnisches Seminar der ETH Zürich, Schweiz

**21.03.2013 - D. Maischner:** Verbindungsschweißen und Laserauf-tragschweißen von Kupferwerkstoffen mittels Lasertechnik, Seminar Fügen von Kupferwerkstoffen, Duisburg

**21.03.2010 - X. Yin:** Plasmonic collimation for laser diodes, DPG Tagung, Regensburg

**11.04.2013 - A. Olowinsky:** Innovatives Verfahren für das Packaging großer Glassubstrate – laserstrahlbasiertes Glaslöten, Forum MicroTechnology – Innovations for Industry, Hannovermesse

**16.04.2013 - Y. Hagedorn:** Advancements in SLM of structural ceramics, Sirris-Keramiksposium Liège, Belgien – Journée thématique - High-end applications for Additive Manufacturing?

**17.04.2013 - A. Gillner:** Ultrakurzpuls laser am Fraunhofer ILT – Laser, Prozesse und Systeme, 2. Aachener Ultrakurzpuls-Workshop, Aachen

**18.04.2013 - J. Gottmann:** Digital Photonics Production of 3D micro-fluidics in glass by high speed microscanner, Progress in Ultrafast Laser Modifications of Materials, Cargese, Frankreich

**18.04.2013 - P. Loosen:** Strahlführung und -formung von UKP-Laserstrahlung, UKP-Workshop, ENERGETICON Alsdorf

**23.04.2013 - R. Poprawe:** Latest trends in Laser Additive Manufacturing – Paradigm shift in production technology: “Digital Photonic Production”

**24.04.2013 - S. Merk:** Digital Photonic Production - Optimization potentials by laser based manufacturing, 2013 Altair Technology Conference, Turin, Italien

**29.04.2013 - R. Poprawe:** Future laser applications and related innovation processes EPIC, Brüssel, Belgien

**12.05.2013 - S. Hengesbach:** High-Power dense wavelength division multiplexer (HP-DWDM) for diode lasers using volume bragg gratings (VBG), CLEO/Europe 2013, München

**12.05.2013 - M. Werner:** Inverse laser drilling of transparent materials for the production of optical components, CLEO/Europe 2013, München

**13.05.2013 - S. Heidrich:** Laser-based optics manufacturing, EOSMOC 2013 – 3rd EOS Conference on Manufacturing of Optical Components, München

**13.05.2013 - W. Schulz:** Towards high-quality laser cutting of glass, LASER World of PHOTONICS, München

**13.05.2013 - M. Schulz-Ruhtenberg:** New prospects for laser processes in future PV systems, LASER World of PHOTONICS 2013, München

**14.05.2013 - V. Mamuschkin:** Laser transmission welding of white thermoplastics with adapted wavelengths, Lasers in Manufacturing – LiM 2013, München

**14.05.2013 - W. Meiners:** Laser-basierte Generative Fertigung, Verfahrensprinzipien und Anwendungsbeispiele, LASER World of PHOTONICS, München

**14.05.2013 - J. Risse:** Influence of process management on crack formation in nickel-based alloy parts (IN738LC) manufactured by SLM, Rapid.Tech, Erfurt

**15.05.2013 - A. Roesner:** Long term stability of laser joined plastic metal parts, Lasers in Manufacturing – LiM 2013, München

**15.05.2013 - A. Özmert:** Approaches for quality assurance and dual-wavelength processing for laser welding of copper, Lasers in Manufacturing – LiM 2013, München

**15.05.2013 - S. Britten:** Stress-minimized laser soldering of h-pattern multicrystalline silicon solar cells, Lasers in Manufacturing – LiM 2013, München

**15.05.2013 - M. Ungers:** Hardware based analysis and process control for laser brazing applications, Lasers in Manufacturing – LiM 2013, München

**16.05.2013 - S. Eifel:** Laser process acceleration using beam splitting and fast scanning techniques, LASER World of PHOTONICS 2013, München

**16.05.2013 - J. Kumstel:** Laser polishing of titanium- and nickel-based alloys using cw-laser radiation, Lasers in Manufacturing – LiM 2013, München

**16.05.2013 - C. Nüsser:** Pulsed laser micro polishing of metals using dual-beam-technology, Lasers in Manufacturing – LiM 2013, München

**16.05.2013 - F. Schneider:** High power laser cutting of fiber reinforced thermoplastic polymers with cw- and pulsed lasers, Lasers in Manufacturing – LiM 2013, München

**20.05.2013 - W. Schulz:** Towards high-quality laser ablation of glass, SPIE Konferenz Shanghai IIME Industrial Machining HCMC

**24.05.2013 - R. Poprawe:** Das Fraunhofer ILT, Baden-Badener Unternehmergespräche

**25.05.2013 - M. Holters:** Selbstoptimierende Montage von Lasern unter Berücksichtigung von Bauteiltoleranzen, 114. Jahrestagung der DGaO, Braunschweig

**01.06.2013 - N. Seiler:** ArtiVasc 3D – Artificial vascularized scaffolds for 3D tissue regeneration, 54. Österreichischer Chirurgenkongress 2013, Wien

**06.06.2013 - A. Weisheit:** Laser additive manufacturing – a new manufacturing technology for parts of composites with refractory metals? The 18th Plansee Seminar - International Conference on Refractory Metals and Hard Materials, Reutte, Österreich

**11.06.2013 - C. Hinke:** Digital Photonic Production – A new industrial revolution? Manufacturing Performance Days, Tampere, Finnland

**12.06.2013 - G. Backes:** Laser metal deposition in the Field of Aircraft Engines, 19 Cmh, San Sebastián, Spanien

**19.06.2013 - R. Poprawe:** Die Zukunft von Forschung und Innovation: "Wissen, wo Wissen entsteht", Fachhochschule Aachen

**20.06.2013 - M. Leers:** Aufbau von Hochleistungsoptiken mittels hochpräziser Positionierachsen, Fachtagung Mikro Montage, Carl Hanser Verlag, Stuttgart

**21.06.2013 - S. Herbert:** Investigations of the EUV conversion efficiency of luminophores, COST MP1203 - Advanced X-ray spatial and temporal metrology, Warschau, Poland

**21.06.2013 - L. Juschkin:** Imaging with plasma based EUV sources, COST MP1203 – Advanced X-ray spatial and temporal metrology, Warschau, Poland

**23.06.2010 - T. Taubner:** Infrared imaging at nanoscale resolution, Fraunhofer Multiphysics Simulation Conference, Bonn

**25.06.2013 - D. Hoffmann:** INNOSLAB – a kW class laser amplifier for pulse durations from ns to fs range, ISPD Congress, Beijing, China

**26.06.2013 - A. Gillner:** Lasers in biomedical engineering, ARTIVASC 3D SUMMER SCHOOL, Espoo, Finland

**27.06.2013 - A. Özmert:** Soudage du cuivre par laser: corrélation entre le spectre émis et la morphologie du cordon, Journées Nationales des Procédés Laser pour l'Industrie, Yutz, Frankreich

**02.07.2013 - M. Holters:** Self-optimizing approach for the alignment of optical components, The 11th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTII), Aachen

**16.07.2013 - D. Hoffmann:** THE INNOSLAB AMPLIFIER, Heraeus Seminar, Bad Honnef

**19.07.2013 - M. Wehner:** Laserprocesses for biomedical engineering, Helmholtz-Symposium on Biomedical Engineering and Related Fields, Aachen

**23.07.2013 - D. Petring:** Mission Possible: The next generation of multi-kW laser materials processing, LAMP2013 – The 6th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, Niigata, Japan

**23.07.2013 - M. Steger:** Fabrication of hierarchical structures by direct laser writing and multi-beam-interference, LAMP2013 – The 6th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, Niigata, Japan

**23.07.2013 - M. Ungers:** FPGA-programmed detection of seam defects for the application of laser brazing, LAMP2013 – The 6th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, Niigata, Japan

- 24.07.2013 - B. Mehlmann:** Spatially modulated laser beam micro welding of CuSn6 and nickel-plated DC04 steel for battery applications, LPM2013 – The 14th International Symposium on Laser Precision Microfabrication, Niigata, Japan
- 24.07.2013 - M. Dahmen:** Laser beam welding of ultra-high strength steel sheets, LAMP2013 – The 6th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, Niigata, Japan
- 24.07.2013 - C. Engelmann:** Lasermikrostrukturen zum lasergestützten Fügen von FVK und Metall, IFSW CFK-Workshop, Freudenstadt
- 25.07.2013 - M. Hermans:** Selective, laser-induced etching of fused silica at high scan-speeds, LAMP2013 – The 6th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, Niigata, Japan
- 25.07.2013 - D. Riester:** Laser tool for single cell transfer, LAMP2013 – The 6th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, Niigata, Japan
- 26.07.2013 - A. Gillner:** Prospects and requirements for industrialisation of ultrashort pulse laser technology, LAMP2013 – The 6th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, Niigata, Japan
- 26.07.2013 - M. Hermans:** 3D micro structures in glass by in-volume selective laser-induced etching with high speed micro scanner, LAMP2013 – The 6th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, Niigata, Japan
- 26.07.2013 - M. Reininghaus:** Fabrication of gold nanoantennas for infrared near-field enhancement by fs-laser radiation, LAMP2013 – The 6th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, Niigata, Japan
- 26.08.2013 - M. Berens:** Multiple intensity distributions from a single optical element, SPIE Optics & Photonics 2013, San Diego, CA, USA
- 26.08.2013 - S. Merkt:** Compressive behavior of lattice structures in solid shells manufactured by selective laser melting (SLM), The 14th NOLAMP Conference, Göteborg, Schweden
- 26.08.2013 - O. Pütsch:** Active optical system for laser structuring of 3D surfaces by remelting, SPIE Optics & Photonics 2013, San Diego, CA, USA
- 29.08.2013 - L. Jauer:** Selective Laser Melting of biodegradable metals, the 5th Symposium on Biodegradable Metals, Indonesien
- 05.09.2013 - L. Jauer:** Selective Laser Melting of light metals, LightMAT, Bremen
- 09.09.2013 - S. Merkt:** Fab Labs: A blueprint for decentral production? 3D printing technology landscape for metal production in digital manufacturing workshops, FabLabCon 2013, Aachen
- 13.09.2013 - D. Petring:** High power adaptable laser beams for materials processing, Presentation on the HALO project to the 66th Annual Assembly of the International Institute of Welding (IIW), Essen
- 13.09.2013 - J. Stollenwerk:** Thin film laser processing, Workshop "Laser RTP", Berlin
- 16.09.2013 - J. Gottmann:** ISLE: In-volume selective laser etching, ZEA-1-Kolloquium, Jülich
- 16.09.2013 - W. Meiners:** Additive Fertigung mit Selective Laser Melting auf dem Weg zur Serienproduktion? DVS Congress 2013, Essen
- 17.09.2013 - R. Wester:** Auslegung abbildender und nicht-abbildender optischer Systeme, Seminar Optische Kunststoff-Formteile in Design und Technik, Würzburg
- 17.09.2013 - K. Wissenbach:** Laserbasierte Herstellung funktionaler Oberflächen und Schichten, Vortragsreihe des Clusters NanoMikro-WerkstoffePhotonik.NRW, Philips Technology GmbH, Aachen

**18.09.2013 - C. Engelmann:** Lasermikrostrukturen zum lasergestützten Fügen von Kunststoff und Metall, DVS Congress 2013, Essen

**18.09.2013 - F. Schneider:** Laser processing of composites: New technologies for cutting and joining, Composite Europe, Stuttgart

**19.09.2013 - C. Fricke-Begemann:** Inline analysis of mineral dust for mining applications, EMSLIBS 2013, Bari, Italien

**19.09.2013 - J. Tempeler:** Directed self-assembly with EUV interference lithography, 39th International Conference on Micro and Nano Engineering 2013, London, UK

**20.09.2013 - R. Noll:** Lasers for LIBS - past, presence and future, EMSLIBS 2013, Bari, Italien

**20.09.2013 - M. Scharun:** Fibre laser-induced breakdown spectroscopy for mobile applications in metal recycling, EMSLIBS 2013, Bari, Italien

**23.09.2013 - P. Loosen:** RWTH-Aachen, Fraunhofer-ILT and the related "Photonics Campus Cluster" ... from fundamental to applied research, Visit of the Eindhoven city/brainport delegation, EON Research Center, Aachen

**24.09.2013 - I. Kelbassa:** Digital Photonic Production – Laser Additive Manufacturing, IUMRS- International Conference on advanced Materials (IUMRS-ICAM) Qingdao, China

**26.09.2013 - E. Willenborg:** Designoberflächen durch selektives Laserpolieren, 14. ALasKA Seminar, Aachen

**27.09.2013 - S. Danylyuk:** Simulation of EUV proximity printing and interference lithography with plasma-based laboratory EUV sources, 11th Fraunhofer IISB Lithography Simulation Workshop, Hersbruck

**27.09.2013 - C. Engelmann:** Fügen und Trennen von Composite-Materialien, 14. ALasKA Seminar, Aachen

**27.09.2013 - S. Mann:** Qualitätssicherung beim Kunststoffschneiden mit Laserstrahlung, 14. ALasKA Seminar, Aachen

**03.10.2013 - G. Rolink:** Additive manufacturing of a binary iron aluminide by Laser Metal Deposition and Selective Laser Melting, Intermetallics, Bad Staffelstein

**04.10.2013 - Hagedorn:** Processing of nickel based superalloy MAR M-247 by means of High-Temperature Selective Laser Melting (HT-SLM), The International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping (VRAP 2013), Leiria, Portugal

**07.10.2013 - M. Schniedenharn:** Micro scale laser based additive manufacturing for metals, ICALEO – The 32nd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Miami, FL, USA

**08.10.2013 - S. Janssen:** Determination of the bore hole diameter by analyzing process emissions, ICALEO - The 32nd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Miami, FL, USA

**08.10.2013 - U. Thombansen:** Sensor system for spatially resolved observation of the melt pool in Selective Laser Melting, ICALEO – The 32nd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Miami, FL, USA

**08.10.2013 - H. Uchtmann:** CAx process chain for automated laser drilling of tool molds, ICALEO – The 32nd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Miami, FL, USA

**08.10.2013 - F. Zibner:** High precision 2.5D laser cutting of thin nitinol and polyurethane for medical applications, ICALEO – The 32nd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Miami, FL, USA

**09.10.2013 - S. Mann:** Measurement of particle density distribution of powder nozzles for laser material deposition, ICALEO – The 32nd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Miami, FL, USA

**09.10.2013 - S. Britten:** Extension of the process boundaries for the soldering of elongated interconnectors with a simultaneous energy deposition, ICALEO – The 32nd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Miami, FL, USA

**09.10.2013 - J. Finger:** Laser fabricated nanoantennas for near-field applications, ICALEO – The 32nd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Miami, FL, USA

**09.10.2013 - A. Olowinsky:** Stand der Technik und neueste Entwicklungen in der Lasertechnik für das Kunststoffschweißen und Beschriften, Technologieseminar Laserbearbeitung: Kunststoffschweißen und Beschriften, Freudenstadt

**10.10.2013 - J. Finger:** Investigations on processing of carbon fiber reinforced plastics using ultrashort pulsed laser radiation with high average power, ICALEO – The 32nd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Miami, FL, USA

**10.10.2013 - C. Hinke:** Digital Photonic Production – A new industrial revolution?, ICALEO – The 32nd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Miami, FL, USA

**10.10.2013 - V. Mamuschkin:** Laser transmission welding of white thermoplastics with adapted wavelengths, ICALEO – The 32nd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Miami, FL, USA

**10.10.2013 - A. Olowinsky:** Laserlöten von Kontaktteilen aus Kupferwerkstoffen – Selektive Anwendungen, Kupferlackdraht, Feder- und Kontaktteile, Fortbildungsseminar Löten von Kupferwerkstoff, Duisburg

**10.10.2013 - J. Risse:** Selective Laser Melting of nickel-based superalloys: Process development towards manufacturing of aeronautic components, 3rd International EASN Association Workshop, on Aerostructures, Mailand, Italien

**12.10.2013 - J. Stollenwerk:** Thin film laser processing, Workshop "Laser RTP", Berlin

**28.10.2013 - R. Poprawe:** RWTH Aachen Campus vision.concept.realisation, Ningbo, China

**29.10.2013 - M. Strotkamp:** Broadly tunable, diode pumped Alexandrite laser, ASSL - Advanced Solid-State Lasers, Paris

**31.10.2013 - Pütsch:** Opto-mechatronisches System für die energieeffiziente Bearbeitung von endlos-glasfaserverstärkten Bauteilen mit CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung, 9. Internationales Forum Mechatronik, Winterthur, Schweiz

**01.11.2013 - R. Poprawe:** Lasers and their applications in the future of digital production, Tsinghua University, China

**01.11.2013 - R. Poprawe:** Interdisciplinary research strategy of Aachen University, Peking, China

**04.11.2013 - P. Loosen:** General optics design part 2, LA3NET Topical Workshop 2: "Laser technology and optics design", Aachen

**4.11.2013 - M. Traub:** Optics Design Part II, LA3NET Topical Workshop 2: "Laser technology and optics design", Aachen

**4.11.2013 - D. Hoffmann:** Overview Laser Sources, LA3NET Topical Workshop 2: "Laser technology and optics design", Aachen

**05.11.2013 - E. Liermann:** Optical component characterisation I – Thermomechanical Testing Part I, LA3NET Topical Workshop 2: “Laser technology and optics design”, Aachen

**05.11.2013 - M. Strotkamp:** Optical component characterisation I – Thermomechanical Testing Part II, LA3NET Topical Workshop 2: “Laser technology and optics design”, Aachen

**05.11.2013 - B. Gronloh:** Optical component characterisation II – Absorption of crystals, substrates and coatings, LA3NET Topical Workshop 2: “Laser technology and optics design”, Aachen

**05.11.2013 - A. Meissner:** Optical component characterisation II – LIDT of crystals, substrates and coatings, LA3NET Topical Workshop 2: “Laser technology and optics design”, Aachen

**05.11.2013 - B. Jungbluth:** Tunable lasers and frequency conversion, LA3NET Topical Workshop 2: “Laser technology and optics design”, Aachen

**06.11.2013 - R. Wester:** Designing optical freeform surfaces for extended sources, OSA Topical Meeting Renewable Energy and the Environment Freeform Optics, Tucson, AZ, USA

**07.11.2013 - L. Büsing:** Multistrahloptiken zur Erzeugung periodischer Mikrostrukturen mittels UKP-Laserstrahlung, Workshop “Mustererzeugung und Laserstrahlformung”, Nürnberg

**08.11.2013 - R. Poprawe:** Licht aus Werkzeug in der Produktion, Forschungscampus RWTH Wissenschaftsnacht, Aachen

**12.11.2013 - D. Hoffmann:** Festkörperlaser und Diodenlaser für das Schweißen von Kunststoffen, SKZ Würzburg

**13.11.2013 - C. Fricke-Begemann:** Inline-Materialanalytik in der Metallindustrie mit Laser-Spektroskopie, Jahrestagung des GDMB Chemikerausschusses, Kassel

**13.11.2013 - A. Gatej:** Optische Systeme für das High Power SLM, Workshop “3D Druck: Verfahren und Anwendungen”, Darmstadt

**20.11.2013 - W. Meiners:** Showcasing advances in metal additive manufacturing, identifying other materials under development & alloys to be available in the near-term, Konferenz bei ExCel London

**26.11.2013 - R. Poprawe:** Chancen und Grenzen von 3D-Druckern in der industriellen Produktion, Wissenswerte, Bremer Forum für Wissenschaftsjournalismus

**28.11.2013 - A. Gillner:** Digital Photonic Production – Laserabtrag als Teil einer digitalen photonischen Prozesskette, IVAM Laserforum 2013, Aachen

**04.12.2013 - J. Holtkamp:** Overview and prospects for the industrialization of ultrashort-pulsed laser technology, Konferenzbesuch University of Tokyo Institute of Industrial Science, Japan

**09.12.2013 - R. Poprawe:** 3D-Druck im industriellen Fertigungsumfeld: Wird der 3D-Druck die Produktion revolutionieren? Management Circle, München

**12.12.2013 - J. Gottmann:** Selective laser-induced etching by high speed scanning, Seminar, Technische Universität Eindhoven, Niederlande

**18.12.2013 - R. Poprawe:** Laseranwendungen in der Medizintechnik, Life-Tec, Aachen



# KONGRESSE UND SEMINARE

---

## KONGRESSE UND SEMINARE

---

**22.1. - 23.1.2013, Aachen**

### **ERA-NET Cluster Event**

#### **»Research for Tomorrow's Production«**

In den Räumlichkeiten des Fraunhofer ILT wurde vom BMBF eine Veranstaltung zur Abschlusspräsentation von Ergebnissen aus Verbundprojekten im Rahmen der Initiativen MANUNET und MNT-ERA.NET organisiert. Insgesamt wurden neun Projekte in Vorträgen und Live-Vorfürungen präsentiert. Dabei reichte die Bandbreite von laserbasierten Fertigungsverfahren im Bereich der »Adaptiven Produktionstechnik« bis zu inline-Messsystemen für Laserstrukturierungsmaschinen aus dem Feld »Effiziente Produktionsausrüstung«.

**5.2. - 6.2.2013, Dresden**

### **Leichtbautagung »Lasertechnik im Leichtbau«**

Im Rahmen der Veranstaltung der Fraunhofer-Allianz Leichtbau referierten Wissenschaftler des Fraunhofer ILT zu den Themen Schneiden und Schweißen von FVK und Metallen sowie Rapid Prototyping.

**20.2. - 21.2.2013, Aachen**

### **ICTM – International Conference on Turbomachinery Manufacturing 2013**

Mit der zweiten ICTM hat das Fraunhofer ILT gemeinsam mit dem Fraunhofer IPT eine Plattform zum Austausch über neue Technologien zur Herstellung und Instandsetzung von Turbomaschinen geschaffen. Über 250 Experten aus 15 Nationen aus den Bereichen Luftfahrt und Energieerzeugung nahmen an der Konferenz teil. Ein besonderes Highlight waren neben den 21 Vorträgen die 38 Live-Vorfürungen in den beiden Fraunhofer-Instituten.

Anhand von Beispielen zur Reparatur und Fertigung zeigten die Aachener Forscher, wie sie technologische Innovationen umsetzen und in durchgängigen Prozessketten anwendungsnah zusammenführen.

Auf der konferenzbegleitenden Ausstellung waren 12 industrielle Partner vertreten. Weitere Informationen zur ICTM unter [www.ictm-aachen.com](http://www.ictm-aachen.com).

**17.4. - 18.4.2013, Aachen**

### **2. Ultrakurzpuls-Laser-Workshop**

Am 17. und 18. April 2013 fand zum zweiten Mal der vom Fraunhofer ILT initiierte Aachener Ultrakurzpuls-Laser-Workshop statt. Über 160 Teilnehmer aus Industrie und Forschung kamen im Alsdorfer Energeticon zusammen, um sich in 18 Fachvorträgen und lebhaften Diskussionen über neue UKP-Lasersysteme und deren Einsatzmöglichkeiten in der Fertigung auszutauschen. Weitere Informationen zum UKP-Workshop unter [www.ultrakurzpuls-laser.de](http://www.ultrakurzpuls-laser.de).

**14.5.2013, München**

### **PolyBright-Workshop: Laser Polymer Welding**

In dem europäischen Verbundprojekt PolyBright beschäftigten sich 18 Partner aus 9 Ländern mit dem Laser-Kunststoffschweißen. Der Workshop richtete sich an Ingenieure und Wissenschaftler aus dem Bereich Anwendung und Entwicklung von laserbearbeiteten Kunststoffteilen und gab einen Überblick über die bisher erzielten Forschungsergebnisse und Anwendungen: neue Laserstrahlquellen mit speziell für das Kunststoffschweißen geeigneten Wellenlängen, Schweißungen an nicht konventionellen Kunststoffverbindungen und das entsprechende Equipment. Insbesondere die enge Abstimmung zwischen Werkstoffauswahl und einsetzbarer Laserwellenlänge wurde an verschiedenen Beispielen exemplarisch dargestellt. Die Umsetzung in Maschinentechnik wurde auch auf der Kunststoffmesse K'2013 im Oktober in Düsseldorf präsentiert.



**9.7. - 10.7.2013, Aachen**

**Automatisierte Montage von Laserkomponenten und optischer Baugruppen**

Das Fraunhofer IPT und ILT zeigten in diesem zweitägigen Seminar übergreifende Lösungen für die automatisierte Montage von Laserkomponenten und boten den Teilnehmern die Möglichkeit, ihre individuellen Herausforderungen zu diskutieren. Die Fachvorträge aus Industrie und Forschung umfassten Hardware und Anlagentechnik, Handhabungstechnik, aktive und passive Justageprozesse sowie Fügetechnologien.

**28.11.2013, Aachen**

**LaserForum 2013: Digital Photonic Production für Mikroteile**

Der IVAM Fachverband für Mikrotechnik knüpfte gemeinsam mit dem Fraunhofer ILT, dem Laser Zentrum Hannover e.V., der LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH und der Ruhr-Universität Bochum an das erfolgreiche Laser-Herbstforum an, welches in der Vergangenheit jährlich als Vorschau auf die Hannover Messe stattgefunden hat. Da das hohe Innovationspotenzial der optischen Technologien und der Lasertechnik weit über den Bereich der industriellen Automatisierung hinaus geht, fand die neue Veranstaltung unabhängig von der Industriemesse statt und bot so die Möglichkeit, unterschiedlichste Trendthemen, Zukunftsmärkte und -branchen für optische Technologien umfassend darzustellen. Das erste LaserForum fand unter dem Titel »Digital Photonic Production für Mikroteile« statt und widmete sich dabei den drei aktuellen Schwerpunkten »Additive Laserfertigung für Mikroteile«, »Strahlquellenkonzepte« und »Laserabtrag und -tempering in der digitalen Prozesskette«.

**9.12. - 10.12.2013, München**

**3D-Druck – Der Zukunftsmotor für produzierende Unternehmen**

Der Management Circle veranstaltete in Kooperation mit dem Fraunhofer ILT das Trendforum »3D-Druck« unter der fachlichen Leitung von Prof. Reinhart Poprawe. Es richtete sich an Fach- und Führungskräfte aus den Bereichen Produktion, FuE, Konstruktion, Innovations- und Technologiemanagement, Logistik, Ersatzteilmanagement, Business Development Management, Strategische Unternehmensplanung, Recht, Marketing und Vertrieb. Inhaltliche Schwerpunkte waren unter anderem die Frage nach den derzeitigen technologischen und wirtschaftlichen Grenzen und den wirtschaftlichen Perspektiven des 3D-Drucks sowie seine Abgrenzung zu konventionellen Fertigungsverfahren. Experten zeigten auf, wie Unternehmen schon jetzt die Technologie erfolgreich für sich nutzen.

**KOLLOQUIUM LASERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN**

**10.01.2013, Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen Kolloquium Lasertechnik**

Dr. Bernold Richerzhagen, Synova S.A., Ecublens, Schweiz  
 »Der wasserstrahlgeführte Laser als Werkzeugmaschine: Erosionsqualität und -präzision in Lasergeschwindigkeit und -flexibilität«

**17.01.2013, Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Craig Arnold, Mechanical and Aerospace Engineering, Princeton University USA  
 »Ultra-High-speed Variable Focus Liquid Lenses for Use in Laser Processing and Imaging Applications«

*1 Dr. Arnold Gillner beim Ultrakurzpulslaser-Workshop im Alsdorfer ENERGETICON.*

*2 Aussteller bei der zweiten ICTM – International Conference on Turbomachinery Manufacturing in Aachen.*



**24.01.2013, Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Detlev Grützmacher, Peter Grünberg Institut –  
Halbleiter-Nanoelektronik, Forschungszentrum Jülich  
»Directed Growth for Future Nanoscaled Devices«

**25.04.2013 Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Gerd Leuchs, Max-Planck-Institut für die Physik  
des Lichts, Erlangen  
»Fokussieren von Laserstrahlung«

**23.05.2013, Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
Kolloquium Lasertechnik**

Dr. Constantin Haefner, National Ignition Facility, Livermore, USA  
»Ultra-high Intensity Laser in the Context of Inertial  
Confinement Fusion«

**13.06.2013, Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
Kolloquium Lasertechnik**

Christian Marx Laser Zentrum Hannover LZH  
»Laser in der Biomedizintechnik«

**26.08.2013, Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dave L. Bourell, University of Texas at Austin  
»Additive Manufacturing of Lithophanes«

---

## AIX-LASER-PEOPLE

---

**15.05.2013, München**

**45. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«**

Zum 7. Mal fand das Ehemaligentreffen »Aix-Laser-People« während der internationalen Fachmesse LASER World of Photonics in München statt. Rund 140 Teilnehmer, davon 90 Mitarbeiter und 50 Alumni des Fraunhofer ILT und der kooperierenden RWTH Lehrstühle, kamen im Bamberger Haus zusammen. Bei einem Business Speed Dating konnten sich einerseits Ehemalige untereinander austauschen. In der zweiten Gruppe hatten die derzeitigen Mitarbeiter der Lehrstühle und des Fraunhofer ILT die Möglichkeit, sich direkt mit Alumni auszutauschen und Einsichten in deren Industrieerfahrung zu gewinnen. Die in den über 100 Kurzdialogen geknüpften neuen Kontakte konnten beim anschließenden Get-together gezielt vertieft werden.

**24.09.2013, Göttingen und 25.09.2013, Wolfsburg**

**46. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«**

Dr. Guido Bonati, Director Business Development & Product Line Management, und Rainer Pätzelt, Director Marketing, empfingen die rund 20 Teilnehmer der »Aix-Laser-People« Veranstaltung bei Coherent in Göttingen. Rainer Pätzelt bot den Zuhörern einen Überblick über die aktuellen technologischen Entwicklungen des Unternehmens und die Herausforderungen der Laseranwendungen insbesondere im Displaymarkt. Bei einem geführten Rundgang konnten sich die Teilnehmer einen Eindruck von den technisch anspruchsvollen Excimer-Lasersystemen und den damit verbundenen FuE-Aufgabenstellungen machen. Das Coherent-Team zählt zu den drei Finalisten des Deutschen Zukunftspreises 2013.

<sup>1</sup> Aix-Laser-People-Treffen bei der Coherent  
LaserSystems GmbH & Co. KG in Göttingen.



Am Folgetag stand die Besichtigung des zentralen VW Werkes in Wolfsburg mit den Bereichen Presswerk, Karosseriebau und Endmontage im Mittelpunkt. Unter fachkundiger Führung wurden die aktuellen technologischen Herausforderungen einer modernen Pkw-Produktion erläutert. Thorge Hammer, verantwortlicher Ingenieur für Technologieplanung und -entwicklung, Karosserieplanung und Werkzeugbau bei VW, gab mit seinem abschließenden Vortrag einen Einblick in den aktuellen Stand der Technik und die anstehenden Forschungs- und Entwicklungsaufgaben für die Lasieranwendungen im Karosserieleichtbau bei VW.

**19.12.2013, Leuven, Belgien**

**47. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«**

Die 27 Teilnehmer der »Aix-Laser-People« Veranstaltung konnten sich bei dem Unternehmen Materialise NV, einem der führenden 3D-Druck-Dienstleister, von dem Potenzial der digitalen photonischen Produktion überzeugen. Der Vortrag von Stijn De Rijck, Marketing Manager Factory for 3D Printing bei Materialise NV, und Manuel Michiels, Application Engineer bei Materialise NV zum Thema »Cutting through the Hype of 3D Printing«, veranschaulichte die breiten Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks in unterschiedlichen Branchen wie der Medizintechnik, dem Consumer Bereich, der Automobiltechnik oder der Feinmechanik. Auch die daraus resultierenden neuen Geschäftsmodelle wurden intensiv diskutiert. Der anschließende Vortrag von Dr. Ingomar Kelbassa, stellvertretender Leiter des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT an der RWTH Aachen University, zum Thema »Digital Photonic Production« konzentrierte sich auf die Herstellung metallischer Bauteile und Werkzeuge wie sie in der Automobiltechnik, dem Werkzeugbau oder im Turbinenbau eingesetzt werden. Bei der abschließenden Führung durch die Produktionsräume des Unternehmens Materialise konnten sich alle Teilnehmer ein Bild vom Stand der Technik im Bereich des 3D-Drucks machen.

---

## VERANSTALTUNGEN FÜR SCHÜLER UND STUDENTEN

---

**31.01.2013, Aachen  
Studentenführung**

Informationsveranstaltung und Institutsführung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Studenten der RWTH Aachen. Im Rahmen der Institutsführung wurde die praktische Relevanz der Themen des Vorlesungsmoduls »Laserstrahlquellen« von Prof. Poprawe an Laserstrahlquellen und Lasersystemen demonstriert.

**25.04.2013, Aachen  
Girls' Day – Mädchenzukunftstag**

An diesem Tag erleben Schülerinnen ab Klasse 5 die Arbeitswelt in Technik, Handwerk, Ingenieur- und Naturwissenschaften oder lernen weibliche Vorbilder in Führungspositionen in Wirtschaft, Wissenschaft und Politik kennen. Das Fraunhofer ILT hat zusammen mit dem Fraunhofer IPT und Fraunhofer IME an diesem bundesweiten Berufsorientierungstag für Mädchen zwischen 10 und 15 Jahren teilgenommen. Insgesamt wurden 50 Mädchen an diesem Tag durch die Institute geführt.

**07.05.2013, Aachen  
Schülerführung**

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für eine Schülergruppe von der Europaschule in Herzogenrath.

*2 Dr. Stephan Brüning und Dipl.-Ing. Christian Wessling beim Business Speed Dating.*

*3 Bamberger Haus in München: Treffpunkt für Aix-Laser-People am 15. Mai während der LASER 2013.*



**24.05.2013, Aachen**

**Studentenführung**

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für eine Studentengruppe aus Spanien.

**24.05.2013, Aachen**

**Schülerführung**

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Abiturienten aus Bonn.

**06.06.2013, Aachen**

**Studentenführung**

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Studenten der Ingenieurwissenschaften und der Physik an der RWTH Aachen. Die Führung fand im Rahmen des Vorlesungsmoduls »Lasieranwendungen« von Prof. Poprawe statt. Mitarbeiter des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT demonstrierten Lasersysteme und aktuelle Forschungstrends.

**31.07.2013, Aachen**

**Schüleruniversität**

Die RWTH Aachen bietet in den Sommerferien kostenlose Schüleruniversitäten zu den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik) für Schülerinnen und Schüler ab Jahrgangsstufe 9 an. Das Fraunhofer ILT hat sich daran gemeinsam mit anderen Instituten des Fachbereichs Maschinenbau A und der Fachschaft Maschinenbau mit Vorlesungen und Laborübungen zum Thema Lasertechnik beteiligt.

**06.11.2013, Aachen**

**Nacht der Unternehmen**

Bereits zum vierten Mal war das Fraunhofer ILT mit einem Stand bei der »Nacht der Unternehmen« im Technologiezentrum am Europaplatz vertreten. Über 2000 Hochschulabsolventen, Studierende und Fachkräfte informierten sich am 06. November 2013 bei den rund 100 ausstellenden Unternehmen und Instituten über Gestaltungsmöglichkeiten ihrer beruflichen Laufbahn. Judith Kumstel, Jenny Tempeler und Florian Eibl vertraten das Fraunhofer ILT und die Lehrstühle an einem eigenen Informationsstand. Die nächste »Nacht der Unternehmen« findet am 06. November 2014 statt.

**19.12.2013, Aachen**

**Schülerführung**

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für eine Schülergruppe der Liebfrauen-schule in Eschweiler.

- 1 *Im Rahmen der Schüleruni experimentieren Schüler am Fraunhofer ILT mit einem selbstgebastelten Spektrographen.*
- 2 *Computersimulation für das Schneiden von Displayglas.*
- 3 *Gut besucht: Fraunhofer-Gemeinschaftstand auf der LASER World of Photonics 2013 in München.*



2



3

## MESSEBETEILIGUNGEN

### Fraunhofer ILT auf der LASER 2013

Zur vierzigsten LASER World of Photonics kamen dieses Jahr 27.000 Besucher aus 74 Ländern nach München, um 1.135 Aussteller zu besuchen. Das Fraunhofer ILT überzeugte mit zahlreichen Entwicklungen aus dem Bereich der industriellen Lasertechnik.

### Prozessoptimierung durch Computersimulation

In der Lasermaterialbearbeitung werden hohe Strahlintensitäten auf kleinster Fläche eingesetzt, maximale Bearbeitungsgeschwindigkeit, Genauigkeit und Zuverlässigkeit wird gefordert. Die Prozessüberwachungs- und Regelungstechnik kommt hier an ihre Grenzen. Zur Unterstützung bieten sich laserspezifische Computersimulation und -modellierung an, ein Gebiet, auf dem unsere Wissenschaftler über eine 20-jährige Erfahrung verfügen und verschiedene Prozesse deutlich voranbringen konnten. Auf der Messe wurden fünf Anwendungsbeispiele aus der Produkt- und Verfahrensentwicklung für industrielle Partner präsentiert, darunter das effiziente Schneiden von Displayglas (TRUMPF Lasertechnik) und das weiter optimierte wasserstrahlgeführte Laserschneiden (SYNOVA).

### Polygonscanner zur effizienten Nutzung der Laserleistung

Der große Vorteil der Ultrakurzpulslaser ist die »kalte« Ablation, also das Abtragen von Material ohne thermische Schädigung der Umgebung. Dieser Vorteil lässt sich nur erhalten, wenn nicht zu viele Pulse überlappen. Bei Pulsfrequenzen im MHz-Bereich und Spotgrößen von 20 µm ist das nicht einfach zu erreichen - der Spot muss dafür mit Geschwindigkeiten von

über 100 m/s bewegt werden. Die Experten des Fraunhofer ILT haben einen Polygonscanner entwickelt, der bei einer Apertur von 20 mm und einer Brennweite von 163 mm Scangeschwindigkeiten von bis zu 360 m/s am Werkstück erreicht. Der Laser kann so eine Fläche von 100 x 100 mm<sup>2</sup> in 3 Sekunden bearbeiten, wobei er mit bis zu 40 MHz angesteuert werden kann. Damit lässt sich die volle Leistung moderner Ultrakurzpuls-Quellen effektiv auf das Werkstück bringen. Zur Demonstration der schnellen und präzisen Bearbeitung führten Experten den Polygonscanner am Beispiel der Gravur einer metallischen Visitenkarte live vor.

### Digital Photonic Production im industriellen Einsatz

Auf dem Sonderstand »Digital Photonic Production DPP« der Messe München und des Fraunhofer ILT präsentierten die Aachener Fraunhofer-Institute ILT und IPT gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University und Industriepartnern verschiedene Anlagen, Designsoftwaretools und Bauteile aus dem industriellen Umfeld. Unter den Partnern befanden sich unter anderem die Concept Laser GmbH, die Realizer GmbH, die SLM Solutions GmbH, die MTU Aero Engines AG, die Bego Medical GmbH, die Citim GmbH sowie die Schepers GmbH & Co. KG.

An ausgewählten Beispielen aus den Bereichen Automotive, Luft- und Raumfahrt, Energietechnik, Leichtbau und Medizintechnik sowie dem Consumerbereich wurde das enorme Potenzial der DPP-Technologie dargestellt. Neben generativ gefertigten Bauteilen wurde zu den abtragenden Verfahren exemplarisch eine mit Kurzpulslasern strukturierte Druckwalze gezeigt sowie transparente Bauteile mit 3D-Hohlstrukturen, erzeugt durch selektives Laserätzen (Selective Laser Etching SLE). Zahlreiche Fachbesucher, mehrere Vertreter der Fachpresse sowie drei TV-Filmteams (u.a. für die ARD Tagesschau) spiegelten das große Interesse an dem Thema Digital Photonic Production.



*Fraunhofer-Gemeinschaftsstand auf der EuroMold 2013 in Frankfurt.*



*Das Fraunhofer-Team auf der Productronica 2013 in München.*

### **Photonics West 2013**

**02.02. - 07.02.2013, San Francisco, USA**

Internationale Fachmesse für Optik und Photonik  
Das Fraunhofer ILT war mit den drei Vorträgen »Design of a rugged 308-nm tunable UV laser for airborne LIF measurements on top of a zeppelin«, »Simulations and experiments on resonantly-pumped single-frequency Erbium lasers at 1.6 µm« und »200-W TM:YLF INNOSLAB Laser« auf der internationalen Fachkonferenz Photonics West vertreten. Am German Pavillion nahm das Fraunhofer ILT mit folgenden Themen teil: Neue Hochleistungslaser, präzise Montagetechniken für optische Komponenten sowie Frequenzkonverter.

### **JEC Europe**

**12.03. - 14.03.2013, Paris, Frankreich**

Composites Show & Conferences  
Teilnahme des Fraunhofer ILT und des CLFA am Fraunhofer-Gemeinschaftsstand auf der internationalen Fachmesse für Verbundwerkstoffe. Es wurden bearbeitete FVK-Bauteile präsentiert, darunter eine Autositzlehne und Front-End-Komponenten sowie weitere Exponate lasertechnischer Leichtbauanwendungen.

### **HANNOVER Messe 2013**

**08.04. - 12.04.2013, Hannover**

Internationale Industriemesse  
Das Fraunhofer ILT stellte auf dem IVAM-Gemeinschaftsstand Verfahren zur Oberflächenfunktionalisierung, zur Mikro- und Nanostrukturierung mit UKP-Lasern sowie zum Glaslöten vor. Mit dem Thema »Digital Photonic Production« war das Fraunhofer ILT auf dem NRW-Stand und dem Stand der Fraunhofer-Allianz Generativ vertreten. Zudem wurde das Verbundprojekt »TurPro«, in dem Fraunhofer IPT und ILT eng zusammenarbeiten, auf dem zentralen Fraunhofer-Stand präsentiert.

### **LASER 2013**

**13.05. - 16.05.2013, München**

LASER 2013 World of Photonics and World of Photonics Congress 2013

Das Fraunhofer ILT präsentierte den Besuchern auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand in Halle C2 aktuelle FuE-Ergebnisse aller ILT-Kompetenzfelder. Highlights waren die Polygonscanner-Anlage, das 1 kW-fs-Lasersystem mit Rekord-Brillanz und Anwendungsbeispiele aus dem Bereich Simulation und Modellierung von Fertigungsverfahren. Auf dem Sonderstand »Digital Photonic Production« präsentierten Fraunhofer ILT, IPT und der Lehrstuhl für Lasertechnik LLT gemeinsam mit Industriepartnern Anwendungsbeispiele für generierende und abtragende Laserverfahren.

### **Control 2013**

**14.5. - 17.5.2013, Stuttgart**

Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung  
Unter dem Slogan »inspired to measure« wurde der am Fraunhofer ILT entwickelte interferometrische Dicken- und Abstandssensor »bd-2« zur bidirektionalen Messung von Metallfolien erstmals der Öffentlichkeit auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand in Halle 1/1502 vorgestellt.

### **EU PVSEC 2013**

**30.09. - 04.10.2013, Paris, Frankreich**

28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition

Die Gruppe Mikro- und Nanostrukturierung des Fraunhofer ILT stellte am Fraunhofer-Gemeinschaftsstand das neue Konzept zur Parallelisierung von Laserprozessen für die Produktion von Solarzellen vor. Zu sehen war der kombinierte Aufbau einer Multistrahloptik mit einem Beamer.



*Auf der BIOTECHNIKA in Hannover stellte das Fraunhofer ILT die Prototypenanlage LIFTSYS für in vitro-Testsysteme vor.*

*Mit dem Thema Fertigungsverfahren für Faserverbundwerkstoffe war das Fraunhofer ILT auf der JEC Europe in Paris vertreten.*

### **ICALEO 2013**

**06.10. - 10.10.2013, Miami, USA**

32nd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics

Auf der 32. »ICALEO« des Laser Institute of America LIA war das Fraunhofer ILT auf der Vendor Reception mit einem Informationsstand vertreten. Die Mitarbeiter des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT hielten insgesamt 12 Vorträge, darunter Dr. Ingomar Kelbassa zum Thema »Digital Photonic Production«.

### **BIOTECHNIKA 2013**

**08.10. – 10.10.2013, Hannover**

Messe und Kongress für Biotechnologie und Life Sciences  
Auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand präsentierte die Gruppe Biotechnik und Lasertherapie des Fraunhofer ILT die Prototypenanlage LIFTSYS, die zur präzisen und ressourcenschonenden Übertragung von Biomaterialien auf Testsysteme dient. Des Weiteren wurden Exponate aus dem Themenfeld der Biofabrikation gezeigt, wie Scaffolds und Röhrchen als Stützgerüste für Blutgefäße und 3D-Zellkulturstrukturen aus photovernetzbaren Gelen und Kunststoffen.

### **K 2013**

**16.10. - 23.10.2013, Düsseldorf**

Internationale Leitmesse für Kunststoff und Kautschuk  
Auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand zeigte die Gruppe Mikrofügen eine kompakte Anlage zum Laserschweißen folienartiger Kunststoffe und erläuterte Verfahren zum Laserschneiden und -schweißen von FVK-Bauteilen sowie zum Laserschweißen thermoplastischer Polymere. Auf dem »Science Campus« wurden die Ergebnisse des Verbundprojekts »PolyBright« präsentiert.

### **Productronica 2013**

**12.11. - 15.11.2013, München**

20th International Trade Fair for Innovative Electronics Production

Die Gruppe Mikrofügen des Fraunhofer ILT präsentierte auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand den »Laserbonder« zum Bändchenbonden u. a. auf DCB-Substraten. Zudem wurde ein Verfahren zur Herstellung ressourcensparender Goldkontaktierungen und zur Funktionalisierung dünner Schichten gezeigt.

### **COMPAMED 2013**

**20.11. - 23.11.2013, Düsseldorf**

Weltforum der Medizin und Internationale Fachmesse  
Auf dem IVAM-Gemeinschaftsstand präsentierte das Fraunhofer ILT aktuelle Entwicklungsarbeiten zum Laserschweißen von Schlauchkomponenten aus Kunststoffen sowie zur Oberflächenveredelung von metallischen Bauteilen aus Titan. Darüber hinaus wurden den Besuchern jüngste Ergebnisse zur Herstellung von biokompatiblen Stützstrukturen aus Hydrogelen vorgestellt.

### **EuroMold 2013**

**03.12. - 06.12.2013, Frankfurt/Main**

20. Weltmesse für Werkzeug- und Formenbau, Design und Produktentwicklung

Zentrale Themen des Fraunhofer ILT auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand und dem Stand der Allianz Generativ waren SLM-Verfahren zur Verarbeitung rissempfindlicher Superlegierungen für die Luft- und Raumfahrt sowie zur Herstellung von  $\mu$ -Bauteilen. Des Weiteren wurde ein Verfahren zur Erzeugung einer Verschleißschicht für Werkzeugeinsätze mit Laserauftragschweißen gezeigt. Das Thema Laserpolieren wurde anhand von bearbeiteten Werkzeugen sowie der CAM-NC-Datenkette am PC verdeutlicht.





Verleihung der Lehrpreise der Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen University am 26. Oktober 2013 durch den Dekan Prof. Schmitt.

## AUSZEICHNUNGEN UND PREISE

### AILU International Award 2013

Dr. Dirk Petring, Leiter der Gruppe Makrofügen und Schneiden am Fraunhofer ILT, ist im März 2013 in Nottingham, England mit dem AILU International Award 2013 ausgezeichnet worden. Dieser Ehrenpreis würdigt außergewöhnliche Verdienste im Bereich der industriellen Lasermaterialbearbeitung und wurde 2013 zum ersten Mal verliehen. Seit 2001 unterstützt Dr. Petring die Association of Laser Users AILU als aktives Mitglied, zum Beispiel durch regelmäßige Keynote Präsentationen auf Workshops und mit zahlreichen Fachpublikationen. Er wurde mit dem Preis als international führende Persönlichkeit auf dem Gebiet des Laserstrahlschneidens und -schweißens geehrt.

### Lehrpreise für drei assoziierte RWTH-Lehrstühle des Fraunhofer ILT

Die Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen University vergab 2013 erstmals einen fakultätsinternen Lehrpreis für sehr gute didaktische Leistungen. Drei der assoziierten Lehrstühle des Fraunhofer ILT haben sehr gute Benotungen seitens der Studierenden erhalten und sind mit dem Preis ausgezeichnet worden:

- Lehrstuhl für Lasertechnik LLT, Prof. Reinhart Poprawe
- Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS, Prof. Peter Loosen
- Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD, Prof. Wolfgang Schulz

### Springorium-Denkmünze

Für seine mit Auszeichnung bestandene Masterarbeit »Experimentelle Untersuchungen zum Polieren mit gepulster Laserstrahlung mittels Zweistrahltechnik« an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät erhielt M.Sc. Hendrik Sändker am 21.06.2013 die Springorium-Denkmünze der RWTH Aachen. Auch Florian Elsen hat am 21.06.2013 die Springorium-Denkmünze der RWTH Aachen für seine mit Auszeichnung bestandene Masterarbeit »Erzeugung und Verstärkung von Laserstrahlung im mittleren Infrarot« an der Fakultät für Maschinenwesen erhalten. Die ILT-Mitarbeiter Hendrik Sändker und Florian Elsen erhielten die Gedenkmedaille während einer feierlichen Zeremonie mit rund 800 Gästen im Audimax der RWTH. Insgesamt wurden 2013 163 Studierende geehrt, die ihr Diplom- oder Masterexamen sowie Magister Artium mit Auszeichnung bestanden haben. Die Denkmünze geht zurück auf den Kommerzienrat Dr.-Ing. E. h. Friedrich Springorum, der 1918 die Gesellschaft von Freunden der Aachener Hochschule gründete und sie bis zum Jahre 1925 als Vorsitzender leitete.

### Borchers-Plakette

Für seine mit Auszeichnung bestandene Doktor-Prüfung zum Thema »Laserstrahlquellen auf Basis eines neuartigen Neodym-dotierten Mischgranats für Wasserdampf-DIAL-Systeme bei 935 nm« an der Fakultät für Maschinenwesen wurde Dr. rer. nat. Jens Löhring, Mitarbeiter des Fraunhofer ILT, am 21.06.2013 auf der RWTH-Festveranstaltung im Audimax geehrt. Unter den 163 Doktorandinnen und Doktoranden der RWTH Aachen, die ihre Doktor-Prüfung mit Auszeichnung absolviert haben, waren auch vier Alumni des Fraunhofer ILT: Dr. Micha Christian Scharf, Dr. Felix Schmitt, Dr. Johannes Henrich Schleifenbaum und Dr. rer. nat. Stephan Gronenborn. Namensgeber der Ehrenplakette ist der Geheimrat Professor Wilhelm Borchers, der von 1897 bis 1925 Ordinarius für Metallhüttenkunde an der Hochschule war.

# ARBEITSKREIS LASERTECHNIK AKL E.V.



## **Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V. Das Forum für industrielle Laseranwendungen**

Der AKL e.V. wurde 1990 gegründet, um die faszinierenden Möglichkeiten, die das Werkzeug Laser in Hinblick auf Präzision, Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit eröffnet, durch Intensivierung des Informations- und Ausbildungsstands für den industriellen Einsatz nutzbar zu machen.

Heute sind viele der Anwendungsmöglichkeiten bekannt und die Prozesse erprobt. Der Einsatz von Lasern ist vielerorts zum Tagesgeschäft geworden. Dennoch werden ständig neue Laserstrahlquellen und Laserverfahren entwickelt, die zu innovativen und neuen Perspektiven in der industriellen Fertigung führen. In dieser sich schnell wandelnden Disziplin unterstützt ein Netzwerk wie der AKL e.V. effektiv Innovationsprozesse.

Im Fokus der AKL e.V. Tätigkeit steht die wissenschaftliche Arbeit auf dem Gebiet der Lasertechnik sowie die Verbreitung der Lasertechnik zur qualitativen und wirtschaftlichen Verbesserung von Produktionsprozessen. Der AKL e.V. versteht sich hier als Moderator zwischen Anbietern und Anwendern sowie zwischen den wirtschaftlichen, wissenschaftlichen und politischen Institutionen im Umfeld.

Ein kontinuierlicher Informationsaustausch und Aufbau einer gemeinsamen Wissensbasis sowie die nachhaltige Verbesserung der Ausbildungssituation bilden die Grundlage zur Zielerreichung des Vereins. Dem AKL e.V. gehören derzeit 124 Mitglieder an.

### **Aufgabenspektrum**

- Information zu innovativen lasertechnischen Produkten und Verfahren
- Pflege persönlicher Netzwerke von Laser-Experten
- Organisation von Tagungen und Seminaren
- Erstellung von Lehrmitteln zur Lasertechnik
- Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses
- Beratung von Industrie und Wissenschaft in lasertechnischen Fragestellungen
- Verleihung des Innovation Award Laser Technology

### **Vorstand**

Dipl.-Ing. Ulrich Berners (Vorsitzender)  
Prof. Reinhart Poprawe M. A.  
(stellvertr. Vorsitzender)  
Dr. Bernd Schmidt (Kassenwart ab 01.01.2012)  
Dipl.-Phys. Axel Bauer (Geschäftsführer)

### **Kontakt**

Dipl.-Phys. Axel Bauer  
Steinbachstraße 15  
52074 Aachen  
Telefon +49 241 8906-194  
Fax +49 241 8906-112  
info@akl-ev.de  
www.akl-ev.de

# EUROPEAN LASER INSTITUTE ELI



## Kurzportrait

Das European Laser Institute wurde 2003 auf Initiative und mit Förderung der Europäischen Union gegründet. Ziel von ELI ist es, die Position Europas in der Lasertechnik zu stärken und weiter auszubauen. Darüber hinaus will ELI den Stellenwert und die Perspektiven der europäischen Lasertechnik für eine breitere Öffentlichkeit sichtbar machen. Gemeinsam mit knapp 30 führenden Forschungseinrichtungen sowie kleinen und mittelständischen Unternehmen hat sich das Fraunhofer ILT zu einem europäischen Netzwerk zusammengeschlossen. Neben der Integration in regionale und nationale Netzwerke ist das Fraunhofer ILT damit auch auf europäischer Ebene in ein schlagkräftiges Netzwerk im Bereich der Lasertechnik eingebunden. Des Weiteren wird die internationale Kooperation von Industrie und Forschung, insbesondere im Bereich der EU-Forschungsförderung, durch ELI forciert. Durch die Organisation von Konferenzen, Workshops, Summerschools etc. schafft ELI unter anderem entsprechende Plattformen. Nicht zuletzt wird dies auch durch die Zusammenarbeit mit den jeweiligen Interessensvertretungen (z. B. EPIC, AILU, WLT) gefördert. Eine enge Kooperation mit dem Laser Institute of America (LIA) besteht unter anderem bei der Ausrichtung von internationalen Konferenzen (ICALEO, PICALO, ALAW) sowie dem Journal of Laser Applications (JLA).

## Executive Committee

Das European Laser Institute wird durch das Executive Committee vertreten. Mitglieder im Executive Committee sind:

- Dr. Paul Hilton (Vorsitzender)  
TWI, Großbritannien
- Dr. Wolfgang Knapp  
CLFA, Frankreich
- Prof. Veli Kujanpää  
VTT Technical Research Center of Finland,  
Lappeenranta, Finnland
- Dr. Filip Motmans  
Lasercentrum Vlaanderen, Belgien
- Prof. José Luis Ocaña  
Centro Láser U.P.M., Spanien
- Dr. Alexander Olowinsky  
Fraunhofer ILT, Deutschland
- Prof. Andreas Ostendorf  
Ruhr-Universität Bochum, Deutschland

## Kontakt im Fraunhofer ILT

Dr. Alexander Olowinsky  
Telefon +49 241 8906-491  
Fax +49 241 8906-121  
[contact@europeanlaserinstitute.org](mailto:contact@europeanlaserinstitute.org)  
[www.europeanlaserinstitute.org](http://www.europeanlaserinstitute.org)

# INFORMATIONSSERVICE

Wenn Sie mehr Informationen über die Forschungs- und Entwicklungsleistungen des Fraunhofer ILT wünschen, nutzen Sie unseren Internet-Service unter [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de). Sie können das Informationsmaterial ebenfalls mithilfe des vorliegenden ausgefüllten Abschnitts anfordern.

**Imagebroschüre**  
»Partner der Innovatoren«  deutsch  englisch

**Jahresbericht 2013**  **JB 2012**  **JB 2011**  
(englische Versionen online unter [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de))

## Themenbroschüren

- Biofabrication** (englisch)
- Bohren mit Laserstrahlung**  deutsch  englisch
- Faserlaser**  deutsch  englisch
- Festkörperlaser**  deutsch  englisch
- Freiformoptik-Design**  deutsch  englisch
- Glasbearbeitung mit Laserstrahlung**  deutsch  englisch
- In-Volume Micro Structuring with Femtosecond Lasers** (englisch)
- Laserbearbeitungsverfahren für Faserverbundkunststoffe**  
 deutsch  englisch
- Laser Cleaning** (englisch)
- Laser in Biotechnik und Medizin**  deutsch  englisch
- Laser in der Kunststofftechnik**  deutsch  englisch
- Laser in der Photovoltaik**  deutsch  englisch
- Laserabtrag für die Dünnschichtstrukturierung**  
 deutsch  englisch
- Laserbearbeitungsverfahren für Faserverbundwerkstoffe**  
 deutsch  englisch
- Laserpolieren von Glas und Kunststoff**  deutsch  englisch
- Laserpolieren von Metallen**  deutsch  englisch
- Laserstrahlschneiden**  deutsch  englisch
- Laserstrahlschweißen metallischer Werkstoffe**  
 deutsch  englisch
- Lasertechnik für Instandsetzung und Funktionalisierung**  
 deutsch  englisch
- Mikrofügen mit Laserstrahlung**  deutsch  englisch

- Mikrostrukturierung im Volumen transparenter Materialien**  
 deutsch  englisch
- Mikro- und Nanostrukturierung mit Laserstrahlung**  
 deutsch  englisch
- Modellierung und Simulation**  deutsch  englisch
- Nahfeldmikroskopie zur Materialanalyse**  deutsch  englisch
- Nichtlineare Optik und abstimmbare Laser**  
 deutsch  englisch
- Optik-Design und Diodenlaser**  deutsch  englisch
- Packaging**  deutsch  englisch
- Polieren mit Laserstrahlung**  deutsch  englisch
- Prozesssensorik in der Lasermaterialbearbeitung**  
 deutsch  englisch
- Rapid Manufacturing**  deutsch  englisch
- Selektives Laserätzen von Glas und Saphir**  
 deutsch  englisch
- Systemtechnik für das pulverbasierte Laserauftragschweißen**  
 deutsch  englisch
- Systemtechnik für die Lasermaterialbearbeitung**  
 deutsch  englisch
- Thin Film Laser Processing** (englisch)
- Ultrakurzpulslaser**  deutsch  englisch
- Varioclad – Laserauftragschweißen mit variabler Spurbreite**  
 deutsch  englisch
- Wärmebehandlung mit Laserstrahlung**  deutsch  englisch

## Absender

Name, Vorname \_\_\_\_\_  
Firma/Abteilung \_\_\_\_\_  
Straße \_\_\_\_\_  
PLZ/Ort \_\_\_\_\_  
Telefon \_\_\_\_\_  
E-Mail \_\_\_\_\_

Bitte diese Seite per Mail oder Fax an:

**Fraunhofer ILT, Stefanie Flock**

**info@ilt.fraunhofer.de, Fax +49 241 8906-121**

# IMPRESSUM

## **Redaktion**

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

## **Gestaltung und Produktion**

Dipl.-Des. Andrea Croll  
[www.andrea-croll.de](http://www.andrea-croll.de)

## **Druck**

Druckspektrum  
Hirche-Kurth GbR, Aachen  
[www.druck-spektrum.de](http://www.druck-spektrum.de)

## **Papier**

Dieser Jahresbericht wurde auf umweltfreundlichem,  
chlor- und säurefrei gebleichtem Papier gedruckt.

## **Ansprechpartner**

Dipl.-Phys. Axel Bauer  
Telefon +49 241 8906-194  
Fax +49 241 8906-121  
[axel.bauer@ilt.fraunhofer.de](mailto:axel.bauer@ilt.fraunhofer.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 2014

## **Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT**

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

[info@ilt.fraunhofer.de](mailto:info@ilt.fraunhofer.de)  
[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)