



# Fraunhofer

ILT

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

## JAHRESBERICHT 2010



# 25

---

**JAHRESBERICHT DES  
FRAUNHOFER-INSTITUTS  
FÜR LASERTECHNIK ILT  
2010**

---

**25 JAHRE FRAUNHOFER ILT**

25 Jahre Partner der Innovatoren





Von einer innovativen Technik zum Vorteil von Mensch und Maschine sprach Bundespräsident Christian Wulff als er am 31. Oktober 2010 den mit 245.000 Euro dotierten Deutschen Umweltpreis an die Gründer der Firma Clean-Lasersysteme GmbH Dr. Winfried Barkhausen und Edwin Büchter überreichte. Das Team wurde für das umweltschonende Reinigen industrieller Oberflächen mit Laserlicht ausgezeichnet. Auch Dr. Keming Du, Geschäftsführer der EdgeWave GmbH, erhielt in diesem Jahr eine besondere Auszeichnung: den International Laser Technology Award 2010. Im Fokus seiner Innovation standen gütegeschaltete Innoslab-Laser für die hoch qualitative Mikrobearbeitung. Was haben beide erfolgreichen Unternehmen gemeinsam? Sie wurden von ehemaligen Mitarbeitern des Fraunhofer ILT gegründet. Und das ist bemerkenswert. Es zeigt nämlich deutlich, dass Innovationszentren wie das Fraunhofer ILT nicht nur unmittelbar durch ihre Auftragsforschung für Industriekunden wirtschaftlich und strategisch relevant sind. Vielmehr ist die mittelbare Wirkung durch unsere Alumni - sei es als angestellte Führungskräfte oder als selbstständige Unternehmer - ein deutliches Signal dafür, dass Innovationen nur durch den Einsatz von hoch motivierten und professionell erfahrenen Menschen in wirtschaftlichen Erfolg umgesetzt werden können. Und wenn - wie im Fall der beiden Spin-offs - auch das eigene Wohl unmittelbar von diesem Erfolg abhängt, ist die Durchsetzungskraft am höchsten.

Auf dem letzten International Laser Congress AKL'10 hatten wir im Rahmen unseres 25-jährigen Jubiläums nicht nur Gelegenheit, auf bisher erzielte Erfolge zurückblicken zu können. Und hierzu zählen neben den wissenschaftlichen Erkenntnissen und den technischen Innovationen sicherlich auch die rund 30 Ausgründungen in dieser Zeit. Vielmehr

konnten sich die Kongressbesucher in über 80 Live-Präsentationen von der Vielzahl der Themen überzeugen, die wir hier in Aachen vorantreiben: von den Laserstrahlquellen und Optiken über die Laserfertigungsverfahren und die Lasermesstechnik bis hin zu den Anwendungen des Lasers in der Medizintechnik und der Biophotonik. Unser tägliches Bestreben ist es, in all diesen Bereichen Wirkung zu erzielen. Das suchen auch unsere Kunden. Deshalb reden sie mit uns im besten Sinne einer Partnerschaft. Ob in der Umwelttechnik, im Gesundheitswesen, in der Produktion, im Bereich der Mobilität oder der Energie, überall sind lasertechnische Lösungen zu finden. Insofern tragen wir zusammen mit unseren Partnern an der Lösung der aktuell gesellschaftlich relevanten Fragen bei. Wenn das ein oder andere dann auch über eine Auszeichnung in der breiten Öffentlichkeit sichtbar wird, freuen wir uns umso mehr. Insofern werden wir auch in Zukunft an innovativen Techniken zum Vorteil von Mensch und Maschine arbeiten - ganz im Sinne des Bundespräsidenten. Und ebenso in diesem Sinne wünsche ich Ihnen viele inspirierende Anregungen beim Lesen dieses Jahresberichts. Vielleicht sind sie ja der Anfang einer neuen Erfolgsgeschichte.

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

### **Ausgewählte Forschungsergebnisse**

37	Laser und Optik
53	Lasermaterialbearbeitung
107	Medizintechnik und Biophotonik
117	Lasermesstechnik
128	Patente
129	Dissertationen
130	Diplomarbeiten
131	Wissenschaftliche Veröffentlichungen
137	Vorträge
147	Kongresse und Seminare
154	Messebeteiligungen
155	Auszeichnungen
156	European Laser Institute ELI
157	PhotonAix e.V. - Kompetenznetz Optische Technologien
158	Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V.
159	CD-Rom »Lasertechnik«
160	Fachbücher
161	Informations-Service
162	Impressum

# DAS INSTITUT IM PROFIL

## KURZPORTRAIT

ILT - dieses Kürzel steht seit 25 Jahren für gebündeltes Know-how im Bereich Lasertechnik. Innovative Lösungen von Fertigungs- und Produktionsaufgaben, Entwicklung neuer technischer Komponenten, kompetente Beratung und Ausbildung, hochspezialisiertes Personal, neuester Stand der Technik sowie internationale Referenzen: dies sind die Garanten für langfristige Partnerschaften. Die zahlreichen Kunden des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT stammen aus Branchen wie dem Automobil- und Maschinenbau, der Chemie und der Elektrotechnik, dem Flugzeugbau, der Feinmechanik, der Medizintechnik und der Optik. Mit über 300 Mitarbeitern und rund 11.000 m<sup>2</sup> Nutzfläche zählt das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten seines Fachgebietes.

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 Technologiefeldes »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« 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.

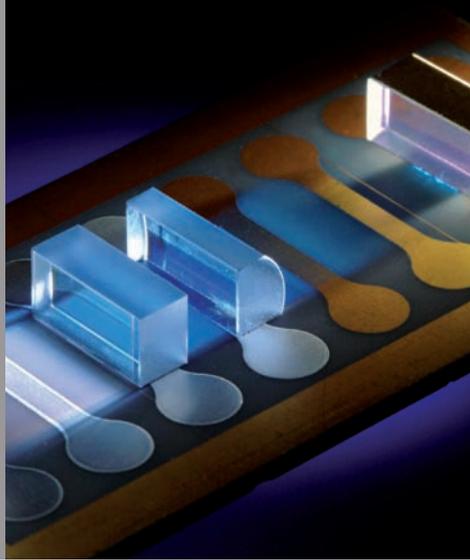
Die Anwendungsgebiete der entwickelten Laser und Optiken reichen von der Lasermaterialbearbeitung und der Messtechnik über Beleuchtungsapplikationen und Medizintechnik bis hin zum Einsatz in der Grundlagenforschung.

## 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 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 photochemischen Oberflächenmodifikation leistet das Technologiefeld einen Beitrag zur Generierung biofunktionaler Oberflächen.

---

## LASERMESSTECHNIK

---

Die Schwerpunkte des Technologiefelds Lasermesstechnik 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>	Dipl.-Phys. B. Jungbluth	bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de	Tel. -414
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
<b>Packaging</b>	Dipl.-Ing. M. Leers	michael.leers@ilt.fraunhofer.de	Tel. -434
	Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann	hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de	Tel. -206
<b>Freiformoptiken</b>	M. Sc. A. Bäuerle	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>	Dipl.-Ing. F. Schmitt Dr. A. Gillner	felix.schmitt@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -322 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>	Dr. S. Kaierle Dr. A. Gillner	stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -212 Tel. -148
<b>Kunststoffschneiden und -schweißen</b>	Dipl.-Ing. A. Roesner Dr. A. Gillner	andreas.roesner@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -158 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. (FH) C. Hartmann Dipl.-Phys. Mihael Brajdic	claudia.hartmann@ilt.fraunhofer.de mihael.brajdic@ilt.fraunhofer.de	Tel. -207 Tel. -205
<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>	Akad. Rat Dr. J. Gottmann Dr. A. Gillner	jens.gottmann@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -406 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. D. Wortmann Dipl.-Phys. S. Eifel	dirk.wortmann@ilt.fraunhofer.de stephan.eifel@ilt.fraunhofer.de	Tel. -276 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. J. Schüttler Prof. Dr. W. Schulz	jens.schuetzler@ilt.fraunhofer.de wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de	Tel. -680 Tel. -204

## MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK

<b>Bioanalytik</b>	Dr. C. Janzen Dr. R. Noll	christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -124 Tel. -138
<b>Lasermikroskopie</b>	Dr. C. Janzen Dr. R. Noll	christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -124 Tel. -138
<b>Klinische Diagnostik</b>	Dr. A. Lenenbach Dr. R. Noll	achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -124 Tel. -138
<b>Mikrochirurgische Systeme</b>	Dr. A. Lenenbach Dr. R. Noll	achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -124 Tel. -138
<b>Mikrofluidische Systeme</b>	Dipl.-Ing. A. L. Boglea Dr. A. Gillner	andrei.boglea@ilt.fraunhofer.de arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de	Tel. -217 Tel. -148

<b>Biofunktionalisierung</b>	Dr. E. Bremus-Koebberling 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

<b>Fertigungsmesstechnik</b>	Dr. V. Sturm Dr. R. Noll	volker.sturm@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -154 Tel. -138
<b>Materialanalytik</b>	Dr. C. Fricke-Begemann 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 Dr. R. Noll	patrick.werheit@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -489 Tel. -138
<b>Umwelt und Sicherheit</b>	Dr. C. Fricke-Begemann Dr. R. Noll	cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de	Tel. -196 Tel. -138
<b>EUV-Technik</b>	Dr. K. Bergmann 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



**Dipl.-Betw. 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



**Dr. Reinhard Noll**  
Messtechnik

# 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:

- C. Baasel (Vorsitzender), Carl Baasel Lasertechnik GmbH
- Dr. Thomas Fehn, Jenoptik AG
- Dr. Ulrich Hefter, Rofin-Sinar Laser GmbH
- Dr. U. Jaroni, ThyssenKrupp Stahl AG
- RD Andreas Kletschke, Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF
- Dipl.-Ing. Volker Krause, Laserline GmbH
- Prof. Dr. G. Marowsky, Laserlaboratorium Göttingen e. V.
- MinRat Dipl.-Phys. T. Monsau, Ministerium für Arbeit und Soziales, Qualifikation und Technologie des Landes NRW
- Dr. Rüdiger Müller, Osram Opto Semiconductors GmbH & Co. OHG (bis 15.09.2010)
- 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 (ab 15.09.2010)
- Dr. Klaus Wallmeroth, TRUMPF Laser GmbH & Co. KG

Die 25. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 15. September 2010 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: Dipl.-Betw. (FH) Vasvija Alagic MBA, Dipl.-Phys. A. Bauer, Dr. A. Gillner, Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Dr. S. Kaierle, Dr. I. Kelbassa, Prof. Dr. P. Loosen, Dr. W. Neff (bis 31.07.2010), Dr. R. Noll, Dr. D. Petring, Prof. Dr. R. Poprawe, Prof. Dr. 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: Dipl.-Betw. (FH) Vasvija Alagic MBA, K. Bongard, M. Brankers, A. Hilgers, A. Lennertz, Dr. W. Neff, E. Neuroth, Dipl.-Ing. H.-D. Plum, Prof. Dr. 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. Dr. R. Poprawe, B. Theisen, Dr. C. Janzen.

## Betriebsrat

Der Betriebsrat wurde im März 2003 von den Mitarbeitern des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT gegründet. Mitglieder sind:

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 2010	Anzahl
<b>Stammpersonal</b>	<b>187</b>
- Wissenschaftler und Ingenieure	124
- Mitarbeiter der technischen Infrastruktur	41
- Verwaltungsangestellte	22
<b>Weitere Mitarbeiter</b>	<b>140</b>
- wissenschaftliche Hilfskräfte	130
- externe Mitarbeiter	6
- Auszubildende	4
<b>Mitarbeiter am Fraunhofer ILT, gesamt</b>	<b>327</b>

- 10 Mitarbeiter haben ihre Promotion abgeschlossen.
- 23 Studenten haben ihre Diplomarbeit am Fraunhofer ILT durchgeführt

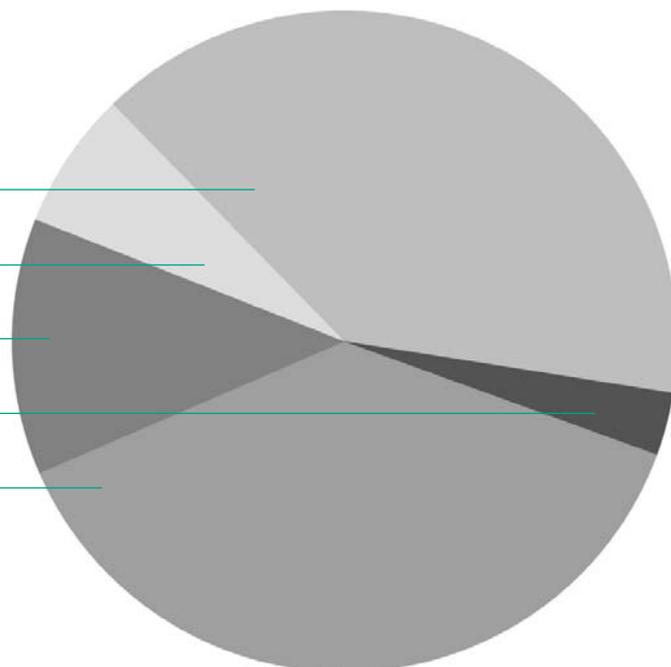
40 % wissenschaftliche Hilfskräfte

7 % Verwaltungsangestellte

12 % technische Infrastruktur

3 % Auszubildende / externe Mitarbeiter

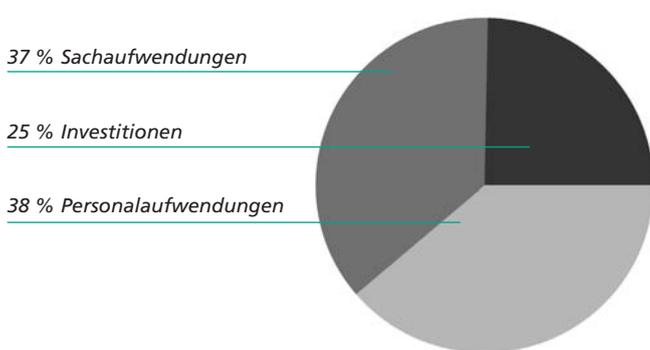
38 % Wissenschaftler und Ingenieure



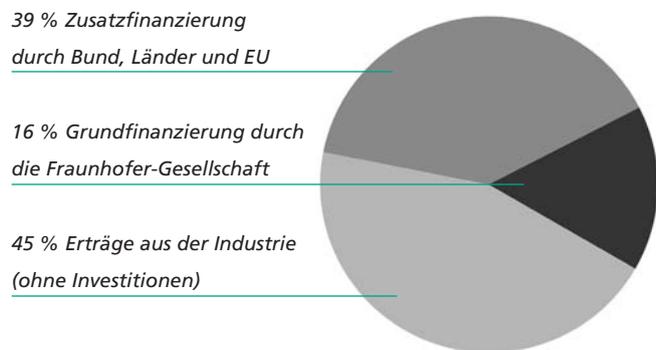
## AUFWENDUNGEN UND ERTRÄGE

Aufwendungen 2010	Mio €
- Personalaufwendungen	12,2
- Sachaufwendungen	11,7
<b>Aufwendungen Betriebshaushalt</b>	<b>23,9</b>
<b>Investitionen</b>	<b>7,9</b>

Erträge 2010	Mio €
- Erträge aus der Industrie	10,7
- Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	9,4
- Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	3,8
<b>Erträge Betriebshaushalt</b>	<b>23,9</b>
- davon entfallen auf Auslandsprojekte	1,9
<b>Investitionserträge aus der Industrie</b>	<b>0,4</b>
<b>Fraunhofer Industrie <math>\rho_{\text{Ind}}</math></b>	<b>46,1 %</b>



(100% Betriebshaushalt und Investitionen)

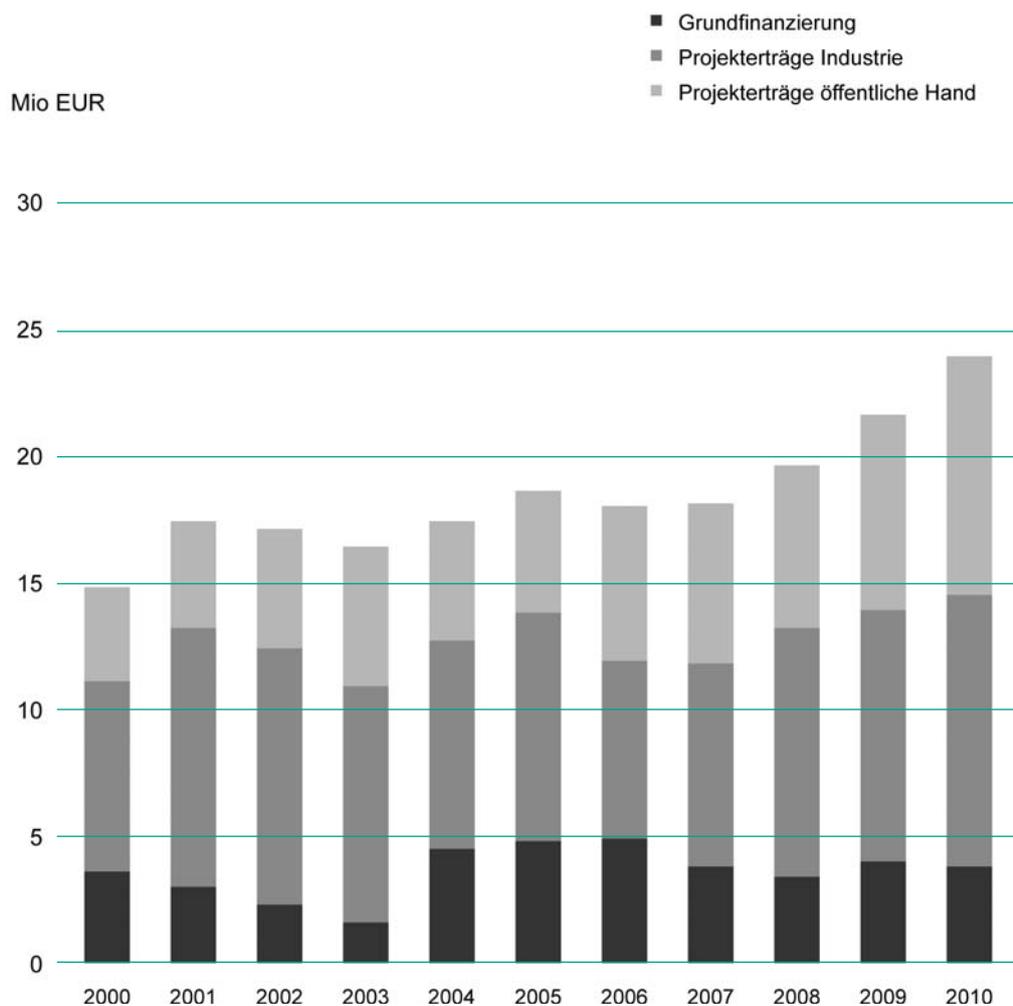


(100% Betriebshaushalt)

# DAS INSTITUT IN ZAHLEN

## BETRIEBSHAUSHALT

Die Graphik verdeutlicht die Entwicklung des Betriebsshaushaltes in den letzten 11 Jahren.



# KUNDENREFERENZENZEN



ZWIESEL KRISTALLGLAS

Stand März 2011. 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 »Photonics in 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 20 kW
- Lampen- und diodengepumpte Festkörperlaser bis 8 kW
- Scheibenlaser bis 10 kW
- Faserlaser bis 4 kW
- Diodenlasersysteme bis 3 kW
- SLAB-Laser
- Excimerlaser
- Ultrakurzpulslaser
- Breitbandig abstimmbare Laser

- Fünfachsig Portalanlagen
- Dreiachsig Bearbeitungsstationen
- Strahlführungssysteme
- Robotersysteme
- Sensoren zur Prozessüberwachung für die Lasermaterialbearbeitung
- Direct-writing- und Laser-PVD-Stationen
- Reinräume zur Montage von Dioden- und Festkörperlasern sowie Laseroptiken
- Reinräume zur Montage von Diodenlasern, diodengepumpten Festkörperlasern 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 Strahlendiagnose 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 am Fraunhofer CLT 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 Festkörperlaser vergleichbar machen. Gemeinsam werden entsprechende Forschungsprojekte bearbeitet. In Zusammenarbeit mit der University of Michigan wurde in 2007 Arbor Photonics gegründet, um die Entwicklungen im Bereich flexibler Faserlaser mit beugungsbegrenzter Strahlqualität und hohen Pulsleistungen zu kommerzialisieren.

Kostengünstige Fertigungsverfahren für alternative Energieerzeugung und -speicherung werden in Kooperation mit der University of Michigan entwickelt. Der Schwerpunkt liegt auf Solarzellen und auf Li-Ionen Batterien. Laserinduzierte Trenn- und Fügeverfahren, auch ungleicher Werkstoffe, bilden 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 Zellen entwickelt und die Produktivität des Laserbohrens um einen Faktor 6 verbessert. Weiterhin werden Laser zur wirtschaftlichen Oberflächenstrukturierung des Siliziums und zur Strukturierung des Deckglases verwendet. Sie erhöhen die Absorption in der Zelle um einige Prozent.

Eine Allianz zur Erforschung erneuerbarer Energien im Transport wurde gemeinsam von der University of Michigan und der Fraunhofer-Gesellschaft ins Leben gerufen. Für die zweijährige Pilotphase wurden 5 Projekte ausgewählt, welche sich durch wissenschaftliche Neuartigkeit und hohes Marktpotenzial auszeichnen. Die Bereiche neuartige Energie- und



Leistungsspeicher, deren kostengünstige Herstellung, Redox-Batterien sowie dynamische 3-D-Diagnostik von Verbrennungsprozessen werden abgedeckt. Mehrere Veröffentlichungen, 2 internationale Patentanmeldungen und das Spin-off »Inmatech« sind das Ergebnis der ersten 18 Monate.

### 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 Bauindustrie, dem Schiffbau und der Medizintechnik.

### Ausstattung

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

### Aufwendungen 2010

	Mio US \$
<b>Betriebshaushalt</b>	<b>1,7</b>
- Personalaufwendungen	1,1
- Sachaufwendungen	0,6

### Kundenreferenzen

Öffentliche Förderung

- DARPA
- Department of Energy
- U.S. Air Force Research Laboratories
- Office of Naval Research
- Michigan Life Science Corridor

Industrie

- Dow
- Ford
- General Motors
- Magna
- Medtronic
- Praxair
- Procter & Gamble
- Roche

### Ansprechpartner



Dr. Stefan Heinemann  
Direktor

Telefon +1 734 354-6300

Durchwahl: -210

Fax +1 734 354-3335

sheinemann@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, ARMINES und das Institut CAROT Mines in Paris, 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.

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.



## 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 der École des Mines de Paris 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.

## Standorte

Paris - im Zentrum von Paris in der École Nationale Supérieure des Mines de Paris, MINES ParisTech.

Evry - ca. 40 km südlich von Paris in den Räumen des Centre des Matériaux Pierre-Marie Fourt.

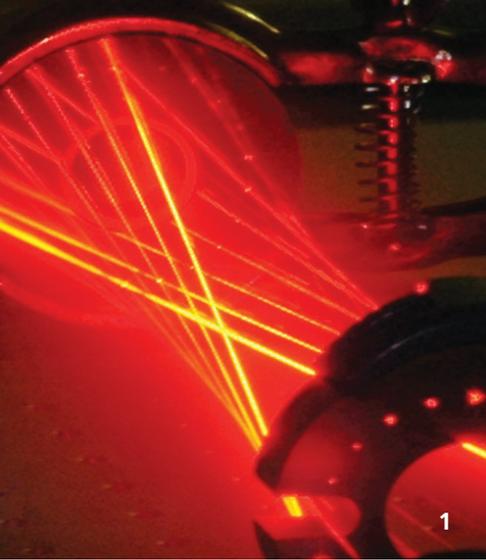
## Ansprechpartner



Dr. Wolfgang Knapp  
Direktor

Telefon +33 1 4051-9476  
Fax +33 1 4634-2305  
wolfgang.knapp@ilt.fraunhofer.de  
[www.ilt.fraunhofer.de/ger/100097.htm](http://www.ilt.fraunhofer.de/ger/100097.htm)

CLFA c/o Armines MINES ParisTech  
60 Boulevard Saint-Michel  
75272 PARIS Cedex 6, 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

- Schicht- und Oberflächentechnologie
- Strahlquellen
- Mikro- und Nanotechnologie
- Materialbearbeitung
- Opto-mechanische Präzisionssysteme
- Optische Messsysteme

### 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 Nanoptik, 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 Elektronenstrahltechnologie, Puls-Magnetron-Sputtern und Plasmaaktivierte Hochratebedampfung. Unsere 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. Unsere Technologien und Prozesse finden Anwendung im Maschinenbau, in der Solarenergie, der Biomedizintechnik, der Architektur und für den Kulturguterhalt, in der Verpackungsindustrie, im Bereich Umwelt und Energie, der Optik, Sensorik und Elektronik sowie in der Landwirtschaft. [www.fep.fraunhofer.de](http://www.fep.fraunhofer.de)

1 Fraunhofer IWS

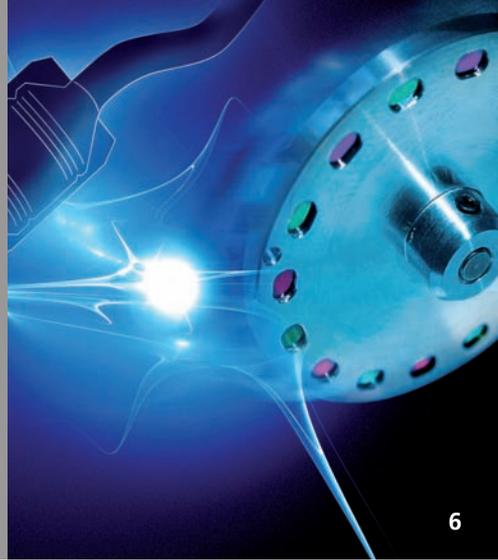
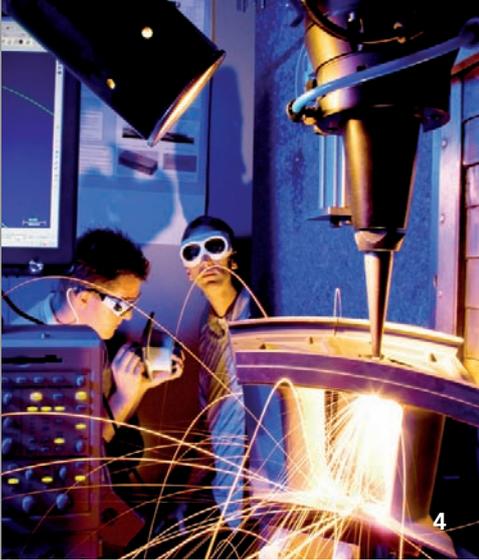
2 Fraunhofer IOF

3 Fraunhofer FEP

4 Fraunhofer ILT

5 Fraunhofer IST

6 Fraunhofer IPM



### Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Mit über 350 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 Löten 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

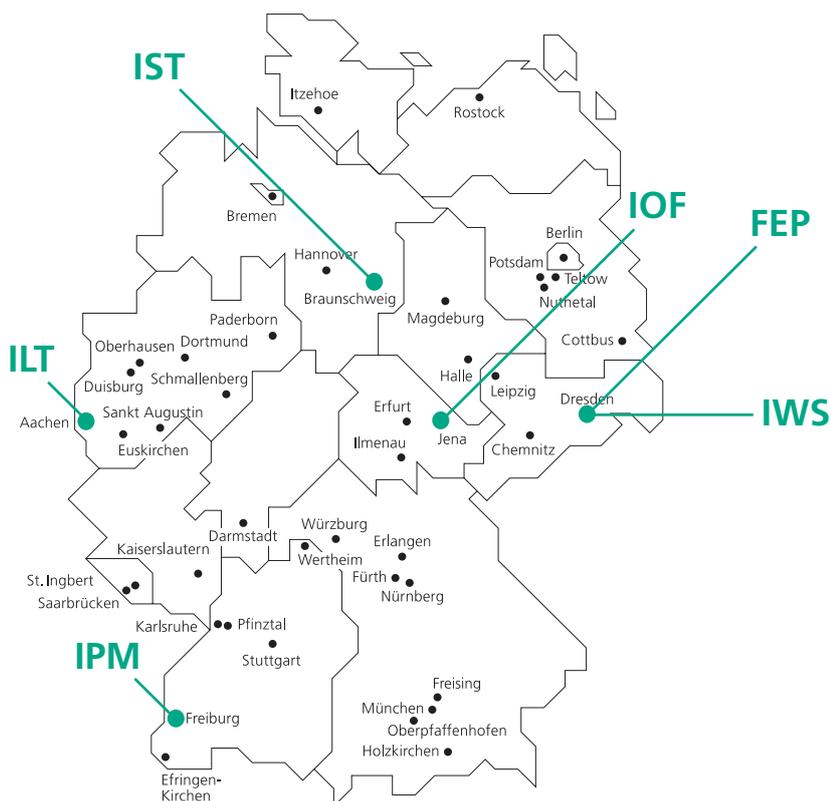
Das Fraunhofer IST bündelt als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum Kompetenzen auf den Gebieten Schichtherstellung, Schichtenanwendung, Schichtcharakterisierung und Oberflächenanalyse. Wissenschaftler, Techniker und Ingenieure arbeiten daran, Oberflächen der verschiedensten Grundmaterialien neue 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 Laser-basierten 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 IWS steht für Innovationen im Bereich der Laser- und Oberflächentechnik. Es bietet kundenspezifische Lösungen zum Fügen, Trennen, Auftragen, Abtragen, Randschichtbehandeln und Beschichten mit Laser sowie PVD- und CVD-Verfahren. Umfangreiches werkstoff- und nanotechnisches Know-how ist Basis zahlreicher Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Systemtechnik und Prozesssimulation ergänzen die zentralen Kompetenzen in den Bereichen Lasermaterialbearbeitung und Plasma-Beschichtungsverfahren. Das IWS bietet Lösungen aus einer Hand, von der Erforschung und Entwicklung neuer Verfahren und Systeme über die Integration in die Fertigung bis hin zur Behebung von Problemen und Fehlern aller Art. [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 mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 60 Institute. Mehr als 18 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,65 Milliarden Euro. Davon fallen 1,40 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Niederlassungen sorgen für Kontakt 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 an Fraunhofer-Instituten wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung 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

## Die Zielgruppen

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist sowohl der Wirtschaft und dem einzelnen Unternehmen als auch der Gesellschaft verpflichtet. Zielgruppen und damit Nutznießer der Forschung der Fraunhofer-Gesellschaft sind:

- Die Wirtschaft: Kleine, mittlere und große Unternehmen in der Industrie und im Dienstleistungssektor profitieren durch Auftragsforschung. Die Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt konkret umsetzbare, innovative Lösungen und trägt zur breiten Anwendung neuer Technologien bei. Für kleine und mittlere Unternehmen ohne eigene FuE-Abteilung ist die Fraunhofer-Gesellschaft wichtiger Lieferant für innovatives Know-how.
- Staat und Gesellschaft: Im Auftrag von Bund und Ländern werden strategische Forschungsprojekte durchgeführt. Sie dienen der Förderung von Spitzen- und Schlüsseltechnologien oder Innovationen auf Gebieten, die von besonderem öffentlichen Interesse sind, wie Umweltschutz, Energietechniken und Gesundheitsvorsorge. Im Rahmen der Europäischen Union beteiligt sich die Fraunhofer-Gesellschaft an den entsprechenden Technologieprogrammen.

## Das Leistungsangebot

Die Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt Produkte und Verfahren bis zur Anwendungsreife. Dabei werden in direktem Kontakt mit dem Auftraggeber individuelle Lösungen erarbeitet. Je nach Bedarf arbeiten mehrere Fraunhofer-Institute zusammen, um auch komplexe Systemlösungen zu realisieren. Es werden folgende Leistungen angeboten:

- Optimierung und Entwicklung von Produkten bis hin zur Herstellung von Prototypen
- Optimierung und Entwicklung von Technologien und Produktionsverfahren

- Unterstützung bei der Einführung neuer Technologien durch:
  - Erprobung in Demonstrationszentren mit modernster Geräteausstattung
  - Schulung der beteiligten Mitarbeiter vor Ort
  - Serviceleistungen auch nach Einführung neuer Verfahren und Produkte
- Hilfe zur Einschätzung von Technologien durch:
  - Machbarkeitsstudien
  - Marktbeobachtungen
  - Trendanalysen
  - Ökobilanzen
  - Wirtschaftlichkeitsberechnungen
- Ergänzende Dienstleistungen, z. B.:
  - Förderberatung, insbesondere für den Mittelstand
  - Prüfdienste und Erteilung von Prüfsiegeln

## Die Standorte der Forschungseinrichtungen



# 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 dem Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD und dem Lehr- und Forschungsgebiet Experimentalphysik »Nano-Optik und Metamaterialien« 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 drei 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 vier 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 integrierte Optik, integrative Produktion, Abtragen - Modifizieren - Diagnose (AMD), Bohren und generative Verfahren tätig. Untersuchungen zur Integration von Hochleistungsdiodenlasern mit Wellenleiterlasern und strahlformenden optischen Komponenten sowie die Entwicklung neuartiger integrierter Leistungslaser stehen im Fokus der Aktivitäten in der integrierten Optik. Die Integration von optischen Technologien in die Produktion sowie die Produktion von optischen Systemen sind wesentlicher Bestandteil des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«.

Mit Ultrakurzpuls-Laserstrahlung werden sowohl Grundlagenexperimente durchgeführt als auch praxisrelevante Nano- und Mikro-Bauteile 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 Aufbauraten, das Mikrobeschichten, die Prozesskontrolle und -regelung sowie die Neu- und Weiterentwicklung der eigenen Anlagen- und Systemtechnik.

### Kontakt

Prof. Dr. Reinhart Poprawe M. A. (Leiter des Lehrstuhls)  
Telefon +49 241 8906-109  
Fax +49 241 8906-121  
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. Dr. Peter Loosen (Leiter des Lehrstuhls)  
Telefon +49 241 8906-162  
Fax +49 241 8906-121  
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.

Technische Systeme werden durch Anwendung und Erweiterung mathematisch-physikalischer und experimenteller Methoden untersucht. Mit der Analyse mathematischer Modelle wird 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. Dr. Wolfgang Schulz  
(Leiter des Lehr- und Forschungsgebiets)  
Telefon +49 241 8906-204  
Fax +49 241 8906-121  
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. Dr. Thomas Taubner  
Nano-Optik und Metamaterialien  
Telefon +49 241 80-20260  
Fax +49 241 80-620260  
taubner@physik.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 2011 angelegten Projekt beteiligt.

Der mit ca. 40 Mio. Euro 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.

### Ansprechpartner

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

Geschäftsstelle Exzellenzcluster  
Dr. Stefan Kozielski  
Telefon +49 241 80-27590  
s.kozielski@wzl.rwth-aachen.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 Mitarbeitern angesiedelter Unternehmen bietet der RWTH Aachen Campus eine völlig neue Form des Austausches 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, intensivere Form der Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Unternehmen entstehen, denn schon heute hat keine andere Universität in Europa mehr anwendungsorientierte Großinstitute als die RWTH Aachen.

Hinter allem steht das ganzheitliche Konzept: Forschen, Lernen, Entwickeln, Leben; denn der RWTH Aachen Campus schafft nicht nur die ideale, repräsentative 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 von 2010 bis 2012 findet die Erschließung und Bebauung von Campus Westbahnhof mit 4 Clustern statt. Die dritte Etappe von 2013 bis 2014 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.

Am 18. Februar 2010 wurde feierlich der erste Spatenstich zum RWTH Aachen Campus durch RWTH-Rektor Prof. Ernst M. Schmachtenberg und NRW-Ministerpräsident Dr. Jürgen Rüttgers gesetzt. 92 Unternehmen, davon 18 internationale Key-Player, haben sich zusammen mit 31 Lehrstühlen der RWTH und einem Lehrgebiet der FH Aachen zur langfristigen Kooperation und zur Ansiedlung auf dem RWTH Campus in Melaten verpflichtet. Davon sollen in der ersten Phase von 2010 bis 2012 acht bis zehn Gebäudekomplexe mit insgesamt 60.000 m<sup>2</sup> Bruttogrundfläche in folgenden sechs Clustern entstehen:

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

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

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

## Ansprechpartner

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



- 1 RWTH Aachen Campus I - Westbahnhof,  
 Skizze: RKW Rhode Kellermann Wawrowsky,  
 Düsseldorf.
- 2 RWTH Aachen Campus II - Melaten,  
 Skizze: rha reicher haase + assoziierte, Aachen.

# FORSCHUNGSERGEBNISSE 2010

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

- Laser und Optik 37 - 52
- Lasermaterialbearbeitung 53 - 106
- Medizintechnik und Biophotonik 107 - 116
- Lasermesstechnik 117 - 127

### ***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

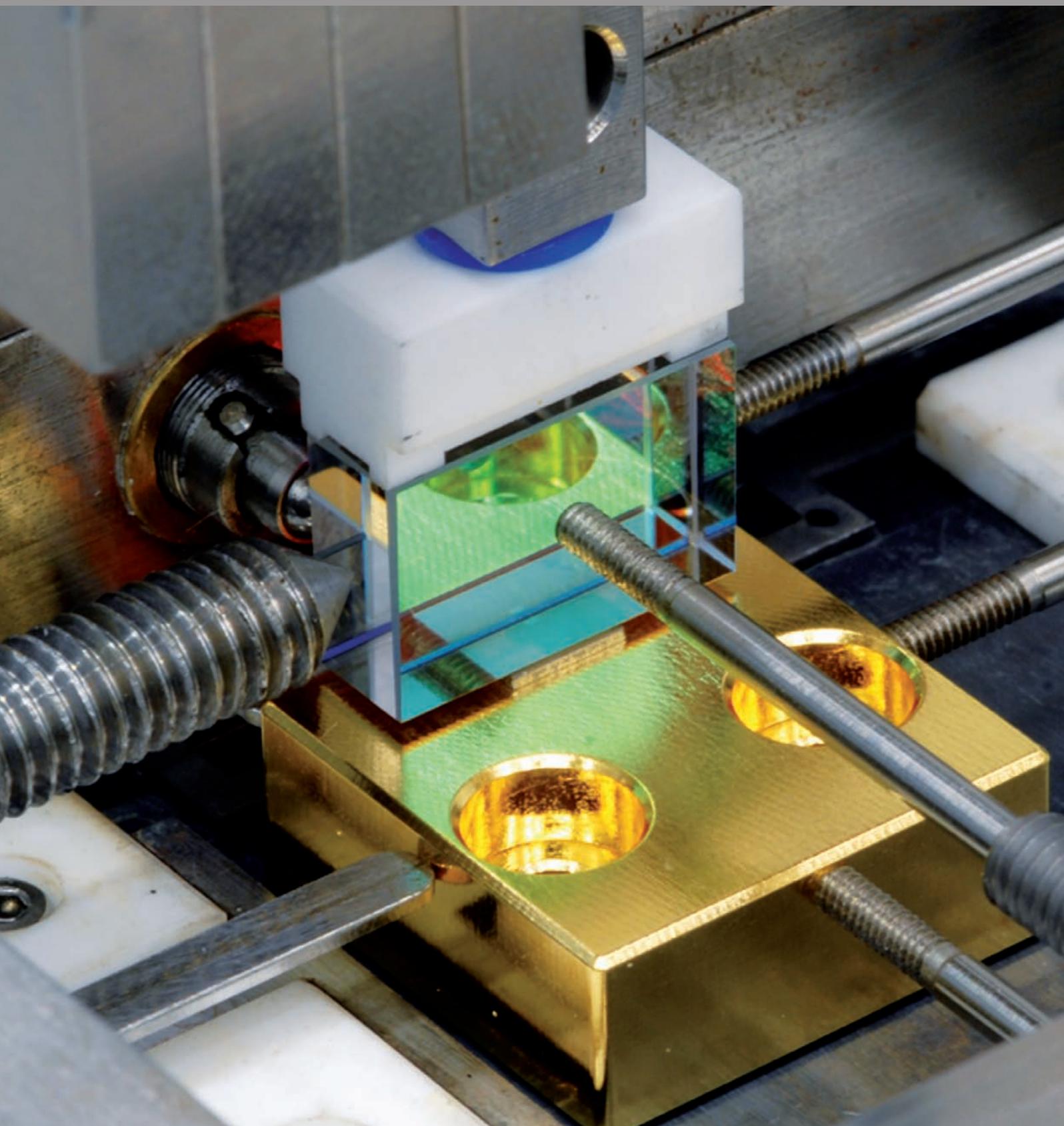
---

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.

# LASER UND OPTIK

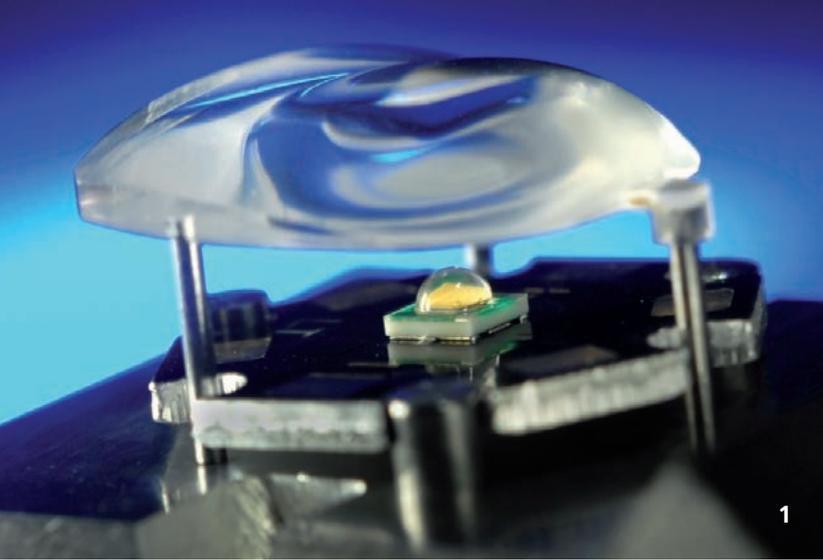


---

## INHALT

---

Algorithmen zur Auslegung hocheffizienter Freiformoptiken	40
Anamorphotische Bearbeitungsoptik für Hochleistungsdiodenlaser-Systeme	41
Lichtwellenleiter zur Strahlformung und Strahlführung	42
Thermo-optische Simulation für optische Systeme	43
Optisch parametrische Erzeugung infraroter Laserstrahlung	44
Charakterisierung von ppSLT-Kristallen für die effiziente Frequenzverdopplung infraroter Laserstrahlung	45
Kompakte SHG-Stufe für gepulste Faserlaser	46
Nd:YLuGG-basierte Laser für H <sub>2</sub> O-Dial-Systeme	47
Nd:YVO <sub>4</sub> -basierter 250 W Pikosekunden-Verstärker	48
Monolithischer, kontradirektional gepumpter Linear- Faserverstärker variabler Pulsdauer und Repetitionsrate	49
Gewinngeschalteter Faserlaser im Einzelpulsbetrieb	50
1,1 kW Yb:INNOSLAB Femtosekunden-Verstärker	51
Passive Montage optischer Komponenten mittels Reflow-Lötprozess	52



---

## ALGORITHMEN ZUR AUSLEGUNG HOCHEFFIZIENTER FREIFORMOPTIKEN

---

### Aufgabenstellung

Brechende und reflektierende Oberflächen, die sich von sphärischen und asphärischen Geometrien deutlich unterscheiden, haben sich unter der Bezeichnung »Freiformoptik« in Forschung und Entwicklung etabliert. Ihre Auslegung folgt nicht mehr notwendigerweise den Konzepten abbildender Optik sondern zielt auf die Umverteilung von Energie durch Lichtbrechung und -reflexion. Optimierungsziel ist in der Regel eine maßgeschneiderte Leistungsdichteverteilung bei gleichzeitiger Maximierung der nutzbaren Lichtleistung. Dieses Ziel ist mit einer minimalen Zahl optisch wirksamer Flächen umzusetzen. Als Strahlungsquelle dienen Leuchtdioden oder Laserdiodenarrays. Obwohl diese meist eine erheblich höhere Brillanz als Glüh- und Entladungslampen aufweisen, kann mit guter Näherung von einer inkohärenten Emission ausgegangen werden.

- 1 *Prototyp eines Moduls für Architekturbeleuchtung.*  
2 *Hocheffiziente Straßenleuchte.*

### Vorgehensweise

Ein Hauptaugenmerk der Forschung liegt auf der effizienten Beschreibung der brechenden Oberfläche, so dass mit einer niedrigen Parameteranzahl eine optimale Optik beschrieben werden kann. Prinzipien der Differentialgeometrie und der Computergraphik werden so mit optischen Auslegungsalgorithmen zusammengeführt.

### Ergebnis

Durch den Einsatz maßgeschneiderter Freiformoptiken kann der Energieaufwand in Straßen- und Allgemeinbeleuchtung deutlich reduziert werden, zusätzlich erhöht sich die Flexibilität der Ausleuchtung. Erste Prototypenmodule wurden ausgelegt und werden in Kooperation mit den Aachener Stadtwerken in realen Anwendungsszenarien vermessen.

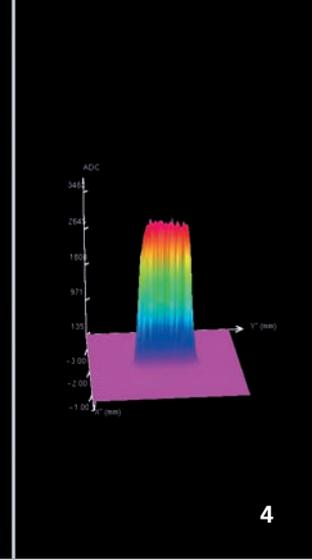
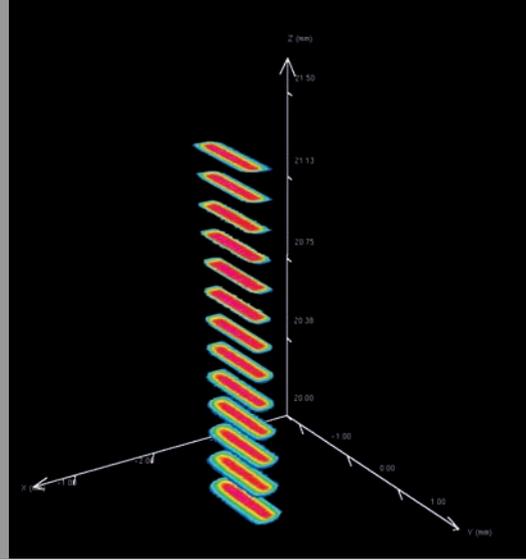
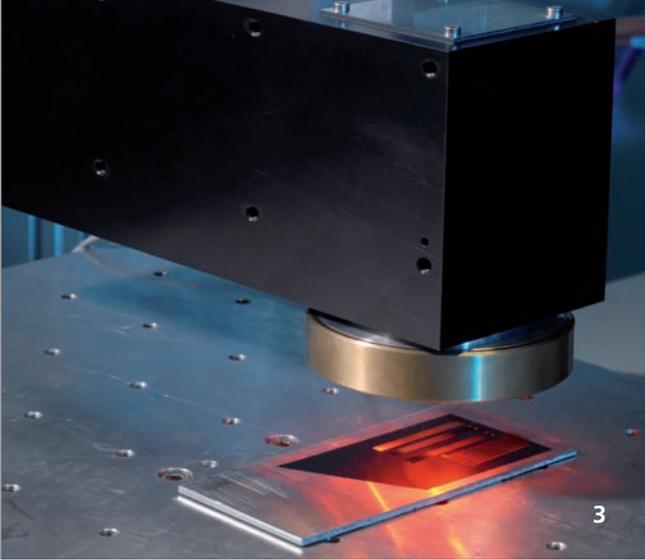
### Anwendungsfelder

Die am Fraunhofer ILT entwickelten Algorithmen lassen sich für weitere Anwendungsfälle verallgemeinern, beispielsweise Automobilbeleuchtung, Prozesssensorik und Lasermaterialbearbeitung.

### Ansprechpartner

Axel Bäuerle M.Sc.  
Telefon +49 241 8906-597  
axel.baeyerle@ilt.fraunhofer.de

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



## ANAMORPHOTISCHE BEARBEITUNGSOPTIK FÜR HOCHLEISTUNGSDIODEN-LASER-SYSTEME

### Aufgabenstellung

Für die Strahlformung von Hochleistungsdiodenlasern sind Optiken mit geringen Leistungsverlusten erforderlich. Gleichzeitig müssen die Anforderungen an die Leistungsdichteverteilung im Fokus der Optik genau erfüllt werden. Die hier beschriebene Optik fokussiert Laserstrahlung aus einem quadratischen Faserkern ( $400 \times 400 \mu\text{m}^2$ ) in einem rechteckigen Spot ( $1000 \times 200 \mu\text{m}^2$ ). Die Leistungsverteilung soll möglichst homogen sein.

### Vorgehensweise

Die Optik besteht aus drei Elementen: einer Kollimationseinheit aus sphärischen Linsen, einem Zylinderteleskop zur Anpassung des Aspektverhältnisses und einer ebenfalls sphärischen Fokussiereinheit. In der gesamten Optik werden ausschließlich Kataloglinen verwendet. Zwischen Zylinderteleskop und Fokussiereinheit befindet sich ein dichroitischer Spiegel, der wahlweise eine Prozessbeobachtung mit einer Kamera oder pyrometrische Messungen ermöglicht. Zur Prozessbeobachtung kann eine LED-Beleuchtung an der Optik angebracht werden.

### Ergebnis

Die Optik erreicht eine gesamt Transmission von 88,4 Prozent (durch 14 optische Elemente). Die Leistungsverteilung erfüllt wie auf Bild 4 zu erkennen die Anforderungen des rechteckigen  $1000 \times 200 \mu\text{m}^2$  Fokus mit homogener Verteilung.

### Anwendungsfelder

Eine Bearbeitungsoptik mit rechteckigem Fokus ist für viele Anwendungen der Oberflächentechnik geeignet. Beispiele sind Lasersysteme für die Reinigung von Oberflächen oder das örtlich begrenzte Härten von Metallen.

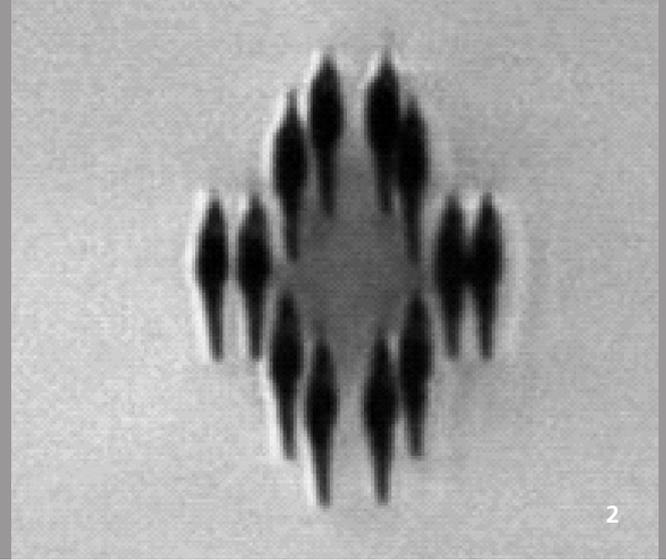
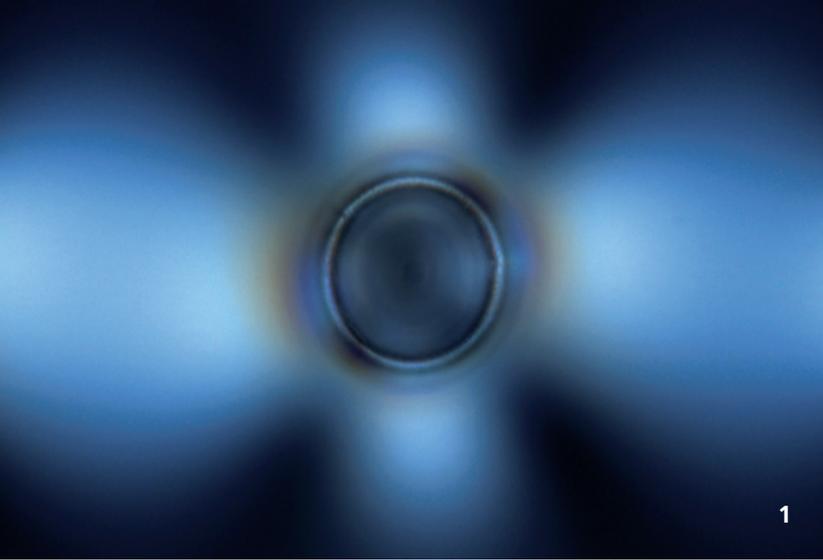
### Ansprechpartner

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

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

3 Anamorphotische Optik.

4 Leistungsdichteverteilung im Fokus.



## LICHTWELLENLEITER ZUR STRAHLFORMUNG UND STRAHLFÜHRUNG

### Aufgabenstellung

Mit wellenleitenden Strukturen in transparenten Dielektrika können kompakte Bauteile zur Strahlformung und Strahlführung hergestellt werden. Durch Auslegung der Wellenleiter kann Laserstrahlung für die individuelle Aufgabe maßgeschneidert werden. Aufwändige Linsensysteme und Frequenzfilter können durch eine integrierte Lösung ersetzt werden. Wellenleiter können mit mikrofluidischen Komponenten und Gittern zu integrierten Systemen kombiniert werden.

### Vorgehensweise

Im Volumen eines transparenten Materials wird mit fokussierter Femtosekunden-Laserstrahlung eine lokale Brechungsindexänderung induziert. Diese Modifikationen können mit Auflösung im Mikrometerbereich in drei Dimensionen generiert werden. Innerhalb solcher Strukturen kann Licht dämpfungsarm geführt und geformt werden. Aufgrund nichtlinearer Absorptionsprozesse sind Volumenwellenleiter in nahezu jedem transparenten Material wie beispielsweise Glas, Kunststoff oder kristallinen Medien möglich.

### Ergebnis

Gekrümmte Wellenleiter mit Durchmessern von wenigen  $\mu\text{m}$  und Krümmungsradien von 0,5 bis 2 mm, die Licht bis zu  $90^\circ$  umlenken, sind in Borosilikatglas geschrieben worden. Das Fernfeld eines solchen Wellenleiters weist eine numerische Apertur von etwa 0,1 auf. Gerade Wellenleiter mit einem Durchmesser von bis zu  $40 \mu\text{m}$  sind hergestellt worden. Elliptische Laserdiodenstrahlung ist durch Wellenleiter mit kreisförmigem Querschnitt in ein rundes Strahlprofil umgewandelt worden.

### Anwendungsfelder

Wellenleiter mit rundem Querschnitt können zur Strahlformung von Laserdioden eingesetzt werden. Optische Systeme werden auf diese Weise kompakter und flexibler. In Kombination mit mikrofluidischen Komponenten sind biomedizinische Anwendungen möglich. Dazu arbeiten wir gegenwärtig an der Reduktion der Verluste in den Wellenleitern.

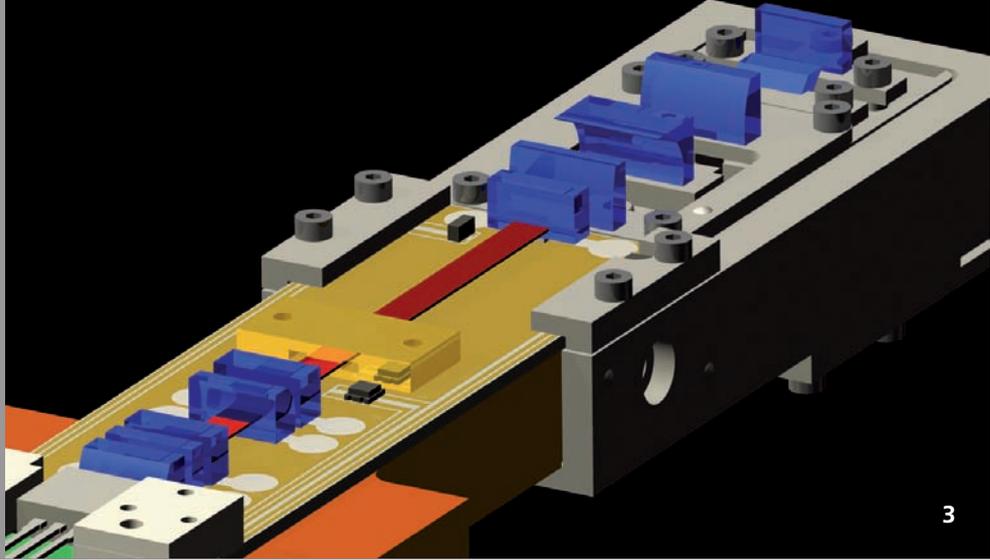
### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Dennis Beckmann  
Telefon +49 241 8906-632  
dennis.beckmann@ilt.fraunhofer.de

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

1 Wellenleiter mit kreisförmigem Querschnitt.

2 Wellenleiter mit hexagonalem Querschnitt.



## THERMO-OPTISCHE SIMULATION FÜR OPTISCHE SYSTEME

### Aufgabenstellung

Derzeitige kommerziell erhältliche Raytracing Software bietet nur eingeschränkt die Möglichkeit, thermische und mechanische Einflüsse bei der Optikauslegung und Optimierung zu berücksichtigen. Insbesondere bei Laseranwendungen führt die inhomogene Erwärmung der optischen Komponenten zu thermischer Linsenwirkung und damit zu einer Fokussverschiebung im Betrieb. Um dem entgegenzuwirken, ist eine Auslegung für einen Betriebspunkt oder einen Betriebsbereich denkbar, welche durch Berücksichtigung thermischer Effekte bereits in der Simulation erreicht werden kann.

### Vorgehensweise

Zur gekoppelten Modellierung von Thermik und Optik ist die Erstellung einer geeigneten Schnittstelle zwischen zwei unterschiedlichen Simulationswerkzeugen notwendig. Realisiert wurde dies zwischen der FEM Software Ansys Workbench und der Raytracing Software Zemax, wobei die Vorgehensweise mehrere Schritte umfasst. Die erste Auslegung mit Hilfe von Raytracing Software geschieht unter Vernachlässigung thermischer Einflüsse. Die daraus errechneten Absorptionswerte dienen der thermischen FEM-Simulation als Anfangsbedingung. Die resultierende Temperaturverteilung wird aufbereitet und interpoliert und liefert dem Raytracing ein entsprechendes Brechzahlprofil. Ein iterativer Prozess kann die Wechselwirkung der Effekte berücksichtigen und das Ergebnis optimieren.

### Ergebnis

Mit der am Fraunhofer ILT entwickelten Schnittstelle lassen sich thermische Effekte in optischen Komponenten simulieren und in ein für das Raytracing verständliches Format transferieren. Für einen Laserkristall in Slabgeometrie konnte diese Schnittstelle bereits genutzt und mit Hilfe analytischer Lösungen abgeglichen werden.

### Anwendungsfelder

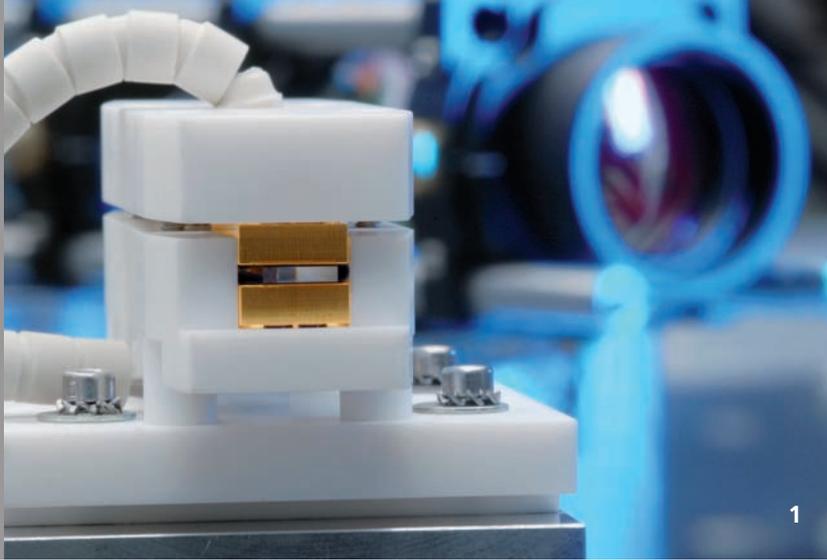
Anwendung findet diese Schnittstelle bei der Auslegung einer Zoomoptik zur Kompensation thermischer Linsenwirkung. Darüber hinaus können auch weitere Anwendungsfelder von dieser Berechnungsmethode profitieren. Insbesondere bei multi-kW-Lasersystemen mit hohen auftretenden Temperatur- und Brechzahlgradienten im Betriebspunkt können gekoppelte thermo-optische Simulationen die Auslegung optimieren.

### Ansprechpartner

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Alexander Gatej  
Telefon +49 241 8906-614  
alexander.gatej@ilt.fraunhofer.de

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

3 *Slablaser mit Kompensationseinheit  
der thermischen Linse.*



## OPTISCH PARAMETRISCHE ERZEUGUNG INFRAROTER LASERSTRAHLUNG

### Aufgabenstellung

Zur Erzeugung von Laserstrahlung im infraroten Spektralbereich wurde ein optisch parametrischer Generator (OPG) entwickelt und realisiert. Dieses abstimmbare System erzeugt Wellenlängen zwischen 1,7  $\mu\text{m}$  und 2,8  $\mu\text{m}$  bei mittleren Leistungen bis zu 20 W und kann damit als Pumpquelle für weitere Konversionsstufen oder Verstärker eingesetzt werden.

### Vorgehensweise

Als Pumpquelle wird ein ps-Laser bei 1064 nm eingesetzt. Bei einer Repetitionsrate von 20 MHz steht eine mittlere Leistung von 25 W zur Verfügung. Der Pumpstrahl wird mit einer geeigneten Optik in einen 50 mm langen periodisch gepolten Lithium-Niobat Kristall (PPLN) fokussiert. Die Polungsperiode des Kristalls ist so gewählt, dass die Quasiphasenanpassung für die optisch-parametrische Erzeugung der Signal- und Idlerwelle im MIR (mittlerer Infrarotbereich) erfüllt ist. Die Wellenlängen der erzeugten Strahlung können dabei mit der Temperatur des PPLN-Kristalls durchgestimmt werden, in diesem Fall zwischen 1,7  $\mu\text{m}$  und 2,0  $\mu\text{m}$  (Signal) bzw. 2,3  $\mu\text{m}$  und 2,8  $\mu\text{m}$  (Idler). Besondere Beachtung ist dabei der homogenen Temperaturverteilung im Kristall beizumessen, die für eine hohe Konversionseffizienz unerlässlich ist.

### Ergebnis

Abhängig von den eingestellten Wellenlängen wurden mehr als 77 Prozent der Pumpleistung ins Infrarot konvertiert. Signal und Idlerwelle erreichen mittlere Leistungen von 12,5 W bzw. 6,8 W bei Leistungsfluktuationen kleiner 1 Prozent. Die erreichte Effizienz und die Leistungsstabilität hängen dabei erheblich von der Ausführungsform des Kristallofens ab. Weitere wesentliche Einflüsse haben die räumlichen Pumpstrahlparameter sowie die Pumpstrahlstabilität.

### Anwendungsfelder

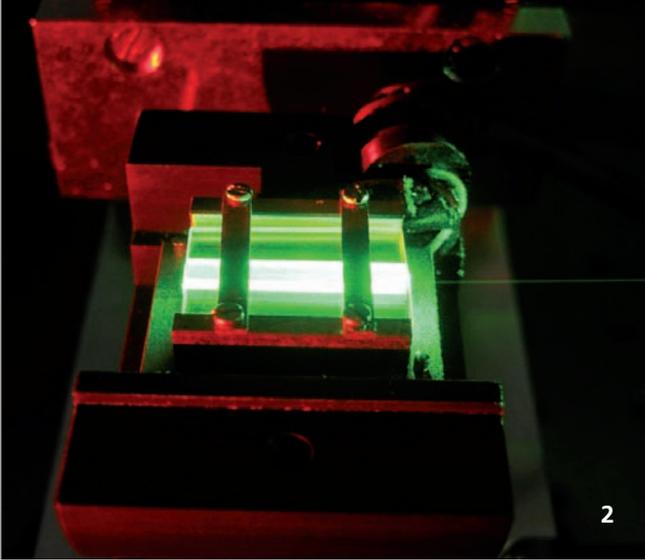
Die entwickelte Laserstrahlquelle wird als Pumpe für weitere nichtlineare Konversionsstufen für breitbandige und abstimmbare Laserstrahlung im MIR genutzt. Der spektrale Bereich im mittleren Infrarot zwischen 5  $\mu\text{m}$  und 12  $\mu\text{m}$  stellt in der Materialanalytik die sogenannte Finger-Print-Region dar. In diesem Bereich liegen Absorptionsbanden, die eine eindeutige Unterscheidung von Materialien ermöglichen.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Jochen Wüppen  
Telefon +49 241 8906-303  
jochen.wueppen@ilt.fraunhofer.de

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

1 Kristallofen für OPG Kristall.



## CHARAKTERISIERUNG VON PPSLT-KRISTALLEN FÜR DIE EFFIZIENTE FREQUENZ- VERDOPPLUNG INFRAROTER LASERSTRAHLUNG

### Aufgabenstellung

Zur Frequenzverdopplung gepulster infraroter Strahlung mit niedriger Pulsleistung werden periodisch gepolte Kristalle eingesetzt. Durch das Prinzip der Quasi-Phasenanpassung können hier sehr hohe effektive Nichtlinearitäten genutzt werden. Zudem erfährt die Strahlung keinen Walk-off, wodurch der Einsatz langer Kristalle ohne negative Einflüsse auf die Strahlqualität ermöglicht wird. Die Konversionseffizienz hängt jedoch maßgeblich von der Qualität der hergestellten Polungsstruktur ab. Periodisch gepoltes stöchiometrisches Lithium Tantalat (ppSLT) zeigt gegenüber Lithium Niobat eine höhere Resistenz gegenüber photorefraktiver Schädigung. Hier werden ppSLT-Kristalle von vier verschiedenen Herstellern unter reproduzierbaren Bedingungen verglichen.

### Vorgehensweise

Die verwendeten Kristalle weisen alle eine Länge von 10 mm und eine Polungsperiode von  $8 \mu\text{m}$  für die Frequenzverdopplung von 1064 nm nach 532 nm auf und werden für die Untersuchungen in einem Thermostaten betrieben. Eine Verstellmechanik ermöglicht eine hochaufgelöste Translation der Probe entlang der transversalen und der longitudinalen Achse sowie das Verstimmen des Einfallswinkels in polarer und azimuthaler Richtung. Als gepulste Strahlungsquelle wird ein Mikrochip Laser mit 40 mW mittlerer Leistung und 6 kW

Pulsspitzenleistung eingesetzt. Für den Fall optimaler Phasen-anpassung und eine mittige Positionierung des Laserstrahls bzgl. der Kristallapertur wird die Konversionseffizienz für verschiedene Fokusradien gemessen. Weiterhin werden die Temperatur- und Winkelakzeptanzen sowie die transversale Homogenität der Kristalle untersucht.

### Ergebnis

Die maximal erzielten Konversionseffizienzen liegen je nach Kristall zwischen 60 Prozent und 80 Prozent. Weiterhin zeigen sich deutliche Unterschiede in der Homogenität der Polungsstruktur. Die Abweichungen der Konversionseffizienz entlang beider Transversalkoordinaten liegen zwischen 1 Prozent und 30 Prozent. Die Temperatur- und Winkelakzeptanzen zeigen Abweichungen von 1 Prozent und 10 Prozent zu den theoretischen Referenzwerten.

### Anwendungsfelder

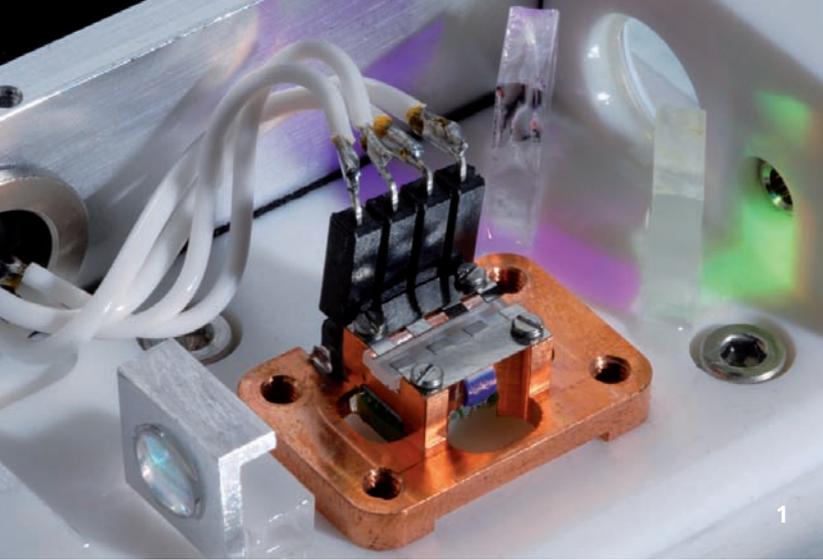
Für die Frequenzverdopplung von Laserstrahlung geringer Pulsleistung in den sichtbaren Wellenlängenbereich können Konverter auf Basis von ppSLT bis zu mittleren Leistungen von einigen Watt eingesetzt werden.

### Ansprechpartner

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

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

2 *Periodisch gepoltes stöchiometrisches  
Lithium Tantalat.*



## KOMPAKTE SHG-STUFE FÜR GEPULSTE FASERLASER

### Aufgabenstellung

Ziel der hier vorgestellten Untersuchung ist die Entwicklung eines kompakten Moduls für die Konversion von infraroter Faserlaserstrahlung mit moderater Pulsleistung in den grünen Wellenlängenbereich.

### Vorgehensweise

Als infrarote Strahlungsquelle wird ein kommerziell verfügbarer Faserlaser mit einer Wellenlänge von 1064 nm, einer Pulsleistung von 25 kW und einer mittleren Leistung von etwa einem Watt eingesetzt. Bei diesen Laserparametern können für die Frequenzverdopplung vorteilhaft periodisch gepolte Kristalle verwendet werden. Für die Auslegung des Konvertermoduls werden die spektralen, räumlichen, zeitlichen und energetischen Eigenschaften des Lasers experimentell ermittelt und dienen als Eingangsgrößen für die Simulation des nichtlinearen Prozesses. Auf Basis der Modellierung wird ein geeigneter Arbeitspunkt für den Betrieb identifiziert, der sich durch eine hohe Konversionseffizienz bei gleichzeitig geringer Belastung der Komponenten auszeichnet. Hierauf aufbauend wird eine kompakte Optik für die Abbildung der Faserlaserstrahlung in den nichtlinearen Kristall ausgelegt. Dabei kann das Konvertermodul ohne optische Isolation der Faserendstufe eingesetzt werden. Der nichtlineare Kristall wird in einem kompakten Thermostaten gehalten, der eine Temperaturstabilität deutlich besser 0,1 °C gewährleistet.

### Ergebnis

Der Faserlaser wird bei einer Wiederholrate von 50 kHz betrieben. Dabei werden im Infraroten bis zu 1,2 W Ausgangsleistung bei nahezu beugungsbegrenzter Strahlqualität und einer spektralen Bandbreite von weniger als 140 pm bereitgestellt. Die Pulsdauer beträgt etwa eine Nanosekunde. Die SHG-Stufe liefert bei einer Konversionseffizienz von 50 Prozent und beugungsbegrenzter Strahlqualität mehr als 500 mW Ausgangsleistung bei 532 nm.

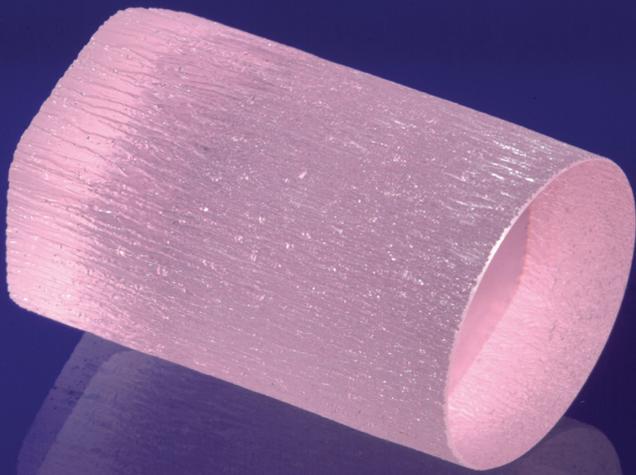
### Anwendungsfelder

Die hier vorgestellte Entwicklung erweitert das Applikationsspektrum gepulster Faserlaser, um Nachfragen aus den Bereichen Fernerkundung, Medizintechnik und Markierung zu bedienen. Zusätzlich sind die Ergebnisse auch auf die Frequenzkonversion neuartiger Festkörperlaser mit ähnlichen Pulsparametern übertragbar.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Bernd Jungbluth  
Telefon +49 241 8906-414  
bernd.Jungbluth@ilt.fraunhofer.de

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



2

## ND:YLU GG-BASIERTE LASER FÜR H<sub>2</sub>O-DIAL-SYSTEME

### Aufgabenstellung

Die Kenntnis der globalen Verteilung von Wasserdampfdichten in der Atmosphäre ist eine wichtige Grundlage für Klimaforschung und numerische Wettervorhersagen. Mit Hilfe von satellitenbasierten DIAL-Systemen (Differenz-Absorptions-LIDAR) lassen sich prinzipiell Gasdichten mit hoher lateraler Auflösung bestimmen. Bislang wurden die Anforderungen an ein Wasserdampf-DIAL-Instrument im Rahmen einer ESA-Studie mit dem Namen WALES untersucht. Demnach müssen für eine fehlerarme Messung im Bereich der gesamten Troposphäre spektral schmalbandige Laserpulse mit einer Linienbreite von weniger als 160 MHz und einer Pulsenergie von etwa 70 mJ bei einer Pulsdauer von weniger als 200 ns bei vier unterschiedlichen Vakuumwellenlängen im Bereich von 935,561 bis 935,906 nm erzeugt werden. Abstimmbare Strahlquellen auf Basis von Ti:Saphir- oder OPO-Technologie weisen eine vergleichsweise geringe Effizienz und hohe Komplexität auf. Zur direkten Erzeugung dieser Wellenlängen sollen alternativ unterschiedliche Mischgranate  $\text{Nd:Y}_x\text{Lu}_{3-x}\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  ( $0 \leq x \leq 3$ ) untersucht werden.

### Vorgehensweise

Kristalle mit unterschiedlichem Mischungsverhältnis  $x$  wurden spektral untersucht und im gütegeschalteten Resonator eingesetzt. Desweiteren wurden Experimente im longitudinalen Einmodenbetrieb durchgeführt. Die entsprechenden Laserkristalle wurden hierbei erstmals durch das Kristallforschungsinstitut FEE in Abstimmung mit dem Fraunhofer ILT gezüchtet.

### Ergebnis

Mit dem Mischgranat  $\text{Nd:}(\text{Y}_{0,58}\text{Lu}_{0,42})_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  konnte ein Abstimmbereich (Vakuumwellenlänge) von 935,4 bis 936,0 nm im longitudinalen Einmodenbetrieb demonstriert werden. Mit einem gütegeschalteten Resonator wurden bei einer Wiederholrate von 100 Hz Pulse mit einer Pulsenergie von 6,6 mJ im transversalen Grundmode erzeugt. Dabei betrug die optische Effizienz (Pumpleistung zu Laserleistung) im longitudinalen Mehrmodenbetrieb 10 Prozent. Diese Ergebnisse sind Grundlage für eine weitergehende Energieskalierung in den 70 mJ-Bereich mit Hilfe von INNOSLAB-Verstärkerstufen.

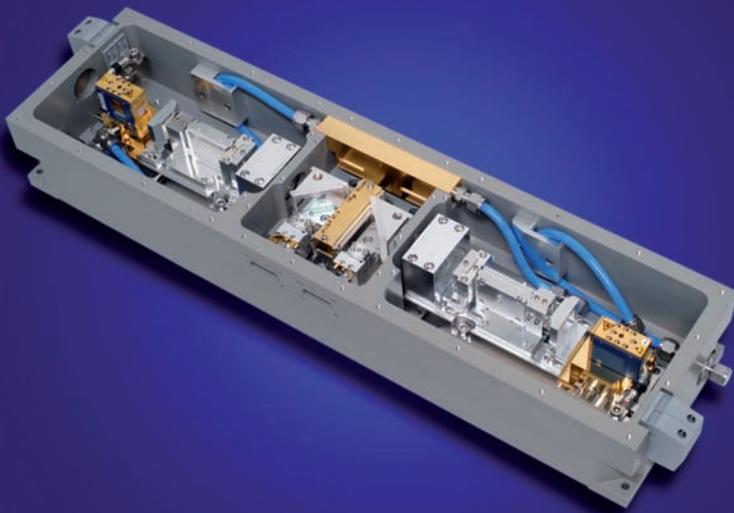
### Anwendungsfelder

Neben dem Einsatz eines Nd:YLuGG-basierten Systems im Rahmen von WALES lassen sich allgemein durch angepasste Laserkristalle anwendungsspezifische Wellenlängen adressieren. Dies verlangt jeweils eine präzise Analyse der Kristalleigenschaften sowie ein angepasstes Design des Lasersystems.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Jens Löhring  
Telefon +49 241 8906-673  
jens.loehring@ilt.fraunhofer.de

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



## ND:YVO<sub>4</sub>-BASIERTER 250 W PIKOSEKUNDEN-VERSTÄRKER

### Aufgabenstellung

Laserabtragverfahren, bei denen über ein flächiges Scannen durch Sublimieren oder Schmelzen des Werkstoffs dreidimensionale Mikrostrukturen erzeugt werden, zeichnen sich durch ein Höchstmaß an Flexibilität hinsichtlich der zu erzeugenden Strukturen und der bearbeitbaren Werkstoffe aus. Diese Technik hat sich aufgrund der limitierten Laserleistung bisher nur für kleine Abtragsvolumina, z. B. in der Mikrowerkzeugtechnik oder in der Drucktechnik bei Kunststoffdruckwalzen bzw. bei speziellen Beschichtungen, etabliert.

Im Verbundprojekt PIKOFILAT soll durch die Entwicklung eines Hochleistungs-Pikosekundenlasers mit einer mittleren Ausgangsleistung bis 400 W die Laserabtragtechnik auch für die Strukturierung großer Bauteile aus beinahe beliebigen Werkstoffen nutzbar gemacht werden.

### Vorgehensweise

In Zusammenarbeit mit der LUMERA LASER GmbH wird dazu ein MOPA-Lasersystem bestehend aus einem von LUMERA entwickelten Master Oszillator und einem vom Fraunhofer ILT entwickelten INNOSLAB-Leistungsverstärker aufgebaut. Der Leistungsverstärker zeichnet sich insbesondere durch eine kompakte Bauform und durch eine in weiten Grenzen wählbare Parameterkombination von Pulsfolgefrequenz, Pulsenergie und mittlerer Leistung aus. Durch die Wahl von Nd:YVO<sub>4</sub> als

Verstärkungsmedium kann prinzipiell die Ausgangsleistung einer breiten Auswahl am Markt erhältlicher ps und ns Laser in den Bereich über 100 W verstärkt werden.

### Ergebnis

Bei einer Eingangsleistung von weniger als 3,6 W werden mit einer doppelseitig gepumpten INNOSLAB Verstärkerstufe folgende Werte ( $f$  = Pulsfolgefrequenz,  $P$  = mittlere Leistung,  $E$  = Pulsenergie) langzeitstabil erreicht:

- $f = 500 \text{ kHz}$ ,  $P = 160 \text{ W}$ ,  $E = 320 \mu\text{J}$
- $f = 1 \text{ MHz}$ ,  $P = 225$ ,  $E = 225 \mu\text{J}$
- $f = 10,7 \text{ MHz}$ ,  $P = 250 \text{ W}$ ,  $E = 25 \mu\text{J}$

Über den gesamten Parameterbereich wird eine Strahlqualität von  $M^2 < 1,5$  gemessen.

### Anwendungsfelder

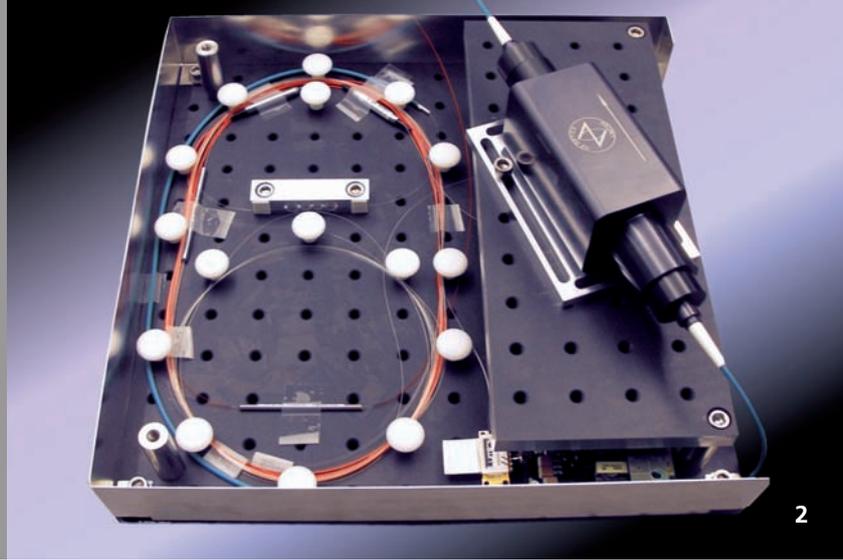
- Strukturierung von Spritzguss-Werkzeugen zur Erzeugung dekorativer und haptischer Oberflächen
- Strukturierung großflächiger dreidimensionaler Abformwerkzeuge, z. B. Prägeformen für Kunststoffbauteile
- Strukturierung von Prägewalzen
- Volumenabtrag von Glas

Die Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF unter dem Kennzeichen 13N9571 gefördert.

### Ansprechpartner

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

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



## MONOLITHISCHER, KONTRA-DIREKTIONAL GEPUMPTER LINEAR-FASERVERSTÄRKER VARIABLER PULSDAUER UND REPETITIONSRATE

### Aufgabenstellung

Die Entwicklung gepulster Faserverstärkersysteme in verschiedenen Pulsdauerbereichen von wenigen Pikosekunden bis zu Mikrosekunden und Repetitionsraten von einzelnen Kilohertz bis in den Megahertzbereich sind Teil des vom BMBF geförderten Forschungsprojekts FAZIT. Innerhalb dieses Rahmens soll ein einstufiger, linear polarisierter, faserintegrierter Linearverstärker mit kleinem Formfaktor in Grundmode-Strahlqualität entwickelt werden.

### Vorgehensweise

Das zeitlich modulierte Signal mit einer Wellenlänge von 1064 nm wird mit Hilfe einer Dioden-Treiberschaltung und einer Grundmode-Laserdiode erzeugt und gesteuert. Zur Verstärkung wird die 5 m lange, aktive Faser kontradirektional, d. h. der Signalrichtung entgegen, über einen Faserschmelzkoppler mit einer Wellenlänge von etwa 915 nm gepumpt.

### Ergebnis

Der fertiggestellte Demonstrator wurde in einer einzelnen Stufe realisiert und ist vollständig faserintegriert. Innerhalb der frei einstellbaren Pulsdauer von 10 ns bis 1  $\mu$ s und Repetitionsrate von 20 kHz bis 500 kHz ist der Betrieb bei Tastgraden von 1:1000 bis 1:25 möglich. Dabei wird eine mittlere Leistung von bis zu 2 W und eine Pulsspitzenleistung im Kilowattregime erreicht. Ein Polarisationsgrad von mehr als 30 dB und ein Signal-zu-Rausch-Verhältnis von mehr als 20 dB runden das geforderte Spezifikationsprofil ab.

### Anwendungsfelder

Der Faserverstärker dient in erster Linie als Seedquelle für weitere Hochleistungsverstärkerstufen, ist jedoch ebenso als eigenständige Strahlquelle für Aufgaben in der Materialbearbeitung wie beispielsweise Beschriften, Markieren oder Mikrostrukturieren sowie in der Messtechnik oder Medizintechnik einsetzbar.

Diese Arbeiten wurden durch das BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N9671 gefördert.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Patrick Schäfer  
Telefon +49 241 8906-623  
patrick.schaefer@ilt.fraunhofer.de

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



1 Faserintegrierter, gewinngeschalteter Faserlaser.

## GEWINNGESCHALTETER FASERLASER IM EINZELPULSBETRIEB

### Aufgabenstellung

Gepulste Faserlasersysteme bestehen in der Regel aus gütegeschalteten Faserlasern oder linearen Faserverstärkern, in denen die Strahlung gepulster Laserdioden in mehreren Stufen hochverstärkt wird. Ein neues und einfaches Konzept zur Erzeugung von Pulsen im Bereich von einigen 100 ns, insbesondere bei niedrigen Repetitionsraten bis hinunter in den Einzelpulsbetrieb, ist der gewinngeschaltete Faserlaser, bei dem die Signimpulse durch einen gepulsten Betrieb der Pumpquellen erzeugt werden

### Vorgehensweise

Zur Untersuchung dieses innovativen Ansatzes sollen neben der analytischen und numerischen Modellierung monolithische, gewinngeschaltete Faserlaser aufgebaut werden, die mit gepulsten Diodenlasermodulen gepumpt werden. Zur Realisierung des Einzelschussbetriebs ist dazu eine ausreichend leistungsstarke und brillante Pumpquelle notwendig, die die erforderliche Energie liefert, um den Faserlaser mit einem Pumpimpuls so weit über die Laserschwelle zu bringen, dass keine Beeinflussung der einzelnen Pulse z. B. über eine in der Faser verbleibende Restinversion erfolgt.

### Ergebnis

Basierend auf einem am Fraunhofer ILT entwickelten gepulsten und fasergekoppelten Pumpmodul, bestehend aus vier geometrisch überlagerten und polarisationsgekoppelten

Breitstreifenemittern, wurde ein gewinngeschalteter Grundmode-Faserlaser aufgebaut. Der faserintegrierte Resonator besteht aus einer aktiven, Ytterbium-dotierten Faser mit 6  $\mu\text{m}$  Kerndurchmesser und zwei Faser-Bragg-Gittern. Mit einer Pumpenergie von ca. 170  $\mu\text{J}$  und Repetitionsraten von unter 200 Hz konnte der Einzelpulsbetrieb verifiziert werden. Dabei wurde eine pumpleistungsbegrenzte Signalenergie von 28  $\mu\text{J}$  bei einer Pulsdauer von 250 ns und einer Steigungseffizienz von 44 Prozent erreicht. Aufgrund des gepulst gepumpten Resonators tritt keine verstärkte spontane Emission (ASE) auf, wodurch das Signal-zu-Rausch-Verhältnis bei mehr als 50 dB liegt und die spektrale Breite des Signals bei 1080 nm weniger als 1 nm beträgt. Neben dem Bereich der niedrigen Repetitionsraten von einigen Hz konnten mit diesem Konzept auch Repetitionsraten von bis zu 50 kHz demonstriert werden.

### Anwendungsfelder

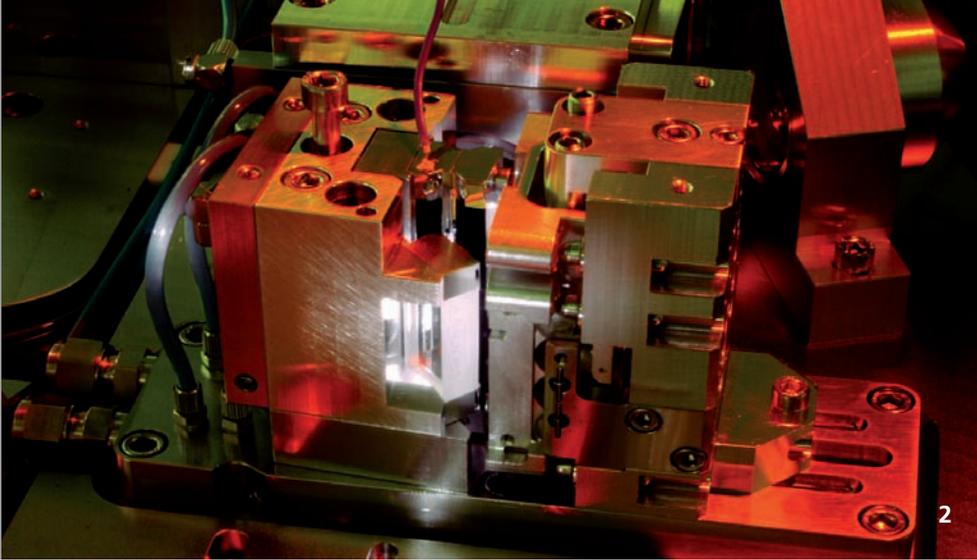
Aufgrund ihres einfachen und vollständig faserintegrierten Aufbaus und ihrer guten Strahlqualität bei Spitzenleistungen von einigen hundert Watt bis in den kW-Bereich können gewinngeschaltete Faserlaser sowohl zur Direktanwendung wie dem Mikrobohren und Markieren als auch als Seedquelle nachfolgender Faserverstärkersysteme eingesetzt werden.

Diese Arbeiten wurden durch das BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N9671 gefördert.

### 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



## 1,1 KW Yb:INNOSLAB FEMTOSEKUNDEN-VERSTÄRKER

### Aufgabenstellung

Die Vorteile von ultrakurzen Pulsen in Hinblick auf präzisen Abtrag sind in vielen Bereichen der Lasermaterialbearbeitung anerkannt. Wirtschaftliche Gründe, d. h. Kosten pro Watt, Wartungsanforderungen und Prozessgeschwindigkeit, verhindern bisher noch den breiten industriellen Einsatz. Durch Skalierung der mittleren Leistung in den Bereich einiger 100 W ohne Erhöhung der Komplexität kann diese Einschränkung überwunden werden.

### Vorgehensweise

Die für die meisten Anwendungen erforderlichen Pulsenergien im  $\mu\text{J}$ -Bereich können mit Yb:Innoslab-Verstärkern ohne Chirped-Pulse-Amplification erreicht werden. Demonstriert sind  $5,2 \mu\text{J}$  bei 76 MHz Repetitionsrate. Eine größere Pumpleistungsdichte und damit Verstärkung steigert in INNOSLAB-Verstärkern nicht nur die Leistung und Effizienz, sondern reduziert auch die Anzahl der Kristalldurchgänge und vergrößert die Strahlquerschnitte. Die Pumpleistungsdichte wird einerseits durch die Leistung und Brillanz der kommerziell erhältlichen Laserdioden und andererseits durch das thermische Management im Verstärker begrenzt. Eine weitere Steigerung von Leistung und Pulsenergie ist entweder durch Vergrößern der Breite des Laserkristalls möglich oder durch die Kaskadierung mehrerer Verstärker.

### Ergebnis

Die maximale Pumpleistung der bisherigen Yb:INNOSLAB-Verstärker konnte durch neue Laserdioden um 50 Prozent auf 1250 W gesteigert werden. Die Strahlung eines Yb:KGW fs-Oszillators mit 20 MHz Repetitionsrate und 2 W mittlerer Leistung wird in einem Yb:YAG INNOSLAB-Verstärker mit sieben Durchgängen auf eine Leistung von 620 W und 31  $\mu\text{J}$  Pulsenergie verstärkt. Die Pulsdauer beträgt 636 fs und die Strahlqualität  $M^2 < 1,5$ . Durch einen zusätzlichen Durchgang in einem zweiten Verstärker wird eine mittlere Leistung von 1,1 kW bei einer Pulsdauer von 615 fs und einer Strahlqualität  $M^2 < 3$  in einem linear polarisierten Strahl erreicht. Bei der Pulsenergie von 55  $\mu\text{J}$  und einer Pulsspitzenleistung von 80 MW sind keine Anzeichen von Selbstphasenmodulation zu erkennen.

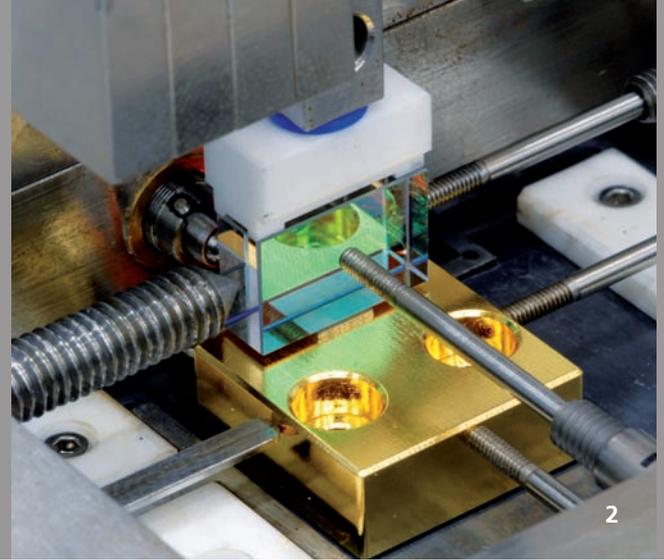
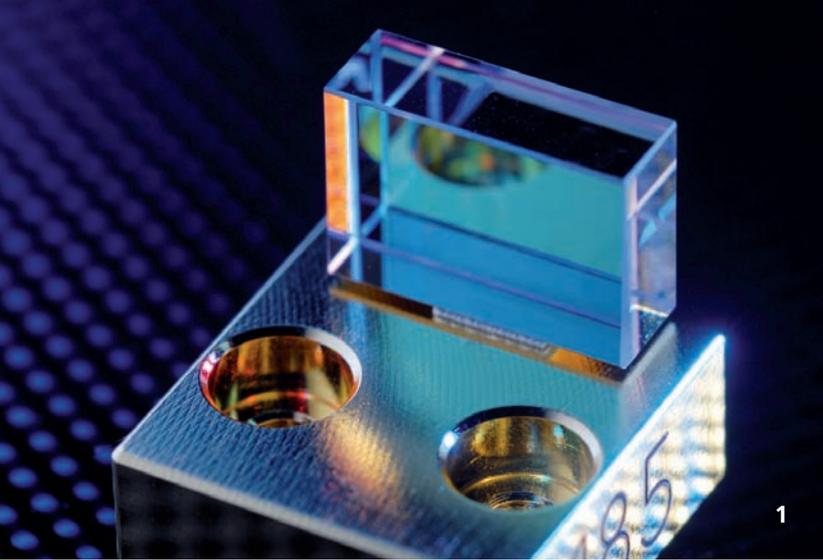
### Anwendungsfelder

Ultrakurzpulslaser mit großer mittlerer Leistung und einigen 10  $\mu\text{J}$  Pulsenergie erschließen in der Materialbearbeitung neue Anwendungen, steigern den Durchsatz und machen den industriellen Einsatz wirtschaftlich. Weiterhin ermöglichen sie in wissenschaftlichen Anwendungen die Steigerung von Effizienz und Leistung nichtlinearer Prozesse wie der Frequenzkonversion, der optisch-parametrischen Verstärkung und der Erzeugung hoher Harmonischer und damit eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses von Messungen.

### Ansprechpartner

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

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



## PASSIVE MONTAGE OPTISCHER KOMPONENTEN MITTELS REFLOW-LÖTPROZESS

### Aufgabenstellung

Für die Satelliten-gestützte Atmosphärenforschung werden mechanisch und thermisch stabile Verbindungstechniken benötigt. Die zurzeit eingesetzten Konzepte eignen sich nur bedingt zur Umsetzung eines Satelliten-gestützten LIDAR-Systems (Light Detection and Ranging). Die hochpräzise und stabile Montage von optischen Komponenten wie Linsen und Spiegeln mittels Löten schafft die Grundlage für die Entwicklung von leistungsstärkeren, robusten Lasersystemen. Die bei der Montage notwendige aktive Justage macht den Großteil der Kosten aus. Passive Justage kann die Kosten für toleranzunempfindliche Optiken (kleiner 20 Bogensekunden Winkeltoleranz) deutlich reduzieren.

### Vorgehensweise

Beim Einsatz passiver Montagetechniken ist es erforderlich, Materialien mit niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten einzusetzen. In einem speziell für den Reflow-Prozess entwickelten Lötöfen kommt eine Invar-Legierung zum Einsatz. Die zu verlötenden Komponenten werden durch pneumatische Stellzylinder an justierbaren Anschlägen ausgerichtet und anschließend verlötet. Neben der Ofenkonstruktion spielt die Lötstrategie eine wichtige Rolle. Die Verwendung bei hohen Temperaturen schmelzender Lote ist ungeeignet, weil sowohl die Genauigkeit der Lötung als auch die Verspannung der Optiken negativ

beeinflusst werden. Lote auf BiSn-Basis zeichnen sich durch einen niedrigen Schmelzpunkt und niedrige Wärmeausdehnungskoeffizienten aus, so dass eine reproduzierbare Lötung von Glaskomponenten auf Metallsubstrate ermöglicht wird.

### Ergebnis

Mit dem am Fraunhofer ILT entwickelten Montagekonzept können mittels BiSn-Lot mechanisch und thermisch stabile Verbindungen erzeugt werden. Die Reproduzierbarkeit hinsichtlich der Winkeltoleranz liegt bei 20 Bogensekunden. Die Ergebnisse von Umwelt- und Schertests zeigen das hohe Potenzial der passiven Montage mittels Reflow Lötprozess.

### Anwendungsfelder

Das Anwendungsspektrum der passiven Montage erstreckt sich weit über die Weltraumanwendungen hinaus. Insbesondere bei der Herstellung mittlerer und großer Serien bietet diese Technologie Vorteile hinsichtlich Robustheit, Zuverlässigkeit und Fertigungskosten.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Heinrich Faidel  
Telefon +49 241 8906-592  
heinrich.faidel@ilt.fraunhofer.de

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

1 Auf Al-Submount montierte Optik.

2 Komponenten im Lötöfen.

---

## TECHNOLOGIEFELD LASERMATERIALBEARBEITUNG

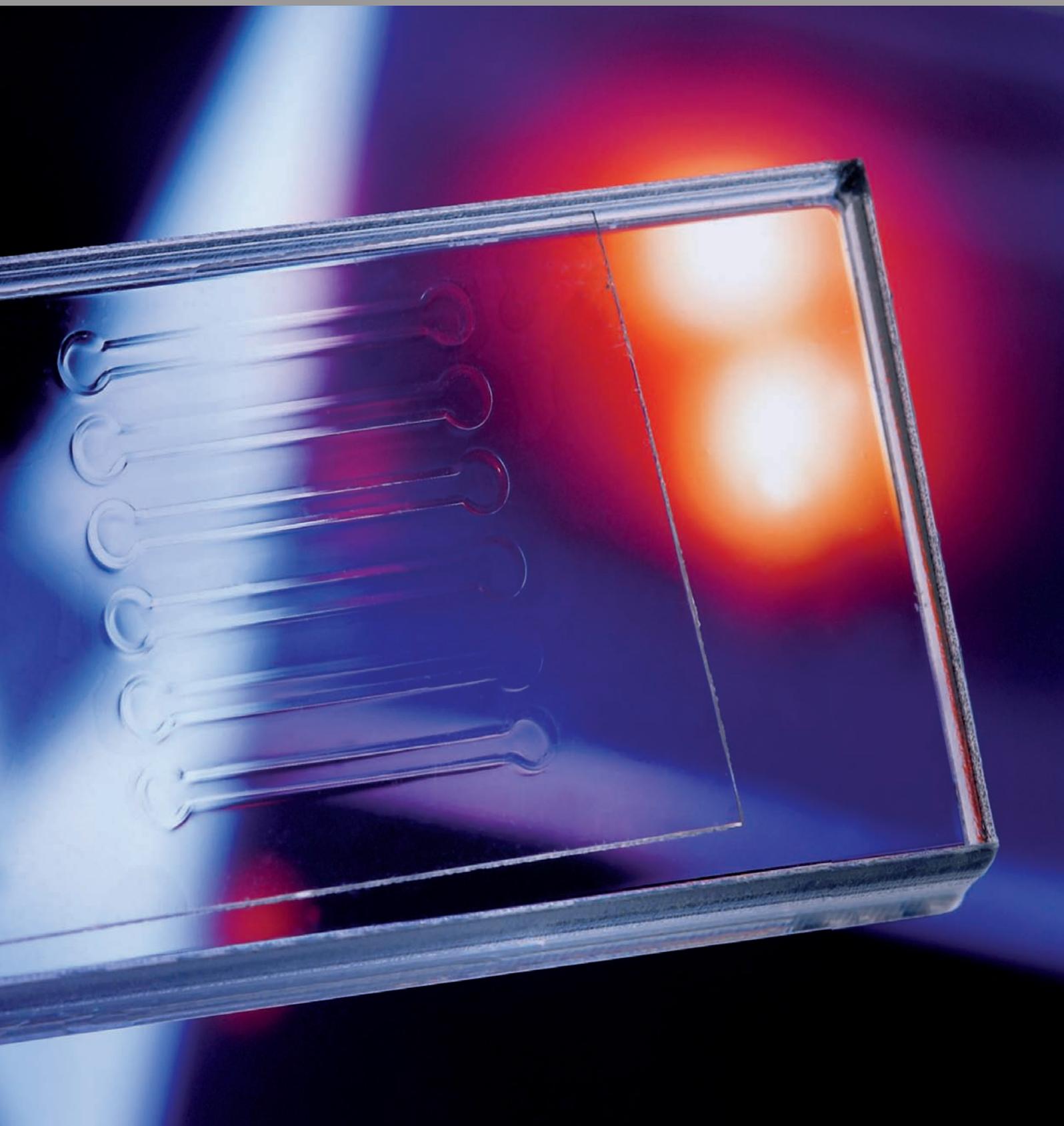
---

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



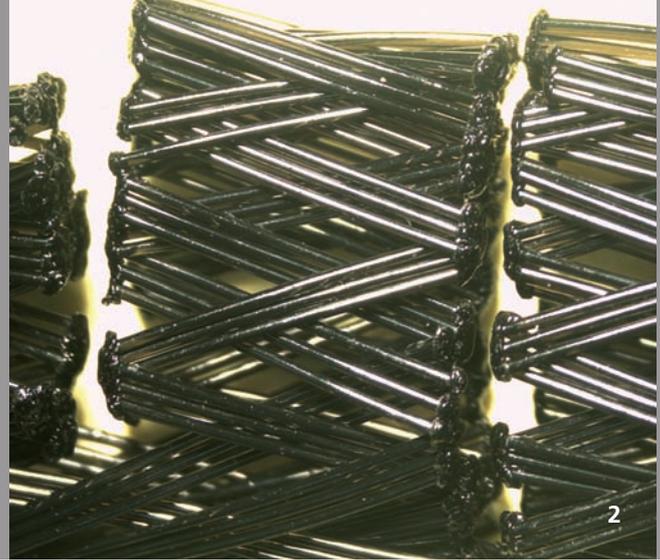
---

## INHALT

---

Schneiden von Polymer-Fasergeflechten	56	Prozessbeobachtung beim Laserauftragschweißen	83
Laserstrahlschweißen von Schlittschuhkufen	57	Prozessdiagramme für das Auftragschweißen mit gesteigerten Auftragraten	84
Laserfertigung von Vakuumisulationspaneelen	58	Thermische Wechselbeständigkeit laserauftraggeschweißter Schutzschichten auf Magnesiumlegierungen	85
System zum Remote-Laserschneiden von Feinblechen	59	Oberflächendigitalisierung zur Geometrieerfassung beim Laserauftragschweißen	86
Hochdynamisches 2-D-Handhabungssystem	60	Generative Fertigung hochfester Aluminiumbauteile	87
Analyse des thermischen Verhaltens von Laser-Bearbeitungsoptiken	61	Generative Herstellung von Struktur-Oxidkeramiken	88
Reaktive Gasströmung	62	Inline-Qualitätssicherung für die generative Serienfertigung	89
Brennschneiden	63	Bearbeitungsoptik für die hybride inkrementelle Umformung (IBU)	90
Riefenbildung beim Schneiden	64	Laserpolieren im Werkzeug- und Formenbau	91
Selbstoptimierende Fertigungssysteme	65	Laserbasierte Optikfertigungskette	92
Selbstoptimierende Laserschneidmaschine	66	Herstellung von funktionalen Oberflächen durch Ultrakurzpulsstrukturierung	93
Metamodellierung	67	Dreistrahlinterferenz-Strukturierung von Glas	94
Sensorik für das Laserstrahlschneiden	68	Modifikation von metallischen Oberflächen	95
Online-Bahnvermessung des Tool-Center-Points	69	Superhydrophobe Oberflächen	96
8-Achs-Simultanbearbeitung mit 5 mechanischen und 3 optischen Achsen	70	Laserbehandlung von Nanoschichten	97
Laser-Hybridschweißen mit Hochleistungsscheibenlasern	71	Optisches System zur Strukturierung mit Mehrstrahltechnik	98
Automatisierung und Beschleunigung der Wärmequellenkalibrierung beim Laserstrahlschweißen	72	Volumen-Markierungen in transparenten Materialien	99
Laserstrahlschweißen elektrischer Anschlüsse an DAB-Substrate	73	Mikrostrukturierte Elektroden für Lithium-Ionen-Akkumulatoren	100
Kupfer-Dickblechschweißen	74	Künstliche Mikrohaare als Sensoren	101
Synchronisierte Qualitätssicherung beim Laserhartlöten	75	Laserstrahlbohren von PEEK für Hyperschalluntersuchungen	102
Absorberfreies Laserstrahlschweißen von transparenten Kunststoffen	76	Hochrate-Laserbohren von Siliziumwafern für die Photovoltaik	103
Simulation Laserschweißen	77	Laserstrahllöten in der Photovoltaik	104
Rechencluster für hochaufgelöste Simulations-Rechnungen	78	Elektrische Kontaktierung von Lithium-Ionen-Zellen	105
Laserauftragschweißen und Prozesskette zur Reparatur von Gasturbinenschaufeln	79	Laserbasiertes hermetisches Packaging von LTCC-Keramikgehäusen	106
Korrosionsschutzschichten aus Reintitan durch Laserauftragschweißen	80		
Laserauftragschweißen von Innenkonturen	81		
Laserauftragschweißen mit variabler Spurbreite	82		

*Unsichtbare Schweißnähte für das  
Fügen von transparenten Kunststoffen.*



## SCHNEIDEN VON POLYMER-FASERGEFLECHTEN

### Aufgabenstellung

In der Textiltechnik besteht in vielen Anwendungen die Forderung, polymere Fasergeflechte mit hoher Genauigkeit und Fertigungsflexibilität zu konfektionieren. Ein Geflecht bestehend aus Polymer-Fasern, wobei drei Einzelfäden mit je 0,22 mm Durchmesser eine Faser bilden und sich diese Fasern unter einem Winkel von 45° kreuzen, soll auf eine vorgegebene Kontur zugeschnitten werden. Zur Erzielung einer hohen Formstabilität sollen die Einzelfasern entlang der Konturlinie miteinander verbunden sein, was bei mechanischen Trennverfahren nicht der Fall ist.

### Vorgehensweise

Zum Trennen von Polymer-Werkstoffen mittels Laserstrahlung eignet sich (fern)infrarote Laserstrahlung, da Kunststoffe in diesem Spektralbereich einen hohen Absorptionsgrad aufweisen. Daher wurde die Schneidtechnologie unter Verwendung eines bei einer Wellenlänge von 10,6  $\mu\text{m}$  emittierenden  $\text{CO}_2$ -Lasers entwickelt. Um die gleichzeitige Forderung nach Verschmelzen der Einzelfasern zu erfüllen, wird der Schnitt mit defokussiertem Laserstrahl und doppelter Überfahrt ausgeführt, damit genügend Schmelzvolumen an den lasergeschnittenen Faserenden erzeugt wird.

1 Detail: Verschmelzen von Polyesterfasern beim Laserschnitt.

2 Gerade Laserschnitte in einem Polyester-Fasergeflecht ( $v = 10 \text{ mm/s}$ ,  $P = 10 \text{ Watt}$ ).

### Ergebnis

Im Ergebnis der Prozessuntersuchungen ist deutlich erkennbar, dass die drei parallel angeordneten Polymerfasern verschmolzen sind und sich an den Faserenden eine kleine Kugel gebildet hat. Durch die Mehrfachbestrahlung entlang der Schneidkontur verschmelzen die Fasern und halten die Schnittkante formstabil. Wegen des hohen Absorptionsgrades und der sich daraus ergebenden geringen Eindringtiefe der Laserstrahlung in handelsübliche Polymere - aus Spektrometernmessungen ergibt sich ca. 20  $\mu\text{m}$  - können untereinander liegende Faserschichten nicht verbunden werden, was die Formstabilität zusätzlich erhöht hätte. Die entstehende Schmelzkugel kann nicht vollständig vermieden werden, da die in die Fasern beim Schmelzspinnen durch Verstrecken und Abkühlen eingebrachten Spannungen nach erneuter Erwärmung abgebaut werden und das Faserende zu einer Kugel erstarrt.

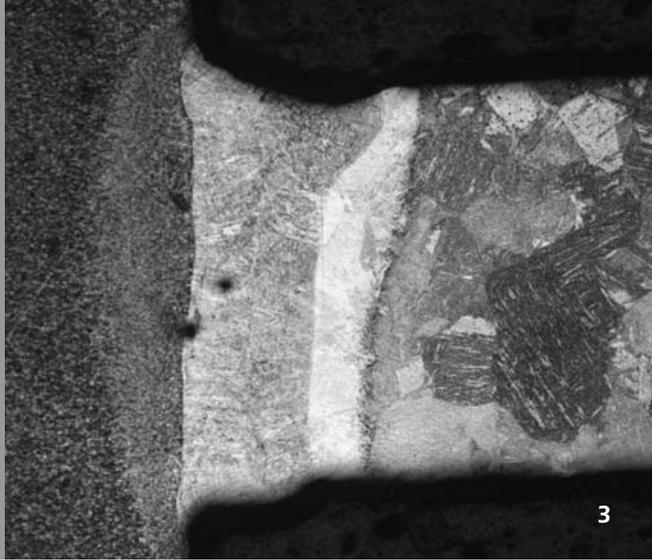
### Anwendungsfelder

Fasergeflechte aus Polymeren werden häufig für Textilien und technische Anwendungen verwendet. Da die Fasern eigens hergestellt werden, kann ihre Form, Dicke und Länge an die jeweilige Anforderung angepasst werden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Gerhard Otto  
Telefon +49 241 8906-165  
gerhard.otto@ilt.fraunhofer.de

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



## LASERSTRAHLSCHWEISSEN VON SCHLITTSCHUHKUFEN

### Aufgabenstellung

An Schlittschuhe für den Langstreckenlauf werden besondere Anforderungen an Gewicht, Steifigkeit und Festigkeit gestellt. Das Gewicht kann reduziert werden, indem die derzeit eingesetzten Verbindungen durch Löten, Klemmen oder Kleben durch eine Schweißverbindung ersetzt werden. Um die Festigkeit bei kleinem Anbindungsquerschnitt zu erhalten, müssen Stärke und Kerbwirkung der Schweißnaht exakt in die Struktur der Kufe eingepasst werden. Dabei sollen individuelle Einstellmöglichkeiten der Läufer, wie Schleifen und Anbiegen, nicht verändert werden.

### Vorgehensweise

Ausgehend von der Berechnung der dynamischen Festigkeiten wurden verschiedene Werkstoffe und deren Kombinationen auf ihre Eignung zum Laserstrahlschweißen geprüft. Da martensitische Cr-V-Stähle beim Schweißen ihre Festigkeit in der WEZ verlieren, wurde für die Fertigung eine Kombination aus einem martensitaushärtenden Stahl als Rohr (Reynolds 953) und einem wolframlegierten, gehärteten Chromstahl als Klinge verwendet.

Im Rahmen einer Vorserienfertigung wurde eine Anzahl von Kufen hergestellt, die nach dem Einschleifen und der Endmontage an professionelle Langstreckenläufer zu Prüfzwecken vergeben wurden. Die Ergebnisse dieser Prüfung führten zu einer Optimierung von Geometrie, Vorrichtung und Fertigung.

### Ergebnis

Die erforderliche hohe Festigkeit der Schweißverbindung konnte durch die optimierte Paarung der Werkstoffe von Rohr und Klinge gewährleistet werden. Die Berichte der Testläufer ergaben, dass eine Verbesserung hinsichtlich der Restwelligkeit (Schweißverzug) erforderlich war. Als Konsequenz wurden das Spannkonzent und die Nachbearbeitung angepasst. Die Kufen werden derzeit von einem niederländischen Unternehmen gefertigt. Nach Endmontage werden sie durch ein amerikanisches Unternehmen als Langlauf-Schlittschuh Record LT vertrieben.

### Anwendungsfelder

Obwohl ursprünglich als Produkt im mittleren Preissegment als Artikel für Amateure geplant, ist die neue Generation Schlittschuhe bei den Profis beliebt. So konnte der Niederländer Bob de Jong 2009 in Berlin mit dem Record LT den Bahnrekord über 3000 m auf 3:44 verbessern. Über die Distanzen 5000 und 10000 m belegte er jeweils den zweiten Platz.

### Ansprechpartner

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

Dr. Stefan Kaieler  
Telefon +49 241 8906-212  
stefan.kaieler@ilt.fraunhofer.de



## LASERFERTIGUNG VON VAKUUMISOLATIONS- PANEELN

### Aufgabenstellung

Für die energetische Optimierung von großen Produktions-, Gewerbe- und Sportgebäuden in Stahlleichtbauweise kann der Einsatz von Vakuumisulationspaneelen (VIPs) zu Dämmzwecken eine kostengünstige und energetisch effektive Lösung darstellen. Das Fraunhofer ILT hat in diesem Zusammenhang ein lasergestütztes Verfahren zur Herstellung von VIPs entwickelt.

### Vorgehensweise und Ergebnis

Zur Entwicklung eines wirtschaftlichen Herstellungsverfahrens wurde das Tiefziehverfahren mit der Faltechnik verglichen. Aufgrund der sehr geringen Materialdicke der Edelstahlfolie konnte beim Tiefziehen die Rechteckform nicht fehlerfrei ausgebildet werden. Abgesehen von plisseearartigen Strukturen, die eine fehlerfreie Naht erschweren, entstanden Risse im Bereich der Eckausbildung. Als Alternative wurde eine Faltechnik entwickelt, welche die technischen Anforderungen an VIPs, wie beispielsweise die Vakuumdichte, erfüllt. Gleichzeitig ist dieses Verfahren kostengünstiger als das Tiefziehverfahren. Mit dem multifunktionalen Schneid- und Schweißkopf der Firma Laserfact, der sich durch die neuartige Kombibearbeitung aus Laserschneiden und -schweißen sowie hervorragende technische und wirtschaftliche Eigenschaften auszeichnet,

wurde die Optimierung des Schneid- und Schweißprozesses und der Bau der Prototypen VIPs untersucht und realisiert. Als Strahlquelle wurde ein 4 kW Faserlaser der Firma IPG eingesetzt.

Die VIPs wurden unter Verwendung von Kieselsäure als Füllmaterial angefertigt. Mit evakuierten Dämmpaneelen können Wärmeleitfähigkeiten erreicht werden, die um einen Faktor fünf bis zehn geringer sind als jene von konventionellen Dämmstoffen. Dazu wird dickwandiges Plattenmaterial (1 mm) als Trägerkonstruktion (Decklage) vorgefertigt. Diese Trägerkonstruktion wird mit dünnen Edelstahlfolien (0,1 mm) zur Umhüllung des Elements unter Einbringung des Füllmaterials komplettiert. Die Paneele wurden auf einem Druck von  $10^{-2}$  mbar evakuiert. Die Schweißgeschwindigkeit betrug 4 - 10 m/min bei einer maximalen Laserleistung von 2,5 kW.

### Anwendungsfelder

Die Einsatzmöglichkeiten des Herstellungsverfahrens sind breit gefächert. Überall dort, wo für konventionelle Dämmmaterialien nicht ausreichend Platz vorhanden ist, können die VIPs eingesetzt werden: beispielsweise in Kühlschränken, Sanierungsgebäuden, großen Toren und Türen von Gewerbe- und Sportgebäuden.

### Ansprechpartner

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

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

1 Lasergeschweißtes Vakuumisulationspaneel.

2 Schliffbild.



---

## SYSTEM ZUM REMOTE- LASERSCHNEIDEN VON FEINBLECHEN

---

### Aufgabenstellung

Die Herstellung komplexer metallischer Komponenten wie z. B. Verschaltungsgitter, Lead Frames oder Chipträger erfolgt heute überwiegend durch Stanzen, Ätzen oder Galvanoforming. Bei all diesen Technologien ist eine komplexe und teure Vorbereitungs- und Werkzeugtechnik nötig, die eine kostengünstige Herstellung der Bauteile nur bei großen Stückzahlen erlaubt.

Im Gegensatz dazu ermöglicht das Laserschneiden Lieferzeiten in Tagesfrist. Durch die Verschleißfreiheit des Werkzeugs Laser ist ein Nachstellen einmal definierter Werte für die Bahnkontur nicht notwendig. Auf der anderen Seite können kundenspezifische Designänderungen einfach realisiert werden, ohne dass neue Werkzeuge hergestellt werden müssen.

Im Vergleich zur Stanztechnik ist das Laserschneiden derzeit jedoch nicht in der Lage, die geforderten Taktraten der Serienproduktion zu erfüllen. Dabei ist der wesentliche geschwindigkeitslimitierende Faktor nicht der Schneidprozess an sich sondern vielmehr die Dynamik des verwendeten Antriebssystems.

### Ergebnis

Beim Remote-Laserschneiden wird auf mechanische Bewegungsachsen verzichtet. Die Strahlablenkung erfolgt durch einen Galvanometer-Scanner. Mit geeigneten optischen Systemen werden Schnittfugen von 25 µm erreicht, so dass auch Präzisionsteile bearbeitet werden können. Dabei wird das Material ohne Schneidgasunterstützung abgetragen. Aktuell ist die Fertigungszelle mit einem 1 kW Faserlaser und einem Scanner für Ablenkgeschwindigkeiten bis 10 m/s ausgerüstet.

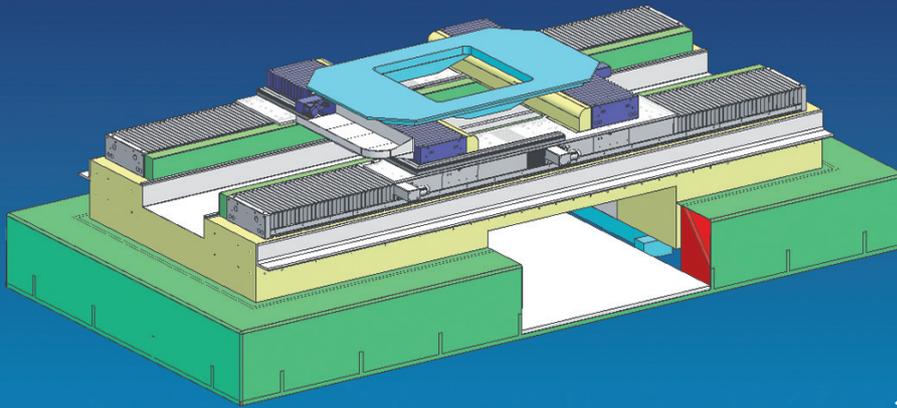
### Anwendungsfelder

Die Modularität des Anlagenaufbaus ermöglicht einen Einsatz für unterschiedliche Bearbeitungsprozesse. Neben dem Schneiden kann dieser u. a. auch zum Bohren oder Schweißen eingesetzt werden. Abhängig vom eingesetzten Handling liegen die Einsatzbereiche sowohl in der Einzelteilproduktion als auch in der Kleinserienfertigung.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Joachim Ryll  
Telefon +49 241 8906-463  
joachim.ryll@ilt.fraunhofer.de

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



## HOCHDYNAMISCHES 2-D-HANDHABUNGSSYSTEM

### Aufgabenstellung

Hochbrillante Festkörperlaser ermöglichen Laser-Bearbeitungsprozesse mit sehr hohen Bearbeitungsgeschwindigkeiten. Mit 4 kW Laserleistung können 1 mm dicke Stahlbleche mit 100 m/min geschnitten werden, Aluminiumbleche 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.

### Vorgehensweise

Um auch hochdynamische Prozesse beobachten zu können, wird ein System mit stationärer Optik aufgebaut, das eine optimale Zugänglichkeit ober- und unterhalb der Bearbeitungszone für den Einsatz von Sensorik ausrüstung wie High-Speed-Kameras zulässt. Das Werkstück wird in beiden Achsrichtungen von Doppelachsen mit Linearmotoren bewegt.

### Ergebnis

Die Anlage ist für eine maximale Geschwindigkeit von 300 m/min mit einer Beschleunigung von 4 g ausgelegt. Das Bearbeitungsfeld beträgt 500 x 500 mm<sup>2</sup>. Für eine präzise Bearbeitung auch bei den hohen Geschwindigkeiten liegt die Bahngenauigkeit bei +/- 15 µm. Die positionsabhängige Ansteuerung des Lasers wird mit einer Verzögerung unter 10 µs arbeiten.

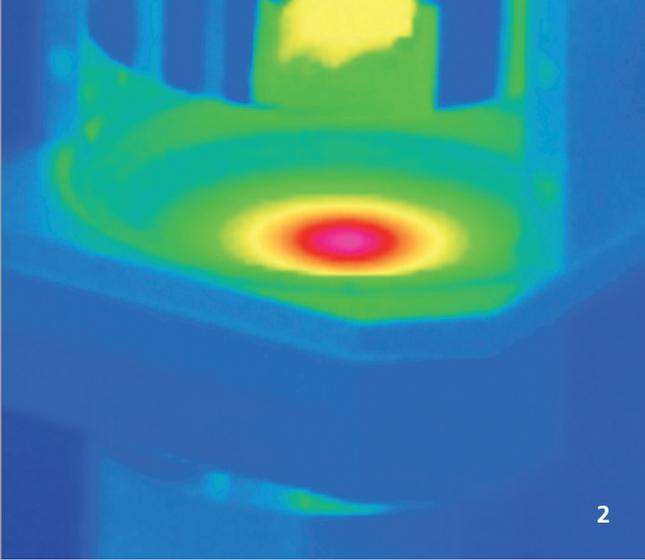
### Anwendungsfelder

Die Anlage kann für die Prozessentwicklung beim Schneiden, Schweißen oder bei der Oberflächenbearbeitung, beispielsweise beim Strukturieren, eingesetzt werden. Über die Anwendungen der High-Speed-Bearbeitung hinaus können aber auch Entwicklungen im Bereich größerer Blechdicke bei reduzierter Geschwindigkeit die Diagnosemöglichkeiten dieser Anordnung nutzen.

### 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



## ANALYSE DES THERMISCHEN VERHALTENS VON LASER-BEARBEITUNGSOPTIKEN

### Aufgabenstellung

Laser-Bearbeitungsoptiken zeigen im Einsatz mit Multi-Kilowatt-Lasern eine transiente, thermisch verursachte Verschiebung der Fokusslage, die die Stabilität der Prozesse stört oder entsprechende Reserven beispielsweise der Bearbeitungsgeschwindigkeit erfordert. Die Ursachen für die Fokusslagenverschiebung sind die Temperaturabhängigkeit des Brechungsindex, auftretende Brechungsindexgradienten und thermisch bedingte Dehnungen und Spannungen in den optischen Materialien und den Gehäusen. Für die Entwicklung thermisch stabilisierter Optiken sollen durch die Analyse des thermischen Verhaltens die bedeutendsten Einflussgrößen identifiziert werden.

### Vorgehensweise

Mittels einer detaillierten Strahldiagnose des fokussierten Laserstrahls an einem Faserlaser bis 4 kW Laserleistung und Temperaturmessungen an Optiken und Gehäusen wird das Temperaturverhalten für unterschiedliche Bearbeitungsköpfe analysiert.

### Ergebnis

Mit den durchgeführten Messungen konnte leistungsabhängig der zeitliche Verlauf der Fokusslage für verschiedene Optiken ermittelt werden. Abhängig von der Konfiguration, Art und Zustand der Komponenten wurden Fokusverschiebungen bis über eine Rayleighlänge bei 4 kW Laserleistung gemessen.

Die Kenntnis der Fokusverschiebung und von Temperaturfeldern der Optiken liefert die Eingangsgrößen für die detaillierte Analyse der Einflüsse von optischem Material, Kühlung und optischen Parametern wie der Größe des Laserstrahls, der Leistung und der Brennweite mit Raytracing Rechnungen. Diese bilden die Grundlage für die Entwicklung thermisch stabilisierter Bearbeitungsoptiken.

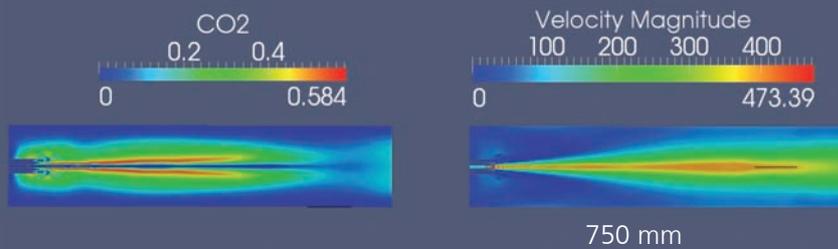
### Anwendungsfelder

Eine möglichst gute thermische Stabilität ist eine Forderung an Bearbeitungsoptiken, die alle Materialbearbeitungsprozesse betrifft, weil nicht beherrschte transiente thermische Einflüsse einen Teil der Toleranzen innerhalb eines Prozessfensters aufzehren und somit zu Leistungseinbußen des Prozesses führen. Besondere Bedeutung erlangt die thermische Stabilität bei Hochleistungsprozessen wie dem High-Speed-Schneiden mit hoher Laserleistung und beim Einsatz von Lasern mit sehr guter Strahlqualität wie Singlemode-Faserlaser.

### 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

## REAKTIVE GASSTRÖMUNG

### Aufgabenstellung

Prozessgase kommen bei vielen Fertigungsverfahren zum Einsatz als Schutz vor Verschmutzung von optischen Apparaturen bis hin zum Einsatz als primäres Bearbeitungswerkzeug wie z. B. beim Brennschneiden. Bei vielen dieser Einsatzmöglichkeiten handelt es sich um die Strömung reaktiver Gase, die entweder mit dem umgebenden Luftsauerstoff oder mit dem zu bearbeitenden Werkstoff reagieren. Daher gibt es zahlreiche Anfragen zur Darstellung dieser Reaktionschemie innerhalb der Gasströmung und dazu wie diese sich gegenseitig beeinflussen.

### Vorgehensweise

Die Simulation der Gasströmung selbst erfolgt durch das numerische Lösen der Navier-Stokes-Gleichungen, die im Falle der reaktiven Gasströmung zusätzlich durch Reaktionsgleichungen ergänzt werden, denen ein Arrhenius-Gesetz für die Reaktionsrate zugrundeliegt.

Im Fall des Brennschneidens wird eine Blockdüse aus drei konzentrischen Teilen als Quelle für die reaktive Gasströmung modelliert. Im innersten Düsenkanal wird ein hochreiner Sauerstoffstrahl mit vergleichsweise großem Druck eingeleitet, während in den beiden Mantel-Kanälen jeweils Brenngas und Sauerstoff bei deutlich geringeren Drücken zugeführt werden.

### Ergebnis

Eine Verlängerung des Schneidgasstrahls durch die Verbrennung im umhüllenden Heizgasstrahl konnte gezeigt werden. Die in der Simulation beobachtete Wurfweite des gesamten Gasstrahls stimmt damit sehr gut mit der experimentell zu beobachtenden Wurfweite überein, insbesondere wenn zusätzlich die Turbulenz der Gasströmung (mittels entsprechender Turbulenz-Modellierung) berücksichtigt wird. Exemplarisch sind hier die Verteilungen des Reaktionsprodukts  $\text{CO}_2$  wie auch des Absolutbetrags der Strömungsgeschwindigkeit gezeigt.

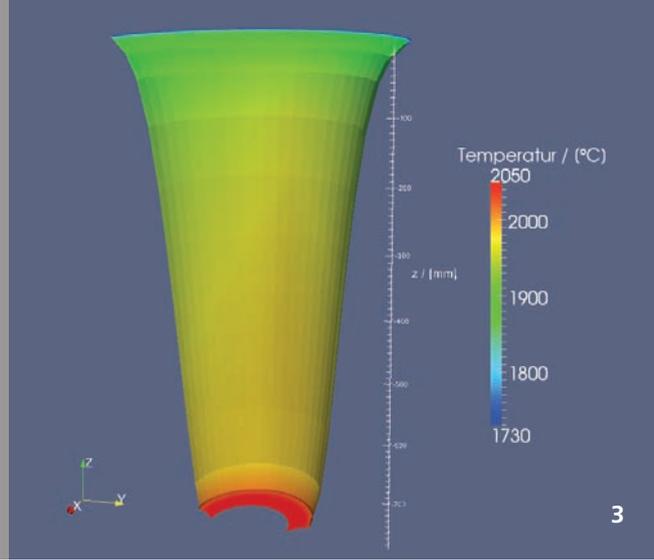
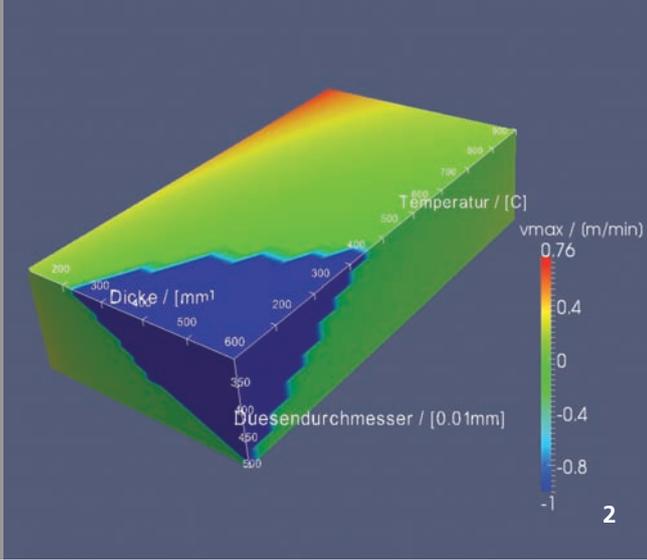
### Anwendungsfelder

Die reaktive Gasströmungssimulation ist bei allen Bearbeitungsverfahren, welche z. B. Sauerstoff als Prozessgas einsetzen, anwendbar. Sie liefert Aussagen über die Verteilungen von Strömungsgeschwindigkeit, Druck, Dichte (Strahlform) und Anteil der einzelnen Spezies sowie den Abbrand als auch die durch die Verbrennung freigesetzte Wärme-Energie.

### Ansprechpartner

M. Sc. Toufik Al Khawli  
 Telefon +49 241 8906-163  
 toufik.al.khawli@ilt.fraunhofer.de

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



## BRENSCHNEIDEN

### Aufgabenstellung

Das Brennschneiden ist ein in der Praxis der Stahlbearbeitung (insbesondere in Hüttenwerken) zahlreich und seit langem eingesetztes Verfahren, um metallische Werkstücke mit großen Abmessungen (bis zu mehreren Metern) zu trennen. Dennoch diktiert die Zunahme der Gießgeschwindigkeiten in den Stahlwerken in den letzten Jahren einen Optimierungsbedarf hin zu größeren Schneidgeschwindigkeiten unter Beibehaltung der derzeit erreichten Schnittqualität. Mit den Mitteln der Prozess-Simulation werden die Potenziale der konventionellen Brennschneidtechnologie sowie denkbarer Erweiterungen hinsichtlich einer vergrößerten Schneidgeschwindigkeit im Vorfeld einer technischen Umsetzung aufgefunden.

### Vorgehensweise

Die Simulation des Brennschneidens erfolgt mittels eines Modells globaler Bilanzgleichungen und ist mittlerweile auch erfolgreich auf lokale Bilanzen umgesetzt. Damit kann schließlich auch die geometrische Form der Schneidfuge sowie die Verteilung physikalischer Prozessgrößen über der Fuge berechnet werden (siehe Abb. 3). Zusätzlich erlaubt die schnelle Auswertbarkeit dieser Modelle eine Darstellung in Form eines Metamodells, das den Brennschneidprozess in seinem hochdimensionalen Parameterraum darstellen kann.

### Ergebnis

Die wesentlichen Abhängigkeiten der maximalen Schneidgeschwindigkeit von Düsendurchmesser, Düsendruck, Sauerstoffreinheit und Blechdicke können ebenso visualisiert werden wie physikalische Grenzen, z. B. die Trenngrenze (blaues Volumen in Abb. 2). Neben der Darstellung der Beziehung zwischen Parametern und Ergebnisgrößen wird aus der Simulation auch die Bedeutung wesentlicher Prozessgrößen (z. B. des Abbrands) deutlich. Eine Möglichkeit zum Design neuer Brennschneidtechnologien ist damit gegeben und wird derzeit untersucht.

### Anwendungsfelder

Die Simulation des Brennschneidens kann dazu eingesetzt werden, sowohl das autogene Brennschneiden als auch das laserunterstützte Brennschneiden zu analysieren. Die exemplarische Vorgehensweise zur Darstellung der Potenziale beim Brennschneiden ist vielfältig einsetz- und anwendbar, etwa beim Schweißen und Bohren.

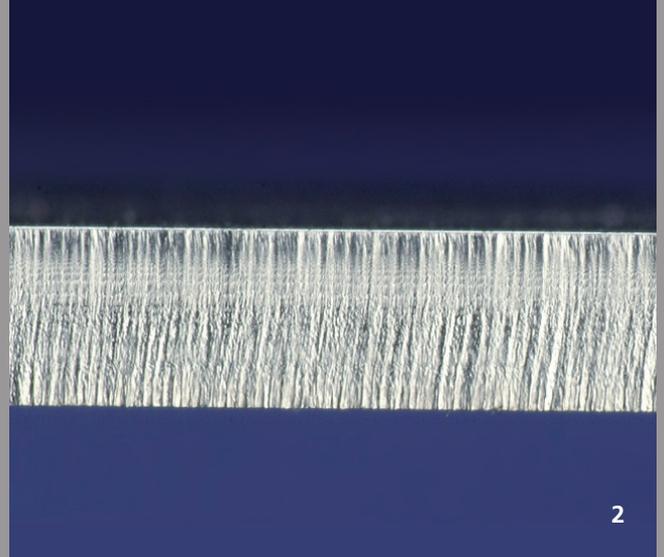
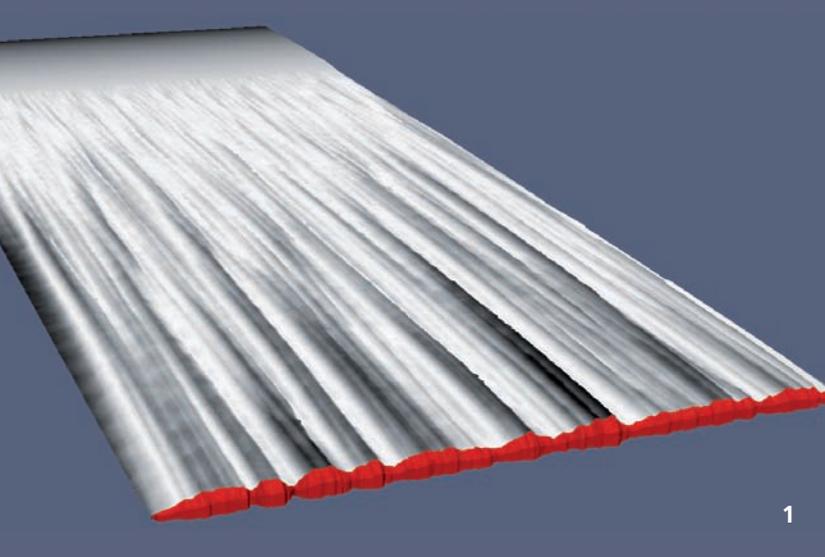
### Ansprechpartner

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

Prof. Wolfgang Schulz  
Telefon +49 241 8906-204  
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

2 Maximale Schneidgeschwindigkeit im Parameterraum.

3 Berechnete Brennschneidfuge.



## RIEFENBILDUNG BEIM SCHNEIDEN

### Aufgabenstellung

Beim Laserstrahlschneiden von Blechen sind eine minimale Rauheit (Riefen) und das optische Erscheinungsbild der Schnittkante wesentliche Qualitätsmerkmale. Die optimalen Schneidparameter werden derzeit in umfangreichen Versuchsreihen experimentell ermittelt.

Als Ursache der Riefenbildung wurden bislang allein Schwankungen der Verfahrensparameter wie z. B. der Laserleistung angesehen. Eine mathematische Analyse zeigt jedoch, dass Riefen auch bei ideal konstanten Verfahrensparametern durch einen instabilen Fluss der Schmelze entstehen. Ziel ist die modellbasierte Vorhersage der Schnittkantenqualität, die Ermittlung der relevanten Einflussgrößen und die Bestimmung optimaler Schneidparameter.

### Vorgehensweise

Mit Hilfe eines Schneidmodells werden die wesentlichen Einflussgrößen für die räumliche Verteilung der Riefen auf der Schnittkante berechnet. Mit einer Stabilitätsanalyse werden die Anfachung bzw. Dämpfung der Störung in Abhängigkeit der Schneidparameter berechnet. Mit dem mathematischen Verfahren wird eine Analyse der Stabilitätsgrenzen durchgeführt und die Prozessdomäne für das stabile Schneiden wird bestimmt.

In numerischen Simulationen auf Grundlage des Schneidmodells wird die Dynamik der Schmelzströmung in Abhängigkeit von den Prozessparametern berechnet. Durch Vergleich mit experimentellen Daten werden die Vorhersagen der Simulation validiert.

### Ergebnis

Die neu entwickelte Simulationssoftware »QuCut« erlaubt eine räumlich-zeitliche Analyse der Schmelzströmung und deren Auswirkung auf die Schnittkantenqualität sowie die Bestimmung optimaler Schneidparameter und die Ableitung von Maßnahmen zur Stabilisierung der Schmelzströmung.

### Anwendungsfelder

Von den Ergebnissen profitieren Anwender, Maschinen- und Anlagenhersteller aus dem Bereich des Laserstrahlschneidens.

### Ansprechpartner

Dr. Jens Schüttler  
Telefon +49 241 8906-680  
jens.schuettler@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz  
Telefon +49 241 8906-204  
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

1 Mit QuCut simuliertes Riefenprofil.

2 Riefenprofil einer realen Schnittkante.



## SELBSTOPTIMIERENDE FERTIGUNGSSYSTEME

### Aufgabenstellung

Fertigungssysteme bieten mit jeder Generation verbesserte Eigenschaften. Das Streben nach höheren Produktionsraten und gesteigerter Präzision führt die Fertigungsprozesse immer weiter an ihre physikalischen Grenzen. In einem solchen Umfeld führen bereits kleine Abweichungen der Stellparameter oder geänderte Materialeigenschaften zu signifikanten Änderungen des Prozessergebnisses. Ziel der Forschung ist die sichere Beherrschung von Prozessen am Rand ihrer Stabilität durch den Einsatz selbstoptimierender Fertigungssysteme.

### Vorgehensweise

Im Exzellenzcluster der RWTH Aachen arbeiten Forscher mit unterschiedlichen Prozessen an einer allgemeingültigen Lösung dieser Aufgabe. Dabei werden Methoden zur Beschreibung von Fertigungsprozessen untersucht, damit auf maschineller Ebene eine qualitätsorientierte Regelung erfolgen kann.

### Ergebnis

Die Arbeiten zeigen, dass die Zusammenfassung des Prozesswissens aus Experimenten, Simulationen und physikalischen Beschreibungen als Basis für selbstoptimierende Systeme genutzt werden kann. Der Ansatz der modellbasierten Selbstoptimierung für Fertigungssysteme gründet im Wesentlichen auf einer Komponente für die Optimierung und einer für die Steuerung von Prozessgrößen.

Der Zusammenhang von Stellgrößen und Prozessergebnis ist zumeist nichtlinear und hoch dynamisch. Dies erschwert die Erstellung und Nutzung umfassender Modelle, die alle Parameter und Datenpunkte abdecken. Metamodelle erlauben an dieser Stelle das Zusammenfassen des vorhandenen Prozesswissens in Form von abgeleiteten, reduzierten Modellen, die der Selbstoptimierung maschinenlesbares Wissen zur Verfügung stellen.

Die Nutzung von Optimierungsergebnissen erfordert im Bereich der Prozesssteuerung eine modulare Systemstruktur aus rekonfigurierbaren, informationsverarbeitenden Sensor-Aktor-Systemen. Sie erlauben zur Laufzeit die Anpassung des Fertigungssystems an Prozesszustand und Fertigungsaufgabe.

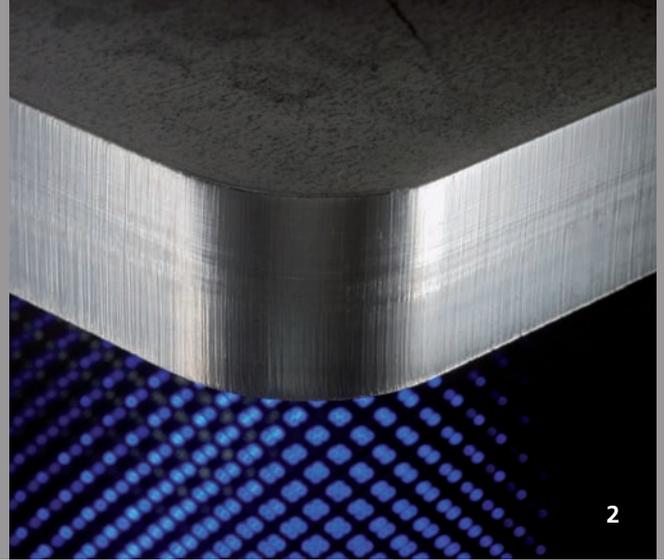
### Anwendungsfelder

Die modellbasierte Selbstoptimierung adressiert die Steuerung von Fertigungsprozessen, die am technischen Limit betrieben werden. Bei der Einbindung in einen Systemverbund ergeben sich Optimierungspotenziale im Bereich des Fertigungsablaufs.

### Ansprechpartner

M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) 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



## SELBSTOPTIMIERENDE LASERSCHNEIDMASCHINE

### Aufgabenstellung

Im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« der RWTH Aachen ist das Fraunhofer ILT u. a. an dem Projekt »Integration von selbstoptimierenden Einricht-, Überwachungs- und Regelungssystemen in Produktionsabläufe« beteiligt. Ziel des Projekts ist die Erarbeitung einer prozessunabhängigen Methodik, die es ermöglicht, ein verbessertes Prozessverständnis zu den verwendeten Laser-Bearbeitungsprozessen zu generieren und den technologischen Weg für die Selbstoptimierung von Produktionssystemen zu bereiten.

### Vorgehensweise

Die Basis der Entwicklungen bilden eine detaillierte Prozessanalyse, eine Definition der sensitivsten Prozessparameter und die Identifikation eines passenden Konzepts für das Prozess-Sensor-System. Das Metamodel ist bei der Selbstoptimierung das zentrale, methodisch integrative Werkzeug, um verfügbares theoretisches und experimentelles Wissen zu speichern, zu verarbeiten und optimierte Parameter an die Prozessregelung auszugeben. Die Fokusslage als einer der relevantesten Prozessparameter unterliegt thermischen Veränderungen der optischen Elemente. Trotz der Herausforderung einer stationären Lageeinstellung eröffnet die Fokusslage die

Möglichkeit, einen hohen Einfluss auf die Schnittqualität, Prozessrobustheit und Schnitteffizienz zu nehmen. Eine koaxial zum Laserstrahl integrierte High-Speed Kamera liefert hierzu die notwendigen Prozessdaten.

### Ergebnis

An einer TRUMPF Laser-Schneidmaschine TruLaser 5030 werden unterschiedliche Stufen der Selbstoptimierung in Abhängigkeit der Regelungskomplexität entwickelt. Als erste Stufe wurde eine externe Steuerung der Fokusslage implementiert, die die Veränderung der Position ermöglicht, ohne die Funktionalität der Anlage zu beeinträchtigen. Für eine automatisierte Referenzierung der Fokusslage wurde ein Konzept für einen Einrichtassistenten entwickelt und weitreichend implementiert. Mit Hilfe einer High-Speed-Kamera wird aus einer Menge von Einschnitten mit unterschiedlichen Fokusslagen der Referenzwert zugehörig zur Position der minimalen Fugenbreite ermittelt.

### Anwendungsfelder

Die in diesem Projekt für das Laserschneiden entwickelte Methodik kann in einem breiten Spektrum an Produktionsprozessen angewendet werden. Unter anderem findet sie Einsatz beim Spritzgießen, Schweißen, Weben oder Fräsen.

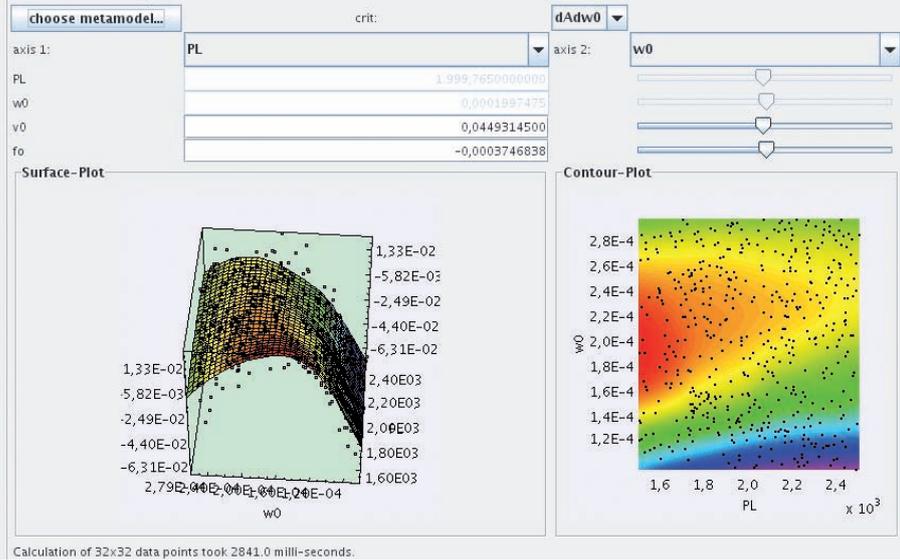
### Ansprechpartner

M.Sc. Thomas Molitor  
Telefon +49 241 8906-426  
thomas.molitor@ilt.fraunhofer.de

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

1 Laser-Schneidmaschine TruLaser 5030.

2 Detailaufnahme einer Schnittkante  
an Edelstahl  $t = 6 \text{ mm}$ .



## METAMODELLIERUNG

### Aufgabenstellung

Bei der anwendungsnahen Nutzung wissenschaftlicher Ergebnisse aus Simulation und Experiment ergibt sich die Anforderung, die durchgeführten Einzel-Simulationen und Experimente zu einem Ganzen zusammzusetzen und das daraus gewonnene Verständnis für die Anwendung befragbar und nutzbar zu machen.

### Vorgehensweise

Zu diesem Zweck wird die Metamodellierungstechnik verfolgt, mit der sich Simulationsergebnisse übersichtlich und explorierbar darstellen lassen. Darüber hinaus lässt sich das dort hinterlegte Verständnis auch direkt an einer Fertigungs-Maschine abrufen und zur Steuerung einsetzen. Exemplarisch wird dies im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« der RWTH Aachen am Beispiel einer Laserschneidmaschine durchgeführt. Neben Verfahren der mehrdimensionalen Funktionsapproximation kommen dabei zur Metamodellierung mittlerweile auch Verfahren der symbolischen Regression zur Anwendung.

### Ergebnis

Eigene Tools zur Visualisierung von Response-Surfaces (MeMoViewer) wurden entwickelt. Algorithmen zur lokalen Invertierung des funktionalen Zusammenhangs zwischen Parameter und Kriterien (sog. inverses Problem) sind implementiert und an der exemplarisch betrachteten Laserschneidanlage abrufbar. Im Folgenden wird damit ein Einricht-Assistent für die besagte Anlage umgesetzt.

### Anwendungsfelder

Anwendbar ist die genannte Vorgehensweise bei jeder Art der Modellierung/Modellbildung zur Analyse und Optimierung eines statischen oder dynamischen Systems.

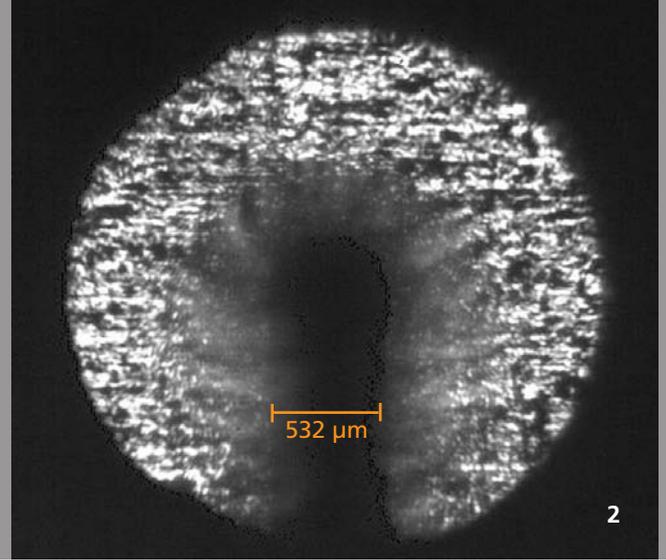
### Ansprechpartner

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

Prof. Wolfgang Schulz  
 Telefon +49 241 8906-204  
 wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



1



2

## SENSORIK FÜR DAS LASERSTRAHLSCHNEIDEN

### Aufgabenstellung

Das Trennen von Edelstahlblechen ist eine etablierte Anwendung in der Lasermaterialbearbeitung. Fertigungssysteme mit CO<sub>2</sub>-Laserstrahlquellen spielen im Bereich der Flachbettmaschinen ihre Stärken besonders bei größeren Blechdicken und dem schnellen Freistellen von Konturen aus. Eine sichere Prozessführung in Hinblick auf die geforderte Produktqualität benötigt jedoch Informationen über den aktuellen Arbeitspunkt des Prozesses. Für eine aktive Regelung muss deshalb ein Prozesssensormesssystem relevante Messgrößen bereitstellen.

### Vorgehensweise

Im Exzellenzcluster der RWTH Aachen arbeiten Forscher des Fraunhofer ILT an der Entwicklung eines Sensorsystems, das den Laserstrahlschneidprozess durch den Schneidkopf hindurch koaxial beobachtet. Aus den gemessenen Signalen werden Größen extrahiert, die eine Bestimmung des Arbeitspunktes des Prozesses ermöglichen. Diese Informationen werden später zur Selbstoptimierung des Schneidprozesses verwendet.

- 1 Strahlführungskomponente zur Integration der Prozesskontrolle.
- 2 Koaxial angenommene Schnittfuge.

### Ergebnis

Die Sensorik für das CO<sub>2</sub>-Laserstrahlschneiden besteht aus zwei Komponenten, einem optischen System mit Flächensensor und einem System zur Bildverarbeitung. Das optische System koppelt die Prozessbeobachtung koaxial in den Strahlengang des Lasers ein und bildet die Wechselwirkungszone durch die Fokussieroptik hindurch auf den Sensor ab. Die anschließende Signalverarbeitung extrahiert Größen, die einen Rückschluss auf den Arbeitspunkt des Prozesses ermöglichen. Eine dieser Größen ist die Fugenbreite, die in Abhängigkeit weiterer Parameter einen Rückschluss auf die Fokussierung erlaubt.

Im Hinblick auf die Selbstoptimierung wird die Signalverarbeitung dahingehend erweitert, dass sie mittels multipler Algorithmen eine Vielzahl von Größen extrahiert. Zusammen mit der Modellbildung des Prozesses wird so der Weg für eine vollständige Bestimmung des Arbeitspunktes bereitet und die Selbstoptimierung des Prozesses ermöglicht.

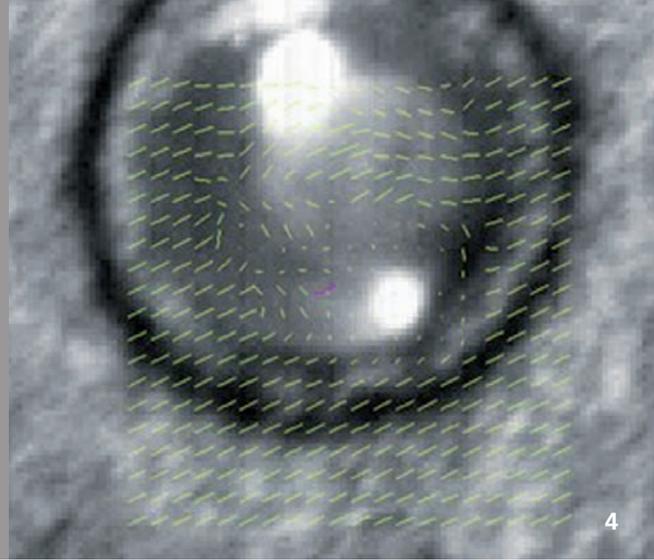
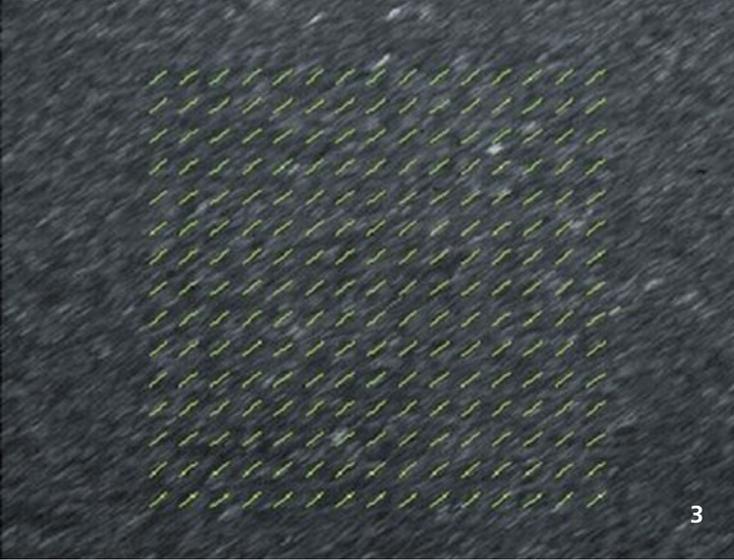
### Anwendungsfelder

Die Prozesssensorik ist an einem industriellen Fertigungssystem appliziert. Zusammen mit der modellbasierten Analyse der Messgrößen werden qualitätsrelevante Informationen extrahiert, die zur Steuerung des Prozesses verwendet werden. Eine Übertragung auf andere Fertigungsprozesse erfolgt auf Basis entsprechender Prozessmodelle.

### Ansprechpartner

M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) 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



## ONLINE-BAHNVERMESSUNG DES TOOL-CENTER-POINTS

### Aufgabenstellung

Bei der Lasermaterialbearbeitung sind die Prozessparameter von entscheidender Bedeutung. Nur durch die Einhaltung enger Parameterfelder können qualitativ hochwertige Bearbeitungsprozesse gewährleistet werden. Parameter wie Leistung und Fokusslage spielen dabei eine ebenso wichtige Rolle wie die kinematischen Größen.

Aufgrund des Einflusses von Massenträgheit und des oft großen Arbeitsabstands der Bearbeitungsoptik zum Werkstück kommt es zu Positions- und Geschwindigkeitsschwankungen am Bearbeitungspunkt. Die direkte Erfassung der tatsächlichen Relativgeschwindigkeit des Bearbeitungspunktes zum Werkstück und deren Verwendung als Regelgröße ist bislang nicht möglich.

### Vorgehensweise

Es wird ein Verfahren entwickelt, um die Laserbearbeitungsgeschwindigkeit auf dem Werkstück direkt durch die Bearbeitungsoptik zu ermitteln. Die Visualisierung der Werkstückoberfläche im unmittelbaren Umfeld des Bearbeitungspunktes erfolgt über ein Kamerasystem mit nachgeschalteter Bildverarbeitung. Dabei werden aufeinanderfolgende Bilder miteinander verglichen. Die Verschiebung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bildern wird ermittelt. Sie liefert zusammen mit der Bildrate der Kamera und den Abbildungsdaten die Geschwindigkeit der beobachteten Werkstückoberfläche relativ zum Bearbeitungspunkt.

### Ergebnis

Mit dem am Fraunhofer ILT entwickelten Verfahren erhält der Anwender ein präzises Feedback über die Einhaltung der kinematischen Prozessparameter der zuvor programmierten NC-Bahn. Damit wird das Einrichten und Programmieren einer Bearbeitungsanlage deutlich vereinfacht und optimiert. Bei einigen Prozessen mit wenig Sekundärstrahlung kann die Bahnkontur auch während der Bearbeitung gemessen werden.

### Anwendungsfelder

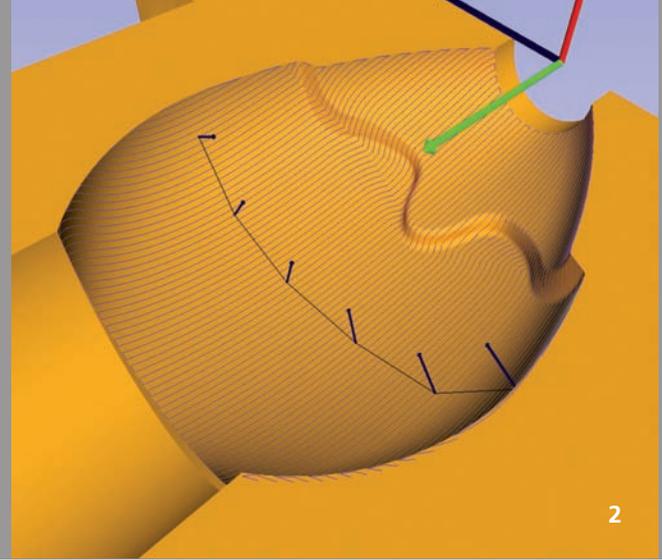
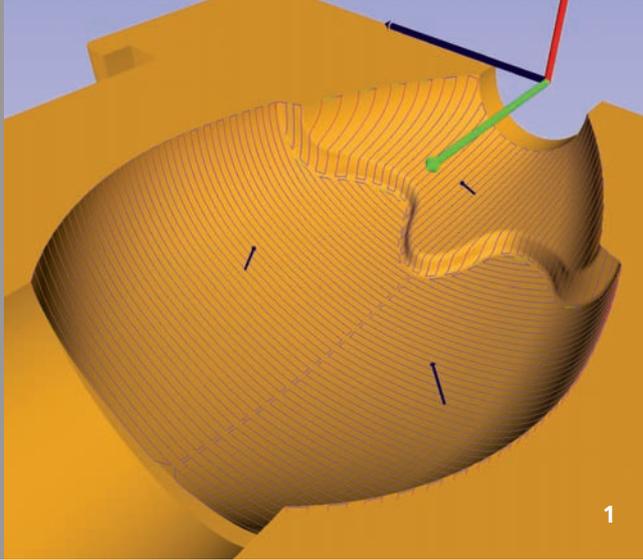
Das Verfahren kann überall dort zum Einsatz kommen, auch außerhalb der Lasertechnik, wo eine direkte Vermessung einer Bahntrajektorie gewünscht wird. Im Bereich der Lasermaterialbearbeitung umfasst dies alle Handhabungssysteme, Scannersysteme und Kombinationsmaschinen.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Christoph Franz  
Telefon +49 241 8906-621  
christoph.franz@ilt.fraunhofer.de

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

- 3 *Geschwindigkeitsmessung an Werkstückoberfläche ohne Prozess (feuerverzinkter Stahl).*
- 4 *Online Geschwindigkeitsmessung während Mikroring-Schweißung.*



## 8-ACHS-SIMULTAN- BEARBEITUNG MIT 5 MECHANISCHEN UND 3 OPTISCHEN ACHSEN

### Aufgabenstellung

Bei der Lasermaterialbearbeitung wird zunehmend der Einsatz optischer Achsen (Laserscanner) in Kombination mit mechanischen Achsen (Handhabungssysteme) interessant. Für linienbasierte Prozesse mit vergleichsweise kleinen Vorschubgeschwindigkeiten wie Schneiden und Schweißen existieren hierzu bereits Lösungen. Schwieriger wird dies jedoch bei der Bearbeitung von Flächen und Vorschubgeschwindigkeiten von z. T. mehreren Metern pro Sekunde wie z. B. beim Polieren, Reinigen, Markieren oder Strukturieren. Vereinzelt wird hier bereits die 5+3-Achs-Bearbeitung mit einem »Kacheln« von Bearbeitungsflächen angewendet. Allerdings wird dies erst ansatzweise beherrscht. Immer wieder sind Ansätze zwischen den Teilflächen sichtbar und reduzieren die Qualität des Bearbeitungsergebnisses. Eine Möglichkeit, Ansätze zwischen Teilflächen zu vermeiden, ist die 8-Achs-Simultanbearbeitung, bei der die 5 mechanischen Achsen und 3 optischen Achsen simultan verfahren.

1 5+3-Achs-Bearbeitung mit 3 Teilflächen,  
schwarze Pfeile zeigen Mittelpunkte und  
Orientierung der Teilflächen.

2 8-Achs-Bearbeitung ohne Ansätze  
mit schwarz markiertem Hauptweg der Maschine.

### Vorgehensweise

Um Anwendern einen einfachen Zugang zur 5+3-Achs-Bearbeitung aber auch zur 8-Achs-Simultanbearbeitung zu ermöglichen, wurde eine durchgängige CAM-NC-Datenkette realisiert. Der Anwender plant mit seinem z. B. vom Fräsen gewohnten CAM-System die Laserbahnen. Ein nachfolgender Technologieprozessor, der auch die Funktionalität eines Postprozessors beinhaltet, transformiert die Laserbahnen in das bewegte Koordinatensystem der mechanischen Achsen und gibt die NC-Programme für mechanische und optische Achsen aus. Diese NC-Programme können dann direkt auf einer entsprechend ausgestatteten Maschine abgearbeitet werden.

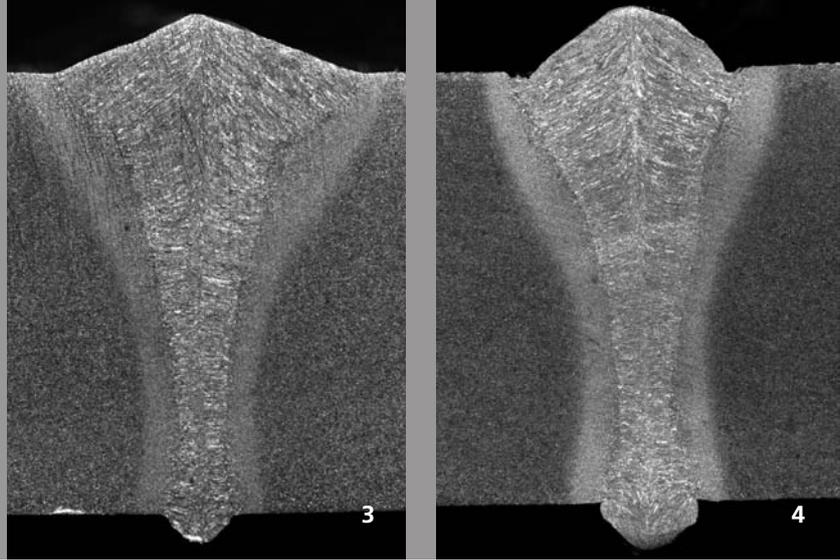
### Ergebnis und Anwendungsfelder

Die durchgängige CAM-NC-Datenkette wurde für die CAM-Systeme PowerMill und CATIA V5 sowohl für die 5+3-Achs-Bearbeitung als auch für die 8-Achs-Simultanbearbeitung erfolgreich erprobt. Die Einleseroutine für NX ist in Vorbereitung. Schwerpunkt der Erprobung ist derzeit die steuerungstechnische Feinsynchronisierung der überlagerten Achssysteme. Die Anwendung der 5+3-Achs-Bearbeitung und 8-Achs-Simultanbearbeitung erfolgt zunächst für das Laserpolieren. Weitere mögliche Anwendungsfelder sind das Laserreinigen, Markieren und Strukturieren.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Roman Ostholt  
Telefon +49 241 8906-137  
roman.ostholt@ilt.fraunhofer.de

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



## LASER-HYBRIDSCHWEISSEN MIT HOCHLEISTUNGS- SCHEIBENLASERN

### Aufgabenstellung

Nach Etablierung des Laser-MAG-Hybridschweißens mit CO<sub>2</sub>-Lasern und Off-Axis-Brenner in der industriellen Fertigung besteht der nächste Schritt in der Übertragung dieser Technologie auf fasergekoppelte Lasersysteme. Im Vordergrund steht dabei, ebenso wie beim Einsatz des CO<sub>2</sub>-Lasers, ein stabiler robuster Bearbeitungsprozess, der, bedingt durch die Wellenlänge von 1 µm, ein wesentlich engeres Prozessfenster aufweist. Aufgrund begrenzter Zugänglichkeiten werden vermehrt kompakte Laserhybridschweißeinheiten benötigt. Mit einem am Fraunhofer ILT entwickelten kompakten Hybridschweißkopf wurden vergleichende Untersuchungen zu den eingesetzten Off-Axis-Brennern im Dickblechbereich durchgeführt.

### Vorgehensweise

Die Versuche wurden mit einem 10 kW Scheibenlaser im Stumpfstoß in der Schweißposition PA mit optimierten Parametern durchgeführt. Als Schweißkopf wurde ein am Fraunhofer ILT entwickelter Hybrid-Schweißkopf eingesetzt.

### Ergebnis

Die mit dem Fraunhofer ILT Hybridkopf realisierten Schweißnähte zeigen eine gleichmäßige Oberraupe ohne Einbrandkerben mit einem fließenden sanften Übergang der Schweißraupe zum Grundwerkstoff und einem regelmäßigem Nahtquerschnitt mit ausreichender Nahtüberhöhung. Schweißungen mit Off-Axis-Brennern dagegen zeigen, dass sich die Oberraupe verstärkt nach oben zieht und sich halbkugelig ausbildet, wodurch die Gefahr einer auftretenden Kerbwirkung vergrößert wird. Aufgrund des hohen Laserleistungs- und Geschwindigkeitsniveaus bilden sich schlanke Schweißnahtgeometrien aus. Der Verbrauch des Zusatzwerkstoffs dagegen liegt in der gleichen Größenordnung wie im geringeren Schweißgeschwindigkeitsbereich.

### Anwendungsfelder

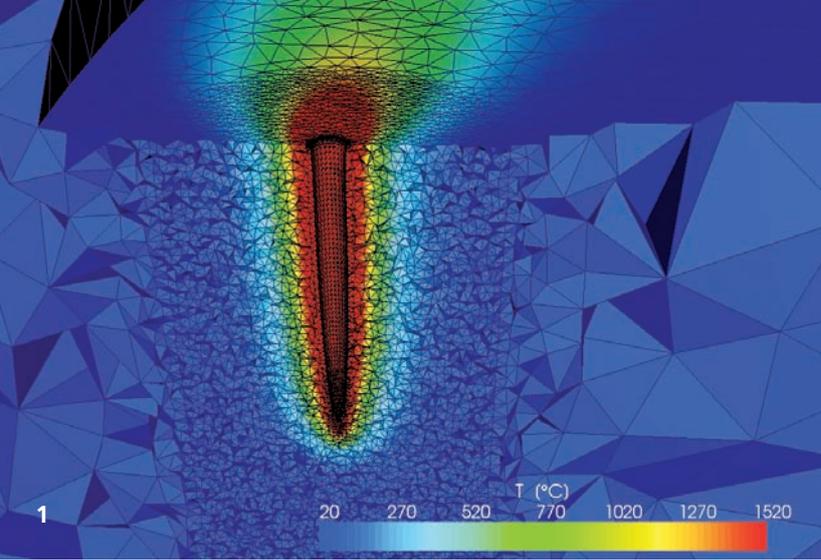
Die Ergebnisse sind auf Hybridschweißanwendungen im Schiffbau, im Behälter- und Schwerfahrzeugbau (yellow goods), im Pipelinebau sowie in der Rohr- und Profilverfertigung übertrag- und anwendbar. Selbst im Dünoblechbereich wie z. B. bei Tailored Blanks können diese Ergebnisse verwertet werden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Norbert Wolf  
Telefon +49 241 8906-448  
norbert.wolf@ilt.fraunhofer.de

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

- 3 Schweißung mit Fraunhofer-ILT Kopf,  
 $v_s = 2 \text{ m/min.}$   
4 Schweißung mit Off-Axis-Brenner,  
 $v_s = 2 \text{ m/min.}$



## AUTOMATISIERUNG UND BESCHLEUNIGUNG DER WÄRMEQUELLEN- KALIBRIERUNG BEIM LASERSTRAHLSCHWEISSEN

### Aufgabenstellung

In kommerziell verfügbarer Software zur Simulation des Laserstrahlschweißens werden häufig nicht alle physikalischen Phänomene integriert. So wird die Einkopplung der Energie zumeist durch eine parametrisierte Volumenquelle beschrieben. Die Werte der Parameter werden iterativ (d. h. in mehreren Schritten) bestimmt. Dabei werden die Parameterwerte durch »Ausprobieren« abgeändert, bis berechnete und experimentelle Werte für die Temperatur hinreichend gut übereinstimmen. In jedem Schritt wird eine partielle Differentialgleichung (PDE) in drei Raumdimensionen gelöst, was mit herkömmlichen Finite-Elemente (FE)-Verfahren einen erheblichen Rechenaufwand bedeutet. Zudem erfolgt die Abänderung der Parameter in jedem Iterationsschritt in einer langwierigen Auswertungsphase mit Hilfe fundierten Expertenwissens.

### Vorgehensweise

Ziele dieses Projekts sind die Automatisierung und Beschleunigung dieses Kalibrierungsprozesses bei mindestens gleicher Zuverlässigkeit gegenüber der etablierten Methodik. Zur Abänderung der Parameterwerte sowie zur Beurteilung der

hinreichenden Genauigkeit zwischen Simulation und Experiment werden Optimierungsverfahren angewandt. Zur Lösung der PDE werden numerische Modellreduktionsverfahren wie die der reduzierten Basen (RB) und Proper Orthogonal Decomposition (POD) benutzt.

### Ergebnis

Durch die schnelle, automatisierte und zuverlässige Bestimmung der neuen Parameterwerte in jedem Iterationsschritt entfällt die langwierige Auswertungsphase durch einen Experten. Zudem bringen beide Modellreduktionsverfahren im Vergleich zu herkömmlichen FE-Verfahren eine erhebliche Zeitersparnis, wobei die RB-Methode eine Abschätzung für den Reduktionsfehler liefert, jedoch im Vergleich zum POD-Verfahren eine aufwendigere Initialisierungsphase benötigt.

### Anwendungsfelder

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

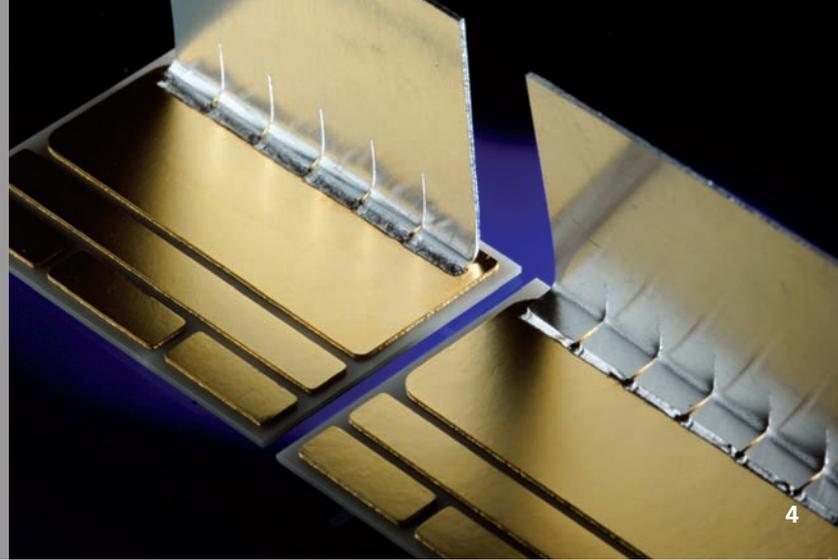
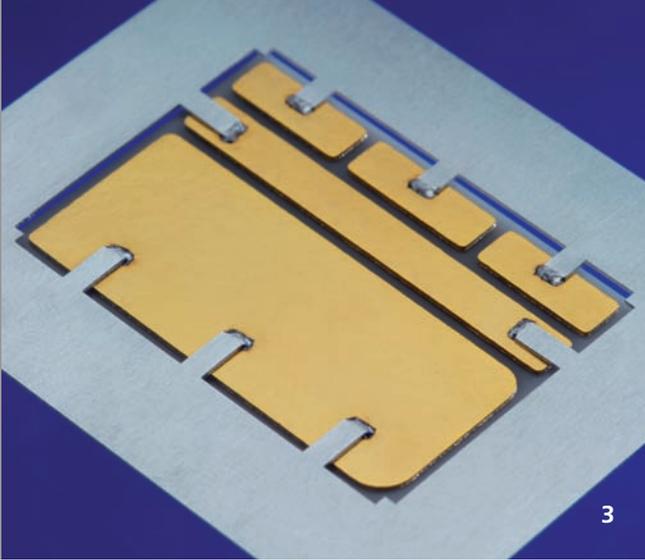
### Ansprechpartner

Dr. Georg Vossen  
Telefon +49 241 8906-307  
georg.vossen@ilt.fraunhofer.de

Prof. Wolfgang Schulz  
Telefon +49 241 8906-204  
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de

1 Simulation der Temperatur des Werkstücks.

2 Querschliff des Werkstücks nach der Schweißung.



## LASERSTRAHLSCHWEISSEN ELEKTRISCHER ANSCHLÜSSE AN DAB-SUBSTRATE

### Aufgabenstellung

Im Bereich der Leistungselektronik werden Hochleistungshalbleiterelemente auf die Kupferschicht von DCB-Substraten (Direct Copper Bonded) aufgebracht und entsprechend verschaltet, um in Leistungsmodulen z. B. DC/AC-Wandler zu realisieren. Zur äußeren Kontaktierung werden Lastanschlüsse mittels Dickdrahtbonden, Lötten oder durch Schweißverfahren an die Metallisierung der Keramik gefügt. Als Alternative zum bisher verwendeten Kupfer sollen zukünftig DAB-Substrate (Direct Aluminium Bonded) mit Al-Metallisierung verwendet werden. Die Substrate bestehen aus einer 300 µm dicken Aluminiumschicht mit einer darunterliegenden AlNi-Schicht und auf der Rückseite aus einer zusätzlichen Aluminiumschicht. Auf diese Schicht müssen die Al-Lastanschlüsse gefügt werden. Die Materialstärke der Lastanschlüsse beträgt bis zu 500 µm. Der Querschnitt der Lastanschlussgeometrie muss bei der Fügeverbindung erreicht werden, um eine ausreichende Stromtragfähigkeit zu gewährleisten. Eine Schädigung der Keramik durch das Schweißen darf nicht eintreten.

### Vorgehensweise

Für die Prozessentwicklung wurden DAB-Substrate mit einer zusätzlichen Nickel- und Gold-Schicht verwendet. Um einen geeigneten Anbindungsquerschnitt ohne ein zu tiefes Einschweißen zu erhalten, wird der Lastanschluss durch eine

Kehlnaht mit der Aluminiumschicht verschweißt. Durch den Einsatz eines Scheibenlasers mit hoher Strahlqualität wird ein schnelles Aufschmelzen der Goldschicht und des Aluminiums erreicht. Zusätzlich werden die Naht und der Anbindungsquerschnitt durch eine schnelle örtliche Leistungsmodulation verbreitert.

### Ergebnis

Durch den Einsatz eines Scheibenlasers und einer örtlichen Leistungsmodulation können reproduzierbare, prozesssichere Verbindungen der Lastanschlüsse erzielt werden. Eine geringe Einschweißtiefe in die Aluminiumschicht des Substrats bei gleichzeitigem ausreichendem Querschnitt wird erreicht.

### Anwendungsfelder

Das primäre Anwendungsfeld ist die Elektronikindustrie, welche Leistungsmodule in großen Stückzahlen fertigt. Darüber hinaus kann das Verfahren allgemein für das Fügen von metallisch beschichteten Keramiken eingesetzt werden.

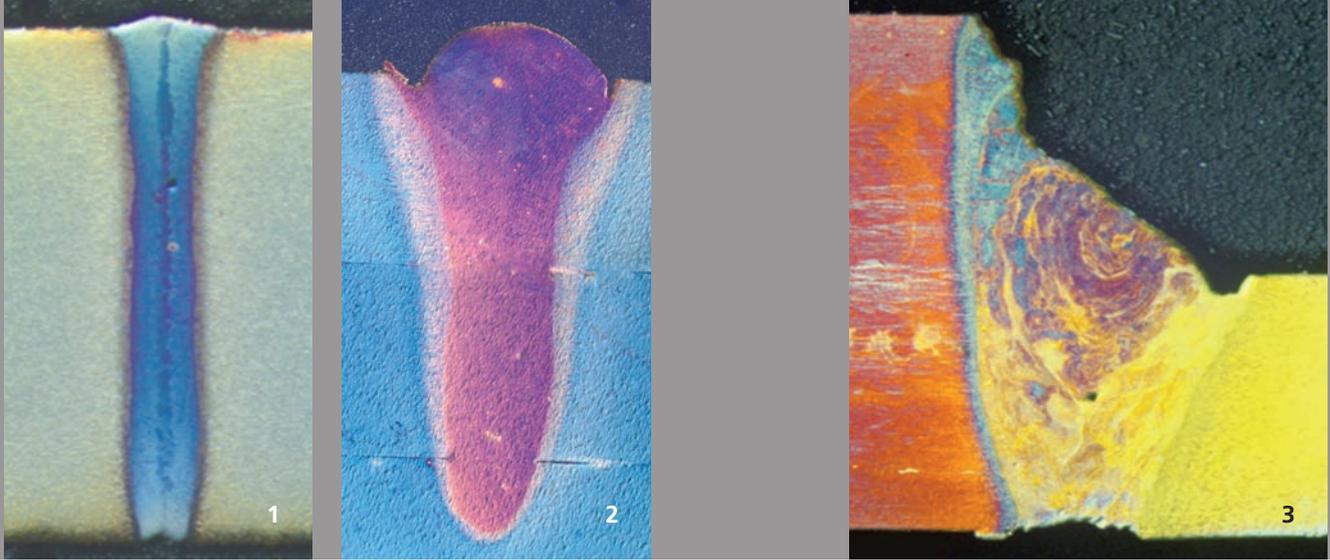
### Ansprechpartner

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 DAB-Substrat mit geschweißtem Leadframe.

4 DAB-Substrat mit geschweißtem Lastanschluss.



## KUPFER-DICKBLECH-SCHWEISSEN

### Aufgabenstellung

Das Schweißen von Kupferwerkstoffen ist aufgrund ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit eine besondere Herausforderung für jeden Schweißprozess. Für das Laserschweißen stellt bisher der vergleichsweise geringe Absorptionsgrad von Kupfer im IR-Wellenlängenbereich eine zusätzliche Hürde dar. Die damit einhergehenden Rückreflexionen gelten als potenzielle Quelle für Schäden an Optik, Strahlführung und Laserquelle. Deswegen existieren bisher - insbesondere im Bereich über 1 mm Einschweißtiefe - nur wenige systematische Untersuchungsergebnisse und kaum industrielle Anwendungen. Angesichts der wachsenden industriellen Nachfrage nach wirtschaftlichen Fügeverfahren für Kupferanwendungen in Energie-, Elektro-, Solar- und Automobiltechnik erarbeitet das Fraunhofer ILT lasertechnische Lösungen für das sichere Schweißen von Kupferwerkstoffen.

### Vorgehensweise

Scheiben- und Faserlaser eröffnen mit ihren hohen Leistungen und exzellenten Strahlqualitäten bisher unerreichbare Prozessregime. Ihre Nutzung für das Kupferschweißen soll durch die Auffindung der grundlegenden Skalierungsgesetze, modellgestütztes Prozessverständnis und die Entwicklung der Prozessregeln für Verbindungsschweißungen industriell umsetzbar werden.

1 4 mm CuNi3Si1Mg, Schweißgeschwindigkeit 4 m/min.

2 9,5 mm tiefe Überlappschweißung durch CuNi3Si1Mg Bleche.

3 4 mm CuSn6 an 2 mm CuZn37,  
Schweißgeschwindigkeit 2,5 m/min.

### Ergebnis

Durch den Vergleich der empirisch ermittelten Skalierungsgesetze mit Modellrechnungen konnten neue Erkenntnisse über die realen Einkoppelwirkungsgrade und temperaturabhängigen Stoffgrößen gewonnen werden. Die Untersuchungen lassen bei geeigneter Parametereinstellung selbst für eine Laserwellenlänge im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  - also ohne Frequenzverdopplung in den grünen Bereich - auf einen typischen Einkoppelwirkungsgrad von ca. 50 Prozent schließen. Außerdem wurden analytische Zusammenhänge für den Einfluss von Laserleistung und -intensität, Vorschub und Werkstoff auf Einschweißtiefe und Nahtbreite ermittelt. Schließlich wurden auch zahlreiche praktische Verbindungsschweißungen an artgleichen und -ungleichen Kupferwerkstoffen (desoxidiertes Kupfer, CuNi-, CuSn- und CuZn-Legierungen) demonstriert.

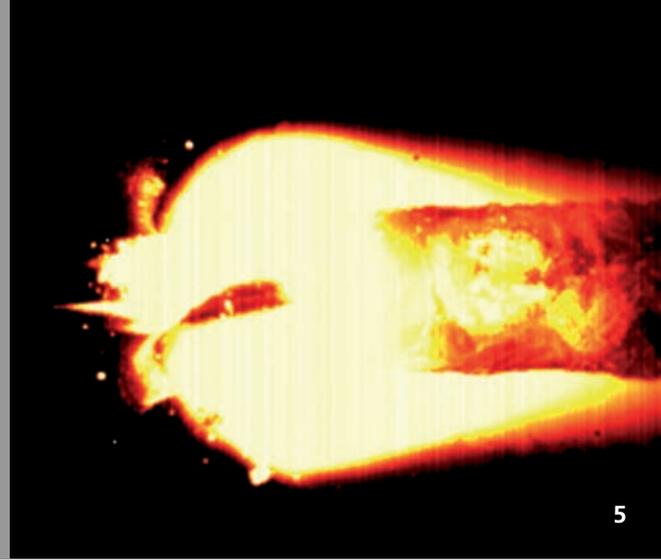
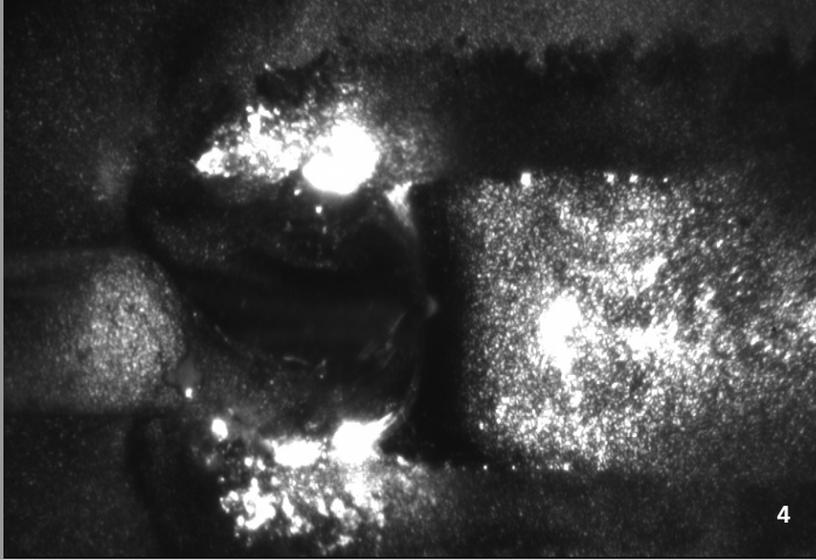
### Anwendungsfelder

Für Anwendungen in der Energietechnik und Leistungselektronik steht mit dem entwickelten Verfahren eine leistungsfähige Technologie zur Verfügung, die langzeitstabile und hochstromfeste Verbindungen liefert. Damit kann künftig auf Schraub- und Klemmlösungen verzichtet werden.

### Ansprechpartner

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

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



## SYNCHRONISIERTE QUALITÄTSSICHERUNG BEIM LASERHARTLÖTEN

### Aufgabenstellung

In der online Qualitätssicherung von Laserverfahren ist man auf möglichst robuste Signale aus dem Laserprozess angewiesen. Eine einzige Messmethode reicht dabei oft nicht aus, da die Anzahl sicherheitsrelevanter Merkmale in einem Signal meist begrenzt ist. Darüber hinaus kann die Pseudofehlerrate durch eine kombinierte Auswertung von zwei Signalen verbessert werden. Das synchronisierte Beobachten eines Laserprozesses in unterschiedlichen Spektralbereichen stellt daher eine robuste Methode zur online Qualitätssicherung dar; hier demonstriert am Beispiel des Laserhartlötens.

### Vorgehensweise

Mittels einer monochromatischen Fremdbeleuchtung wird der Laserhartlötprozess im sichtbaren Spektralbereich (VIS) aufgezeichnet. Man erhält ein reales Bild der Prozesszone (Bild 4). Gleichzeitig zeichnet eine zweite Kamera die Wärmestrahlung des Prozesses breitbandig im nahen infraroten Spektralbereich (NIR) auf (Bild 5). Die Kameras werden von einem externen Taktgeber synchronisiert.

### Ergebnis

Während im VIS-Bild Vorschubgeschwindigkeit, Drahtposition und geometrische Abmessung der Naht detektieren werden, liefert das NIR-Bild Informationen über die Wärmeverteilung der beiden Fügepartner, das Auftreten von Poren (Bild 5), einseitige Benetzung und die Position des Laserspots. Durch Vergleich von NIR- und VIS-Merkmalen können qualitätsre-

levante Aussagen getroffen werden. Beispielsweise hat die Position des Laserspots (Symmetrie im NIR-Bild) relativ zur Lage des Drahts (VIS) einen entscheidenden Einfluss auf das Benetzungsverhalten der Fügepartner und damit auf die Entstehung von Nahtfehlern.

Darüber hinaus erfahren die Algorithmen zur Qualitätssicherung einen höheren Grad an Robustheit durch die kombinierte Auswertung beider Kamerabilder.

### Anwendungsfelder

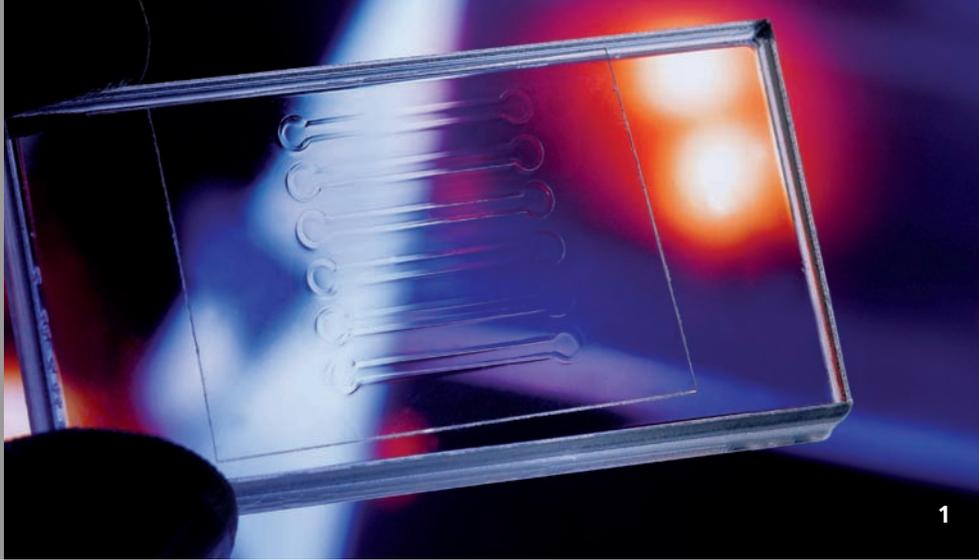
Mit dem System ist eine online Qualitätssicherung beim Laserhartlöten von zweiteiligen Automobilheckklappen möglich. Zukünftige Anwendungsfelder sind z. B. das Laserauftragsschweißen und der SLM-Prozess. Neben der Geometrie der Schmelze gibt die Wärmeverteilung Aufschluss über die Güte des Gefüges.

### 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

- 4 Entstehung eines Nahtfehlers im beleuchteten Kamerabild (VIS).  
5 Asymmetrische Wärmestrahlung aus der Prozesszone (NIR).



## ABSORBERFREIES LASERSTRAHLSCHWEISSEN VON TRANSPARENTEN KUNSTSTOFFEN

### Aufgabenstellung

Beim konventionellen Laserstrahlschweißen von Kunststoffen wird einer der beiden Fügepartner üblicherweise mit einem geeigneten Strahlungsabsorber versehen. Hierdurch ergeben sich in der Regel erhebliche Einschränkungen im Erscheinungsbild des Bauteils bzw. der Füge-naht durch die Eigenfarbe des Strahlungsabsorbers. Mit der Kombination einer materialangepassten Laserwellenlänge und innovativen Bestrahlungsstrategien lassen sich nun erstmals Kunststoffe auch ohne Absorber mit den Vorteilen einer Laserschweißnaht verbinden.

### Vorgehensweise

Statt der bisher zum Kunststofffügen üblichen Diodenlaser mit einer Emissionswellenlänge von 800 - 980 nm werden für das Laserstrahlschweißen von transparenten Thermoplasten neuartige Laserquellen mit Emissionswellenlängen oberhalb von 1400 nm eingesetzt. Durch Verwendung von Fokussieroptiken mit hoher numerischer Apertur überschreitet die Intensität im Fokus nur in der Fügeebene die zum Aufschmelzen der Kunststoffe erforderliche Schwellintensität. Auf der Bauteiloberfläche ist die Intensität so gering, dass die Bauteile

durch die Laserstrahlung nicht geschädigt werden. Desweiteren kann durch den Einsatz von zeitlichen und örtlichen Strahlmodulationen nach dem TWIST®-Verfahren ein thermisch optimierter Prozess erreicht werden.

### Ergebnis

Durch den Einsatz neuer Laserstrahlquellen mit Wellenlängen oberhalb von 1400 nm und innovativer Bestrahlungsstrategien, wie z. B. TWIST®, ist das Laserstrahlschweißen von transparenten Kunststoffen nun ohne Veränderung der Werkstoffe und ohne Zugabe von Absorbern möglich. Damit eröffnet sich für die Medizintechnik ein neues Fertigungsverfahren, bei dem die spezifischen Vorteile der Laserstrahl-Kunststoffschweißtechnik in vollem Umfang genutzt werden können.

### Anwendungsfelder

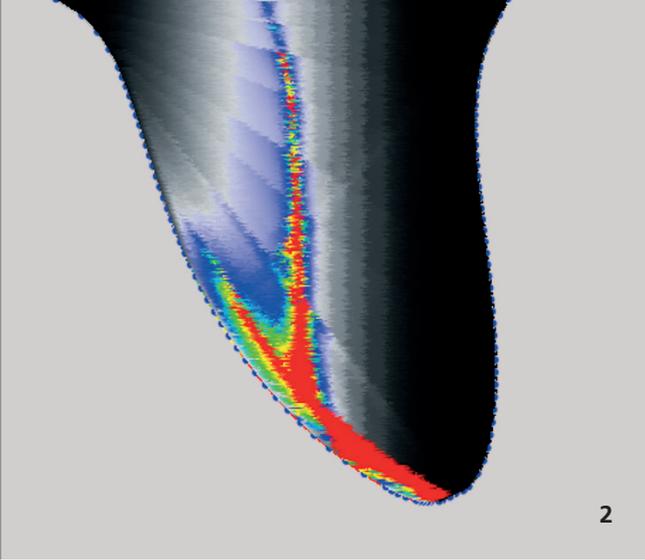
Für medizintechnische Produkte oder Produkte aus der Bioanalytik, bei denen transparente mikrofluidische Komponenten für eine stetige Kontrolle von z. B. Blutfluss und Medikamentendosierung unerlässlich sind, kann die zusatzwerkstofffreie und verschmutzungsfreie Laserfügetechnik zu neuen fertigungstechnischen Lösungen führen. Darüber hinaus bietet sich das neue Verfahren für die Montage optischer Bauelemente aus Kunststoff an, da die Eigenschaften der Kunststoffe nicht durch zusätzliche Absorber beeinflusst werden.

### Ansprechpartner

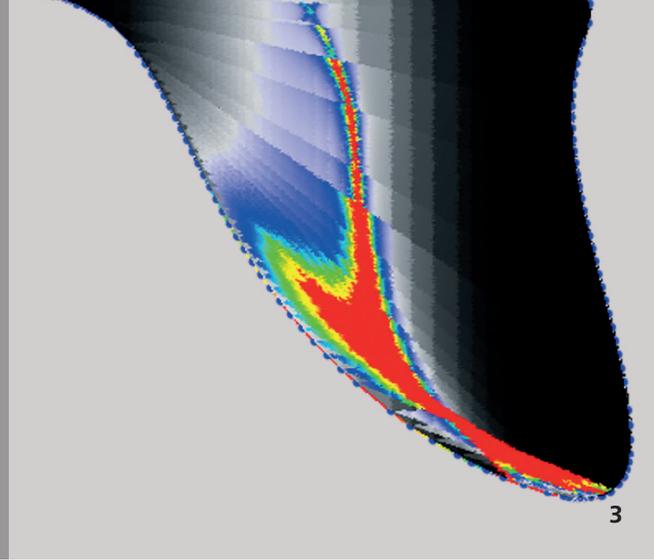
Dipl.-Ing. Andrei Lucian Boglea  
Telefon +49 241 8906-217  
andrei.boglea@ilt.fraunhofer.de

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

1 *Unsichtbare Schweißnähte für das Fügen  
von transparenten Kunststoffen.*



2



3

## SIMULATION LASERSCHWEISSEN

### Aufgabenstellung

Die Ausbildung der geometrischen Form einer Schweißnaht beim Schweißen mit Laserstrahlung wird maßgeblich durch die Verteilung der eingekoppelten Laserleistung auf der bearbeiteten Oberfläche beeinflusst. Deshalb besteht die Aufgabenstellung darin, den Strahlungstransport beim Laserschweißen zu beschreiben und in der Prozesssimulation zu berücksichtigen.

### Vorgehensweise

Als Grundlage dient ein stationäres Modell zur Vorhersage der geometrischen Form der Schweißkapillare, in der das Material als Dampf vorliegt und in die Laserstrahlung eindringt. Dazu werden Gleichgewichtsbedingungen zwischen der lokal absorbierten Laserleistung und der für den Prozess lokal benötigten Leistung (Aufheizen, Schmelzen, Verdampfen) aufgestellt. Die Verteilung der zur Verfügung stehenden Laserleistung ist nicht a priori bekannt, sondern hängt zum Beispiel durch Reflexionen an der Schweißkapillare wiederum von der geometrischen Form derselben ab. Mit Methoden der geometrischen Optik werden daher die Beiträge des Strahlungsfelds aus Fokussierung und Defokussierung nach Reflexion an der gekrümmten Kapillaroberfläche angegeben.

### Ergebnis

Ein sogenanntes Beamtracing-Verfahren teilt das Strahlungsfeld in Strahlenbündel ein und berechnet aus der Divergenz der Randstrahlen des Bündels die Intensität an jedem Punkt im inneren Volumen des Strahlenbündels. Dadurch stellt sich das Gleichgewicht zwischen zur Verfügung stehender Leistung und benötigter Leistung in anderer Form ein und andere geometrische Formen der Schweißkapillare werden vorhergesagt.

### Anwendungsfelder

Das Prozessmodell ist neben der Anwendung für die Prozesssimulation beim Laserschweißen auch für die Prozesssimulation anderer Materialbearbeitungsverfahren nutzbar. Das angegebene Beamtracing-Verfahren ist anwendbar zur Berechnung elektromagnetischer Strahlungsfelder in allen Bereichen der Lasermaterialbearbeitung. Dort bietet es die Möglichkeit zur Berechnung kontinuierlicher Strahlungsfelder und weist deutliche Geschwindigkeitsvorteile gegenüber wellenoptischen Verfahren auf.

### Ansprechpartner

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

2, 3 Berechnete Strahlungsintensität  
in Schweißkapillaren.



---

## RECHENCLUSTER FÜR HOCHAUFGELOSTE SIMULATIONS-RECHNUNGEN

---

### Aufgabenstellung

Die Simulation komplexer Aufgaben in der Materialbearbeitung mit Laserstrahlung erfordert den Einsatz von Cluster-Systemen mit großer Rechenleistung.

### Vorgehensweise

Gefördert aus der Initiative »Zentrum für Nanophotonik« des Landes NRW wurden verschiedene Systeme für Multi-Core Anwendungen für den Einsatz massiv parallelisierter Anwendungen auf Grafikprozessoren (GPUs) und redundante Systeme für die Ablage großer Mengen von Simulationsdaten beschafft.

### Ergebnis

Das installierte Clustersystem verfügt über 376 Prozessoreinheiten und 8 Grafikprozessoren mit insgesamt 1920 Rechen-einheiten, 1.86 TeraByte Hauptspeicher und 67 TeraByte Festplattenspeicher, davon 20 TeraByte in RAID-Verbänden mit Redundanz. Der Datenaustausch innerhalb des Clusters erfolgt über ein schnelles InfiniBand-Netzwerk.

### Anwendungsfelder

Mit dem neuen Hochleistungsrechnersystem können komplexe Fragestellungen aus der Lasermaterialbearbeitung mit hoher Auflösung in kurzer Rechenzeit simuliert werden. Anwendungsbeispiele sind die Simulation der Gasströmung in Schneidgasdüsen mit Discontinuous-Galerkin Verfahren, die Simulation der Strahlungspropagation mit FDTD-, Fourier- und Beamtracing-Verfahren, die lineare Stabilitätsanalyse der Schmelzdynamik beim Laserstrahlschneiden und die molekulardynamische Simulation des Abtragens mit ultrakurzen Pulsen.

Der heterogene Aufbau des Rechenclusters aus Multi-Core Systemen mit unterschiedlichen Architekturen und Systemen, die mit Grafikprozessoren bestückt sind, erlaubt es, für eine spezifische Simulation die jeweils effizienteste Prozessorarchitektur zu nutzen.

### Ansprechpartner

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

Dr. Jens Schüttler  
Telefon +49 241 8906-680  
jens.schuetzler@ilt.fraunhofer.de

- 1 Hochleistungsrechnersystem.  
2 Hochaufgelöste Simulation  
einer Schneidgasströmung.



## LASERAUFTRAGSCHWEISSEN UND PROZESSKETTE ZUR REPARATUR VON GASTURBINENSCHAUFELN

### Aufgabenstellung

Aufgrund von betriebsbedingtem Verschleiß kann die Instandsetzung von Gasturbinenschaufeln an der Schaufelkrone erforderlich sein. Als Reparaturverfahren wird hierzu häufig das Laserauftragschweißen aufgrund seiner spezifischen Vorteile wie geringe Wärmeeinbringung und konturgenauer Auftrag eingesetzt. Im Rahmen des Innovationsclusters »Integrative Produktionstechnik für energieeffiziente Turbomaschinen - TurPro« werden in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IPT für unterschiedliche Reparaturfälle an Turbomaschinenkomponenten Prozessketten entwickelt. Am Beispiel der Schaufelkronenreparatur soll gemeinsam mit dem Fraunhofer IPT eine automatisierte Prozesskette zur Reparatur durch Laserauftragschweißen demonstriert werden.

### Vorgehensweise

Die Reparatur der Schaufelkrone erfolgt innerhalb der Prozesskette in mehreren Teilschritten: Erfassung der Ist-Geometrie und Digitalisierung der Schaufelgeometrie durch einen Laserscanner, Vorbereiten der Schaufelkrone für das Laserauftragschweißen durch Fräsen, Laserauftragschweißen der Schaufelkrone, Neuerfassung der Schaufelgeometrie und

Fräsen auf Soll-Geometrie. Alle Prozessschritte werden dabei durch ein einheitliches Spannkonzzept und eine durchgängige Datennutzung und Bahngenerierung (CAx-Modul) zu einer Prozesskette zusammengeführt. Dabei dient die Spannvorrichtung als einheitliches Referenzierungssystem für alle Arbeitsschritte (siehe Bild 3).

### Ergebnis

In Kooperation mit dem Fraunhofer IPT wurde die Schaufelkronenreparatur von einer Gasturbinenschaufel durch Laserauftragschweißen in eine Reparatur-Prozesskette integriert. Die für den Prozess erforderlichen Verfahrensparameter und Auftragsstrategien wurden in das CAx-Modul Laserauftragschweißen integriert (siehe Bild 4).

### Anwendungsfelder

Die demonstrierte Prozesskette lässt sich auf diverse Bauteile und Reparaturfälle anwenden. Eine Übertragung auf eine generative Fertigung ist ebenso möglich. Durch die Realisierung einer durchgängigen Prozesskette stehen nun alle Module für eine automatisierte Reparatur durch Laserauftragschweißen zur Verfügung.

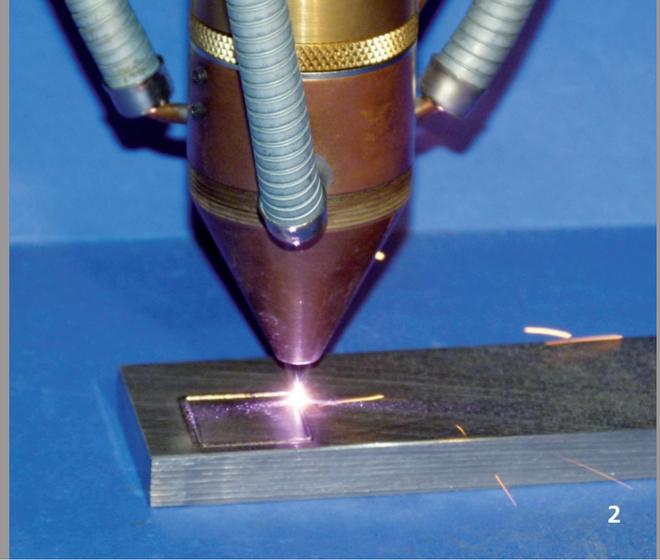
### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Marco Göbel  
Telefon +49 241 8906-219  
marco.goebel@ilt.fraunhofer.de

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

3 Wiederhergestellte GT-Schaufelkrone  
in der Spannvorrichtung.

4 Rekonturierte GT-Schaufelkrone.



## KORROSIONSSCHUTZ- SCHICHTEN AUS REINTITAN DURCH LASERAUFTRAG- SCHWEISSEN

### Aufgabenstellung

Die Korrosionsbeständigkeit von Werkstoffen ist besonders in der chemischen Verfahrenstechnik bei der Verarbeitung und Lagerung hochkorrosiver Medien von Bedeutung. Für höchste Ansprüche müssen häufig reine Metalle, wie z. B. Tantal oder Titan, eingesetzt werden. Der hohe Weltmarktpreis dieser Werkstoffe steht einer wirtschaftlichen Fertigung insbesondere großer Bauteile, wie z. B. Wärmetauschern, entgegen. Ziel ist daher, die teuren Werkstoffe als Beschichtungen auf kostengünstigen Stahlwerkstoffen aufzutragen und damit den Korrosionsschutz sicherzustellen.

### Vorgehensweise

Beim Auftragschweißen von Titan auf Stahlwerkstoffen kommt es in der Aufmischungszone zur Bildung intermetallischer, spröder Phasen. Zur Minimierung dieser Zone werden die Verfahrensparameter angepasst. Eine geringe Aufmischung ist ebenfalls notwendig, um eine ausreichende Reinheit der Beschichtung und damit eine hohe Korrosionsbeständigkeit sicherzustellen. Im Prozess muss zudem eine ausreichende Abschirmung der Bearbeitungsstelle vom Umgebungssauerstoff gewährleistet sein, um eine Oxidation der Titanbeschichtung zu vermeiden.

1 *Querschliff einer einlagigen Beschichtung  
aus Ti Gr.2 auf CK45.*

2 *Beschichtungsprozess.*

### Ergebnis

Es wurden dichte Beschichtungen aus Titan Grade 2 auf dem Stahlsubstrat CK45 mit einer Höhe von 350 µm rissfrei hergestellt. Die Dicke der Zone mit intermetallischen Phasen konnte auf wenige Mikrometer reduziert und die Oxidation der Titanbeschichtung vermieden werden. Der Reinheitsgehalt einer einlagigen Titan-Beschichtung liegt bei 99,8 Prozent und kann durch mehrlagiges Beschichten weiter gesteigert werden.

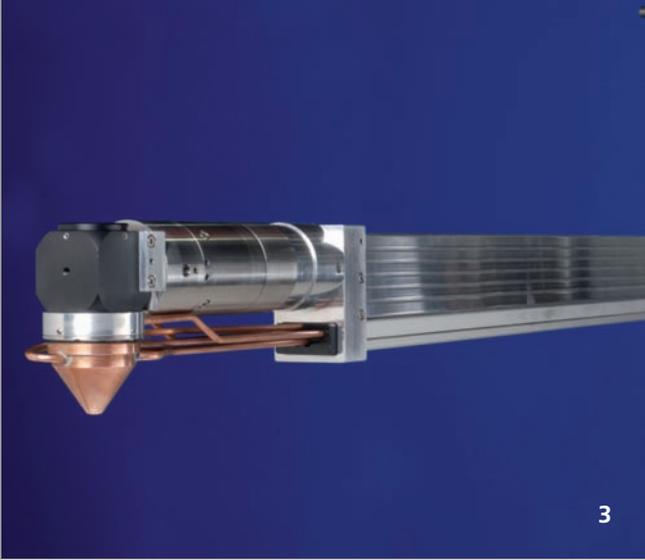
### Anwendungsfelder

Der wichtigste Anwendungsbereich für derartige Beschichtungen ist die chemische Verfahrenstechnik. Hier können Bauteile vor Korrosion geschützt werden, welche sonst nicht wirtschaftlich herstellbar wären. Aber auch in der Medizintechnik sind Beschichtungen aus Titan als Werkstoff mit einer hohen Biokompatibilität von Interesse.

### Ansprechpartner

Dipl.-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



3



4

## LASERAUFTRAGSCHWEISSEN VON INNENKONTUREN

### Aufgabenstellung

Für das Laserauftragschweißen von Innenkonturen werden seit mehreren Jahren Konzepte entwickelt, welche die Integration von Pulver- und Gaszufuhr, Kühlung und Laserstrahlführung und -formung in einer kompakten Einheit verwirklichen. Neue Anforderungen an die Innenbearbeitungseinheiten bezüglich der zu verarbeitenden Werkstoffe, wie z. B. Titanlegierungen, und die Forderung nach einem richtungsunabhängigen Bearbeitungsergebnis in immer kleineren Innendurchmessern von Bauteilen erfordern neue Konstruktionsansätze. Dabei soll eine kompakte Innenbeschichtungseinheit entwickelt werden, die die Vorteile einer kontinuierlichen coaxialen Pulverzufuhr wie hoher Pulverwirkungsgrad, richtungsunabhängiges Bearbeitungsergebnis und bessere Schutzgasabschirmung der Schmelze im Vergleich zu einer seitlichen Pulverzufuhr aufweist. Außerdem soll der Laserstrahldurchmesser durch ein integriertes bewegliches Linsensystem variiert werden können, um verschiedene Spurbreiten bei Beschichtungen zu realisieren. Eine Prozessüberwachung soll für jede Position der verschiebbar angeordneten Fokussierlinse ermöglicht werden.

### Vorgehensweise

Die Innenbeschichtungseinheit wird konstruiert, baugruppenweise montiert und schließlich die komplette Innenbeschichtungseinheit auf ihre Funktion getestet und in Betrieb genommen.

### Ergebnis

In einer ersten Testphase konnte gezeigt werden, dass die Innenbeschichtungseinheit zum Auftragschweißen mittels Nd:YAG-Laserstrahlung bis zu einer Leistung von 1000 W in Rohren mit einem minimalen Innendurchmesser von 105 mm geeignet ist. Die maximale Eintauchtiefe der gesamten Innenbeschichtungseinheit beträgt 900 mm. Die ersten Beschichtungsversuche auf der Innenfläche eines Rohrs mit Spurbreiten von 1,1 mm bis 2,1 mm erzielten Pulverwirkungsgrade zwischen 69 Prozent und 81 Prozent. Durch die coaxiale Pulverzufuhr lassen sich auch innerhalb des Rohres oxidationsfreie und richtungsunabhängige Beschichtungen wie z. B. Gitterstrukturen auftragen. Eine Prozessüberwachung wurde durch den Einsatz eines flexiblen Linsensystems für jede Position der verschiebbar angeordneten Fokussierlinse ermöglicht.

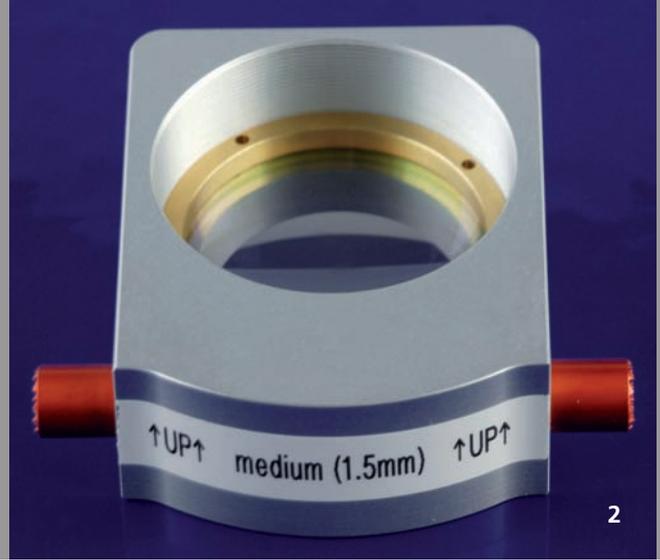
### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Gerhard Backes  
Telefon +49 241 8906-410  
gerhard.backes@ilt.fraunhofer.de

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

3 Innenbeschichtungseinheit  
mit einer Länge von  $l = 1 \text{ m}$ .

4 Innenbeschichtungseinheit in  
Verdichteraustrittsgehäuse mit einem  
Innendurchmesser von  $d = 110 \text{ mm}$ .



## LASERAUFTRAGSCHWEISSEN MIT VARIABLER SPURBREITE

### Aufgabenstellung

Das Laserauftragschweißen wird bereits heute für viele Anwendungen wie Reparatur und Verbesserung der Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit von Oberflächen und Bauteilen eingesetzt. Um eine endkonturnahe Beschichtung zu erzielen, sind variable Spurbreiten erforderlich. Die Variation der Spurbreite kann durch Verstellen des Abstands der Optik zur Oberfläche realisiert werden; gleichzeitig ist jedoch eine manuelle Anpassung des Pulverdüsenabstands erforderlich. Für Industrieanwendungen soll das manuelle Nachjustieren möglichst vermieden werden. Aus diesem Grund wird ein Auftragschweißkopf entwickelt, der ein modulares Optiksysteem mit austauschbaren Linsenkassetten und eine Pulverzufuhrdüse enthält, die das Auftragen unterschiedlicher Spurbreiten ermöglicht.

### Vorgehensweise

In Kooperation mit der Firma Reis Lasertec wird eine modulare Schweißoptik bestehend aus einer Basiseinheit und austauschbaren Linsenkassetten für fasergeführte Laser entwickelt. Die Basiseinheit wird hinter der Kollimation eingesetzt und mit integrierten Mediendurchführungen für Kühlwasser, Schutzgas, Druckluft und Kontaktdurchführungen für Sensor- und Kamerasignale ausgerüstet.

1 *Basiseinheit des modularen Schweißkopfes (Reis Lasertec) mit Fraunhofer ILT-Koaxialpulverdüse.*

2 *Beispiel einer Linsenkassette.*

Der Strahldurchmesser in der Bearbeitungsebene kann mit unterschiedlichen Linsenkassetten von 0,9 bis 2,0 mm variiert werden. An diesen Schweißkopf wird eine Aufnahmevorrichtung für diverse Pulverdüsen (koaxiale Pulverdüse, Dreistrahl-Pulverdüse) adaptiert.

### Ergebnis

Es wurde ein kompakter, modularer Auftragschweißkopf entwickelt, der die Möglichkeit bietet, unterschiedliche Strahldurchmesser in drei definierten Schritten (Strahldurchmesser 0,9 mm, 1,5 mm und 2 mm) zu erzeugen, ohne die Arbeitsposition zu ändern (konstanter Tool-Center-Point). Dazu muss lediglich eine Linsenkassette ausgetauscht werden. An den Schweißkopf können unterschiedliche Pulverdüsen montiert werden. Mit einer Koaxialdüse wurden Spurbreiten von 0,9, 1,5 und 2 mm bei einem Pulverwirkungsgrad größer 85 Prozent erzielt.

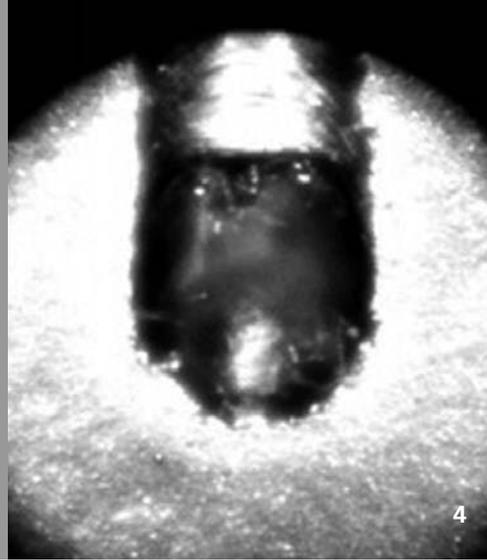
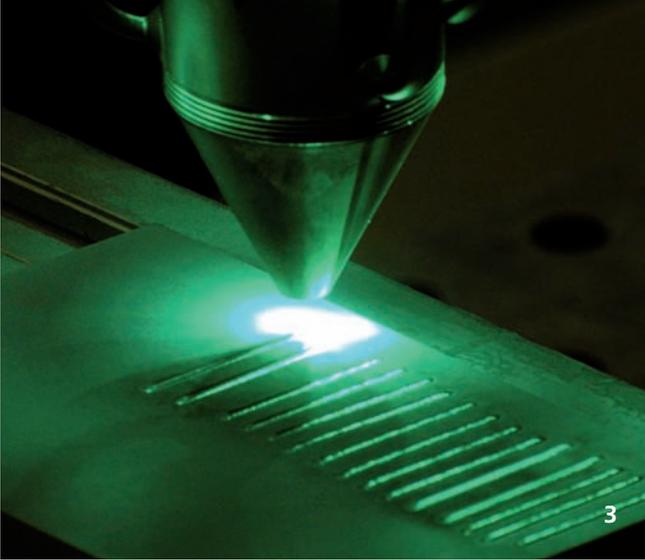
### Anwendungsfelder

Die Anwendungsfelder liegen überall dort, wo das Auftragschweißen zum Einsatz kommt (Reparatur, Verschleiß- und Korrosionsschutz). Der entwickelte Kopf erlaubt dabei, unterschiedliche Spurbreiten zu realisieren, ohne in die Maschine eingreifen zu müssen (TCP Anpassung).

### 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



## PROZESSBEOBACHTUNG BEIM LASERAUFTRAGSCHWEISSEN

### Aufgabenstellung

Das Laserstrahlauftragschweißen hat sich als Verfahren zur Funktionalisierung von Oberflächen, zur Reparatur und Modifikation von Bauteilen sowie zur Herstellung von Neuteilen etabliert. Die geometrische Ausdehnung und die Dynamik des Schmelzbads stellen ein wichtiges Merkmal für die Überwachung der Prozessqualität dar.

### Vorgehensweise

Um die Schmelzbadgeometrie überwachen zu können, muss diese zunächst für eine Kamera durch eine entsprechende Beleuchtung sichtbar gemacht werden. Eine schmalbandige Beleuchtungsquelle überstrahlt das Prozessleuchten und das reflektierte Licht wird selektiv von der Kamera aufgenommen. Um hierbei eine ausreichende Helligkeit zu erreichen, wird üblicherweise die direkte Reflexion eines koaxial zum Bearbeitungslaser eingekoppelten Diodenlasers auf die Kamera abgebildet. Beim Auftragschweißen ist dieses Konzept nicht einsetzbar, da es zu einer Abschirmung des Beleuchtungslasers durch den ebenfalls koaxial angeordneten Pulvergasstrahl kommt. Daher wurde eine lateral angeordnete Prozessbeleuchtung mit High Power LED entwickelt. Dieses Konzept bietet den Vorteil einer gleichmäßigen und richtungsunabhängigen Ausleuchtung. Einen weiteren Vorteil stellt das nicht kohärente Licht der LED dar. Dadurch ergibt sich eine sehr gute Bildqualität ohne »Speckles«. Um die erforderliche Helligkeit zu erreichen, die nötig ist, um den Prozess zu überstrahlen, werden die LED mit asphärischen Optiken fokussiert und

synchron zur Kamera gepulst. Ausgehend von der erreichten Bildqualität befinden sich verschiedene Algorithmen zur Vermessung der Schmelzbadgeometrie in Länge und Breite sowie der Fläche in der Entwicklung. Anhand von Parametervariationen (Leistung/ Vorschub) werden die Algorithmen miteinander verglichen und qualifiziert.

### Ergebnis

Mit dem speziell für das Auftragschweißen entwickelten Beleuchtungssystem und den darauf angepassten Algorithmen zur Vermessung der Schmelzbadgröße stehen die Grundlagen zur Verfügung, um anwendungsspezifische Überwachungssysteme zu entwickeln.

### Anwendungsfelder

Zu den Anwendungsgebieten zählen alle Bereiche des Auftragschweißens mit Laserstrahlung, bei denen die Überwachung der Prozessführung erforderlich ist. Die wichtigsten Anwendungsgebiete umfassen den Maschinen-, Werkzeug-, Triebwerks- und Motorenbau.

### 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

3 Prozessbeleuchtung mit High-Power-LEDs.

4 Schmelzbad beim Auftragschweißen.



## PROZESSDIAGRAMME FÜR DAS AUFTRAGSCHWEISSEN MIT GESTEIGERTEN AUFTRAG-RATEN

### Aufgabenstellung

Eine Zielsetzung im Fraunhofer Innovationscluster »Integrative Produktionstechnik für energieeffiziente Turbomaschinen - TurPro« ist die Qualifikation des Laser-Auftragschweißens als Fertigungsverfahren zur Herstellung von Schaufeln (Blades) auf vorhandenen - konventionell gefertigten - Scheiben (Disks) zu sogenannten Blinks (Blade Integrated Disks). In diesem Zusammenhang werden zunächst Beschichtungsdiagramme entwickelt, die erzielbare Auftragraten, Porositäten und Pulverwirkungsgrade als Funktion der Prozessparameter darstellen. In einem 2. Schritt werden Schaufelgeometrien mit gesteigerter Auftragrate laserauftraggeschweißt.

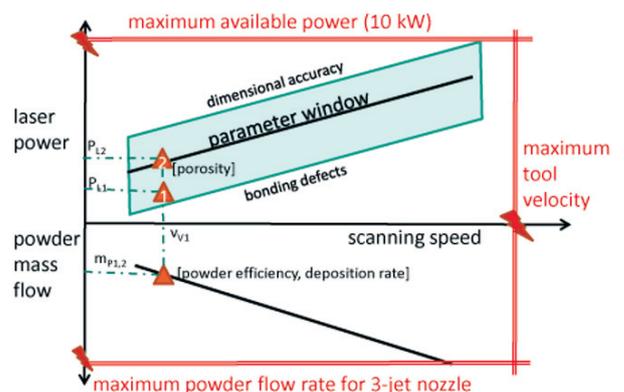
### Vorgehensweise

Ausgehend von erprobten Parameterkombinationen für das Laser-Auftragschweißen von INCONEL 718 auf artgleichem Grundmaterial wird für die Spurbreiten 2 mm und 4 mm die Vorschubgeschwindigkeit in Schritten von 500 mm/min gesteigert. Der Pulvermassenstrom wird angepasst, so dass ein konstantes Verhältnis von Spurbreite zu Spurhöhe von etwa 4:1 erzielt wird. Für jede Vorschubgeschwindigkeit wird ein

geeigneter Laserleistungsbereich ermittelt. Die Versuche werden mehrfach durchgeführt, die Mittelwerte und die Standardabweichungen der ermittelten Porosität werden in den Beschichtungsdiagrammen dokumentiert.

### Ergebnis

Beschichtungsdiagramme für das Laser-Auftragschweißen von 2 mm und 4 mm breiten Spuren wurden entwickelt. Eine Steigerung der Auftragrate von 200 mm<sup>3</sup>/min auf bis zu 9000 mm<sup>3</sup>/min für 4 mm breite Spuren ist realisierbar. Eine erste Modellblik mit 20 Schaufeln und 100 mm Kerndurchmesser wurde in einer Zeit von  $t < 10$  min vollständig aufgebaut.



### Anwendungsfelder

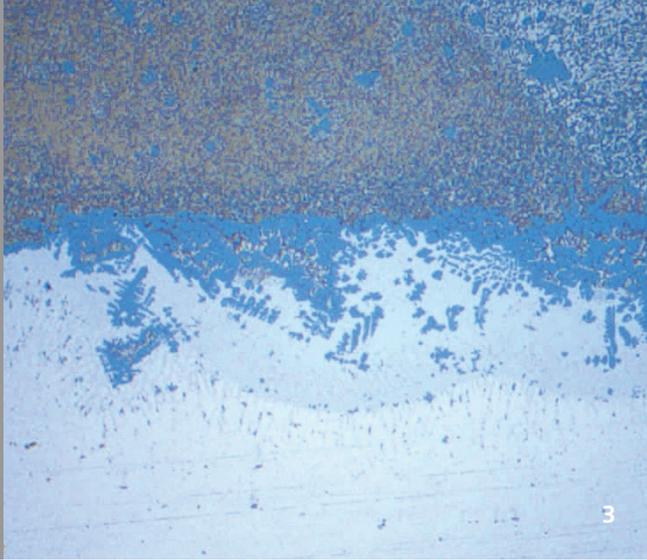
Anwendungsfelder sind die Luft- und Raumfahrt, der Werkzeug- und Formenbau und der Verschleiß- und Korrosionsschutz.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Johannes Witzel, M. Eng.  
 Telefon +49 241 8906-535  
 johannes.witzel@ilt.fraunhofer.de

1 Auftraggeschweißte Modell-Blik.

2 Endkonturnah auftraggeschweißtes Airfoil-like Specimen aus IN 718, Schweißzeit ca. 2 min.



# THERMISCHE WECHSELBESTÄNDIGKEIT LASER-AUFTRAGGESCHWEISSTER SCHUTZSCHICHTEN AUF MAGNESIUMLEGIERUNGEN

## Aufgabenstellung

Bauteile aus Magnesiumlegierungen (z. B. Gehäusebauteile in der Luftfahrt) weisen eine starke Anfälligkeit für Korrosion und abrasiven Verschleiß auf. Laserauftragsgeschweißte Beschichtungen können hier nachweislich zu einem besseren Schutz führen. Im Betrieb sind die Bauteile jedoch vielfach höheren Temperaturen (bis 250 °C) und zyklischen Temperaturschwankungen ausgesetzt. Die dabei auftretenden thermischen Spannungen können zu einem frühzeitigen Versagen führen. Im Rahmen eines DFG-Projekts wird daher die Temperaturwechselbeständigkeit untersucht und mit anderen Beschichtungen verglichen.

## Vorgehensweise

Mit verschiedenen Beschichtungsverfahren (Laserauftragsschweißen (LA): AlSi20, Thermisches Spritzen (TS): AlSi20, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeCr30Ni13B3C0,5, Interfill®: epoxid-basierte Schicht, HAE: anodisierte Schicht) werden Probenkörper der Legierung AZ31B beschichtet und zyklischer thermischer Belastung ausgesetzt. Die Beschichtungen (Dicke: 0,5 mm, anodisierte Schicht: ca. 70 µm) werden anschließend mittels Farbeindringprüfung sowie Gefügeanalyse analysiert und bewertet.

## Ergebnis

Die laserauftragsgeschweißte AlSi20 Beschichtung weist tendenziell eine bessere Temperaturwechselbeständigkeit als thermisch gespritzte und Interfill® Beschichtungen auf. Aufgrund der geringeren Schichtdicke weist die HAE Beschichtung die beste Beständigkeit auf.

Beschichtung	RT-200°C	RT-200°C	RT-400°C	RT-400°C
	100 Zykl.	400 Zykl.	100 Zykl.	400 Zykl.
LA - AlSi20	OK	Risse	OK	Risse
TS - AlSi20	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört
TS - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	OK	Risse	Risse	delaminiert
TS - Fe-Basis	Risse	zerstört	zerstört	zerstört
Interfill®	OK	Risse	Risse	delaminiert
HAE	OK	OK	OK	OK

## Anwendungsfelder

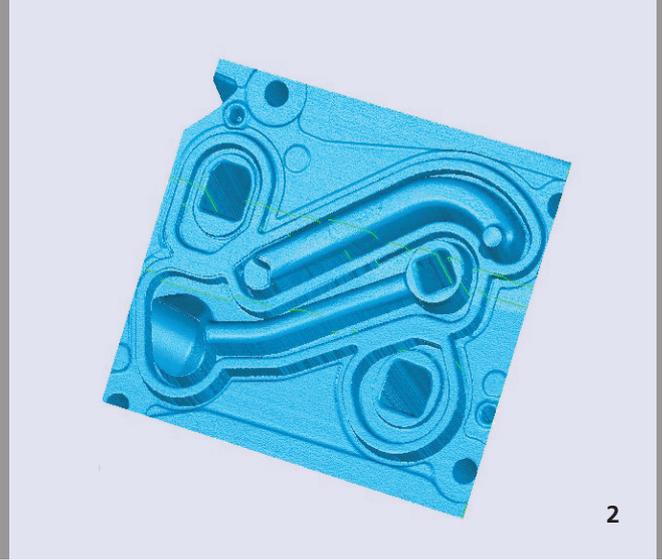
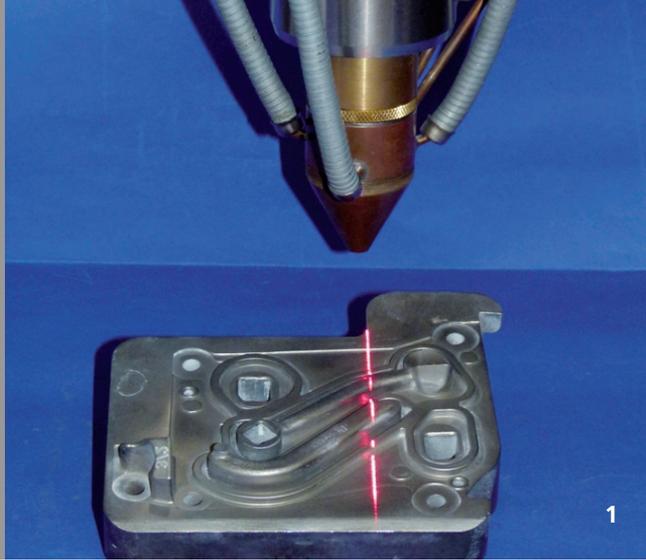
Die Hauptanwendungsgebiete sind der lokale Verschleiß- und Korrosionsschutz von Magnesiumbauteilen in der Automobilbranche sowie der Luft- und Raumfahrt.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Tim Biermann  
 Telefon +49 241 8906-365  
 tim.biermann@ilt.fraunhofer.de

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

- 3 Anbindungszone zwischen AlSi20-Beschichtung und AZ31B-Magnesiumsubstrat.
- 4 Proben nach Thermoschock-Belastungstest, von links: TS-Fe-Basis, TS-AlSi20, LA-AlSi40, LA-AlSi20, TS-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, HAE, Interfill®.



## OBERFLÄCHENDIGITALISIERUNG ZUR GEOMETRIEERFASSUNG BEIM LASERAUFTRAGSCHWEISSEN

### Aufgabenstellung

Die genaue Kenntnis der Oberflächengeometrie ist beim Laserauftragschweißen von großer Bedeutung für die Prozesssicherheit. Bei Reparaturschweißungen von Bauteilen entspricht die Ist-Geometrie nicht den CAD-Daten des Neuteils. Gründe hierfür sind Verzug und Verschleiß. Bei mehrlagigen Beschichtungen und der generativen Fertigung ist zudem die Messung der Höhe der jeweils aufgetragenen Beschichtung eine Möglichkeit, bei Abweichungen von der Soll-Dicke eine exakte Nachführung des Bearbeitungskopfs sicherzustellen. Zur Geometrieerfassung soll daher ein optischer Sensor eingesetzt werden.

### Vorgehensweise

Für die Digitalisierung der Bauteiloberfläche wird ein optischer Profilerkennungssensor in das Handhabungssystem integriert. Mit einer Linienbreite von 50 mm kann die Oberfläche je nach Größe des Bauteils in einer oder mehreren Überfahrten digitalisiert werden. Abschattungseffekte an steilen Flanken können durch Verkippen des Sensors aus der Senkrechten vermieden

werden. Die Verfahrensgeschwindigkeit liegt bei 500 mm/min, wodurch der Scanvorgang nur wenige Sekunden dauert. Die vom Scanner aufgenommenen Daten werden im STL-Format in einem CAD-Programm zu einem Oberflächenmodell verarbeitet.

### Ergebnis

Es konnten Oberflächen von metallisch blanken und beschichteten Proben erfolgreich digitalisiert werden. Die erzielbare Auflösung liegt je nach Oberflächenbeschaffenheit bei 5-10 µm. Dies ist für das Laserauftragschweißen ausreichend. Die Bahnprogrammierung, welche derzeit häufig noch durch manuelles Teachin vorgenommen wird, kann offline in der CAD/CAM-Software anhand der Daten des digitalisierten Bauteils erfolgen. Bei mehrlagigen Beschichtungen kann die Nachführung des Bearbeitungskopfs an die Ist-Dicke angepasst werden. Dies geschieht derzeit noch manuell, soll aber in Zukunft in einem Regelkreis realisiert werden.

### Anwendungsfelder

Die Hauptanwendungsgebiete sind Reparaturschweißungen, bei welchen der Aufwand der Bahnprogrammierung deutlich reduziert werden kann, sowie die Prozessüberwachung und -kontrolle bei der generativen Fertigung.

### Ansprechpartner

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

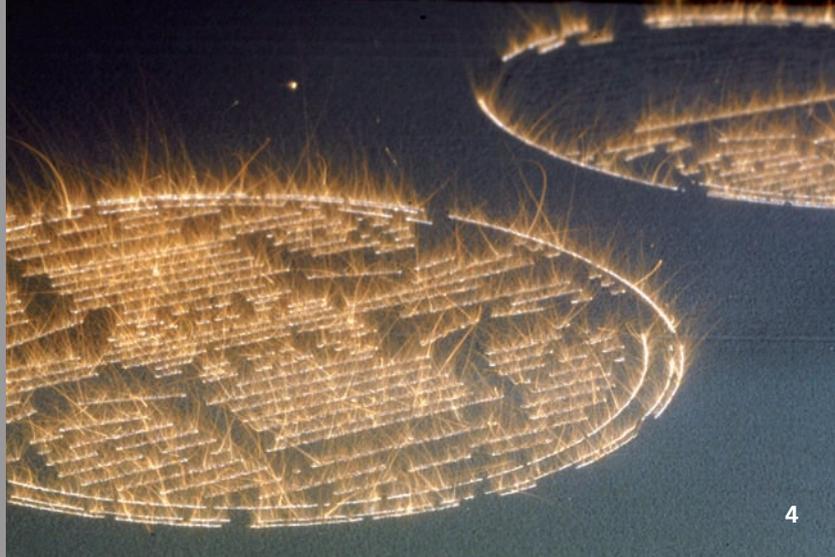
Dr. Andreas Weisheit  
 Telefon +49 241 8906-403  
 andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de

1 Digitalisierung eines Werkzeugeinsatzes.

2 CAD-Daten der digitalisierten Oberfläche des Werkzeugeinsatzes.



3



4

## GENERATIVE FERTIGUNG HOCHFESTER ALUMINIUM- BAUTEILE

### Aufgabenstellung

Für die generative Fertigung von Aluminiumbauteilen mittels SLM werden bereits zwei Druckgusslegierungen AlSi10Mg und AlSi9Cu3 am Fraunhofer ILT erfolgreich qualifiziert. In der Luft- und Raumfahrtindustrie besteht die Nachfrage nach hochfesten Aluminiumbauteilen, die sowohl den Festigkeits- und Korrosionsansprüchen als auch den Leichtbau-Forderungen gerecht werden. Hierfür wird ein innovatives Legierungskonzept (ScalmalloyRP) untersucht. Der Werkstoff AlMgScZr weist eine Kombination aus guter Korrosionsbeständigkeit und Fügeigenschaft der AlMg-Legierung und der Festigkeitssteigerung durch Ausscheidungshärtung ( $\text{Al}_3\text{Sc}(\text{+Zr})$ -Phase) auf. Voraussetzung für den festigkeitssteigernden Effekt ist eine hohe Abkühlrate aus der Schmelze. Bisherige Arbeiten zeigen die erfolgreiche Umsetzung mit dem Melt-Spin-Verfahren (Abkühlraten von  $10^4$  bis  $10^6$  K/s). Typische Bauteile sind bisher Extrusionsbauteile.

Bei erfolgreicher Umsetzung mittels SLM (Abkühlrate  $10^4$  bis  $10^6$  K/s) ermöglicht dies die Fertigung komplexer 3-D-Bauteile (bei gleichzeitiger Festigkeitssteigerung), was bisher nicht möglich ist.

### Ergebnisse und Anwendungsfelder

Primäres Ziel bei der Qualifizierung eines Werkstoffs für das SLM ist eine Bauteildichte von ca. 100 Prozent ohne Risse, Bindefehler und Poren. Dazu werden u. a. die Verfahrensparameter Scangeschwindigkeit und Laserleistung ermittelt, mit denen Bauteile mit einer Dichte von ca. 100 Prozent herstellbar sind. Anschließend werden die mechanischen Eigenschaften ermittelt. Erste Ergebnisse zeigen, dass sehr hohe Festigkeiten ( $R_m$  u.  $R_{p0,2}$  ca. 500 MPa) erreicht werden bei gleichzeitig hohen Bruchdehnungen ( $A$  ca. 20 Prozent). Im Vergleich zu SLM Bauteilen aus AlSi10Mg vergrößert sich  $R_{p0,2}$  um ca. 200 Prozent und die Bruchdehnung um ca. 400 Prozent. Bauteile in der Luft- und Raumfahrt unterliegen häufig dynamischen Belastungen, hierfür laufen zurzeit umfangreiche Fatigue-Tests. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass die Proben aus AlMgScZr im Vergleich zu AlSi10Mg Proben größere dynamische Festigkeiten aufweisen.

In zukünftigen Arbeiten wird untersucht, ob die Festigkeiten durch höhere Sc- bzw. Mg-Gehalte und durch höhere Abkühlraten beim SLM weiter gesteigert werden können. Weiteres Potenzial zur Gewichtsreduzierung bietet die Topologie-Optimierung der Bauteile und deren Fertigung mittels SLM.

### Ansprechpartner

Dipl. -Ing. Damien Buchbinder  
Telefon +49 241 8906-488  
damien.buchbinder@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach  
Telefon +49 241 8906-147  
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de

- 3 Anwendungsbeispiel, Quelle: MEV.  
4 Langzeitaufnahme einer Belichtung der Pulverschicht beim SLM.



## GENERATIVE HERSTELLUNG VON STRUKTUR-OXID- KERAMIKEN

### Aufgabenstellung

Am Fraunhofer ILT ist es gelungen, komplexe, endkonturnahe Bauteile aus  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$  Struktur-Oxidkeramiken generativ mittels Selective Laser Melting (SLM) aufzubauen. Dabei werden Bauteildichten  $> 99$  Prozent erreicht und die Rissentstehung mittels Hochtemperatur-Vorheizung unterdrückt. Bisher ließen sich lediglich Oberflächenrauigkeiten von  $R_z = 150 \mu\text{m} - 200 \mu\text{m}$  erreichen. Eine Verringerung der Oberflächenrauigkeit ist daher Gegenstand aktueller Forschung.

### Vorgehensweise

Das keramische Pulvergemisch wird zur Rissunterdrückung mittels homogener  $\text{CO}_2$ -Laserstrahlung auf Temperaturen knapp unterhalb des Schmelzpunktes der verwendeten Materialkombination ( $\sim 1830 \text{ }^\circ\text{C}$ ) vorgeheizt. Aufgrund der niedrigen Differenz zwischen Schmelztemperatur und Vorheiztemperatur entsteht ein ausgedehntes niedrigviskoses Schmelzbad, welches die Bauteilkonturen »verlässt«. Eine online Prozessbeobachtung mittels Hochgeschwindigkeitsvideographie erlaubt eine Analyse der Schmelzbaddynamik. Darauf aufbauend lassen sich geeignete Verfahrensparameter und Scanstrategien identifizieren. So wird die Oberflächenqualität mit extra Konturscans bei erhöhten Scangeschwindigkeiten erhöht. Der gut definierte Konturscan fungiert so als Barriere gegen das Ausfließen des Schmelzbads.

### Ergebnis

Mit dem oben beschriebenen Verfahren ist es gelungen, strukturkeramische Bauteile aus 58,5 Gew.-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und 41,5 Gew.-%  $\text{ZrO}_2$  bei einer Oberflächenrauigkeit von  $R_z < 70 \mu\text{m}$  mit einer Dichte von  $> 99$  Prozent ohne Risse herzustellen.

### Anwendungsfelder

Ein vielversprechendes Anwendungsfeld für die generative Herstellung von Struktur-Oxidkeramiken ist die individuelle Fertigung von Dentalrestorationen. Hier soll das neue Verfahren durch Kostenersparnis aufgrund der hohen Materialeffizienz und des fehlenden Werkzeugverschleißes die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Hersteller für Dentalrestorationen sichern.

Weitere Anwendungsgebiete sind technische Ingenieurkeramiken im Aerospace oder Automotive Sektor, die ihre Anwendung im Hochtemperaturbereich finden.

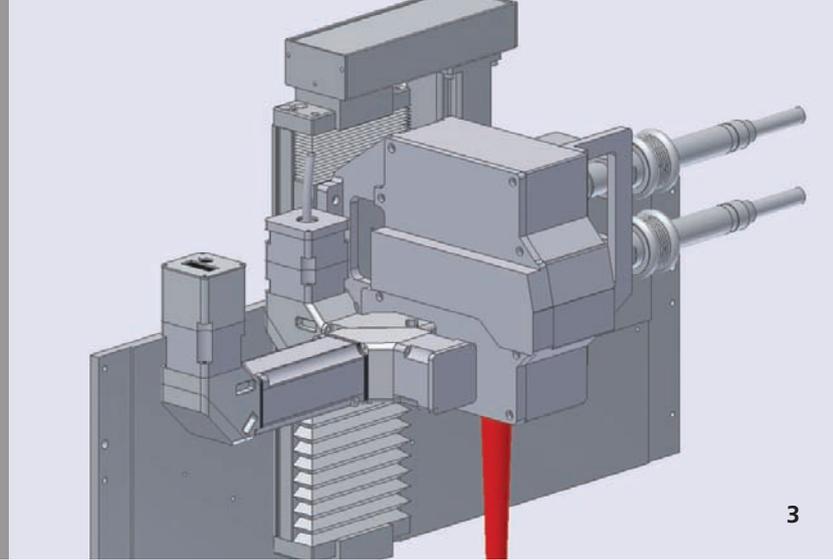
### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Yves Hagedorn M.Sc.  
Telefon +49 241 8906-674  
hagedorn@ilt.fraunhofer.de

Dr. Wilhelm Meiners  
Telefon +49 241 8906-310  
wilhelm.meiners@ilt.fraunhofer.de



2



3

## INLINE-QUALITÄTSSICHERUNG FÜR DIE GENERATIVE SERIENFERTIGUNG

### Aufgabenstellung

Die zunehmende Globalisierung hat in den vergangenen Jahren dazu geführt, dass sich der Wettbewerbsdruck auf produzierende Unternehmen drastisch erhöht hat. Um im Wettbewerb bestehen zu können, setzen Unternehmen in Hochlohnländern oft auf eine Kombination aus individuellen und qualitativ hochwertigen Produkten. Gleichzeitig müssen die Kosten niedrig gehalten werden. Zur Bewältigung dieses Dilemmas bietet die generative Fertigung mit ihren nahezu unbeschränkten geometrischen Freiheitsgraden eine der Verfahrensklassen mit dem größten Potenzial. Verbesserungsbedarf liegt bisher noch in der Qualität und der Reproduzierbarkeit, die häufig als die Achillesferse der generativen Fertigung bezeichnet wird. Durch Auftreten verschiedenster Fehlerarten während des Bauprozesses, beispielsweise durch unzureichende Pulverzufuhr, Poren- und Bindefehler im Bauteil, werden oftmals unbrauchbare Bauteile produziert.

### Vorgehensweise

Gegenüber den klassischen Fertigungsverfahren ist die Prozesssteuerung in Laserbearbeitungsverfahren aufgrund der größeren Anzahl an Parametern und Störgrößen sowie dem nicht-deterministischen Charakter der Prozesse schwieriger. Über die Beobachtung des Schmelzbades beim Selective Laser Melting (SLM) soll in erster Linie ein besseres Verständnis der qualitätsbestimmenden Prozessgrößen, besonders in funktionskritischen Bereichen, generiert werden.

Darüber hinaus lassen sich beispielsweise durch die Vermessung der Schmelzbaddimensionen und einer entsprechenden Regelung von Laserleistung und Scangeschwindigkeit Baufehler wie das Abreißen des Schmelzbades oder Porenbildung vermeiden. Dazu erfolgt in einem ersten Schritt die Auslegung einer Beobachtungsoptik.

### Ergebnis und Anwendungsfelder

Zur Realisierung der Inline-Qualitätssicherung wurde der Strahlengang des Systems mittels Ray Tracing ausgelegt und per Toleranzanalyse untersucht. Um flexibel auf die unterschiedlichen Prozessbedingungen reagieren zu können, wurde die Beobachtungsoptik variabel zur Realisierung verschiedener Vergrößerungen ausgelegt. Ausgehend von den optischen Eingangsgrößen ist die konstruktive Auslegung der Mechanik erfolgt. Da die Überlagerung verschiedener Strahlengänge Restriktionen hinsichtlich der Positions- und Lagetoleranzen bedingt, wurde zudem ein Fehlerbudget aufgestellt, so dass Fertigungsungenauigkeiten im Vorhinein ausgeglichen werden können. Durch die Integration von Überwachungskomponenten zur Inline-Qualitätssicherung wird künftig die Reproduzierbarkeit generativ gefertigter Bauteile signifikant verbessert, wodurch die generative (Klein-) Serienfertigung für viele neue Anwendungsgebiete wirtschaftlich rentabel wird.

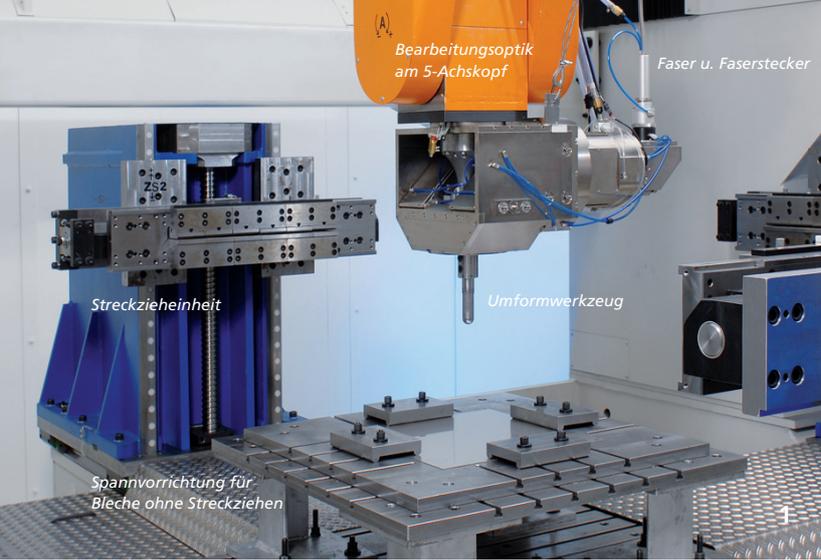
### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Henrich Schleifenbaum  
Telefon +49 241 8906-126  
henrich.schleifenbaum@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach  
Telefon +49 241 8906-147  
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de

2 Prozessbild Selective Laser Melting (SLM).

3 Schematische Darstellung des Aufbaus zur Prozessbeobachtung.



# BEARBEITUNGSOPTIK FÜR DIE HYBRIDE INKREMENTELLE UMFORMUNG (IBU)

## Aufgabenstellung

Die inkrementelle Blechumformung (IBU) ist ein Verfahren zur Herstellung komplexer Blechbauteile. Die Umformung der Bleche erfolgt mit Hilfe eines einfachen CNC-gesteuerten Umformstifts, wodurch die Notwendigkeit der Herstellung komplexer Umformwerkzeuge entfällt. Eine höhere Bauteilgenauigkeit sowie ein breiteres Anwendungs- und Bauteilspektrum (z. B. Umformung von Titan und Magnesium) sollen durch die Kombination der inkrementellen Blechumformung mit lokaler Vorerwärmung des Blechs durch Laserstrahlung erreicht werden.

## Vorgehensweise

Die Bearbeitungsoptik soll eine kontinuierliche und abschattungsfreie, lokale Erwärmung des zu bearbeitenden Blechs unabhängig von der Bewegungsrichtung des Umformwerkzeugs ermöglichen. Dabei soll die Bearbeitungsoptik stationär zum Umformwerkzeug angeordnet sein. Die Positionierung des Laserstrahls auf der Oberfläche des Blechs erfolgt durch Manipulation des Laserstrahls innerhalb der Optik. Der Laserstrahl soll eine (variable) elliptische Intensitätsverteilung aufweisen und sich stets im Vorlauf des Umformwerkzeugs befinden.

## Ergebnis

Mit der entwickelten Bearbeitungsoptik wird ein elliptischer Strahl auf einer Kreisbahn koaxial zum Bearbeitungswerkzeug rotiert. Die Form der Intensitätsverteilung kann durch den Austausch von Optikmodulen angepasst werden. Die Bewegung des Laserspots wird durch die Steuerung der IBU-Anlage mit der Bewegung des Werkzeugs synchronisiert, so dass der Strahl sich stets im Vorlauf des Werkzeugs befindet.

## Anwendungsfelder

Das Konzept zur freien Rotation eines Laserstrahls auf einer koaxialen Kreisbahn um ein Bearbeitungswerkzeug oder Zusatzwerkstoff ermöglicht das Design einer Vielzahl applikationsangepasster Bearbeitungsoptiken. Insbesondere für hybride Verfahren, bei denen der Laserstrahl um ein Werkzeug herum bewegt werden muss, aber die Bewegungsfreiheit des Lasers eingeschränkt ist, bieten diese Konzepte große Vorteile. Die Arbeiten wurden von der DFG im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« gefördert.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Jörg Diettrich  
 Telefon +49 241 8906-359  
 joerg.diettrich@ilt.fraunhofer.de

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

1 Bearbeitungsoptik mit IBU-Anlage.

2 Erprobung der Optik.



## LASERPOLIEREN IM WERKZEUG- UND FORMENBAU

### Aufgabenstellung

Im Werkzeug- und Formenbau stellt das Polieren häufig den letzten Fertigungsschritt dar. Aufgrund komplexer Geometrien mit eingeschränkter Zugänglichkeit ist Stand der Technik die manuelle Politur mit Bearbeitungszeiten von 10 bis 30 min/cm<sup>2</sup>. Hohe Kosten aufgrund langer Bearbeitungszeiten und ein zunehmender Fachkräftemangel führen zu einem hohen Bedarf an automatisierten Polierverfahren für komplexe Werkstücke.

### Vorgehensweise

Das Polieren mit Laserstrahlung beruht auf dem Umschmelzen einer dünnen Randschicht und Glättung der Oberfläche infolge der Grenzflächenspannung. Die Innovation des Laserpolierens liegt in dem grundlegend anderen Wirkprinzip (Umschmelzen) gegenüber konventionellen Schleif- und Polierverfahren (Abtragen).

Um die industrielle Anwendungsreife des Laserpolierens zu erreichen, wurden zwei öffentlich geförderte Projekte mit insgesamt über 10 Industriepartnern gestartet. Im vom BMBF geförderten Projekt ALPINE wird eine Werkzeugmaschine für das Laserpolieren entwickelt und im industriellen Umfeld für die Politur von Formen für die Glasherstellung erprobt. Die Maschine wird für Werkstückgrößen bis ca. 350 x 350 x 300 mm<sup>3</sup> geeignet sein.

Inhalt des von der EU geförderten Projekts poliMATIC ist die Weiterentwicklung und Erprobung des Laserpolierens für Spritzgieß- und Extrusionswerkzeuge und ein umfassender technischer wie wirtschaftlicher Vergleich mit dem manuellen Polieren.

### Ergebnis und Anwendungsfelder

An den Werkzeugstählen 1.2343, 1.2344 und 1.3207 können z. B. gefräste und erodierte Oberflächen mit einer Rauheit von Ra = 1 - 4 µm durch Laserpolieren auf eine Rauheit von Ra = 0,05 - 0,1 µm geglättet werden. Die Bearbeitungszeit liegt bei ≈ 1 min/cm<sup>2</sup>. Aber auch andere Stähle und Gusslegierungen können poliert werden, allerdings ist die erzielbare Rauheit abhängig vom Werkstoff und insbesondere der Homogenität des Werkstoffs.

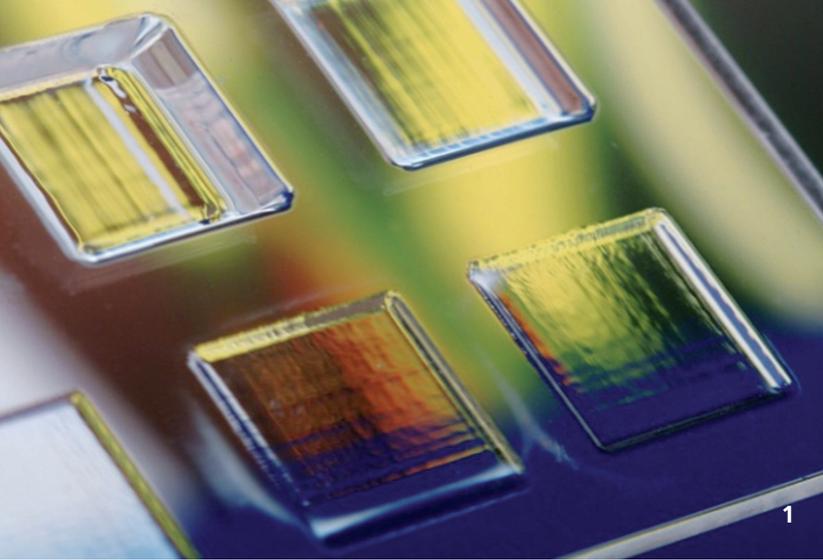
Für die Bearbeitung von 3-D-Oberflächen wurde eine durchgängige CAM-NC-Datenkette erfolgreich realisiert und steht für die Weiterentwicklung des Verfahrens und für bauteil- und kundenspezifische Erprobungen zur Verfügung.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Roman Ostholt  
Telefon +49 241 8906-137  
roman.ostholt@ilt.fraunhofer.de

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

*3 Form für die Glasherstellung mit teils laserpolierter Freiformfläche. Glasflasche, hergestellt mit laserpolierter Form.*



## LASERBASIERTE OPTIKFERTIGUNGSKETTE

### Aufgabenstellung

An die Qualität und Funktionalität optischer Elemente werden sowohl bei Massenprodukten wie beispielsweise Brillengläser als auch in Spezialgebieten wie Laseroptiken hohe Anforderungen gestellt. Asphärische Linsen oder Freiformflächen können dabei mehrere sphärische Linsen ersetzen und dadurch zu Gewichtsreduzierungen und geringeren Abmessungen bei sogar gesteigerten Abbildungsleistungen beitragen. Die konventionelle Fertigung derartiger Optiken durch Schleifen und Polieren ist wegen ihrer Abweichung von der sphärischen Oberflächenform jedoch zeit- und kostenintensiv. Abformende Verfahren lohnen sich aufgrund der Werkzeugkosten dagegen erst bei hohen Stückzahlen.

Durch die derzeit im Entwicklungsstadium befindliche laserbasierte Fertigungskette soll die kostengünstige und schnelle Herstellung von Optiken mit nahezu beliebiger Oberflächengeometrie durch die Entkopplung von Werkzeug und Werkstück ermöglicht werden.

1 Mittels Laserstrahlung abgetragene Testvolumen.

2 Laserpolierte und unpolierte Glaslinse.

### Vorgehensweise

Ausgehend von einem Glasrohling wird Material durch kontinuierliche CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung verdampft und dadurch abgetragen. Ein ebenfalls mit CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung durchgeführter Polierschritt glättet anschließend die Oberfläche ohne weiteren Materialabtrag. Nach einem Vergleich von Ist- und Soll-Kontur kann die Formgenauigkeit der Optiken im Anschluss durch einen optional erfolgenden Feinstabtrag weiter erhöht werden.

### Ergebnis

Der Abtragprozess von Quarzglas mit CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung erreicht zurzeit eine Abtragrates von über 20 mm<sup>3</sup>/s bei einer resultierenden Oberflächenrauheit von Ra < 5 µm und eignet sich somit für den Grobabtrag. Mit einer angepassten Verfahrensstrategie lassen sich bereits erste Linsenformen herstellen, deren Rauheit durch den folgenden Polierschritt weiter verringert wird. Durch einen Feinstabtrag entstehen Rauheiten von Ra < 0,05 µm bei jedoch geringerer Abtragrates. Zusätzlich wird die Eignung eines Femtosekundenlasers mit 1 µm Wellenlänge zum Feinstabtrag untersucht, welcher nach ersten Versuchen bereits eine hohe Präzision aufweist.

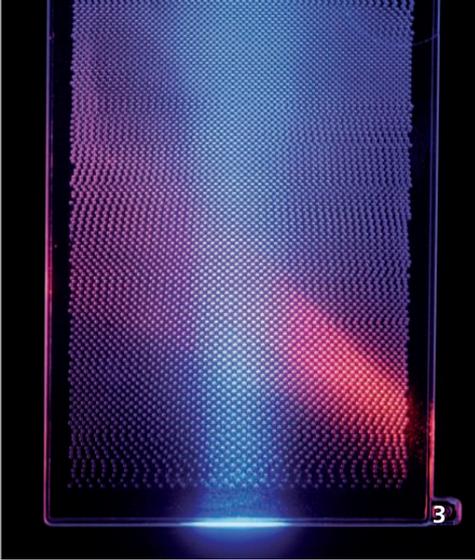
### Anwendungsfelder

Mögliches Anwendungsfeld ist die Fertigung von Optiken aus (Quarz-)Glas mit nahezu beliebiger Oberflächengeometrie.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Sebastian Heidrich  
Telefon +49 241 8906-645  
sebastian.heidrich@ilt.fraunhofer.de

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



## HERSTELLUNG VON FUNKTIONALEN OBERFLÄCHEN DURCH ULTRAKURZPULS-STRUKTURIERUNG

### Aufgabenstellung

Durch eine Mikrostrukturierung können auf Oberflächen funktionale Eigenschaften erzeugt werden. Neben den bekannten Effekten wie zum Beispiel dem Lotus- oder dem Mottenaugeneffekt, in denen die Natur als Vorbild dient, spielen in der Technik auch neue, vom Menschen entwickelte Anordnungen von Mikrostrukturen auf Oberflächen eine immer größere Rolle. Beispielsweise kann eine Anordnung von Mikronäpfchen in transparenten Medien als Streustruktur für Licht genutzt werden. Mikronäpfchen in tribologisch beanspruchten Bauteilen in Verbrennungsmotoren können die Reibung erheblich reduzieren und damit die Effizienz von Maschinen erhöhen und so den Ressourceneinsatz minimieren.

### Vorgehensweise

Im Rahmen verschiedener Industrie- und Forschungsprojekte werden zusammen mit den jeweiligen Partnern neue Produkte auf Basis funktionaler Oberflächen entwickelt. Für die Herstellung optischer Streustrukturen werden hierzu Werkzeugeinsätze aus Werkzeugstahl für den Spritzguss mittels Lasermikrostrukturierung bearbeitet. Zur Optimierung der tribologischen Eigenschaften von Kolbenringen und Zylinderlaufbuchsen wird eine durch Simulation optimierte Anordnung von Mikronäpfchen mittels Laserabtrag in die Oberflächen

eingbracht. Ultrakurzpulslaser sind aufgrund ihres nahezu grafreien Abtrags sehr gut für die Strukturierung der Einsätze, Kolbenringe und Laufbuchsen geeignet. Eine aufwändige und kostenintensive Nachbehandlung der Bauteile kann somit vermieden werden.

### Ergebnis

Die aus den Werkzeugeinsätzen gefertigten Spritzgussbauteile können als Streustrukturen für eine Hintergrundbeleuchtung verwendet werden. Die Verteilung der Näpfchen ermöglicht dabei eine homogene Ausleuchtung der Fläche. Erste Abnutzungstests von laserstrukturierten Kolbenringen ergaben, dass der Verschleiß der Ringe durch das Einbringen von Mikronäpfchen deutlich reduziert werden kann.

### Anwendungsfelder

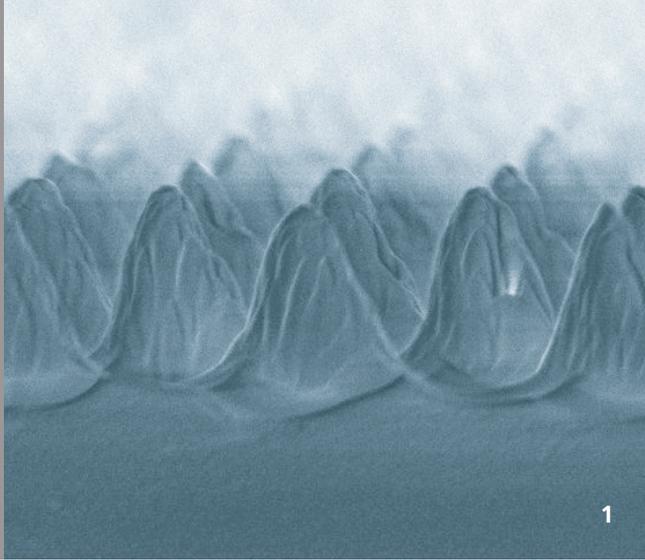
Die Spritzgussbauteile mit optischen Streustrukturen werden mittlerweile weltweit in der Instrumentenbeleuchtung von neuen Automobiltypen eingesetzt.

### Ansprechpartner

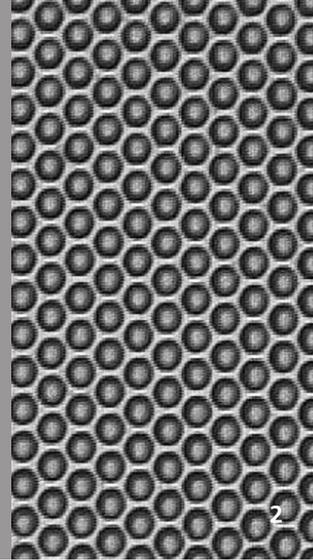
Dipl.-Phys. Stephan Eifel  
 Telefon +49 241 8906-311  
[stephan.eifel@ilt.fraunhofer.de](mailto:stephan.eifel@ilt.fraunhofer.de)

Dipl.-Ing. Andreas Dohrn  
 Telefon +49 241 8906-220  
[andreas.dohrn@ilt.fraunhofer.de](mailto:andreas.dohrn@ilt.fraunhofer.de)

- 3 *Spritzgussbauteil mit Mikrolinsen als Streustrukturen.*
- 4 *Komplettmodul zur homogenen Ausleuchtung einer Fläche.*



1



2

## DREISTRAHLINTERFERENZ- STRUKTURIERUNG VON GLAS

### Aufgabenstellung

Die minimalen Strukturgrößen, die mittels maskenbasierter Laserstrukturierung oder scannend mit fokussierter Laserstrahlung erzeugt werden können, liegen für direkt strukturierende Verfahren im Bereich einiger Mikrometer. Anwendungen in der Lichttechnik und der Medizintechnik erfordern jedoch Strukturgrößen unter 1  $\mu\text{m}$ , z. B. zur Herstellung von Bauteilen mit funktionalen Oberflächen.

### Vorgehensweise

Zur Erzeugung von Mikro- und Nanostrukturen im Geometriebereich von 200 nm bis einige Mikrometer wurde eine modifizierte Dreistrahlinterferenz-Technik entwickelt, die eine Strukturierung auch auf großen Flächen ermöglicht. Dabei wird ein Laserstrahl in drei kohärente Teilstrahlen aufgeteilt, räumlich angeordnet und unter einem vorgewählten Winkel überlagert. Durch Variation des Winkels können unterschiedliche Perioden erzeugt werden. Werden die Polarisationsrichtungen der einzelnen Strahlen zueinander verändert, können unterschiedliche Intensitätsverteilungen und damit unterschiedliche Strukturen erzielt werden. Als Strahlquelle wird ein frequenzverdreifachter Nd:YAG-Laser eingesetzt.

### Ergebnis

Mit der entwickelten Technologie wurden Mikro- und Nanostrukturen direkt in Polymer-Materialien als auch in unterschiedlichen Photolacken erzeugt. Mit einer modifizierten

1 REM-Aufnahme einer Noppenstruktur in Glas.

2 REM-Aufnahme einer Nöpfchenstruktur in Glas.

Verfahrenstechnik konnten periodische Strukturen im  $\mu\text{m}$ -Bereich auch in Werkstoffen erzeugt werden, die sich mit Laserstrahlung nur schwer bearbeiten lassen. So ließen sich mit einer kombinierten Interferenzstrukturierung und Ätztechnik Nanostrukturen in Glas erzeugen. Hierbei wird auf die zu bearbeitende Oberfläche eine dünne Polymerschicht aufgebracht, die mittels Laserstrahlung strukturiert wird. Mit einem anschließenden reaktiven Ionenstrahl-Ätzen wird diese Struktur in das Glas übertragen. Bild 1 zeigt eine REM-Aufnahme einer Noppenstruktur in Glas mit einer Strukturhöhe von 1,5  $\mu\text{m}$ . Die Spitzen der kegelförmigen Strukturen haben eine Breite von ca. 200 nm.

Bild 2 zeigt eine Nöpfchenstruktur mit einer Strukturtiefe von ca. 2,3  $\mu\text{m}$  und einem Durchmesser von 1,5  $\mu\text{m}$ . Grundsätzlich ist diese Technik geeignet, Strukturgrößen bis zu einem Durchmesser kleiner 200 nm zu erzeugen.

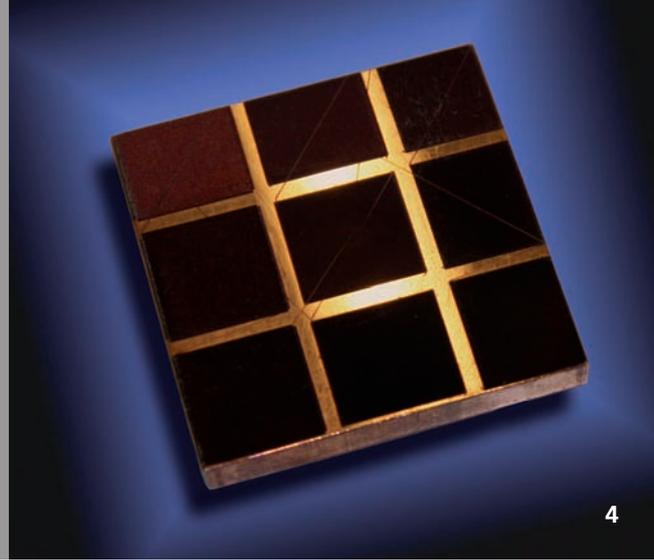
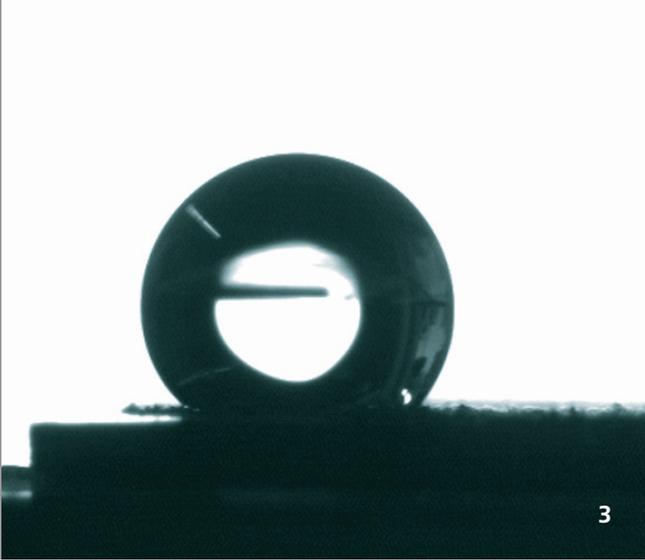
### Anwendungsfelder

Die Mikro- und Nanostrukturierung mit Laserstrahlung ermöglicht das Einbringen von neuen Funktionalitäten auf technischen Oberflächen. Das können z. B. hydrophile oder hydrophobe Eigenschaften sein, aber auch Strukturen, die zur Reibungsminimierung oder zur Sicherheitskennzeichnung eingesetzt werden. Ähnlich einem Barcode kann das Produkt mit Nanostrukturen unterschiedlicher Periodizitäten strukturiert werden, so dass sich dadurch eine individuelle Farbfolge als eindeutige Kennzeichnung erzielen lässt.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Stefan Beckemper  
Telefon +49 241 8906-325  
stefan.beckemper@ilt.fraunhofer.de

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



## MODIFIKATION VON METALLISCHEN OBERFLÄCHEN

### Aufgabenstellung

Oberflächeneigenschaften von Festkörpern, wie die Absorption von Licht und die Benetzbarkeit durch Flüssigkeiten, sind für viele analytische und technische Prozesse von großer Bedeutung. Neben chemischen und physikalischen Eigenschaften des Werkstoffs hängen diese Eigenschaften insbesondere von der Oberflächenmorphologie ab und können durch Strukturen im Mikro- und Nanometerbereich gezielt beeinflusst und anwendungsspezifisch optimiert werden.

### Vorgehensweise

Für die Modifikation der Oberflächeneigenschaften von Kupfer und Kupferlegierungen kommt eine am Fraunhofer ILT entwickelte und durch das ausgegründete Unternehmen AMPHOS kommerziell vertriebene Hochleistungs-fs-Laserstrahlquelle zum Einsatz. Die Laserstrahlung mit Pulsdauern kleiner 1 ps und mittleren Leistungen von bis zu 400 W wird über eine Planfeldlinse auf die Werkstückoberfläche fokussiert und mittels eines Galvanometerscanners oder eines Polygon-scanners und einer Linearachse über das Werkstück bewegt. Hierbei werden Scangeschwindigkeiten von bis zu 100 m/s erreicht. Die variable Repetitionsrate der Laserstrahlquelle bis zu 27 MHz erlaubt eine Skalierung hin zu großen Prozessgeschwindigkeiten und ermöglicht so einen industriellen Einsatz von Ultrakurzpulslaser-basierten Strukturierungsverfahren.

### Ergebnis

Die Kombination von direkt erzeugten Mikrostrukturen, welche in ihrer Ausdehnung und Ausrichtung durch die Scanbewegung bestimmt sind, und selbstorganisierten Nanostrukturen bedingt eine signifikante Änderung der optischen und mechanischen Oberflächeneigenschaften. So kann durch Variation der Verfahrensparameter die Reflexion einer Kupferoberfläche über einen weiten Wellenlängenbereich minimiert bzw. kontrolliert verändert werden. Ebenso ist beispielsweise eine Änderung der Benetzungseigenschaften von hydrophil zu hydrophob möglich.

### Anwendungsfelder

Oberflächenmodifikationen durch Mikro- und Nanostrukturierung mittels Hochleistung-fs-Laserstrahlung eröffnen ein breites Anwendungsspektrum: von Effizienzsteigerungen in der Solarthermie und Photovoltaik durch eine vergrößerte Absorption über analytische und katalytische Anwendungen in Chemie und Lebenswissenschaften durch die vergrößerte Oberfläche bis hin zu Reibungsminderung von Motor- und Fahrzeugbauteilen.

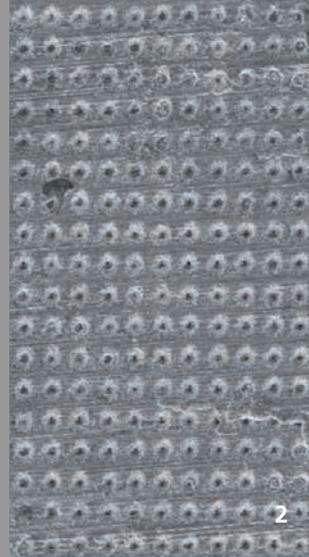
### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Dirk Wortmann  
Telefon +49 241 8906-276  
dirk.wortmann@ilt.fraunhofer.de

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

3 *Hydrophobe Oberfläche.*

4 *»Schwarzes« Kupfer.*



## SUPERHYDROPHOBE OBERFLÄCHEN

### Aufgabenstellung

Superhydrophobe Oberflächen werden besonders in Produkten benötigt, wo Flüssigkeitsmengen genau abgemessen werden müssen oder sich keine Flüssigkeitsfilme bilden sollen. Um diese Produkte kostengünstig anbieten zu können, muss die superhydrophobe Eigenschaft mit einfachen Mitteln und möglichst ohne zusätzliche Prozessschritte erzeugbar sein. Unter idealen Bedingungen wird die funktionale Oberfläche direkt im Urformverfahren, z. B. im Spritzguss, zusammen mit dem Bauteil in einem Arbeitsschritt hergestellt.

### Vorgehensweise

Im Rahmen des Exzellenzclusters der RWTH Aachen »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« wird diese massentaugliche Prozesskette zusammen mit dem Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) entwickelt. Durch Präzisionsabtrag mittels eines Pikosekundenlasers werden funktionale Mikrostrukturen auf Spritzgusswerkzeugen hergestellt. Diese Werkzeuge werden anschließend in einem angepassten variothermen Spritzgussverfahren abgeformt.

Um einen Lotuseffekt zu erzeugen, ist eine Kombination aus topographischer Mikrostruktur und einer angepassten Oberflächenenergie des Werkstoffs nötig. Dafür wird das

- 1 *Spritzgusswerkzeug mit 10 µm Näpfchenstruktur.*
- 2 *Kunststoffbauteil mit superhydrophober Oberfläche, hergestellt im variothermen Spritzguss.*
- 3 *Superhydrophobe Oberfläche auf Spritzgussbauteil aus PP.*

Spritzgusswerkzeug mit einer Näpfchenstruktur versehen, die aus einer Vielzahl von Vertiefungen in der Größenordnung einiger Mikrometer besteht und die von einer Ripplestruktur überlagert ist, die eine Strukturgröße von einigen 100 Nanometern aufweist.

### Ergebnis

Durch die Kombination der Spritzgusswerkzeuge mit der kombinierten Mikro- und Nanostruktur und dem angepassten variothermen Spritzguss können Bauteile mit superhydrophober Oberfläche erzeugt werden. Der Kunststoff verkrallt sich beim Spritzguss in den Nanostrukturen und wird beim Entformen verstreckt. Die dadurch entstehende Haarstruktur weist superhydrophobe Eigenschaften mit Kontaktwinkeln größer 160° auf.

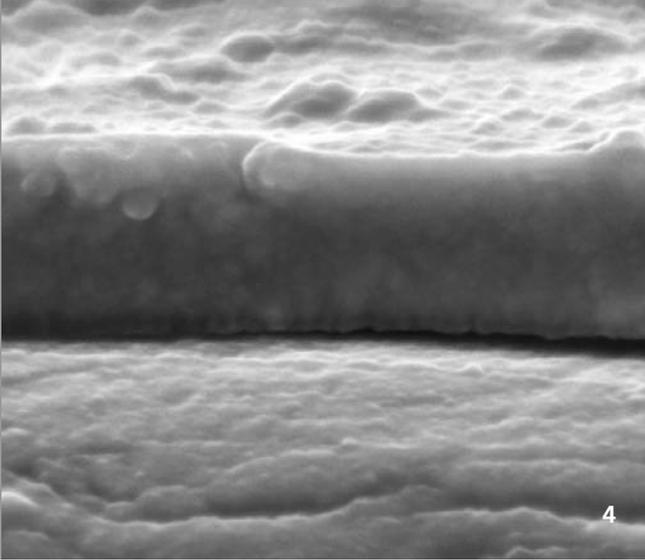
### Anwendungsfelder

Kunststoffbauteile mit superhydrophoben Oberflächen können in vielen Bereichen der Medizintechnik zur Anwendung kommen. Einsatzfelder finden sich vor allem in der Labortechnik, in der es darauf ankommt, präzise Dosierungen oder rückstandslose Entleerung zu erreichen. Aber auch andere Einsatzgebiete im Bereich der Consumerbauteile und der Kunststoffoptik sind denkbar, in denen der selbstreinigende Effekt superhydrophober Oberflächen genutzt wird.

### Ansprechpartner

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

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



4



5

## LASERBEHANDLUNG VON NANOSCHICHTEN

### Aufgabenstellung

Bei der kostengünstigen Herstellung funktionaler Schichten besitzen nasschemische Beschichtungsverfahren auf Basis nanopartikulärer Werkstoffe ein großes Potenzial. Diese sind einfach umzusetzen und eröffnen ein weites Feld möglicher Funktionalitäten. Ein bedeutendes Marktpotenzial besitzen z. B. Verschleißschutzschichten, die u. a. in der Automobilindustrie eingesetzt werden, um die tribomechanischen Eigenschaften hochbeanspruchter Motorenkomponenten zu optimieren. Die zentrale Herausforderung nasschemischer Beschichtungsverfahren ist die Notwendigkeit einer thermischen Nachbehandlung. Eine Laserbehandlung ermöglicht durch Erzeugung geeigneter Temperatur-Zeit-Verläufe eine Funktionalisierung der Schichten ohne negative Beeinflussung der zum Teil sehr temperaturempfindlichen Substratmaterialien.

### Vorgehensweise

Im Rahmen des BMBF geförderten Projekts FunLas wird in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern ein laserbasiertes Verfahren zur Herstellung von Verschleißschutzschichten auf 100Cr6 Stahlsubstraten entwickelt. Mit Hilfe kontinuierlicher Diodenlaserstrahlung konnten Schichten auf Basis von der Firma Merck KGaA entwickelter nanopartikulärer Materialien mit einer Dicke zwischen 0,1 und 1  $\mu\text{m}$  so funktionalisiert werden, dass diese in einem von der Firma Schaeffler KG durchgeführten Fe8-Prüflauf bereits sehr gute Verschleißeigenschaften zeigten. Weiterführendes Ziel ist eine Minimierung der Wärmeeinflusszone im Substratmaterial.

### Ergebnis

Im Rahmen von Laserbehandlungsversuchen von 100Cr6 Stahl kann die Anlasstiefe durch Verwendung gepulster Diodenlaserstrahlung mit Pulsdauern im  $\mu\text{s}$ -Bereich auf  $\leq 10 \mu\text{m}$  gegenüber  $\geq 50 \mu\text{m}$  bei Verwendung von kontinuierlicher Strahlung reduziert werden. Ein Fe8-Prüflauf mit gepulst behandelten Schichten wird zur Zeit vorbereitet.

### Anwendungsfelder

Anwendungsfelder dieser Technologie liegen überall dort, wo die Erzeugung funktionaler Oberflächenbeschichtungen auf empfindlichen Substratmaterialien angestrebt wird.

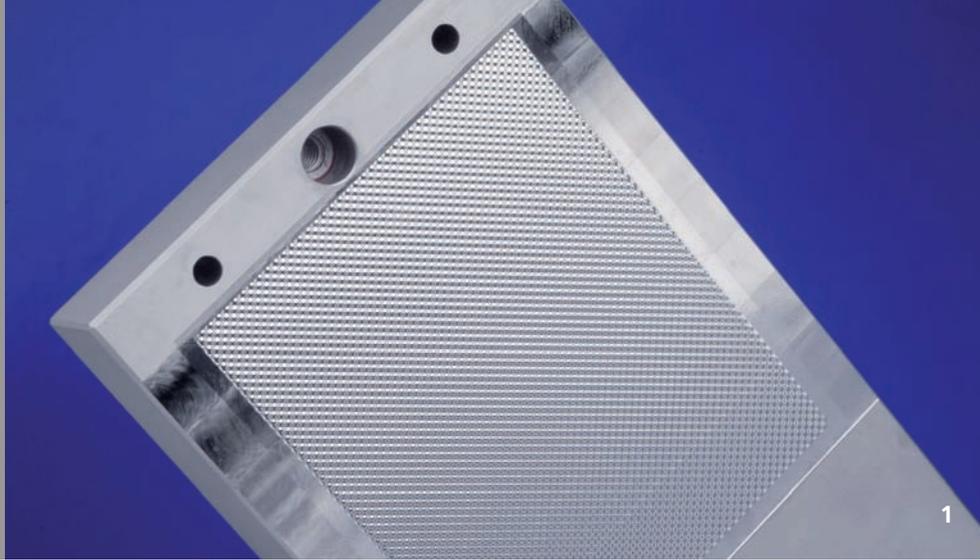
### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Dominik Hawelka  
Telefon +49 241 8906-676  
dominik.hawelka@ilt.fraunhofer.de

Dr. Konrad Wissenbach  
Telefon +49 241 8906-147  
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de

4 REM-Aufnahme der Bruchkante einer beschichteten 100Cr6 Probe (Schichtdicke ca. 230 nm).

5 Verschleißschutzschichten auf verschiedenen Bauteilgeometrien (Innendurchmesser Fe8-Ring: 62 mm).



## OPTISCHES SYSTEM ZUR STRUKTURIERUNG MIT MEHRSTRAHLTECHNIK

### Aufgabenstellung

Im Rahmen des von der VW-Stiftung geförderten Verbundprojekts »Fluidstruc« wird die Oberflächenstrukturierung durch Umschmelzen untersucht. Dazu werden kontinuierliche und gepulste Laserstrahlung überlagert. Die kontinuierliche Laserstrahlung schmilzt dabei eine dünne Randschicht auf, während die gepulste Laserstrahlung selektiv Material verdampft und somit die Schmelzbadoberfläche durch Dampfdruck formt. Neben den verfahrenstechnischen Untersuchungen stellt die Realisierung eines optischen Aufbaus für eine kombinierte Bearbeitung ein wesentliches Projektziel dar.

### Vorgehensweise und Ergebnis

Zur Realisierung der kombinierten Laserstrahlbearbeitung wurden zwei im nahen Infrarotbereich mit Wellenlängen von 1064 bzw. 1030 nm emittierende industrielle Laser ausgewählt. Der Strahl des cw-Lasers wird zur Vergrößerung des verfahrensspezifischen Parameterspektrums mittels Polarisationsteilung in zwei senkrecht zueinander polarisierte Teilstrahlen aufgespalten. Die Lage der Teilstrahlen kann durch einen motorisierten Kippspiegel zweidimensional relativ zueinander verschoben werden. In beiden Teilstrahlen lassen sich unabhängig voneinander Laserleistung und Laserstrahldurchmesser einstellen. Die Spotgröße wird durch

eigenentwickelte motorisierte Zoomteleskope variiert, die bei einer konstanten Fokusslage den Abbildungsmaßstab um einen Faktor von 0,25x bis 2x verändern können. Zusätzlich zu der Spotgrößenvariation wird der gepulste Laserstrahl über zwei mit Piezoaktoren angetriebene Kippspiegel abgelenkt, die eine schnelle (bis zu 2 kHz) transversale Ablenkung des gepulsten Laserstrahls ermöglichen. Mittels Wellenlängenkopplung werden die Laserstrahlen der gepulsten und der kontinuierlichen Strahlquelle kombiniert und durch einen 3-D-Laserscanner auf die Oberfläche des Werkstücks fokussiert. Alle im Prozess erforderlichen Einstellungen (Spotgröße, Leistung, relative Lage etc.) lassen sich über eine graphische Benutzeroberfläche vornehmen.

Das optische System für die simultane Bearbeitung mit kontinuierlicher und gepulster Strahlung ist erfolgreich realisiert worden. Durch die hohe Flexibilität des Systems wird ein großes Spektrum von Verfahrensparametern für die im Rahmen des Projekts folgenden Verfahrensuntersuchungen zur Verfügung gestellt.

### Anwendungsfelder

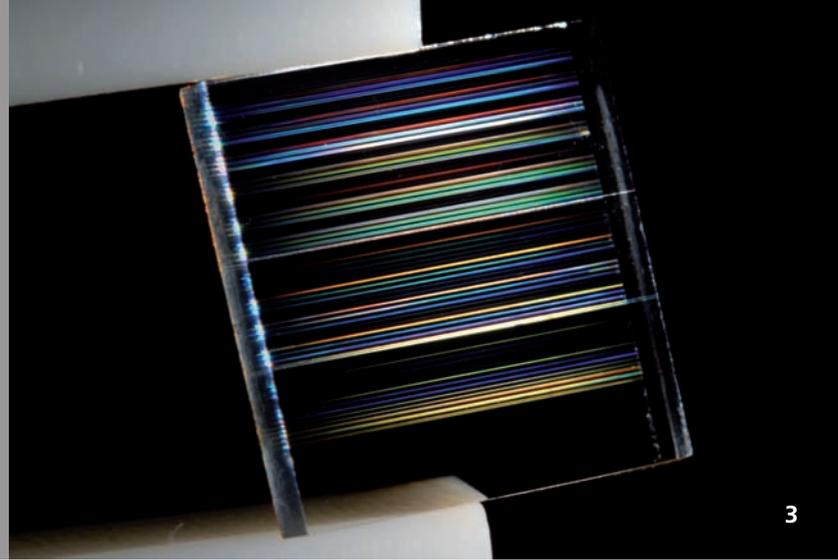
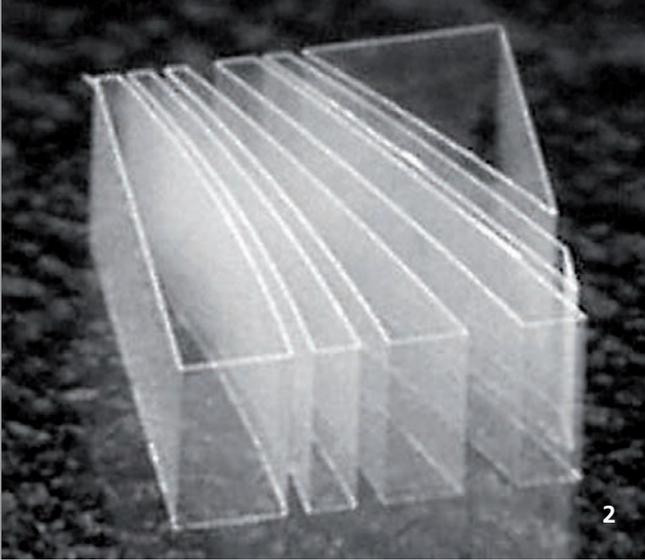
Mögliche Anwendungsfelder für das optische System sind das Strukturieren vor allem im Werkzeug- und Formenbau und in der Schmuckindustrie sowie alle Bereiche, in denen mehrere Laserstrahlen hochdynamisch überlagert werden sollen, beispielsweise um Prozesse zu parallelisieren.

### Ansprechpartner

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

Dipl.-Ing. Valentin Morasch  
Telefon +49 241 8906-224  
valentin.morasch@ilt.fraunhofer.de

1 Werkzeugeinsatz aus 1.2343 mit durch Umschmelzen strukturierter Oberfläche.



---

## VOLUMEN-MARKIERUNGEN IN TRANSPARENTEN MATERIALIEN

---

### Aufgabenstellung

Zur eindeutigen und dauerhaften Kennzeichnung von transparenten Materialien im industriellen Einsatz sowie im Bereich Marketing und Werbung sind Markierungen und Identifikationsnummern erforderlich. Die zur Strukturierung verwendete ultrakurzgepulste Laserstrahlung wird je nach Anforderung individuell fokussiert. Die Herausforderung liegt in der rissfreien Bearbeitung von Gläsern, Kristallen, Polymeren und anderen transparenten Materialien mit für die industrielle Anwendung ausreichend großen Prozessgeschwindigkeiten.

### Vorgehensweise

Im Volumen und an der Oberfläche von transparenten Materialien werden in wenigen Sekunden mit fokussierter Femtosekunden-Laserstrahlung Modifikationen erzeugt. Ein Scannersystem ermöglicht die Herstellung individueller Strukturen in drei Raumdimensionen. Die Gefügestruktur und damit der Brechungsindex des Materials werden lokal verändert. Je nach Wahl der fokussierenden, optischen Komponenten werden Strukturen bis zu einer Materialtiefe von 2 mm hergestellt. Die Prozessgeschwindigkeit beträgt dabei bis zu 350 mm/s bei gleichzeitiger Präzision im Nanometerbereich.

### Ergebnis

Durch Beugung und Interferenz an den erzeugten Brechungsindexänderungen entstehen lichtechte und farbige Markierungen. In Borosilikatglas wurden Gitterstrukturen mit wenigen Mikrometern Abstand hergestellt, die unter Lichteinfall winkelabhängige Farbeindrücke erzeugen. Im Volumen von Saphir wurden mittels eines Scannersystems rissfreie Markierungen in Form eines Logos eingebracht.

### Anwendungsfelder

Markierungen im Volumen dienen beispielsweise als Justagehilfe bei der Herstellung von Brillengläsern, der fälschungsfreien Kennzeichnung in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie sowie im Bereich Marketing als Werbung in Form von Logos und zur Dekoration. In der industriellen Produktion und Logistik können die erzeugten Markierungen für die Identifikation und Kennzeichnung von zahlreichen Bauteilen und Produkten genutzt werden.

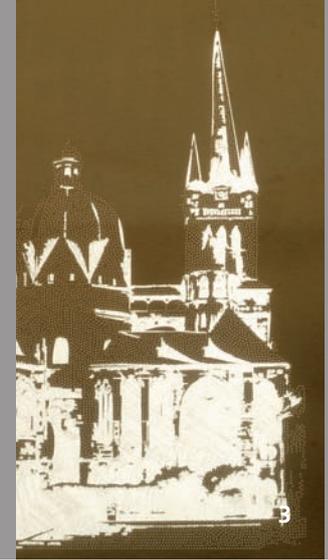
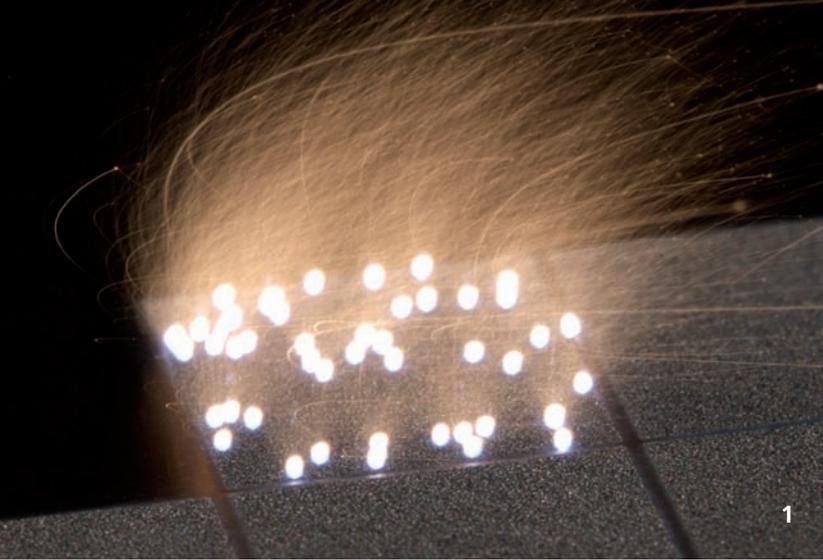
### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Dagmar Esser  
Telefon +49 241 8906-628  
dagmar.esser@ilt.fraunhofer.de

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

2 Logo im Volumen von Saphir.

3 Beugung und Interferenzeffekte an Gitterstrukturen in Glas.



## MIKROSTRUKTURIERTE ELEKTRODEN FÜR LITHIUM- IONEN-AKKUMULATOREN

### Aufgabenstellung

Lithium-Ionen-Akkumulatoren sind heute aus Elektroden aufgebaut, bei denen die Aktivmassen auf Kathoden- und Anodenseite auf eine Metallfolie aufpastiert werden. Die Folie fungiert als elektrischer Leiter, mechanische Stütze und zur Ableitung der Wärme aus der Zelle. Als Aktivmasse werden Interkalationsmaterialien verwendet, die meist eine große Volumenänderung beim Laden oder Entladen durch das Ein- bzw. Auslagern von Lithium durchlaufen. Dadurch wird eine mechanische Belastung induziert, welche die Lebensdauer besonders bei Vollzyklisierung durch die größtmögliche Volumenänderung deutlich verkürzt. Durch eine Lochstruktur in der Metallfolie soll ein besserer mechanischer Kontakt zwischen Aktivmasse und Folie erreicht werden und ein mechanisches Aufbrechen des elektrischen Kontakts verhindert werden.

### Vorgehensweise

Für das Bohrverfahren wird ein frequenzverdreifachter Nd:YAG-Laser eingesetzt. Durch die kurze Wellenlänge und den Einsatz sehr kurzer Brennweiten können Fokusdurchmesser im Bereich kleiner 5  $\mu\text{m}$  erreicht werden. Zur Positionierung des Laserstrahls wird ein Galvanometerscanner verwendet. Die Position und Bohrreihenfolge der Bohrungen innerhalb des Scanfelds wird mittels Software definiert.

1 Bohrprozess mit zufällig verteilter Bohrreihenfolge zur Minimierung des Folienvzugs.

2 Perforierte Messingfolie (Dicke 50  $\mu\text{m}$ ).

3 Perforierte Messingfolie (Dicke 50  $\mu\text{m}$ ).

Das Bohrverfahren wird in Bezug auf die Bohrreihenfolge je nach zu bohrendem Material angepasst, wodurch der Schmelzaustrieb verbessert und die thermische Belastung der Folie reduziert werden.

### Ergebnis

Mit dem entwickelten Bohrkonzept können verschiedene Materialien mit Bohrraten bis zu 1000 Löchern/Sekunde gebohrt werden. Die kleinsten erreichten Durchmesser der Bohrungen liegen bei ca. 2  $\mu\text{m}$ . Für einen Lochdurchmesser von 20  $\mu\text{m}$  konnte in einer Aluminiumfolie eine Transparenz von 30 Prozent erreicht werden.

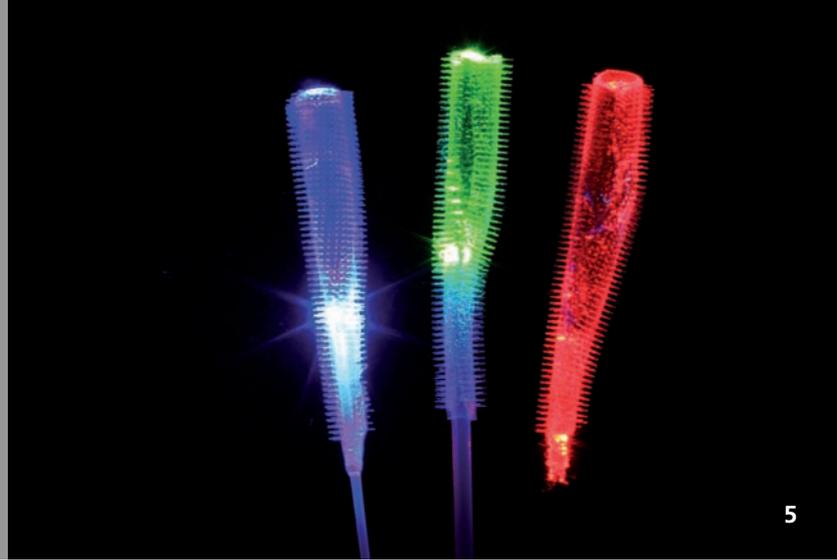
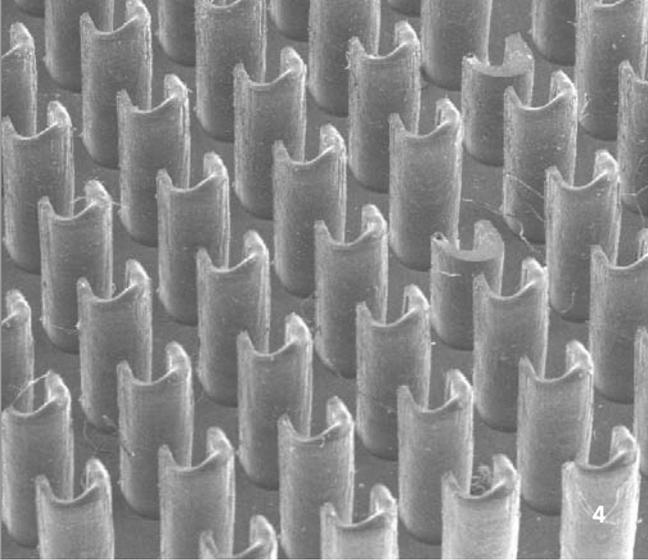
### Anwendungsfelder

Anwendungsfelder liegen sowohl im Bereich der Lithium-Ionen-Akkumulatoren als auch in Anwendungen der Mikro- und Ultrafiltrationstechnologie zur mechanischen Wasseraufreinigung, der Photovoltaik zur Erzeugung von Rückseitenkontakten in Solarzellen oder auch der Filtration von Bio-Treibstoffen, die zur Vermeidung von Ablagerungen von Partikeln > 50  $\mu\text{m}$  befreit werden müssen.

### 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



## KÜNSTLICHE MIKROHAARE ALS SENSOREN

### Aufgabenstellung

Mikrohaare sind in der Natur weit verbreitet. Eine Vielzahl verschiedenster Tiere nutzt sie als Sensoren, um Umgebungsinformationen aufzunehmen. Beispielsweise haben Heuschrecken Mikrohaare mit Längen bis zu 1 mm auf der Körperrückseite, mit denen sie die Richtung von Geräuschen mit niedriger Frequenz wahrnehmen können. Um dieses sehr effektive Sensorkonzept für technische Anwendungen zu kopieren, müssen Mikrohaare mit Durchmessern von 20  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  und Längen bis zu 1 mm künstlich hergestellt werden.

### Vorgehensweise

Mikrohaare werden durch ein Abgussverfahren aus laserstrahlgebohrten Formen hergestellt. In Polycarbonat werden mit Excimer-Laserstrahlung Mikrolöcher eingebracht. Da hierfür ein Abtragverfahren mittels Maskenprojektion verwendet wird, können durch die Wahl geeigneter Masken unterschiedlichste Loch- und somit Haargeometrien erzeugt werden. Zur Herstellung der Mikrohaare wird PDMS (Polydimethylsiloxan) in die Form gegossen, ausgehärtet und anschließend wieder abgezogen (Peel-Off). Da die Form dabei nicht zerstört wird, kann sie mehrfach verwendet werden.

### Ergebnis

Arrays mit verschiedenen Haargeometrien und Längen konnten realisiert werden. So wurden zum Beispiel radialsymmetrische Mikrohaararrays (Bild 5) hergestellt, deren Haare einen Durchmesser von 100  $\mu\text{m}$  und eine Länge von 1 mm haben. Auch wurden Haare mit einem u-förmigen Querschnitt erzeugt (Bild 4). Die unterschiedlichen Haargeometrien führen zu unterschiedlichen Festigkeiten bezüglich der Biege- und Knickeigenschaften der Mikrohaare.

### Anwendungsfelder

Künstliche Mikrohaare können in Kombination mit geeigneten piezoelektrischen Elementen als taktile Sensoren eingesetzt werden. So können mit radialsymmetrischen Mikrohaararrays in der Medizintechnik Stenosen und arterielle Insuffizienzen detektiert und diagnostiziert werden.

Desweiteren können Mikrohaare für strömungsmechanische Untersuchungen genutzt werden, um über die Auslenkung der Haare oberflächennahe Strömungen zu charakterisieren.

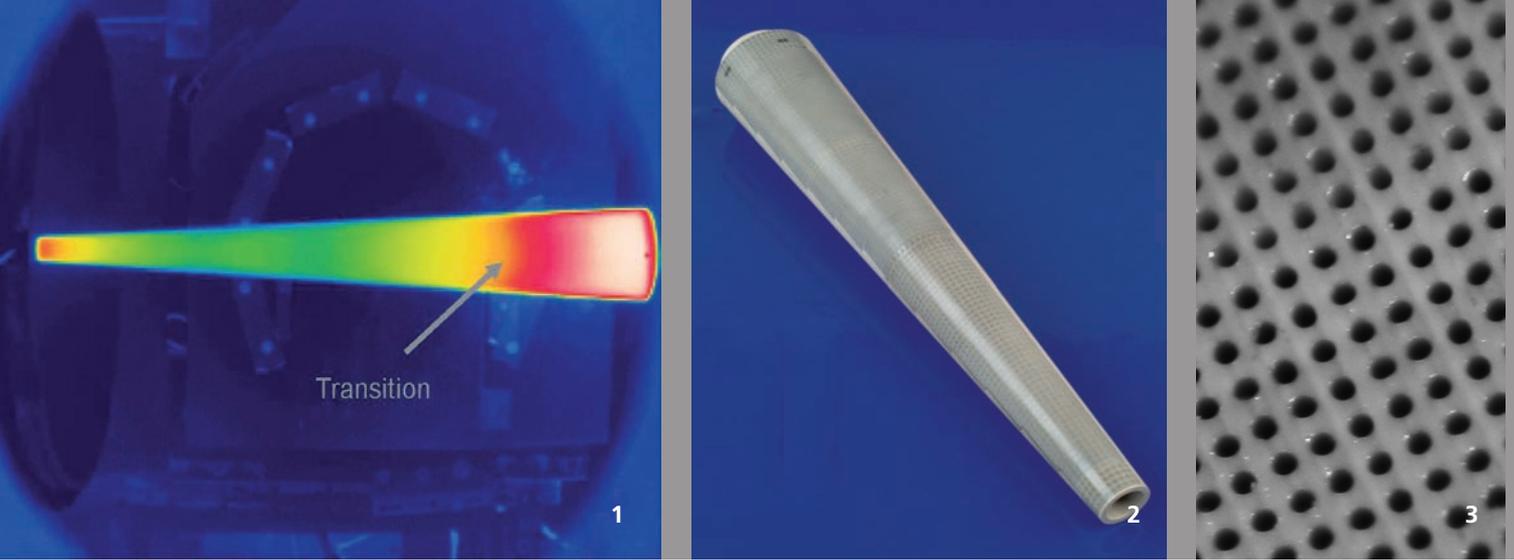
### Ansprechpartner

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

Dr. Arnold Gillner  
Telefon +49 241 8906-148  
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

4 U-förmige Mikrohaare.

5 Beleuchtete radialsymmetrische  
Mikrohaararrays.



## LASERSTRAHLBOHREN VON PEEK FÜR HYPERSCHALL- UNTERSUCHUNGEN

### Aufgabenstellung

Für Untersuchungen zur Bestimmung der stabilisierenden Wirkung poröser Wände auf den Übergang von laminarer zu turbulenter Grenzschichtströmung sollen in den Hochleistungskunststoff PEEK 660.000 Sacklochbohrungen mit einem Bohrungsdurchmesser von 100 µm und einer Bohrungstiefe von 1000 µm eingebracht werden.

### Vorgehensweise

In einen Kegel aus PEEK mit einer Länge von 475 mm und einem Durchmesser von 31 - 79 mm aus dem Hochleistungskunststoff PEEK sollen mittels Laserstrahlung Sacklochbohrungen eingebracht werden. Die Sacklöcher werden senkrecht zur Oberfläche über einen Umfangswinkel von 120° gebohrt. Für das Bohren wird eine ns-gepulste Strahlquelle mit einer Wellenlänge von 532 nm eingesetzt. Zur Positionierung der Laserstrahlung werden sowohl eine 5-Achs-Positionieranlage für die Drehung des Kegels als auch ein Scannersystem für die schnelle Positionierung der Laserstrahlung eingesetzt. Mit dem Scanner werden Bohrlochfelder von je 20 x 20 Bohrungen gefertigt. Durch das 5-Achs-Positioniersystem werden die Positionen der Bohrlochfelder angefahren.

### Ergebnis

Durch den Einsatz von gepulster Laserstrahlung mit Pulsdauern im ns-Bereich und einer Wellenlänge von 532 nm konnten die Bohrungen ohne Abbrände oder Schmelzablagerungen erzeugt werden. Es war keine Nachbearbeitung der Oberfläche aufgrund von Ablagerungen erforderlich.

### Anwendungsfelder

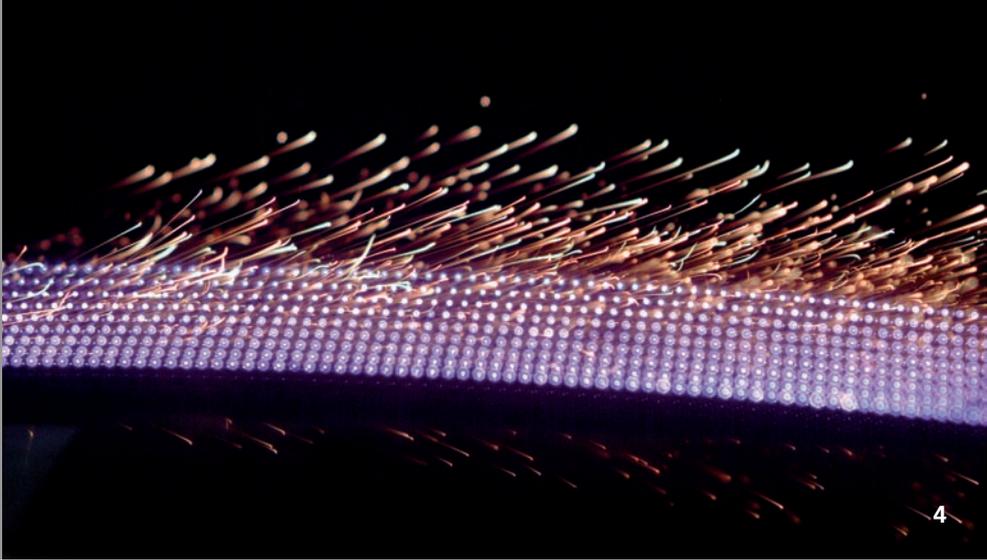
Das gebohrte Bauteil wird für die experimentelle Bestimmung der stabilisierenden Wirkung poröser Wände auf die Transition (Übergang von laminarer zu turbulenter Grenzschichtströmung) und für die systematische Untersuchung der Reynoldszahl und Machzahlabhängigkeit der Transition verwendet. Hierzu wird in einem Hyperschallwindkanal bei Windgeschwindigkeiten bis zu Mach 11,2 mittels IR-Thermografie der Transitionsbereich bestimmt und mittels Drucksensoren eine direkte Messung der Turbulenz vorgenommen.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jens Dietrich  
Telefon +49 241 8906-8022  
jens.dietrich@ilt.fraunhofer.de

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

- 1 PEEK-Kegel im Hyperschallwindkanal mit Transitionspunkt zwischen laminarer und turbulenter Strömung.
- 2 Gebohrter PEEK-Kegel mit 660.000 Bohrungen.
- 3 Nahaufnahme der erzeugten Bohrungen.



---

## HOCHRATE-LASERBOHREN VON SILIZIUMWAFERN FÜR DIE PHOTOVOLTAIK

---

### Aufgabenstellung

Für hocheffiziente Solarzellen ist das Hochrate-Laserbohren ein wichtiger Prozess, im Besonderen für sogenannte Emitter-Wrap-Through-Solarzellen, die zehntausend und mehr Bohrungen pro Zelle erfordern. Da die typische Dauer eines Einzelprozesses in Fertigungslinien für Solarzellen ein bis zwei Sekunden beträgt, sind Bohrraten von 10.000 Löchern pro Sekunde Voraussetzung für einen industriellen Einsatz.

### Vorgehensweise

Mit kommerziell verfügbaren Strahlquellen mit Galvanometerscannern sind derzeit Bohrraten von bis zu 4.000 Löchern pro Sekunde erreichbar. Neue optische Konzepte wie die Kombination von hochdynamischen Galvanometer-Scannern mit Strahlteileroptiken haben das Potenzial, die geforderten Bohrraten zu erreichen. Dafür sind Strahlquellen mit Pulsdauern im Mikrosekundenbereich und mittleren Leistungen von mehreren hundert Watt notwendig. Zur Bewertung der Lösungsmöglichkeiten werden verschiedene Systeme aufgebaut und verglichen.

### Ergebnis

Parameterstudien zeigen, dass sowohl die Wahl der Pulsdauer als auch der Pulsenergie entscheidend für die Effizienz des Bohrprozesses sind. Auf Basis der experimentellen Ergebnisse wurde eine Simulation des Materialabtrags erstellt, welcher die Evaluation verschiedener Laserquellen und optischer Konzepte erlaubt. Dadurch ist es möglich, die geeignetste Strahlquelle zu identifizieren und eine entsprechende Systemtechnik für den Bohrprozess auszulegen. Aktuell wird ein System aufgebaut, welches Bohrraten von potenziell mindestens 9000 Löchern pro Sekunde ermöglicht.

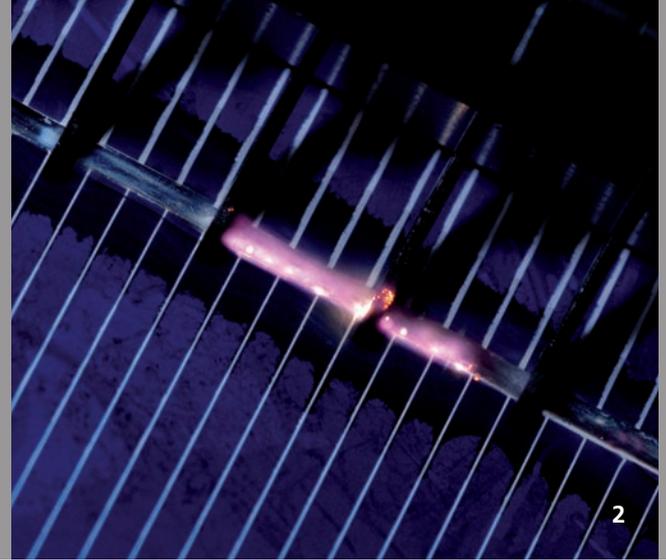
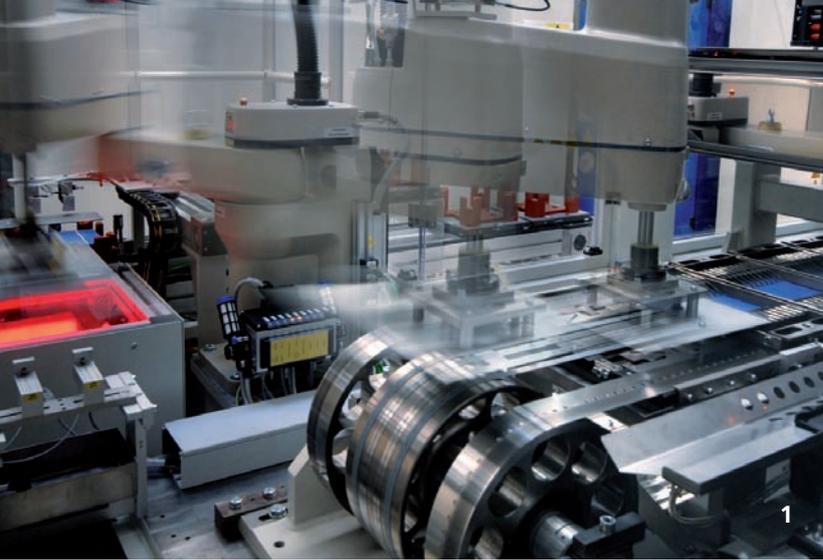
### Anwendungsfelder

Die Hochrate-Bohrprozesse, die hier entwickelt werden, stellen einen Prozessschritt in der Herstellung von Emitter-Wrap-Through-Solarzellen dar, bei denen zur Rückseitenkontaktierung die Emitterschicht elektrisch durch das Silizium geführt wird. Dadurch vergrößert sich der aktive Bereich der Solarzelle und damit der Wirkungsgrad. Bohrungen mit ähnlichen Bohrungsdurchmessern sind auch für andere Einsatzbereiche außerhalb der Photovoltaik von Interesse, wie z. B. in der Filtertechnik.

### Ansprechpartner

Dr. Malte Schulz-Ruhtenberg  
Telefon +49 241 8906-604  
malte.schulz-ruhtenberg@ilt.fraunhofer.de

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



## LASERSTRAHLLÖTEN IN DER PHOTOVOLTAIK

### Aufgabenstellung

Die Photovoltaik zählt zu einer Schlüsseltechnologie, die einen wichtigen Beitrag zur zukünftigen Stromversorgung leisten kann. Neben der Steigerung des Wirkungsgrads sind die Erhöhung der Produktionsraten und die Reduzierung von Ausschussraten maßgebliche Faktoren, um die Kosten der PV-Module zu senken. In der Modulherstellung werden die einzelnen Solarzellen mit einem verzinnnten Kupferbändchen elektrisch kontaktiert und in Reihe zu einem String verbunden. Die elektrische Kontaktierung erfolgt in der Regel durch Lötverfahren.

### Vorgehensweise

Die grundsätzliche Machbarkeit des Laserstrahllörens ist in diversen Untersuchungen nachgewiesen worden. Am Fraunhofer ILT steht nun eine automatisierte Montagemaschine zur Verfügung, die die Evaluierung des Laserstrahllörens auf einer Maschine unter Produktionsbedingungen erlaubt.

- 1 Stringer Teamtechnik TT900 zur vollautomatisierten Montage einzelner Solarzellen zu Solarzellenstrings.
- 2 Laserstrahllöten eines verzinnnten Zellverbinders auf eine Solarzelle.

### Ergebnis

Bei der Montagemaschine handelt es sich um einen Stringer TT 900 der Firma Teamtechnik, auf dem bis zu 900 Zellen pro Stunde miteinander verschaltet werden können. Durch ein modulares Konzept können in der Lötstation sowohl verschiedene Laserstrahlquellen als auch Strahlformungskonzepte auf ihre Einsetzbarkeit hin untersucht werden. Im Rahmen aktueller technologischer Entwicklungen wird der Einsatz innovativer Methoden zur Prozessüberwachung basierend auf IR-Thermographie, Pyrometrie und Hochgeschwindigkeitsvideographie des Schmelzbads durchgeführt.

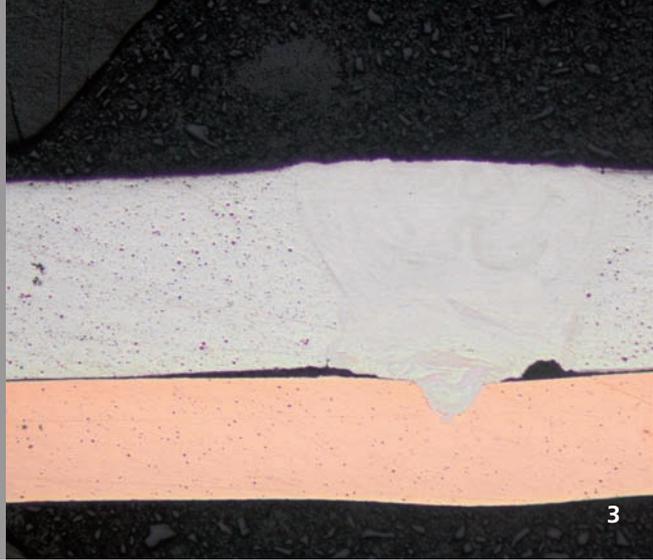
### Anwendungsfelder

Mit der vollautomatisierten Montageanlage können nun laserbasierte Füge- und Prozessüberwachungsverfahren auf einer kommerziell verfügbaren Maschine bei industriell relevanten Taktraten untersucht werden. Den PV-Modulherstellern wird hiermit die Möglichkeit geboten, Prozessstudien ohne Eingriff in ihre Produktion aber trotzdem unter Produktionsbedingungen durchzuführen. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, laserbasierte Fügeprozesse für innovative Zell- und Verschaltungskonzepte, wie beispielsweise Rückseitenkontaktzellen oder Solarzellen mit Zelldicken  $< 150 \mu\text{m}$ , zu untersuchen.

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Felix Schmitt  
Telefon +49 241 8906-322  
felix.schmitt@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner  
Telefon +49 241 8906-148  
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



## ELEKTRISCHE KONTAKTIERUNG VON LITHIUM-IONEN-ZELLEN

### Aufgabenstellung

Aufgrund ihrer großen Energiedichte werden Lithium-Ionen-Akkumulatoren in zunehmendem Maße als Energiespeicher für elektrisch angetriebene Fahrzeuge verwendet. Zum Aufbau geeigneter Batteriepacks müssen dabei einzelne Zellen elektrisch miteinander verbunden werden. Häufig kommen dabei sogenannte Pouch-Bag Zellen zum Einsatz, welche an Anode und Kathode über metallische Ableiter aus Kupfer bzw. Aluminium verfügen.

Um eine Reihenschaltung mehrerer Zellen im Batteriepack aufzubauen, müssen die Ableiter wechselseitig miteinander verbunden werden. Dies erfolgt heutzutage über Schraubverbindungen, da stoffschlüssige Verbindungen zwischen Aluminium und Kupfer aufgrund der Werkstoffeigenschaften schwer zu realisieren sind. Desweiteren ist der Einsatz konventioneller Schweiß- und Lötverfahren durch die thermische Empfindlichkeit der Zellen limitiert.

### Vorgehensweise

Eine stoffschlüssige Verbindung zwischen den Ableitern bietet im Gegensatz zu geschraubten Verbindungen den Vorteil eines wesentlich geringeren elektrischen Widerstands und damit einer Steigerung des Wirkungsgrads. Laserstrahlschweißen bietet sich dazu aufgrund der guten Automatisierbarkeit und des bei richtiger Wahl der Prozessparameter vergleichsweise geringen Energieeintrags als Fügeverfahren an. Im Rahmen der Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität wird das Laserstrahlschweißen daher als Fügeverfahren für die beschriebene Bearbeitungsaufgabe qualifiziert.

### Ergebnis

Im Rahmen der durchgeführten Versuche wurde ein Parameterfenster identifiziert, innerhalb dessen reproduzierbare Schweißverbindungen mit ausreichender Stromtragfähigkeit zwischen den Ableitern hergestellt werden können. Eine Qualifizierung der Verbindungen hinsichtlich ihrer Langzeitstabilität ist Gegenstand aktueller Arbeiten.

### Anwendungsfelder

Lithium-Ionen-Akkumulatoren sind derzeit die aussichtsreichste Technologie zur Energiespeicherung im Bereich der Elektromobilität. Die kostengünstige Herstellung effizienter Energiespeicher ist dabei als Schlüsseltechnologie für diesen stark wachsenden Industriezweig anzusehen. Das Laserstrahlschweißen kann hier einen wesentlichen Beitrag leisten, Hochleistungsbatterien für mobile Anwendungen zu wirtschaftlichen Bedingungen zur Verfügung zu stellen.

### 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 Schweißverbindung an Ableiter  
für Lithium-Ionen-Akkumulatoren.



## LASERBASIERTES HERMETISCHES PACKAGING VON LTCC-KERAMIKGEHÄUSEN

### Aufgabenstellung

Im Rahmen der fortschreitenden Erhöhung der Integrationsdichte hochempfindlicher, funktionaler Elemente kommen immer häufiger Materialkombinationen mit unterschiedlichen thermophysikalischen Eigenschaften zum Einsatz. Eine typische Verbindung artungleicher Werkstoffe stellt die Kombination aus einer LTCC-Keramik und Glas dar.

Hochtemperaturfügeverfahren in Ofenprozessen gestalten sich oftmals problematisch, da die temperaturempfindlichste Bauteilkomponente die Maximaltemperatur des Gesamtsystems bestimmt. Für ein gasdichtes Packaging scheiden diese somit ebenso wie bisher bekannte Klebeverfahren aus, da Klebeverbindungen keine langzeitstabile Gasdichtheit gewährleisten. Die Notwendigkeit einer Fügetechnik mit lokal begrenzter Energieeinbringung ist angezeigt.

### Vorgehensweise

Als aussichtsreiche Technologie zum hermetischen Packaging von Glas-Keramik-Komponenten mit minimaler Energieeinwirkung wurde eine selektive Laser-Glas-Löttechnik entwickelt. Die zum Verbinden der Fügeteile notwendige Energie basiert auf Absorption der beaufschlagten Laserstrahlung im verwendeten Glaslot. Das zum Einsatz kommende Glaslot

sollte neben den geforderten Absorptions- und Benetzungseigenschaften einen an die LTCC-Keramik und an das Glas angepassten Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen. Der eigentliche Lötprozess wird quasi-simultan ausgeführt. Bei einer Scangeschwindigkeit des Laserstrahls von 1000 mm/s und einer vielfachen Überlagerung der Scankontur stellt sich eine gleichmäßige Verbindungsbildung von Keramikgehäuse und Glasdeckel ein.

### Ergebnis

Das Laserstrahllöten mittels Glaslot stellt eine Möglichkeit dar, die zum Verbinden notwendige Energie konzentriert und räumlich begrenzt in die Fügezone einzubringen. Das quasi-simultane Erwärmen der gesamten Kontur minimiert die Entstehung thermisch induzierter Spannungen. Die Lötnahte zeichnen sich durch Formschlüssigkeit und eine blasen- und rissfreie Verbindungsbildung aus.

### Anwendungsfelder

Hauptanwendungsfelder für das neue Packaging-Verfahren sind das hermetische Verkapseln von Präzisionsbauteilen wie Sensoren und Systemkomponenten optischer oder medizintechnischer Produkte.

### 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

1 LTCC-Keramikgehäuse mit lasergelötetem Glasdeckel.

---

## TECHNOLOGIEFELD MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK

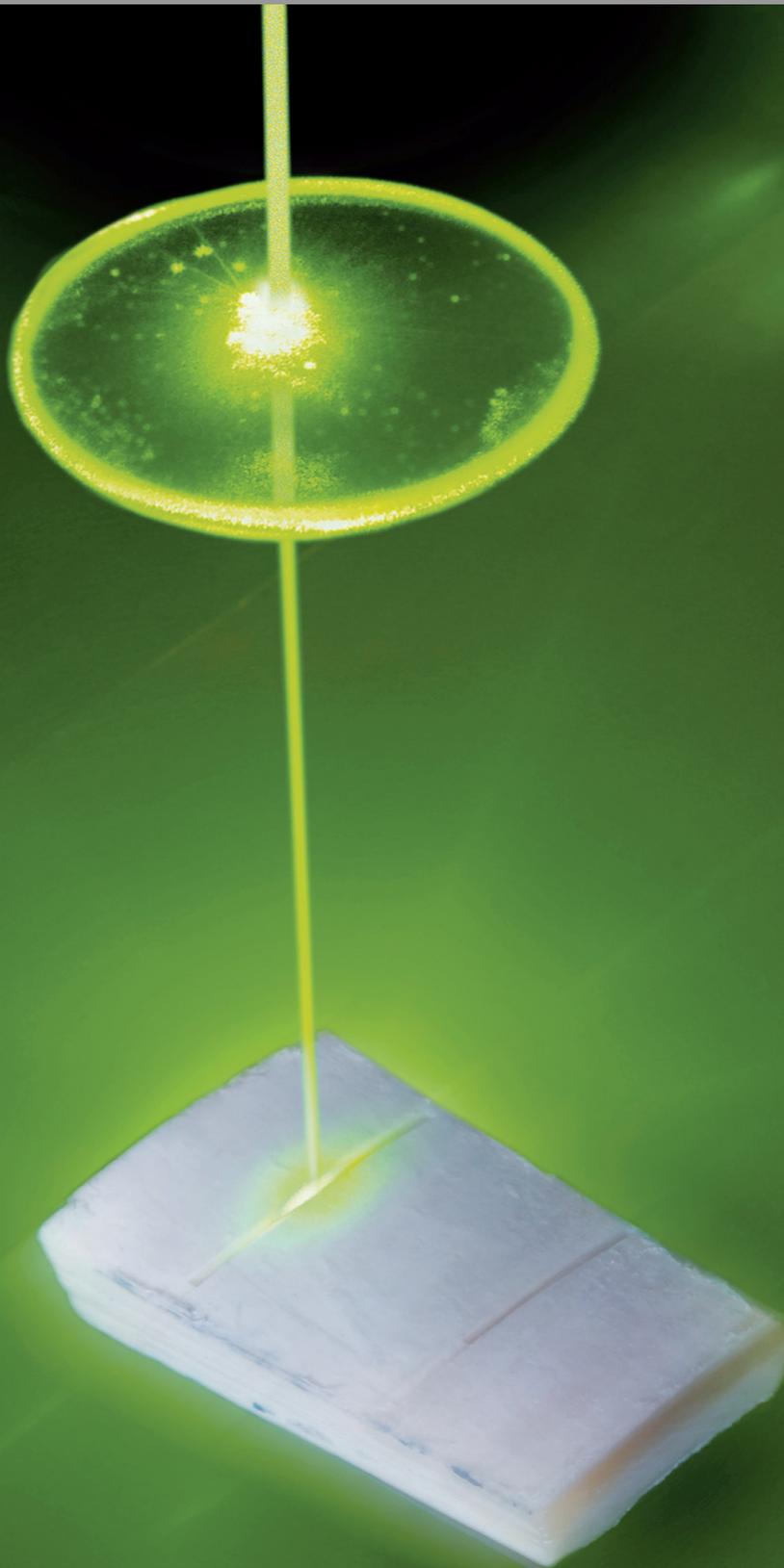
---

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

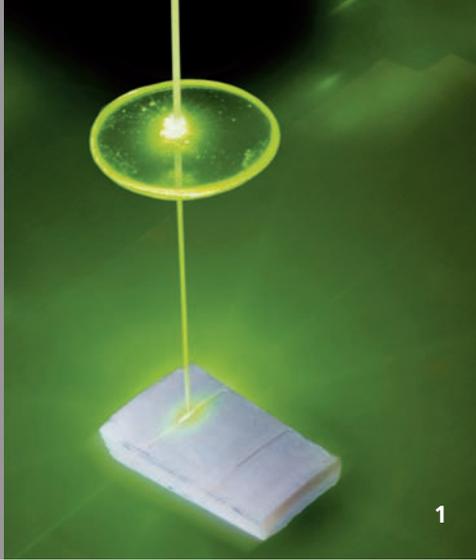


---

## INHALT

---

Laserkraniotom	110
Fertigung individueller Titanimplantate mit Selective Laser Melting	111
Bioresorbierbare Implantate mit Selective Laser Melting	112
Multi-Photonen-Polymerisation zur Herstellung von Mikrostrukturen	113
Kompakte Anlage zum Laser Induced Forward Transfer	114
Glas-Biochips für die Medizintechnik	115
Zeistrah-Differenz-Raman-Spektroskopie	116



## LASERKRANIOTOM

### Aufgabenstellung

Jährlich werden in neurochirurgischen Eingriffen europaweit 285.000 Schädelöffnungen, sogenannte Kraniotomien, vorgenommen. Bei einem solchen Eingriff führt der operierende Neurochirurg eine Kraniotomiefräse mit der Hand unter hohem Anpressdruck auf den abzutragenden Knochen. Dabei verletzt er in 10 Prozent der Fälle die unter dem Schädelknochen liegende Hirnhaut, was Infektionen und Wundheilungsstörungen zur Folge hat. Ein Laserkraniotom soll die Öffnung des Schädelknochens mit einem Hochleistungs-Pikosekundenlaser ermöglichen und durch eine integrierte Restdickenmessung die Verletzungsrate deutlich reduzieren.

### Vorgehensweise

Mit dem Laserkraniotom kann der Chirurg den Abtragsprozess in gewohnter Weise von Hand durchführen. Dabei fährt er mit einem Handstück die gewünschte Schnittlinie ab. In dem Handstück sorgen eine Mikrooptik und ein Mikroscaannersystem für die Bewegung des Laserfokus durch das Abtragsvolumen. Die abgetragenen Gewebebruchstücke werden über ein im Handstück integriertes Spül- und Absaugsystem aus dem Operationsfeld entfernt. Den Abtragsprozess überwacht ein optisches 3-D-Messsystem, das den Verlauf des Laserschnitts auf der Knochenoberfläche und das Tiefenprofil des Knochenabtrags aufzeichnet und in Echtzeit auswertet. Messtechnik und Auswertalgorithmus sind Teil eines Assistenzsystems, das für die Feinpositionierung des Laserfokus in der Schnittfuge sorgt und damit eine stabile Handführung des Laserprozesses gewährleistet.

1 Knochenabtrag mit dem ps-Laser.

2 Gekrümmter Laserschnitt im Schulterblatt vom Rind.

### Ergebnis

Ein Hochleistungs-Pikosekundenlaser wurde für den effizienten und nicht thermischen Gewebeabtrag entwickelt. Das Lasersystem weist folgende Spezifikationen auf: Pulsdauer  $t = 25$  ps, Repetitionsfrequenz  $f = 25$  kHz, Pulsenergie  $E_p = 0,8$  mJ, Wellenlänge  $\lambda = 532$  nm. Mit dem ps-Laser erfolgte der Nachweis eines nicht thermischen Gewebeabtrags an Knochenproben bei Pulsenergien von  $E_p = 1,2$  mJ und Repetitionsfrequenzen von  $f = 10$  kHz.

### Anwendungsfelder

Das Laserkraniotom lässt sich als mikrochirurgisches Instrument für den Knochenabtrag bei allen chirurgischen Problemstellungen anwenden, bei denen Hartgewebe mit hoher Präzision entfernt werden muss. Als Einsatzgebiete eignen sich daher z. B. die Wirbelsäulenchirurgie, die Mund- und Kieferchirurgie sowie Operationen am Bewegungsapparat.

### Ansprechpartner

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

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



## FERTIGUNG INDIVIDUELLER TITANIMPLANTATE MIT SELECTIVE LASER MELTING

### Aufgabenstellung

Das Selective Laser Melting (SLM) ist ein generatives Fertigungsverfahren für die Herstellung von komplexen Bauteilen und Kleinserien. Im Unterschied zu vergleichbaren Fertigungsverfahren werden beim SLM metallische Serienwerkstoffe in Pulverform direkt mittels Laserstrahlung verarbeitet. Derzeit findet das SLM zunehmend Anwendung für die direkte Fertigung von medizinischen Knochenersatzimplantaten aus Titanwerkstoffen.

### Vorgehensweise

Für die Anwendung von individuell angepassten Implantaten für den Gelenkersatz oder die Osteosynthese müssen die Implantate Standardbedingungen bezüglich Biokompatibilität und mechanische Eigenschaften erfüllen. Über ein Benchmarking mit konventionellen Fertigungsverfahren (Fräsen, Feinguss, Metal Injection Moulding MIM) werden die mechanischen, dynamischen und statischen Eigenschaften am Werkstoff TiAl6V4 verglichen.

### Ergebnis

Das Gefüge der SLM-Testgeometrien wird mit einer geeigneten Wärmenachbehandlung homogenisiert und zu einem  $\alpha$ - $\beta$ -Titan-Mischgefüge umgewandelt. Die Proben werden bis zum Bruch belastet (statisch) sowie einer wiederholten Belastung ausgesetzt (dynamisch), bis ein Bruch durch Materialermüdung erfolgt. In Kooperation mit aap Implantate AG erfolgt ein Vergleich der mechanischen Eigenschaften mit

konventionell hergestellten Bauteilen. Die Ergebnisse zeigen, dass die SLM-Bauteile in statischer und dynamischer Belastung die Limitationen von konventionell hergestellten Bauteilen mindestens erreichen. Zusammen mit der bereits abgeschlossenen Prüfung der Biokompatibilität ist damit eine klinische Anwendung von SLM-Implantaten möglich. Die praktische Umsetzung am Menschen erfolgt in Kooperation mit der Firma OS Orthopedic Services und dem Katholischen Klinikum Duisburg durch den Einsatz einer individuell angepassten Hüftpfanne mit eingebrachter Gitterstruktur im Bereich der Implantat-Knochen-Wechselwirkungszone.

### Anwendungsfelder

Nach der Demonstration der Machbarkeit werden mittels SLM durch die Firma C.F.K. CNC Fertigungstechnik Kriftel hergestellte Titanimplantate für den Beckenersatz bereits von der Firma OS Orthopedic Services ausgelegt und vertrieben. Weitere Anwendungsfelder sind die Osteosynthese zur temporären Stabilisierung von Knochenbrüchen oder großflächige Implantate zur Rekonstruktion von Schädeldefekten.

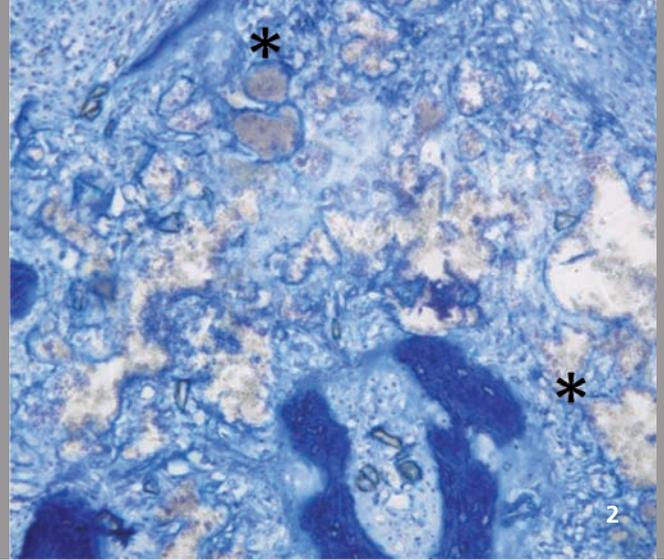
### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Lucas Jauer  
Telefon +49 241 8906-360  
lucas.jauer@ilt.fraunhofer.de

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

3 Röntgenaufnahme der  
implantierten Hüftpfanne.

4 SLM-Hüftpfanne aus Titan.



## BIORESORBIERBARE IMPLANTATE MIT SELECTIVE LASER MELTING

### Aufgabenstellung

Für die Versorgung von Knochendefekten, z. B. in Folge von Unfällen, Tumorsektionen oder angeborenen Defekten, ist in vielen Fällen der Einsatz eines resorbierbaren Knochenersatzmaterials vorteilhaft gegenüber dem bisherigen Standard, bei dem körpereigener Knochen in den Defekt eingesetzt wird. Zum einen ist die Rekonstruktion großflächiger Defekte (> 10 cm<sup>2</sup>) während der OP nur erfahrenen Spezialisten möglich, zum anderen entsteht durch die Entnahme des Knochens eine Mehrbelastung für den Patienten.

### Vorgehensweise

Das Selective Laser Melting (SLM) ist ein generatives Rapid Manufacturing Verfahren, mit dem komplex geformte Teile auf Grundlage von CAD-Daten in kürzester Zeit hergestellt werden können. Unter Verwendung des bioresorbierbaren Keramikmaterials Tricalciumphosphat (TCP) und dem Polymer Polylactid (PLA) können mit diesem Verfahren individuell dem Patienten angepasste Knochenersatzimplantate hergestellt werden. Diese werden später vom Körper abgebaut und durch körpereigene Knochensubstanz ersetzt.

1 Schädel-Implantat aus resorbierbarem Kompositwerkstoff TCP / PLA.

2 Querschnitt einer Probe aus dem Tiermodell mit neu gebildetem Knochen (Stern),  
Quelle: Universitätsklinikum Aachen.

### Ergebnis

In Zusammenarbeit mit dem Forschungsgebiet für Zahnärztliche Werkstoffe und Biomaterialforschung und der Klinik für Zahn-, Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie am Uniklinikum Aachen werden die Eigenschaften von mittels SLM hergestellten Implantaten im Labor und im Tiermodell untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass eine (durch den generativen Herstellungsprozess) in das Implantat eingebrachte Porenstruktur mit einer Porengröße von 600 µm das Durchwachsen großflächiger Implantate mit neuer Knochenstruktur fördert. In einem Kaninchen-Tiermodell kann gezeigt werden, dass der prozentuale Knochenaufbau nach 3 Monaten nahezu gleich dem Knochenaufbau unter Verwendung des derzeitigen Standardverfahrens zur Rekonstruktion derartiger Knochendefekte ist. Die Implantate können demnach ohne Funktionsverlust vor der Operation entworfen, individuell angepasst und dem Chirurgen zur Verfügung gestellt werden.

### Anwendungsfelder

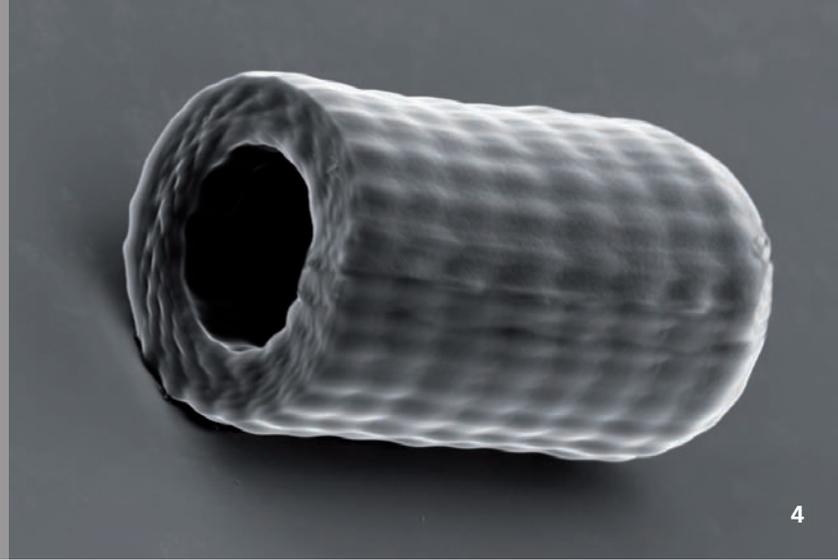
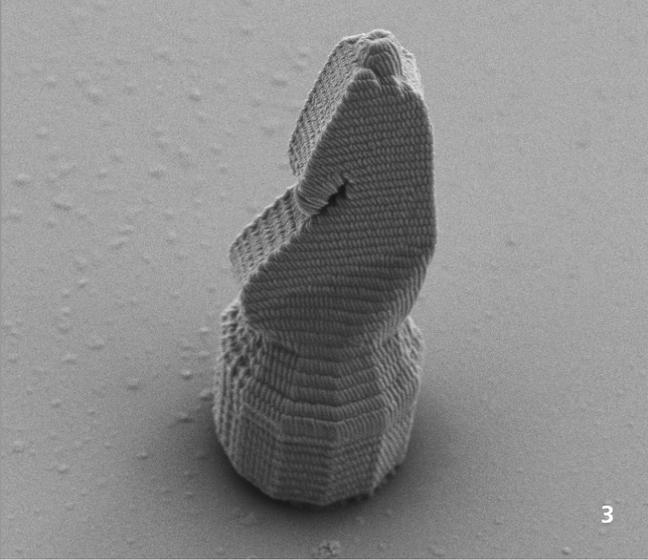
Das Hauptanwendungsfeld ist der Knochenersatz im Bereich der Gesichts- und Schädelchirurgie. Mit Anpassung der Werkstoffe (höhere Festigkeiten) ist auch die Anwendung im lasttragenden Bereich des Kiefers oder an Extremitäten denkbar.

Bioresorbierbare Stents könnten in Zukunft auch mit dem SLM aus reinen PLA-Werkstoffen hergestellt werden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Lucas Jauer  
Telefon +49 241 8906-360  
lucas.jauer@ilt.fraunhofer.de

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



## MULTI-PHOTONEN-POLYMERISATION ZUR HERSTELLUNG VON MIKROSTRUKTUREN

### Aufgabenstellung

Die Multi-Photonen-Polymerisation (MPP) ist ein hochauflösendes Stereolithographieverfahren, mit dem nano- bis mikroskalige komplexe dreidimensionale Strukturen erzeugt werden können. Die zum Einsatz kommenden Materialien umfassen ein breites Spektrum photosensitiver Polymere, wie Acrylatharze oder Biomoleküle. Hiervon ausgehend sollen Prozesse und deren technische Umsetzung realisiert werden, mit der die Technologie für Anwendungen im Bereich des Tissue-Engineering weiterentwickelt werden kann und mit der Mikro- und Nanostrukturen für gezieltes Zellwachstum erzeugt werden können.

### Vorgehensweise

Heutige Systeme zur Multi-Photonen-Polymerisation erreichen sehr hohe Auflösungen mit der Einschränkung von hohen Anlagenkosten und einer geringen Prozessgeschwindigkeit. Ziel ist es, durch die Kombination unterschiedlicher Rapid Prototyping Verfahren und einer auf den Prozess angepassten Strahlführung eine kompakte, kostengünstige und schnelle Alternative zur herkömmlichen Technologie zu entwickeln. Die Prozessauslegung erfolgt für ein breites Spektrum von Materialien, die für das Tissue-Engineering von Relevanz sind. Zum einem werden spezielle Polymermischungen mit angepassten mechanischen Eigenschaften wie Elastizität eingesetzt, zum anderen zellwachstumsfördernde Biomoleküle.

### Ergebnis

Zur Erreichung dieser Ziele wurde eine flexible, modulare Testanlage mit zwei unterschiedlichen Laserstrahlquellen (Femtosekunden-, Pikosekundensystem) realisiert. Mittels dieser Testanlage können dreidimensionale Strukturen aus unterschiedlichen Materialien mit Auflösungen  $< 1 \mu\text{m}$  hergestellt werden.

### Anwendungsfelder

Ein kompaktes MPP Modul findet Anwendung im Bereich des Rapid Prototyping von Mikro- und Nanostrukturen aus synthetischen Polymeren und natürlichen Proteinen. Ein Schwerpunkt liegt hierbei beim Tissue-Engineering, da durch die hohe Auflösung sich zellspezifische Strukturen verwirklichen lassen. Aber auch für nichtmedizinische Anwendungen hat die Technologie aufgrund der hohen Auflösung Relevanz.

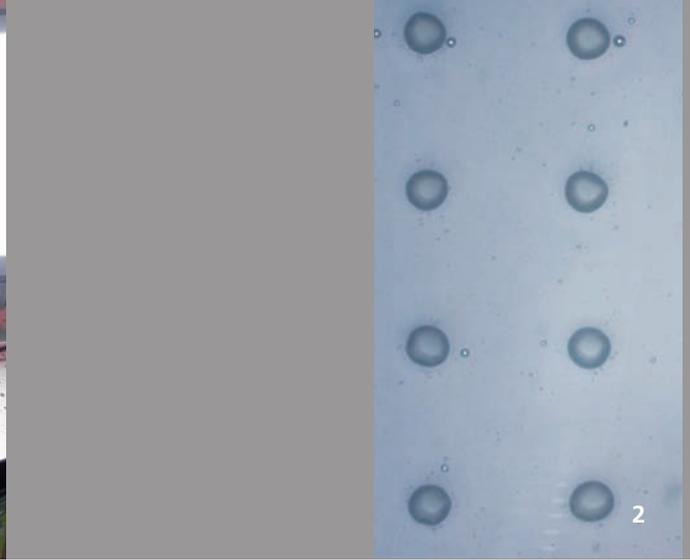
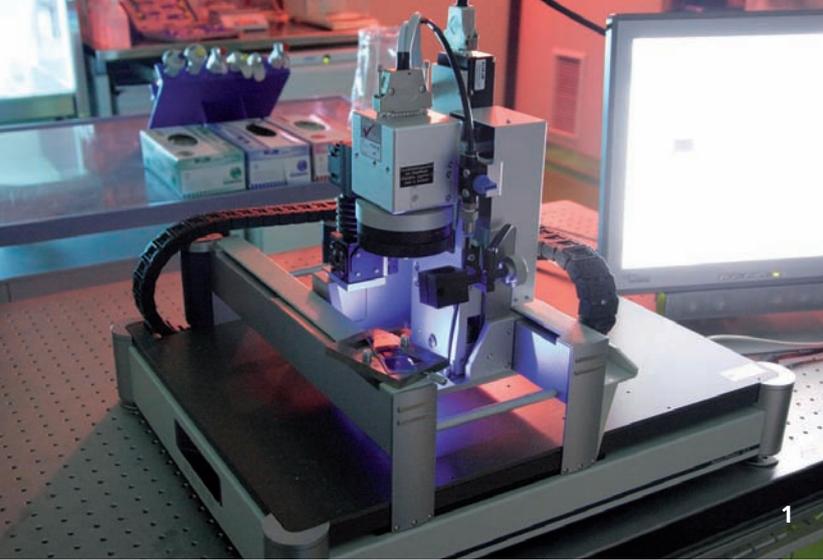
### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Sascha Engelhardt  
Telefon +49 241 8906-605  
sascha.engelhardt@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner  
Telefon +49 241 8906-148  
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

3 Elektronenmikroskopische Aufnahme eines  $\mu$ -Schachspringers mit einer Höhe von ca.  $80 \mu\text{m}$ .

4 Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Polymerröhre mit Innendurchmesser  $20 \mu\text{m}$ .



## KOMPAKTE ANLAGE ZUM LASER INDUCED FORWARD TRANSFER

### Aufgabenstellung

In Anwendungen der Medizintechnik zur Herstellung von Microarrays und der Polymerelektronik zur Herstellung polymerer Elektronikbauteile müssen hochviskose oder feste, teure Substanzen übertragen werden. Konventionelle Verfahren wie Inkjet-Druck können diese Materialien nicht verarbeiten. Zudem wird viel Material durch Totvolumina verschwendet. Durch das Laser Induced Forward Transfer (LIFT)-Verfahren können bei minimalem Materialverlust hochviskose und feste Substanzen ohne Schädigung bei einer Spotgröße von bis zu 10 µm übertragen werden. Selbst empfindliche Objekte wie Zellen können gezielt auf beliebigen Oberflächen platziert werden.

### Vorgehensweise

Für die anlagentechnische Realisierung des LIFT-Verfahrens wird ein Nanoplotter™ der Firma GeSiM umgerüstet, um eine große Kompatibilität zu bestehenden Systemen zu gewährleisten. Die Anlage wird auf folgende Punkte optimiert:

- Kompakt und leicht transportierbar → in einer FlowBox einsetzbar
- Automatische Aufnahme von Tinten-Trägern
- Träger-Druck-Oberfläche automatisch zueinander positionierbar

### Ergebnis

In Zusammenarbeit mit der GeSiM wurde ein kompaktes Positioniersystem mit einem Scanner und einem miniaturisierten Festkörperlaser versehen. Dadurch wurde zum einen gewährleistet, dass Träger für zu übertragende Substanzen komplett bearbeitet werden können. Zum anderen können Träger und zu beschichtende Oberfläche relativ zueinander positioniert werden, wodurch beliebige Konturen druckbar sind.

### Anwendungsfelder

Das entwickelte kompakte LIFT-Drucksystem für hochviskose und feste Stoffe ermöglicht den schnellen Druckprozess von Proteinen oder DNA zur Herstellung analytischer Mikroarrays unter sterilen Bedingungen. Eine flexible Bauteilaufnahme und auswechselbare Substanzträger erlauben den Übertrag auch von festen Stoffen und neuen Formulierungen von bioaktiven Substanzen auf medizintechnische Komponenten. Andere Einsatzbereiche ergeben sich in der Polymerelektronik, da der Laser-Druckprozess werkstoffschonend und mit minimalem Substanzverbrauch arbeitet. Auf diese Weise stellt der LIFT-Prozess auch bei der Übertragung kleiner Mengen eine wirtschaftliche Lösung dar.

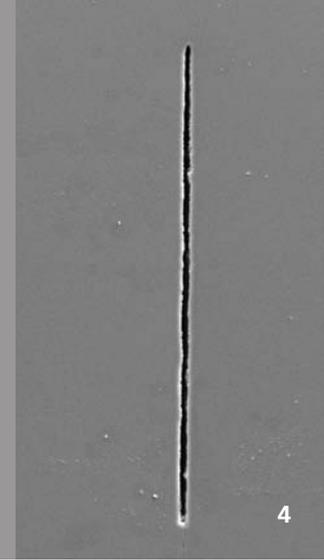
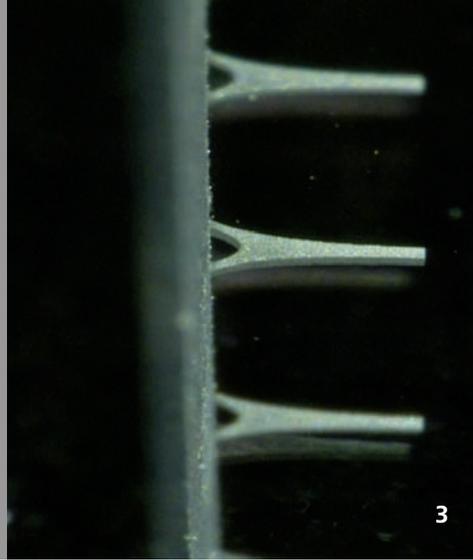
### Ansprechpartner

Dipl.-Biol. Dominik Riester  
Telefon +49 241 8906-529  
dominik.riester@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner  
Telefon +49 241 8906-148  
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

1 Table Top Anlage für LIFT.

2 Protein-Microarray mittels LIFT erstellt.



## GLAS-BIOCHIPS FÜR DIE MEDIZINTECHNIK

### Aufgabenstellung

In der medizinischen Forschung werden Biochips aus Kunststoff mit Mikrokanälen von ca. 100 µm Durchmesser für Schnelltests eingesetzt. Da Stoffe aus dem Kunststoff in die Testflüssigkeit diffundieren können, wird das Testergebnis möglicherweise verfälscht. Darüber hinaus lassen sich Kunststoff-Biochips nicht ausreichend gut reinigen, weshalb sie nicht mehrfach verwendet werden können. Ziel ist es, Biochips mit Hilfe eines laserunterstützten Ätzverfahrens (In-Volume Selective Laser Etching, kurz ISLE) aus chemisch neutralen Materialien wie Glas herzustellen.

### Vorgehensweise

Das Bauteil wird beim ISLE zunächst mit stark fokussierter, ultrakurz gepulster Laserstrahlung bestrahlt. Unter Verwendung eines Scannersystems und unterschiedlicher Fokussieroptiken werden 2-D-Strukturen im Volumen des transparenten Materials hergestellt. Durch die Laserstrahlung wird das Material lokal modifiziert, was zu einer größeren Ätzbarkeit der bestrahlten Bereiche führt. Im nachfolgenden Ätzprozess wird das bestrahlte Material entfernt und die gewünschten Geometrien bleiben zurück.

### Ergebnis

Neben der Herstellung von einfachen Mikrokanälen im Volumen von verschiedenen Gläsern und Saphir sind Kanalsysteme und Hohlräume realisiert worden. Darüber hinaus eignet sich ISLE auch zur Herstellung von Mikrobauteilen wie Zahnrädern und dünnwandigen Glasröhrchen.

### Anwendungsfelder

Mit ISLE hergestellte Glas-Biochips finden einen breiten Anwendungsbereich in der medizinischen Forschung. Aber auch in der chemischen Industrie und Forschung kann unter Verwendung von Mikrofluidik-Systemen der Verbrauch giftiger Substanzen stark reduziert werden.

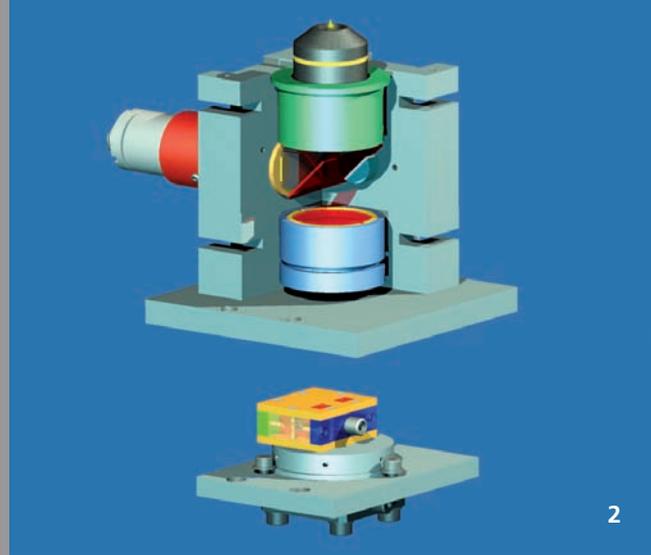
In naher Zukunft werden Glas-Biochips überall dort eingesetzt werden, wo heute noch Reagenzgläser verwendet werden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Maren Hörstmann-Jungemann  
 Telefon +49 241 8906-472  
 maren.hoerstmann-jungemann@ilt.fraunhofer.de

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

- 3 Verzweigersystem aus Mikrokanälen mit einer Länge von ca. 800 µm in 1 mm dickem Quarzglas, hergestellt mittels ISLE.
- 4 Elektronenmikroskopie-Aufnahme des Querschnitts eines 1 cm langen Mikrokanals in Saphir. Der Kanal ist 1 µm breit und 125 µm hoch.



## ZWEISTRAHL-DIFFERENZ-RAMAN-SPEKTROSKOPIE

### Aufgabenstellung

Die detaillierte Analyse von biochemischen Wechselwirkungen, insbesondere von spezifischen Interaktionen zwischen Proteinen und ihren Bindungspartnern, stellt eine klassische Aufgabenstellung der pharmakologischen Forschung dar.

Die Differenz-Raman-Spektroskopie ist ein Verfahren, das detaillierte Rückschlüsse auf die Interaktion zwischen Molekülen zulässt. Veränderungen des Schwingungsspektrums eines Moleküls, die bereits durch nichtkovalente Wechselwirkungen mit Bindungspartnern hervorgerufen werden, können mittels der Differenz-Raman-Spektroskopie empfindlich nachgewiesen werden. Anhand der Differenz der Raman-Spektren eines Proteins sowie eines Protein-Ligand Komplexes können quantitative und qualitative Aussagen über Vorliegen und Art von Interaktionen getroffen werden.

Idealerweise werden dabei beide Spektren simultan aufgenommen, damit kleinste Änderungen von Messparametern - wie z. B. Laserleistung, Proben temperatur, Justage - sich auf beide Messungen in gleicher Art auswirken. Eine exakte Differenzbildung wird so ermöglicht.

1 *Kompaktes Zweistrahl-Modul für die Differenz-Raman-Spektroskopie.*

2 *Konstruktion eines kompakten optischen Moduls für ein Zweistrahl-Raman-Experiment.*

### Vorgehensweise

Ein Demonstrator zur Anwendung der Zweistrahl-Differenz-Raman-Spektroskopie wird am Fraunhofer ILT aufgebaut. Durch eine Optik wird ein Laserstrahl in zwei Teilstrahlen aufgetrennt, jede Probe - Protein und Protein-Ligand Komplex - wird durch einen fokussierten Teilstrahl angeregt und das Raman-Signal durch eine konfokal-optische Anordnung in je eine Faser abgebildet. Beide Fasern sind an ein abbildendes Czerny-Turner Spektrometer angeschlossen, mit dem eine simultane Aufnahme von zwei Raman-Spektren möglich ist.

### Ergebnis

Zur Strahlteilung wird ein Wollaston-Prisma verwendet, das den Laserstrahl in einem Öffnungswinkel von ca.  $8,1^\circ$  teilt, um mit Hilfe eines Mikroskopobjektivs zwei Foki im Abstand von 1,25 mm zu erzeugen. Der Abstand der Foki wird maßgeblich durch die Wahl des Objektivs beeinflusst. Zur Einkopplung des breitbandigen Raman-Signals wurde ein Objektiv entwickelt, das aus einem Achromat und einer Magnesiumfluorid-Linse besteht und hohe Koppel-Effizienz verspricht. Die erste Version des Demonstrators steht zur Verfügung.

### Anwendungsfelder

In der Erforschung von neuen Pharmaka könnte dieses Verfahren eine schnellere und günstigere Alternative zu herkömmlichen fluoreszenzbasierten Messverfahren darstellen.

### Ansprechpartner

Dr. Christoph Janzen  
Telefon +49 241 8906-124  
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de

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

---

## TECHNOLOGIEFELD LASERMESSTECHNIK

---

Die Schwerpunkte des Technologiefelds Lasermesstechnik 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 tiefes 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

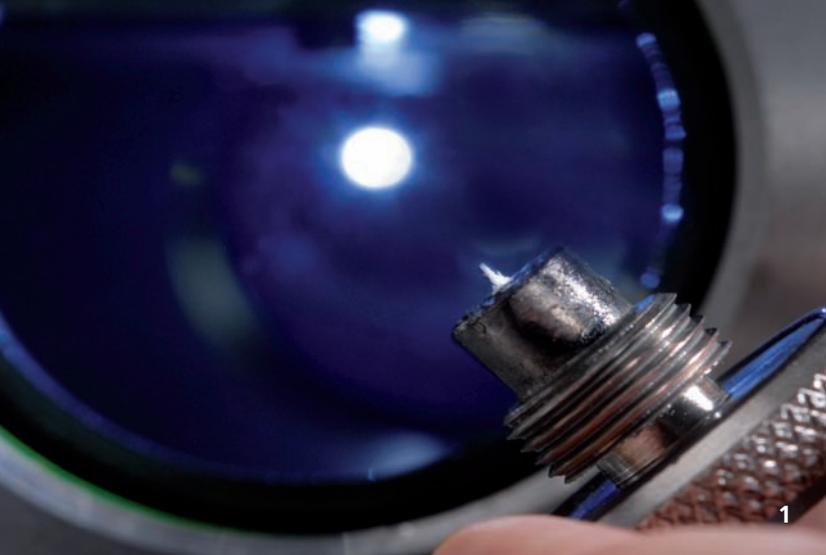


---

## INHALT

---

Verfahren zur Effizienzsteigerung der Analyse luftgetragener Partikel	120
Laser-Direktanalyse mineralischer Rohstoffe	121
Laser-Direktanalyse metallischer Stoffströme im Hochdurchsatz	122
Röntgenmikroskopische Untersuchung von Nanopartikeln	123
Modulierte Fluoreszenzpolarisation	124
Entladungsbasierte kompakte Quellen extrem ultravioletter Strahlung	125
EUV-Defekt-Inspektion	126
Femto EUV	127



## VERFAHREN ZUR EFFIZIENZ- STEIGERUNG DER ANALYSE LUFTGETRAGENER PARTIKEL

### Aufgabenstellung

Mit einem Analyseverfahren basierend auf der Laser-Emissionsspektroskopie soll die chemische Zusammensetzung luftgetragener Partikel größen aufgelöst im Bereich zwischen 10 nm und 1 µm direkt in einer Gasströmung bestimmt werden. Die Empfindlichkeit dieses Verfahrens soll gesteigert werden, um kleinste Mengen an Analytmateriale sowie einzelne Partikel nachweisen zu können.

### Vorgehensweise

Um die Empfindlichkeit des Verfahrens zu steigern, wird ein neuer Partikeleinlass entwickelt, der Partikel in eine Messkammer überführt, in der der Messprozess stattfindet. Durch den Einlass sollen die Partikel radial auf die Wechselwirkungszone mit dem Laserstrahl konzentriert werden, um die Intensität des Analysesignals und die Empfindlichkeit und Stabilität des Messprozesses zu steigern. Verschiedene Methoden zur Konzentrierung der Partikel werden erprobt und deren Auswirkung auf die Analyse untersucht.

1 *Angesammelte CaCl<sub>2</sub> Partikel auf einer Impaktorplatte; im Hintergrund der Analyseprozess mit dem Laser.*

2 *Komponenten des Aerosoleinlass zur radialen Konzentrierung von Partikeln unterschiedlicher Größe.*

### Ergebnis

Ein modular aufgebauter Partikeleinlass wurde entwickelt, mit dem Partikel der Größe zwischen 10 nm und 1 µm in die Wechselwirkungszone mit dem Laserstrahl überführt werden. Die Konstruktion ermöglicht die Nutzung verschiedener Konfigurationen des Einlasses, wie Düsen und Blendenanordnungen in unterschiedlichen Dimensionen, sowie einer Mantelströmung zur Bündelung des Aerosolstroms. Durch die Verwendung einer Anordnung mehrerer Blenden unterschiedlichen Innendurchmessers konnte das Analytsignal durchschnittlich um 10 Prozent gesteigert werden. Die Nachweisgrenze der größen aufgelösten Analyse der Partikel wurde hinsichtlich der Masse um einen Faktor 5 gesenkt. Durch die Verbesserung der Lokalisierung in der Wechselwirkungszone von Partikelstrom und Laserstrahl konnten einzelne Partikel bis zu einer Größe von 120 nm Durchmesser nachgewiesen werden.

### Anwendungsfelder

Das Verfahren kann in allen Industriebereichen, in denen Prozessstäube eine Rolle spielen, eingesetzt werden. Aufgrund des schnellen Ansprechverhaltens ist das Verfahren bei der inline Analyse von Prozessstäuben einsetzbar. Die größen aufgelöste Analyse der chemischen Zusammensetzung erlaubt es, Emissionen unterschiedlicher Prozesse vor einem Hintergrundaerosol zu identifizieren und deren Quelle zuzuordnen.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Nadine Strauß  
Telefon +49 241 8906-196  
nadine.strauss@ilt.fraunhofer.de

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



## LASER-DIREKTANALYSE MINERALISCHER ROHSTOFFE

### Aufgabenstellung

Mineralische Rohstoffe unterliegen natürlichen Schwankungen. Die Zusammensetzung des Materials unterscheidet sich zwischen einzelnen Lagerstätten und kann auch innerhalb einzelner Lagerstätten stark variieren. Zur gezielten Gewinnung und effektiven wirtschaftlichen Verwendung ist die Kenntnis der Zusammensetzung unerlässlich. Für deren Bestimmung stehen oftmals nur Messmethoden zur Verfügung, die Analyseergebnisse mit großer zeitlicher Verzögerung und hohen Einzelkosten bereitstellen oder Parameter bestimmen, die nur indirekt mit der Zusammensetzung verbunden und damit fehleranfällig sind.

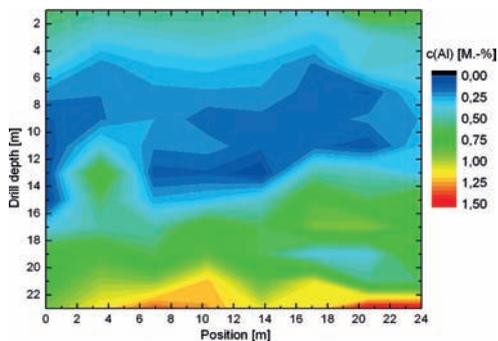
### Vorgehensweise

Bei der Laserdirektanalyse mit Laser-Emissionsspektroskopie wird unmittelbar der Gehalt aller interessierenden Elemente bestimmt. Die Messungen erfolgen inline an den Stoffströmen in der industriellen Verarbeitung. Die Messeinrichtungen werden aufgabenspezifisch für die vorhandenen staubförmigen oder festen Materialien ausgelegt. In Echtzeit werden die Ergebnisse ausgewertet und an die Prozesssteuerung übermittelt, wodurch in vielen Fällen erstmals eine unmittelbare Anpassung an Schwankungen der Materialzusammensetzung möglich wird.

### Ergebnis

Ein Demonstrator zur Messung der Zusammensetzung von Bohrmehl während der Einbringung von Sprenglochbohrungen wurde in Feldversuchen getestet und kann in Zukunft zur Inline-Erstellung eines Lagerstätten-Modells und zur flexiblen Anpassung des Bohrrasters genutzt werden.

In Kooperation mit Industriepartnern wurde ein System aufgebaut, das kontinuierlich den Aschegehalt von Kohle bestimmt und so eine Aussage über den Brennwert ermöglicht.



### Anwendungsfelder

Die Laserdirektanalyse kann zur stofflichen Analyse aller mineralischen Rohstoffe verwendet werden. Ein wirtschaftlicher Nutzen lässt sich erzielen, wenn die Gewinnung und Aufbereitung der Rohstoffe gezielt auf das nutzbare Gestein fokussiert werden kann. Hierdurch können Lagerstätten gezielter abgebaut und länger genutzt werden. In der Verwertung wird die Einsparung von Rohstoffen und Energie und damit eine Schonung der natürlichen Ressourcen ermöglicht.

### Ansprechpartner

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

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

- 3 System zur Inline-Analyse von Kohle.  
4 Demonstrator zur Laser-Direktanalyse an einem Bohrggerät.



## LASER-DIREKTANALYSE METALLISCHER STOFFSTRÖME IM HOCHDURCHSATZ

### Aufgabenstellung

Begrenzte Ressourcen und steigende Energiepreise führen zu einer verstärkten Nutzung von Sekundärrohstoffen. Insbesondere im Bereich des werkstofflichen Recyclings besteht die Notwendigkeit, Sekundärrohstoffströme vor dem Einschmelzprozess hinsichtlich der Elementzusammensetzung zu charakterisieren und insbesondere nach Werkstoffen zu sortieren. Die Laser-Emissionsspektroskopie (LIBS) bietet für diesen Anwendungsfall ein flexibel einsetzbares Verfahren zur berührungslosen Multielement-Analyse verschiedener metallischer Werkstoffe, wie z. B. Edelstahl, Aluminium, Titan.

### Vorgehensweise

Bei der Laserdirektanalyse wird ein gepulster Nd:YAG-Laser eingesetzt, der über ein Galvo-Scannerspiegelsystem bewegte Objekte auf einem Förderband (3 m/s) mit einem Laserpuls beaufschlagt. Das laser-induzierte Plasma jedes einzelnen Objekts wird spektroskopisch analysiert und eine Sortierentscheidung getroffen. In Zusammenarbeit mit einem Hersteller für Sortier- und Recyclinganlagen wurde das am Fraunhofer ILT entwickelte LIBS-System in eine Sortieranlage integriert, siehe Bild 2. Das Gesamtsystem soll in Hinblick auf seine Robustheit für den industriellen Einsatz bei hohen Massendurchsätzen von > 4 t/h getestet werden.

1 Ausschleuseeinheit zur Sortierung  
von Einzelkörnern.

2 Sortieranlage zur Laser-Direktanalyse.

### Ergebnis

Erste Messungen mit definierten Probensätzen zeigen, dass eine Trennung von Aluminium-Guss- und Knetlegierungen mit Identifikationsrichtigkeiten von bis zu 95 Prozent erreicht werden kann. Dazu wurde das für die beiden untersuchten Legierungen charakteristische Element Silizium als Sortierkriterium herangezogen.

### Anwendungsfelder

Anwendungen dieser Technologie finden sich insbesondere in der Recyclingindustrie für die Identifikation von Einzelkörnern als auch für die Charakterisierung von Stoffströmen. Aufgrund der Laseranregung der Messstrahlung ist diese Methode der optischen Emissionsspektroskopie nicht auf metallische Werkstoffe beschränkt, sondern kann auch für mineralische Rohstoffe, wie z. B. Kalkstein, Dolomit, Kohle etc., eingesetzt werden.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Patrick Werheit  
Telefon +49 241 8906-308  
patrick.werheit@ilt.fraunhofer.de

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



3

## RÖNTGENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNG VON NANO- PARTIKELN

### Aufgabenstellung

Nanopartikel sind Gegenstand der Forschung in Materialwissenschaft, Kolloidchemie und Medizin. Sie finden zunehmend Verwendung in Produkten des täglichen Gebrauchs. Die Untersuchung der Selbstorganisation von Nanopartikeln in flüssigen Medien erfordert mikroskopische Verfahren mit einem Auflösungsvermögen im Bereich von 50 nm. Klassische lichtmikroskopische Verfahren erreichen diese Auflösung nicht. Hochauflösende Transmissionselektronenmikroskopie kann wegen der geringen Eindringtiefe der Elektronen ebenfalls nicht eingesetzt werden.

### Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wird ein in Zusammenarbeit mit dem Institut für X-Optik der FH-Koblenz und der Firma Bruker ASC entwickeltes Laborröntgenmikroskop betrieben. Das Gerät ist mit einer am Fraunhofer ILT entwickelten Gasentladungsquelle ausgestattet und erlaubt die Untersuchung bis zu 10  $\mu\text{m}$  dicker Proben mit einer Auflösung von 60 nm bei einer Arbeitswellenlänge von 2,88 nm.

Die Universität Michigan untersucht die Erzeugung vielfach verzweigter Nanokristalle und Nanoröhrchen durch Selbstorganisation von Cadmium-Tellur Nanokristallen und Blei-Schwefel Nanokristallen. Die Strukturen werden für neuartige Halbleitermaterialien eingesetzt. Sie ermöglichen die Steigerung der Effizienz organischer Solarzellen.

### Ergebnis

Diese Partikel werden am Fraunhofer ILT röntgenmikroskopisch untersucht. Auflösung und Kontrast der Aufnahmen zeigen die Eignung des Verfahrens zur Untersuchung dieser Nanostrukturen. In einem Folgeexperiment soll die Selbstorganisation der Nanopartikel, die sich über einen Zeitraum von Stunden vollzieht, direkt im flüssigen Medium verfolgt werden.

### Anwendungsfelder

Selbstorganisation von Nanopartikeln ist von Interesse für verschiedene Anwendungsfelder:

- Nanoelektronik, z. B. neuartige organische Halbleitermaterialien
- Kolloidchemie, z. B. Strukturbildung beim Abbinden von Beton
- Umweltwissenschaften, z. B. Untersuchung der Morphologie von Böden

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Markus Benk  
Telefon +49 241 8906-302  
markus.benk@ilt.fraunhofer.de

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

3 Röntgenmikroskopische Aufnahmen von PbS Nanokristallen (links) und CdTe Nanoröhrchen (rechts).



## MODULIERTE FLUORESCENZ-POLARISATION

### Aufgabenstellung

Die Fluoreszenzpolarisation ist ein antikörperbasiertes analytisches Verfahren, mit dem ein hochspezifischer quantitativer Nachweis verschiedener Analyte möglich ist. Zusammen mit Partnern aus Industrie und Forschung wird am Fraunhofer ILT an der Weiterentwicklung dieses Verfahrens für eine empfindliche Detektion von Schimmelpilzgiften in Getreideprodukten gearbeitet.

### Vorgehensweise

Um eine möglichst hohe Empfindlichkeit zu erzielen, wird eine modulierte Fluoreszenzpolarisation entwickelt. Das analytische Signal eines Fluoreszenzpolarisations-Experiments ergibt sich aus der Differenz zwischen zwei Polarisationsanteilen der Fluoreszenz der Probe. Indem die beiden Fluoreszenzkomponenten (horizontal und vertikal) im schnellen Wechsel nacheinander auf einen Detektor treffen, kann ein moduliertes Signal erzeugt werden. Die Modulationstiefe (Amplitude) entspricht dem gesuchten analytischen Signal. Mit Hilfe einer phasenrichtigen Mittelung vieler Signalperioden sind eine hohe Signalgüte und eine hohe analytische Genauigkeit erreichbar.

### Ergebnis

Ein Demonstrator für die modulierte Fluoreszenzpolarisation wurde aufgebaut. Über die Drehung eines Polarisationsanalysators wird die Signalmodulation erzeugt.

Mit dem System sind erste Validierungsmessungen durchgeführt worden, Polarisationswerte (P-Werte) von Fluorescein als Standard-Farbstoff in einem Konzentrationsbereich von bis zu 0,1 nmol konnten aufgenommen werden.

### Anwendungsfelder

Die Arbeiten fließen in ein System für die Lebensmittelanalytik ein, mit dem Getreide und Getreideproben analysiert werden sollen. Durch Anpassung der biochemischen Assays können auch andere Lebensmitteltoxine nachgewiesen werden.

### Ansprechpartner

Dr. Christoph Janzen  
Telefon +49 241 8906-124  
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de

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

1 Vorrichtung zur Polarisationsmodulation.



## ENTLADUNGSBASIERTE KOMPACTE QUELLEN EXTREM ULTRAVIOLETTER STRAHLUNG

### Aufgabenstellung

Der Spektralbereich der extrem ultravioletten Strahlung (XUV) bietet vielfältige innovative Anwendungsmöglichkeiten in Materialanalytik, Messtechnik, Lebenswissenschaften und Mikroskopie. Die Anforderungen an kompakte Strahlungsquellen unterscheiden sich stark innerhalb dieser Anwendungsfelder. Die bestimmenden Parameter sind die spektrale und räumliche Emissionscharakteristik und die Strahldichte der Quelle.

### Vorgehensweise

Auf der Grundlage des für die Lithographie mit extrem ultravioletter Strahlung (EUVL) entwickelten Konzepts des Hohlkathoden-getriggerten Pinchplasmas wird eine kompakte, modulare Strahlungsquelle entwickelt, deren Emissionseigenschaften in einem weiten Bereich variiert werden können. An die Applikation angepasste Komponenten zur Strahlführung und Vakuumintegration ergänzen das System.

### Ergebnis

Die Strahlungsquelle wird in drei Konfigurationen für verschiedene Spektralbereiche betrieben. Typische Repetitionsraten liegen im Bereich von 1000 Hz bis 3000 Hz. Bezüglich mittlerer Strahlungsleistung und Brillanz werden jeweils Spitzenwerte im internationalen Vergleich erreicht:

1. Linienstrahlung bei 2,88 nm Wellenlänge mit einer relativen spektralen Breite  $\Delta\lambda/\lambda$  von 1/840; Strahldichte:  $2 \cdot 10^9$  Photonen / ( $\mu\text{m}^2 \text{ sr s}$ ); Strahlstärke der Emissionslinie: 15 W / ( $2\pi \text{ sr}$ )
2. Strahlung bei 11 nm Wellenlänge in 4 % Bandbreite  
Strahldichte: 100 W / ( $\text{mm}^2 \text{ sr}$ ) @ 11 nm  $\pm$  2 %  
Strahlstärke: 40 W / ( $2\pi \text{ sr}$ ) @ 11 nm  $\pm$  2%
3. Strahlung bei 13,5 nm Wellenlänge in 2 % Bandbreite  
Strahldichte: 13 W / ( $\text{mm}^2 \text{ sr}$ ) @ 13,5 nm  $\pm$  1 %  
Strahlstärke: 45 W / ( $2\pi \text{ sr}$ ) @ 13,5 nm  $\pm$  1 %

### Anwendungsfelder

Für die kompakte Quelle extrem ultravioletter Strahlung bestehen vielfältige Anwendungsfelder:

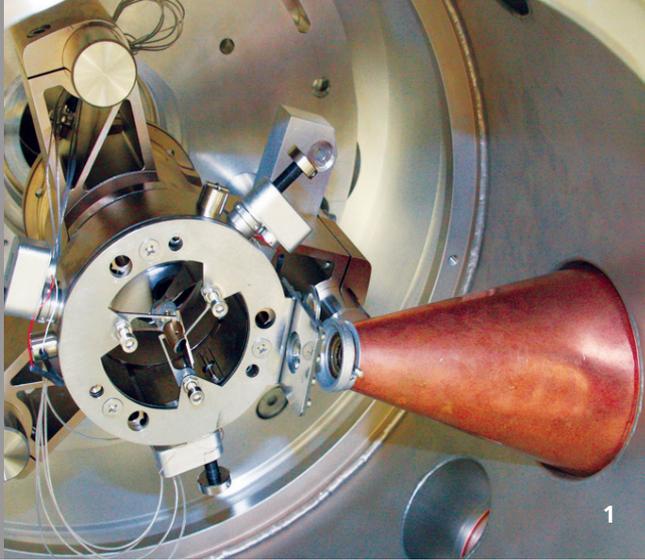
- Mikroskopie mit weicher Röntgenstrahlung
- Maskeninspektion für die EUV-Lithographie
- Technologieentwicklung im EUVL-Umfeld (z. B. Resistentwicklung, Charakterisierung von Optiken)
- XUV-basierte Metrologie für die Nanowissenschaften

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Markus Benk  
Telefon +49 241 8906-302  
markus.benk@ilt.fraunhofer.de

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

2 Kompakte Quelle extrem ultravioletter Strahlung.



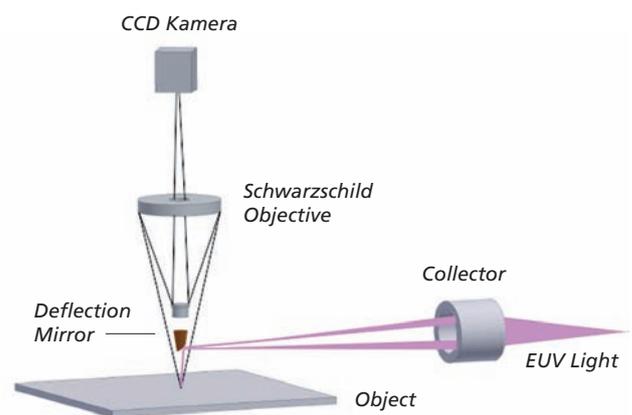
## EUV-DEFEKT-INSPEKTION

### Aufgabenstellung

Um die EUV-Lithographie als neue Technologie für die Chipherstellung einsetzen zu können, ist es notwendig, über defektfreie Masken und Maskenblanks zu verfügen. Ein Inspektionsgerät, das diese auf Defekte untersuchen kann, ist bisher nicht vorhanden. Dabei sollen alle Defekte > 20 nm auf der Maske bzw. dem Maskenblank detektiert werden. Da die Masken und Maskenblanks als Multilayerspiegel aufgebaut sind und potentielle Defekte sich auch in oder unter dem Multilayer befinden können, muss bei der Inspektion die gleiche Wellenlänge verwendet werden wie bei der Herstellung der Chips.

### Vorgehensweise

Zur Detektion von Defekten eignet sich der Dunkelfeldmodus, da dieser einen hohen Kontrast aufweist und damit auch geringe Signale von kleinen Defekten beobachtet werden können. Deshalb wird ein EUV-Dunkelfeld-Mikroskop im Reflexionsmodus verwendet, um Maskenblanks zu inspizieren. Dazu wird die Strahlung einer Gasentladungsquelle über einen Ringellipsoidkollector und einen Umlenkspiegel auf die Probe fokussiert. Der potenzielle Defekt auf der Probe streut das Licht, das Maskenblank selbst reflektiert es. Der reflektierte Teil des Lichts wird am Umlenkspiegel abgelenkt und nur das gestreute Licht gelangt in das Schwarzschild Objektiv. Dieses bildet das Streulicht auf eine CCD-Kamera ab. Hierbei wird der Defekt nicht aufgelöst, sondern die Sensitivität auf kleine Defekte ausgenutzt. Der Vorteil dieser Wahl liegt im großen Bildfeld (aufgrund der moderaten 21-fachen Vergrößerung des Objektivs) was schnellere Scangeschwindigkeiten ermöglicht.



### Ergebnis

Das EUV-Dunkelfeld-Mikroskop wurde aufgebaut und seine Funktionalität an verschiedenen Defekten auf Multilayerspiegeln gezeigt. Die untersuchten Strukturen wurden außerdem zum Kreuzvergleich mit einem Rasterkraftmikroskop untersucht.

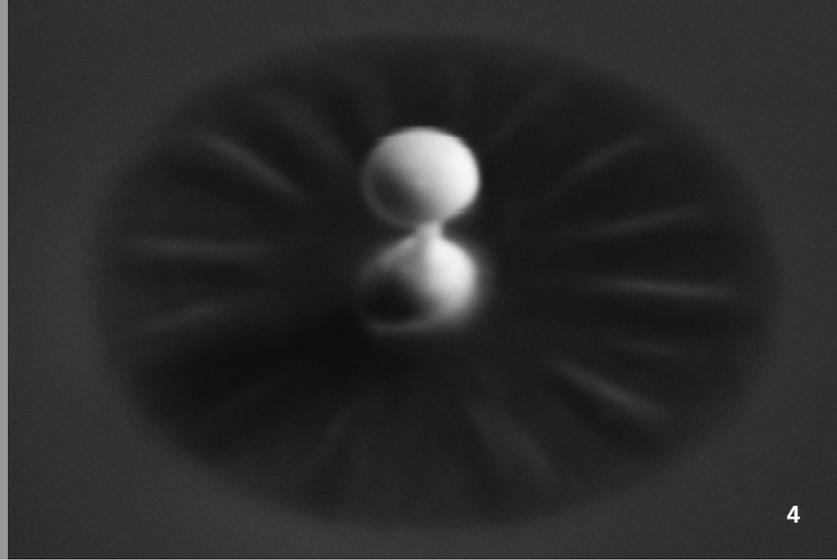
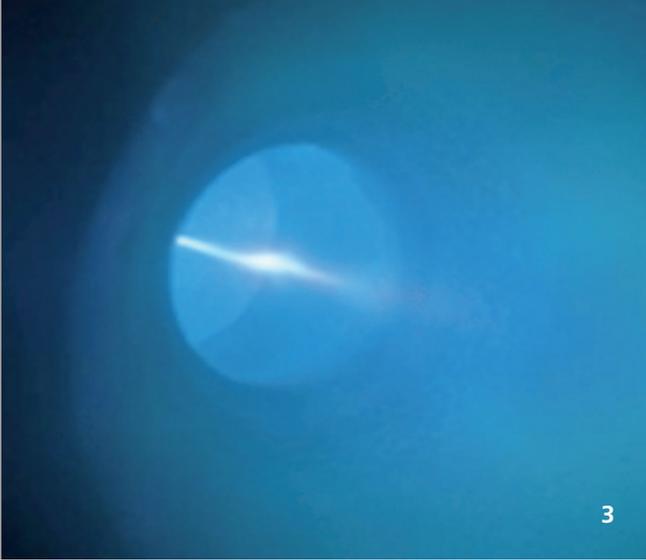
### Anwendungsfelder

Ein Maskenblank Inspektionsgerät wird von Maskenherstellern benötigt, um zu garantieren, dass die produzierten Masken defektfrei sind.

### Ansprechpartner

M.Sc. Stefan Herbert  
 Telefon +49 241 8906-644  
 stefan.herbert@ilt.fraunhofer.de

Prof. Peter Loosen  
 Telefon +49 241 8906-162  
 peter.loosen@ilt.fraunhofer.de



## FEMTO EUV

### Aufgabenstellung

Zunehmend werden sub-100 nm Strukturen in technologischen Bereichen wie der Photovoltaik, der Biotechnologie oder für das Design von funktionellen photonischen und plasmonischen Oberflächen eingesetzt. Für die reproduzierbare Herstellung maßgeschneiderter Nanostrukturen stellt das Verständnis und die Kontrolle der Entstehungsdynamik eine unumgängliche Notwendigkeit dar. Eine Möglichkeit, die Formation solcher Nanostrukturen zu verstehen und zu beschreiben, besteht in der numerischen Simulation. Die in der Simulation erstellten theoretischen Modelle und die dafür verwendeten Eingangsparameter werden durch sehr präzise experimentelle Daten validiert und an die reale Entstehungsdynamik der Nanostrukturen angepasst.

### Vorgehensweise

Für die Beobachtung der Formationsdynamik von laserinduzierten Nanostrukturen auf metallischen Dünnschichten wird ein neuartiges hochauflösendes EUV-Pump-Probe-Mikroskop entwickelt. Durch diese Kombination wird die große zeitliche Auflösung eines Pump-Probe-Verfahrens mit der großen räumlichen Auflösung eines EUV-Mikroskops in einer Apparatur zusammengeführt. Zur Strukturierung wird Laserstrahlung mit Pulsdauern  $< 100$  fs in die Beobachtungskammer eingekoppelt. Der Einsatz eines Sauerstoffplasmas als Beleuchtungsquelle, einer Zonenplatte als abbildende Optik und einer Mikrokanalplatte als Detektor ermöglicht eine hohe räumliche Auflösung des Formationsprozesses der Nanostrukturen von  $\Delta x < 100$  nm. Durch die zeitliche Kopplung von fs-Laser, EUV-Beleuchtungsquelle und Mikrokanalplatte wird die hohe zeitliche Auflösung im sub-ns-Bereich erzielt.

### Ergebnis

Der Aufbau einer Vakuumkammer mit einer Sauerstoff EUV-Quelle und einem 5-Achs-Positioniersystem für die zu untersuchenden Proben wurde abgeschlossen. Mit der Inbetriebnahme der EUV-Quelle wurden erste Aufnahmen von statischen Testobjekten realisiert.

### Anwendungsfelder

Das entwickelte EUV-Mikroskop bietet in allen analytischen Bereichen der Chemie, der Biologie, des Maschinenbaus etc. eine neuartige Methode, dynamische Prozesse von Strukturen zeitlich hochaufgelöst zu beobachten, deren Ausdehnung unterhalb des Auflösungsvermögens von herkömmlichen Mikroskopen liegt.

### Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Dirk Wortmann  
Telefon +49 241 8906-276  
dirk.wortmann@ilt.fraunhofer.de

Prof. Dr. Peter Loosen  
Telefon +49 241 8906-162  
peter.loosen@ilt.fraunhofer.de

3 EUV-Plasma.

4 Nanojet.

# PATENTE

## Patenterteilungen Deutschland

### DE 103 28 083 B4

Anordnung zur Angleichung der Strahlqualität beider Richtungen eines Diodenlaserarrays

### DE 10 2004 051 310 B4

Vorrichtung und Verfahren zur Durchführung der Emissionsspektrometrie

### DE 100 59 160 B4

Verfahren und Herstellung einer dauerhaften Verbindung zwischen einem flächigen Kunststoffleichtbauteil mit einer Qualitätsoberfläche und einem Element

### DE 10 2007 061 549 B4

Verfahren zur Änderung des Strahldurchmessers eines Laserstrahls in einer Bearbeitungsebene sowie dafür ausgebildete Anordnung

### DE 10 2005 023 60

Gasentladungs-Strahlungsquelle insbesondere für EUV-Strahlung

### 502 14 492.0-08

Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen von extrem ultravioletter Strahlung oder weicher Röntgenstrahlung

## Patenterteilungen USA

### US 7, 790, 999 B2

Verfahren zum Laserschweißen eines Werkstücks

### US 7,842 901 B2

Laser Präzisionsbohren

## Patenterteilungen Japan

### 4588513

Optische Verstärker-Anordnungen

### 4608158

Extrem ultraviolette Strahlungsquelle auf Basis einer Gasentladung

## Patenterteilungen Europa

### EP 1 863 612 B1

Verfahren zur Vermessung von Phasengrenzen eines Werkstoffes bei der Bearbeitung mit einem Bearbeitungsstrahl mit einer zusätzlichen Beleuchtungsstrahlung und einem automatisierten Bildverarbeitungsalgorithmus sowie zugehörige Vorrichtung

### EP 1 197 127 B1

Vorrichtung zur Erzeugung von extrem-ultraviolett- und weicher Röntgenstrahlung aus einer Gasentladung

### EP 1 248 499 B1

Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen von extrem ultravioletter Strahlung

### EP 1 384 394 B1

Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen von extrem ultravioletter Strahlung oder weicher Röntgenstrahlung

## Patentanmeldungen National

### 10 2010 007 323.7-34

Verfahren zum Bestimmen des Schneidergebnisses eines Laserschneidprozesses

### 10 2010 008 781.5-44

Verfahren zur schichtweisen Fertigung von Bauteilen sowie Verfahren zur schichtweisen Fertigung von Bauteilen

### 10 2010 018 538.8-54

Verfahren zur Modenbeeinflussung von optischer Strahlung in einem Medium

### 10 2010 026 107.6-34

Vorrichtung und Verfahren zum prozessgasbegleiteten Bearbeiten von Werkstücken mit energetischer Strahlung

### 10 2010 032 856.1-45

Verfahren zur Herstellung von Bipolarplatten

### 10 2010 033 053.1-45

Verfahren zum formgebenden Umschmelzen von Werkstücken

# DISSERTATIONEN

## Patentanmeldungen International

**PCT/EP2010/000398**

Verfahren und Anordnung zur Erzeugung eines Elektro-  
nenstrahls

**EP 10156943.2**

Printing apparatus and  
method for controlling  
a printing apparatus

**PCT/EP2010/054322**

Verfahren zum Schweißen  
und Bauteil

**EP 10162170.4**

Laser device with configurable  
intensity distribution

**PCT/EP2010/0059116**

Röntgenquelle, Com-  
putertomograph sowie  
Verfahren zum Betrieb der  
Röntgenquelle bzw. des  
Computertomographen

**10 007 377.4**

Method of improving the  
operation efficiency of a EUV  
plasma discharge lamp

**PCT/EP2010/061637**

Ceramic or glass-ceramic  
article and methods for  
producing such article

**PCT/EP2010/006201**

Vorrichtung zur Erfassung  
der Fügetemperatur beim  
Laserstrahlschweißen von  
Thermoplasten

**EP 10189788.2**

Optical element for vertical  
external-cavity surface-  
emitting laser

**EP 10189981.3**

Vcsl device with improved  
far-field homogeneity

**PCT/EP2010/007353**

Faserintegrierter optischer  
Isolator

## Dissertationen

**05.02.2010 -**

**Gehlen, Christoph Dominic**  
Zeit- und orts aufgelöste  
Laser-Emissionsspektrometrie  
mit Tailored Pulse Trains

**01.06.2010 - Simon Hoeges**

Entwicklung des Selective  
Laser Melting für die Verar-  
beitung bioresorbierbarer  
medizinischer Werkstoffe

**10.06.2010 - Kurt Walther**

Herstellung von Formboh-  
rungen mit Laserstrahlung

**18.06.2010 -**

**Christiane Liebing**  
Beeinflussung funktioneller  
Oberflächeneigenschaften  
von Stahlwerkstoffen durch  
Laserpolieren

**21.06.2010 -**

**Tilman Schwendt**  
Lasermessverfahren für die  
zeitaufgelöste Quantifizierung  
von Konzentrationsprofilen  
in Hydrogel Matrices

**24.06.2010 -**

**Steffen Sven Sommer**  
Effizienzsteigerung beim  
präzisen Oberflächenabtragen  
mit ultrakurzen Laserpulsen

**15.10.2010 - Dimitri Ganser**

Abscheidung von Neodym:  
Phosphatglas mittels  
Pulsed Laser Deposition  
zur Fertigung integrierter  
Wellenleiterlaser

**11.11.2010 -**

**Bernd Jungbluth**  
Gewinngeschaltete Ti:Saphir-  
Laser mit ultrabreitem  
Abstimmbereich

**09.12.2010 - Jörg Diettrich**

Koaxiale Strahlführungs- und  
-formungssysteme für die  
hybride Lasermaterialbear-  
beitung

**20.12.2010 - Bernd Burbaum**

Verfahrenstechnische Grund-  
lagen für das Laserstrahl-  
Umschmelzen einkristalliner  
Nickelbasis-Superlegierungen

# DIPLOMARBEITEN

**Bürgermeister, Lisa**

Geometrisch-optische Strahlungspropagation in der Schweißkapillare beim Remote-Twist-Laserpunktschweißverfahren

**Dittberner, Carsten**

Design und Herstellung nanooptischer Komponenten mit EUV-Nanostrukturierungsverfahren

**Finger, Johannes-Thomas**

Untersuchung des fs-Laser-Abtrags von Graphit im Hinblick auf die Herstellung von Graphen

**Flemmer, John**

Gezielte Strukturierung metallischer Werkstoffe durch Umschmelzen mit Laserstrahlung

**Gad, André**

Thermische Beständigkeit von laserauftraggeschweißten Beschichtungen auf Magnesiumlegierungs-Substraten

**Hambach, Nelli**

Untersuchung und Bewertung der Einflussfaktoren beim Laserstrahlperforieren dünner Al-Folien für Li-Ionen Akkus

**Heidrich, Sebastian**

Bestimmung der Prozessparameter zur Erhöhung der Aufbaurrate mittels SLM gefertigter Bauteile aus AlSi10Mg

**Herper, Markus**

Faserintegrierter Isolator für Faserlaserstrahlung

**Jaschinski, Evelin**

Spektroskopie an Quantenpunkten zur nicht-invasiven Temperaturbestimmung biologischer Stoffe

**Kawo Foapa, Emilienne**

Untersuchung der Nanostrukturbildung beim selektiven laser-induzierten Ätzen von Mikrokanälen in Glas

**Kirfel, Michael**

Untersuchung zur Verarbeitbarkeit von MAR M247 mit dem generativen Fertigungsverfahren Selective Laser Melting

**Koch, Beate**

Besiedlung laserstrukturierter Polymerfolien zur Entwicklung eines Zellscaffolds

**Kolf, Jan**

Femtosekunden-Spektroskopie bei der Bildung von Nanostrukturen in Saphir und Quarzglas

**Kruppe, Sarah**

Laserdeposition für grüne Wellenleiter aus Pr:ZBLAN

**Liermann, Eric**

Optimierung der n-seitigen Kontaktierung von Hochleistungs-Diodenlasern zur Datenübertragung im Weltraum

**Lott, Philipp**

Auslegung eines Optiksysteams zur in situ Prozessbeobachtung beim Selective Laser Melting (SLM)

**Raue, Nils**

Prüfmittelüberwachung einer lasergestützten Sortieranlage

**Sartorius, Thomas**

Spektrale Verbreiterung ultrakurzer Laserpulse hoher mittlerer Leistung in Glasfasern

**Schlösser, Michael**

Untersuchung von stöchiometrisch angepassten Nd:YLuGG-Kristallen für Wasserdampf-Lidar-Laser

**Sirca, Sager Dave**

Herstellung von Verschleißschutzschichten auf empfindlichen Stahlsubstraten durch Laserbehandlung von nanopartikulären Schichten mittels gepulster Diodenlaserstrahlung

**Steffens, Simon**

Herstellung von laseraktiven Pr:YLF-Wellenleitern

**Theis, Jens**

Untersuchung zur generativen Herstellung komplexer Funktionsbauteile nach dem Skin-Core Prinzip mittels Selective Laser Melting (SLM)

**Vaessen, Michael**

Laserpolieren von Freiformflächen aus 1.2343

# WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN

**Aden, M., Roesner, A., Olowinsky, A.:** Optical characterization of polycarbonate: Influence of additives on optical properties: *J. Polymer Science. Part B: Polymer Physics* 48, Nr 4, 451-455, 2010

**Arens, J., Brouwer, P. de, Mager, I., Brucker, C., Schäfer, M., Jacobs, P., Schmitz-Rode, T., Steinseifer, U.:** Hemocompatibility tests on materials for a multi-tactile-sensor concept. *Int. J. Artif. Org.* 33, Nr 7, 480, 2010

**Bäuerle, A., Wester, R., Schnitzler, C., Loosen, P.:** Design of efficient freeform lenses for mass-market illumination applications using hybrid algorithms. *Proc. SPIE* 7788, 778807 (10 S.), 2010

**Baier, T., Schulz-Ruthenberg, M., Ametowobla, M., Schlenker, T., Manz, D.:** Theoretical approach to estimate laser process parameters for drilling in crystalline silicon. *Progr. Photovoltaics* 18, Nr 8, 603-606, DOI:10.1002/pip.1012, 2010

**Banyay, M., Juschkin, L.:** Spectral sharpening algorithm for a polychromatic reflectometer in the extreme ultraviolet. *Appl. Spectrosc.* 64, 401-408, 2010

**Bergweiler, G., Weisheit, A., Wissenbach, K., Kelbassa, I., Kopp, C.:** Improvement of formability and performance of coated ultra-high-strength steels by local heat treatment using a high power diode laser. 2. *International Conference on Super-High Strength Steels.* October 17-20, 2010, Peschiera del Garda (Verona), Italy. Milano: Associazione Italiana di Metallurgia. (CD). (12 S.), 2010

**Boglea, A., Olowinsky, A., Gillner, A.:** Extending the limits of laser polymer welding using advanced irradiation strategies. *J. Laser Micro/Nanoeng.* 5, 138-144, 2010

**Burbaum, B., Hong, C., Gasser, A., Kelbassa, I.:** Advantages of adaptive optics for laser metal deposition in comparison to conventional optics. *Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics (PICALO)*, Shangri-La Hotel, Wuhan, China, March 23-25, 2010. Paper 1008 (5 S.), 2010

**Dahmen, M., Güdükurt, O., Kaierle, S.:** The ecological footprint of laser beam welding. *Physics Procedia* 5, Nr 2, 19-28, 2010

**Dolkemeyer, J., Funck, M., Morasch, V.:** Flexible Automatisierung in der Produktion der Zukunft. *RWTH-Themen* Nr 1, 30-35, 2010

**Facchini, L., Höges, S., Magalini, E., Robotti, P., Wissenbach, K., Molinari, A.:** Ductility of a Ti-6Al-4V alloy produced by Selective Laser Melting of prealloyed powders. *Rapid Prototyping Journal* 16, Nr 6, 450-459, 2010

**Fiedler, W., Drenker, A., Kaierle, S.:** Process monitoring and control during hybrid laser-arc welding of medium section steel sheets. *ICALEO 2010. 29th International Congress on Applications of Lasers & Electro Optics, Anaheim/Ca., September 26-30, 2010.* Paper 205, (7 S.), 2010

**Fix, A., Ehret, G., Löhring, J., Hoffmann, D., Alpers, M.:** Water vapor differential absorption lidar measurements using a diode-pumped all-solid-state laser at 935 nm. *Appl. Phys. B-Lasers and Optics* DOI 10.1007/s00340-010-4310-5, (11 S.), 2010

**Franz, C., Abels, P.:** Measuring welding velocity at tool center point. *ICALEO 2010. 29th International Congress on Applications of Lasers & Electro Optics, Anaheim/Ca., September 26-30, 2010.* Paper 1909 (8 S.), 2010

**Fricke-Begemann, C., Jander, P., Wotruba, H., Gaastra, M.:** Laser-based online analysis of minerals. *Zement Kalk Gips Int.* 63, 65-70, 2010

**Fricke-Begemann, C., Noll, R., Wotruba, H., Schmitz, C.:** Lasergestützte Materialanalyse zur Sortierung mineralischer Rohstoffe. In: *Sensorgestützte Sortierung 2010. Clausthal-Zellerfeld: GDMB 2010. Schriftenreihe d. GDMB Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik, H. 122, 49-50*

**Fricke-Begemann, C., Noll, R., Wotruba, H., Schmitz, C.:** Schnell und flexibel. Fast and flexible. AT Aufbereitungs Technik - Mineral Processing 51, Nr 01-02, 50-59, 2010

**Funck, M. C., Dolkemeyer, J., Morasch, V., Loosen, P.:** Design of a miniaturized solid state laser for automated assembly. Proc. SPIE 7721, 77210X (10 S.), 2010

**Funck, M. C., Loosen, P.:** The effect of selective assembly on tolerance desensitization. Proc. SPIE 7652, 76521M (9 S.), 2010

**Ganser, D., Gottmann, J., Mackens, U., Weichmann, U.:** Pulsed laser deposition of fluoride glass thin films. Appl. Surface Sci. 257, 954-959, 2010

**Gasser, A., Backes, G., Kelbassa, I., Weisheit, A., Wissenbach, K.:** Laser additive manufacturing. Laser Technik J. 7, Nr 2, 58-63, 2010

**Gasser, A., Meiners, W., Weisheit, A., Willenborg, E., Stollenwerk, J., Wissenbach, K.:** Maßgeschneiderte Oberflächen und Bauteile. Teil 1. Laser Technik J. 7, Nr 4, 47-53, 2010

**Gasser, A., Olaineck, C., Dupré, J., Eimann, K.:** Maßgeschneiderte Oberflächen und Bauteile. Teil 2. Laser Technik J. 7, Nr 6, 22-26 2010

**Genov, S., Thurow, I., Riestler, D., Hirth, T., Borchers, K., Weber, A., Tovar, G. E. M.:** Dry native protein assays on substrates by non-contact laser-induced-forward transfer LIFT process. Nanotech 2010, Anaheim/Ca., June 21-24, 2010. (4 S.), 2010

**Genov, S., Riestler, D., Hirth, T., Tovar, G., Borchers, K., Weber, A.:** Preparation and characterisation of dry thin native protein trehalose films on titanium-coated cyclo-olefin polymer (COP) foil generated by spin-coating/drying process and applied for protein transfer by Laser-Induced-Forward-Transfer (LIFT). Chem. Eng. Proc. Process Intensification, in Pr., doi: 10.1016/j.cep.2010.11.001, 2010

**Gillner, A.:** Laser micro-structuring. In: Yi Qin: Micromanufacturing Engineering and Technology. Norwich, N.Y.: W. Andrew Publ. 2010. pp. 59-67. ISBN 978-0-8155-1545-6

**Gottmann, J.:** Selektives Laserätzen von Glas und Saphir. Mikroproduktion 2010, Nr 6, 10-13, 2010

**Grden, M., Sakklettibutra, J., Vollertsen, F., Johnigk, C., Emonts, M., Brecher, C., Eckert, M.:** Prozessauslegung beim laserstrahlunterstützten Stanzen. Laser Technik J. 7, Nr 6, 36-41, 2010

**Gronloh, B., Mans, T., Rußbüldt, P., Jungbluth, B., Wester, R., Hoffmann, D.:** High Power SHG at 515 nm by means of extracavity frequency conversion of sub-picosecond pulses from a mode-locked Innoslab MOPA. Advanced Solid-State Photonics, OSA Technical Digest Series. Optical Society of America, San Diego, Ca., January 31-February 3, 2010. Paper AtuA13 (2 S.), 2010

**Gu, D., Meiners, W., Hagedorn, Y.-C., Wissenbach, K., Poprawe, R.:** Bulk-form TiCx/Ti nanocomposites with controlled nanostructure prepared by a new method: selective laser melting. J. Phys. D: Appl. Phys. 43, 295402 (7 S.), 2010

**Gu, D., Meiners, W., Li, C., Shen, Y.:** In situ synthesized TiC/Ti5Si3 nanocomposites by high-energy mechanical alloying: Microstructural development and its mechanism. Mater. Sci. Eng. A 527, 6340-6345, 2010

**Gu, D., Meiners, W., Hagedorn, Y.-C., Wissenbach, K., Poprawe, R.:** Structural evolution and formation mechanisms of TiC/Ti nanocomposites prepared by high-energy mechanical alloying. J. Phys. D: Appl. Phys. 43, 135402 (11 S.), 2010

**Hagedorn, Y. C., Wilkes, J., Meiners, W., Wissenbach, K., Poprawe, R.:** Additive manufacturing of Al2O3-ZrO2-ceramic parts by Selective Laser Melting. 5th Int. Conf. on Additive Manufacturing, July 5-9, 2010, Loughborough Univ., Leicestershire/UK. 2010. (16 S.)

**Hagedorn, Y.-C., Wilkes, J., Meiners, W., Wissenbach, K., Poprawe, R.:** Net shaped high performance oxide ceramic parts by Selective Laser Melting. *Physics Procedia* 5, Nr 2, 587-594, 2010

**Hawelka, D., Stollenwerk, J., Pirch, N., Wissenbach, K.:** Laser based production of thin wear protection films. *ICALEO 2010. 29th International Congress on Applications of Lasers & Electro Optics, Anaheim/Ca., September 26-30, 2010. Paper 1709* (6 S.), 2010

**Heyde, M., Roll, K., Kawalla, R., Bergweiler, G., Kaiser, J.:** Local heat treatment of ultra-high-strength steels - an opportunity to extend the range of car body components. *Tools and Technologies for the Processing of Ultrahigh Strength Steels 2010. 50th anniversary IDDRG (International Deep-Drawing Research Group) Conference, Graz, Austria, May 31-June 02, 2010. Graz: Verl. d. Techn. Univ. (10 S.), 2010. ISBN 978-3851251081*

**Höges, S., Lindner, M., Meiners, W., Smeets, R.:** Bioresorbable implants using Selective Laser Melting. *21. Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium - an Additive Manufacturing Conference. Austin, Tx., August 9-11, 2010. (13 S.)*

**Höges, S.:** Wirtschaftliche Herstellung individueller Implantate. *MM Maschinenmarkt* Nr 26, 20-23, 2010

**Hölters, S., Overbeck, J., Ederleh, L., Michaeli, W., Lenenbach, A., Noll, R.:** Präzise Messtechnik für komplexe Mehrschichtfolien. *Coating Int.* 43, Nr 9, 6-12, 2010

**Holtkamp, J., Roesner, A., Gillner, A.:** Advances in hybrid laser joining. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 47, 923-930, 2010

**Hörstmann-Jungemann, M., Gottmann, J., Keggenhoff, M.:** 3D-Microstructuring of sapphire using fs-laser irradiation and selective etching. *J. Laser Micro/Nanoeng.* 5, 145-149, 2010

**Huang, J., Wu, S., Beckemper, Gillner, A.:** All-optical fabrications of ellipsoidal caps on azobenzene functional polymers. *Opt. Lett.* 35, Nr 16. 2711-2713, 2010

**Huang, J., Beckemper, S., Gillner, A., Wang, K.:** Tunable surface texturing by polarization-controlled three-beam interference. *J. Micromech. Microeng.* 20, 95004 (6 S.), 2010

**Jahnke, J., Mahlmann, D. M.:** Differences in the cellular dry weight per unit biovolume of *Phormidium autumnale* (Cyanobacteria) dependent on growth conditions. *J. Appl. Phycol.* 22, 117-122, 2010

**Jahnke, J., Mahlmann, D., Jacobs, P., Priefer, U.:** The influence of growth conditions on the cellular dry weight per unit biovolume of *Klebsormidium flaccidum* (Charophyta), a typical ubiquitous soil alga. *J. Appl. Phycol.* DOI 10.1007/s10811-010-9557-z, 2010

**Kaierle, S.:** Der ökologische Fußabdruck des Laserstrahlschweißens. *Laser Magazin* Nr 4, 6-7, 2010

**Kaierle, S., Kowalick, K., Regaard, B.:** Laser process monitoring: The next generation approach in industrial application. *PICALO 2010, March 23-25, 2010. 4th Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics. Wuhan, Peoples Republic of China. (Paper 405), 2010*

**Kaierle, S., Ungers, M., Franz, C., Mann, S., Abels, P.:** Understanding the laser process. *Laser Technik J.* 7, Nr 2, 49-52, 2010

**Kaul, R. A., Mahlmann, D. M., Loosen, P.:** Mach-Zehnder interference microscopy optically records electrically stimulated cellular activity in unstained nerve cells. *J. Microsc.* 240, Pt 1, 60-74, 2010

**Kelbassa, I., Wortmann, D., Mans, T., Gottmann, J., Russbueldt, P., Weitenberg, J., Brajdic, M., Hermans, M., Beckmann, D., Poprawe, R.:** High-power ultra-short pulse laser radiation: New sources as key enablers for emerging applications. *Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics (PICALO), Shangri-La Hotel, Wuhan, China, March 23-25, 2010. (6 S.), 2010*

**Leers, M., Westphalen, T., Liermann, E.:** Both sides cooled packages for high-power diode laser bars. 60th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), Las Vegas, June 1-4, 2010. Piscataway, N.J.: IEEE 2010. pp. 708-712

**Leers, M., Liermann, E., Imgrund, P., Kramer, L., Volkert, J.:** Expansion matched heat sinks made by  $\mu$ -metal injection molding. Proc. SPIE 7583, 75830H (11 S.), 2010

**Löhring, J., Meissner, A., Hoffmann, D., Fix, A., Ehret, G., Alpers, M.:** Diode-pumped single-frequency-Nd:YGG-MOPA for water-vapor DIAL measurements: design, setup and performance. Appl. Phys. B-Lasers and Optics DOI 10.1007/s00340-00-4314-1 (19 S.), 2010

**Maischner, D., Müller, H., Wissenbach, K., Weisheit, A., Biermann, T.:** Korrosionsschutz der Schnittflächen von Blechen durch lokales Verzinken und Kunststoffbeschichten mit Laserstrahlung. 9. Dresdener Korrosionsschutztag, Dresden 13.-14.10.2010. T. 1. 27-37, 2010

**Molitor, T., Schneider, F., Bußkamp, T., Thombansen, U., Eppelt, U., Petring, D., Schulz, W.:** Self-Optimizing Focus Technique (SOFT) - a new approach on the way to next generation cognitive laser cutting machines. ICALEO 2010. 29th International Congress on Applications of Lasers & Electro Optics, Anaheim/Ca., September 26-30, 2010. Paper 702, 2010

**Noll, R., Sturm, V., Fricke-Begemann, C., Werheit, P., Makowe, J.:** Laser-induced breakdown spectroscopy - new perspectives for in-line analysis of materials. Metallurg. Anal./Yejin-fenxi : shuangyuekan 30, Suppl. 9, 22-30, 2010

**Noll, R., Fricke-Begemann, C., Jander, P., Kuhlen, T., Sturm, V., Werheit, P., Makowe, J.:** Perspektiven der Lasertechnik zur Steigerung der Ressourceneffizienz. In: Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen. Hrsg.: U. Teipel. Stuttgart: Fraunhofer Verl. 2010. pp. 287-298. ISBN 978-3-8396-0097-9

**Nüsser, C.:** Gepulster Laserstrahl poliert Implantatoberflächen. MM Maschinenmarkt 44, 28-30, 2010

**Nyga, S., Geiger, J., Jungbluth, B.:** Frequency doubling of fiber laser radiation of large spectral bandwidths. Proc. SPIE 7578, 75780P (7 S.), 2010

**Ocylok, S., Weisheit, A., Kelbassa, I.:** Functionally graded multi-layers by laser cladding for increased wear and corrosion protection. Physics Procedia 5, Nr 1 359-367, 2010

**Ocylok, S., Weisheit, A., Kelbassa, I.:** Increased wear and oxidation resistance of titanium aluminide alloys by laser cladding. Euro Superalloys. European Symposium on Superalloys and their Applications. Wildbad Kreuth, 25-28 May, 2010. (6 S.), 2010

**Olowinsky, A., Kind, H.:** Laser glass frit bonding for hermetic sealing of glass substrates and sensors. LPM 2010 - 11th International Symposium on Laser Precision Microfabrication, Stuttgart, 07. - 10. Juni 2010. (4 S.), 2010

**Ostholt, R., Willenborg, E., Wissenbach, K.:** Laser polishing of metallic freeform surfaces. ICALEO 2010. 29th International Congress on Applications of Lasers & Electro Optics, Anaheim/Ca., September 26-30, 2010. Paper 1705, (7 S.), 2010

**Petring, D.:** Enhancing laser welding capabilities by hybridisation or combination with other processes. In: Advances in laser materials processing. Ed. by J. Lawrence, J. Pou, D. K. Y. Low and E. Toyserkani. Boca Raton: CRC Pr. 2010. ISBN 9781420094923. pp. 261-287, 2010

**Petring, D., Schneider, F., Wolf, N., Nazery Goneghany, V.:** Influenza della qualità del fascio, della potenza e della lunghezza d'onda: Nel taglio e nella saldatura. Applicazioni Laser Feb/Mar, 32-37, 2010

**Petring, D., Nazery Goneghany, V.:** Learning more about laser beam welding by applying it to copper and copper alloys. ICALEO 2010. 29th International Congress on Applications of Lasers & Electro Optics, Anaheim/Ca., September 26-30, 2010. Paper 1602, 2010

**Petring, D.:** More productivity, flexibility as well as energy efficiency in laser cutting and welding. AKL'10 - International Laser Technology Congress, Aachen, May 5-7, 2010. (37 S.), 2010

**Petring, D., Schneider, F., Dickler, H.:** Progress in cutting and welding of sheet metal assemblies in one machine with the laser combi-head. PICALO 2010, March 23-25, 2010. 4th Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics. Wuhan, Peoples Republic of China. Paper 1001, 2010

**Poprawe, R., Schulz, W., Schmitt, R.:** Hydrodynamics of material removal by melt expulsion: Perspectives of laser cutting and drilling. Physics Procedia 5, Nr 1, 1-18, 2010

**Poprawe, R.:** Laseranwendung in der Medizin. In: Innovationen in Medizin und Gesundheitswesen. Hrsg.: V. Schumpelick, B. Vogel. Beitr. d. Symposiums vom 24. bis 26. 9. 2009 in Cadenabbia. Freiburg, Basel, Wien: Herder. ISBN 978-3-451-30383-8 241-252, 2010

**Richmann, A., Willenborg, E., Wissenbach, K.:** Laser polishing of fused silica. Optical Fabrication and Testing (OFT), Jackson Hole, WY, June 14-17, 2010: Laser Writing in Materials (OTuC). (3. S.), 2010

**Richmann, A., Willenborg, E., Wissenbach, K.:** Polieren optischer Präzisionsoberflächen mit Laserstrahlung. DGaO Deutsche Gesellschaft für Angewandte Optik, 111. Jahrestagung vom 25.-29.5.2010 in Wetzlar. (2 S.), 2010

**Russbueldt, P., Mans, T., Weitenberg, J., Hoffmann, H. D., Poprawe, R.:** Compact diode-pumped 1.1 kW Yb:YAG Innoslab femtosecond amplifier. Opt. Lett. 35; Nr 24, 4169-4171, 2010

**Schaefer, M., Jacobs, P., Bauer, D., Moll, D., Gillner, A.:** Investigation and development of a molding process for the production of micro-hairs. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 51, 935-944, 2010

**Schleifenbaum, J. H., Theis, J., Meiners, W., Wissenbach, K., Diatlov, Bültmann, J., Voswinkel, H.:** High Power Selective Laser Melting (HP SLM) - upscaling the productivity of additive metal manufacturing towards factor 10. 21. Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium - an Additive Manufacturing Conference, August 9-11, 2010. (14 S.)

**Schleifenbaum, J. H., Uam, J.-Y., Schuh, G., Hinke, C.:** How can Reynolds help to improve the performance of production systems? Fluid dynamics and its contributions to production theory. IAENG Trans. Eng. Technol. 4, 443-456, 2010. AIP Conf. Proceed. Vol. 1247

**Schleifenbaum, H., Meiners, W., Wissenbach, K., Hinke, C.:** Individualized production by means of high power Selective Laser Melting. CIRP J. Manuf. Sci. Techn. 2, 161-169, 2010

**Schmitt, F., Olowinsky, A.:** Laser beam micro-joining. In: Yi Quin: Micromanufacturing Engineering and Technology. Norwich, N.Y.: W. Andrew Publ. 2010. pp. 185-201 ISBN 978-0-8155-1545-6

**Schmitt, F., Mehlmann, B., Gedicke, J., Olowinsky, A., Gillner, A., Poprawe, R.:** Laser beam micro welding with high brilliant fiber lasers. J. Laser Micro/Nanoeng. 5, Nr 3, 197-203, 2010

**Schulz, W., Nießen, M., Vossen, G., Schüttler, J.:** Modelling and process monitoring of laser processing. Fraunhofer Allianz Numerische Simulation NUSIM: 1. Int. Conf. Multiphysics Simulation - Advanced Methods for Industrial Engineering June 22-23, 2010 in Bonn, Germany. (19 S.) 2010

**Schulz, W., Pfeiffer, S., Zäh, M., Föckerer, T., Schober, A.:** Untersuchung der strukturellen Stabilität von Modellen zur Schweißverzugssimulation bei Stahlwerkstoffen. Forschungsbericht FOSTA, Forschung für die Praxis P 708, ISBN 3-937567-77-1. 71 S., 2010

- Schulz-Ruhtenberg, M., Baier, T., Boeckler, E.-W., Siebert, C.:** Concept and realization of a high-rate laser drilling process reaching for ten thousands holes per second and beyond. *ICALEO 2010. 29th International Congress on Applications of Lasers & Electro Optics, Anaheim/ Ca., September 26-30, 2010. Paper M1103, (4 S.), 2010*
- Schulz-Ruhtenberg, M., Babushkin, I. V., Loiko, N. A., Huang, K. F., Ackermann, T.:** Polarization properties in the transition from below to above lasing threshold in broad-area vertical-cavity surface-emitting lasers. *Phys. Rev. A* 81, 23819 (11 S.), 2010
- Schulz-Ruhtenberg, M., Haeberle, A., Russell, R., Hernández, J. L., Krantz, S.:** Quest for the ideal laser for an industrial laser doping process for crystalline solar cells. *LPM 2010 - 11th International Symposium on Laser Precision Microfabrication, Stuttgart, 07. - 10. Juni 2010. (5 S.), 2010*
- Schwendt, T., Michalik, C., Zavrel, M., Dennig, A., Spiess, A. C., Poprawe, R., Janzen, C.:** Determination of temporal and spatial concentration gradients in hydrogel beads using multiphoton microscopy techniques. *Appl. Spectrosc.* 64, Nr 7, 720-726, 2010
- Seiler, N., Engelhardt, S., Riester, D., Mela, P., Bremus-Köbberling, E.:** Laserinduzierte Gradienten zur Oberflächenfunktionalisierung von Polymeren. *Biomed. Tech.* 55, Suppl. 1 34-36, 2010
- Steinstraesser, L., Wehner, M., Trust, G., Sorkin, M., Bao, D., Hirsch, T., Sudhoff, H., Daigeler, A., Stricker, I., Steinau, H.-U., Jacobsen, F.:** Laser-mediated fixation of collagen-based scaffolds to dermal wounds. *Lasers Surg. Med.* 42, 141-149, 2010
- Strauss, N., Fricke-Begemann, C., Noll, R.:** Size-resolved analysis of fine and ultrafine particulate matter by laser-induced breakdown spectroscopy. *J. Anal. Atomic Spectrom.* 25, 867-874, 2010
- Strotkamp, M., Schwarz, T., Jungbluth, B., Faidel, H., Leers, M.:** Efficient, green laser based on a blue-diode pumped rare-earth-doped fluoride crystal in an extremely short resonator. *Proc. SPIE* 7578, 757880O (7 S.), 2010
- Strotkamp, M., Schwarz, T., Jungbluth, B.:** Power scaling of a compact and efficient blue diode pumped solid state laser emitting green light. *Advanced Solid State Photonics (ASSP), San Diego, Ca., February 3, 2010. OSA Technical Digest Series, Paper AMB 29. (3 S.)*
- Taleb-Araghi, B., Goettmann, A., Bambach, M., Biermann, T., Hirt, G., Weisheit, A.:** Development of hybrid incremental sheet forming processes. *Steel Research Int.* 81, Nr 9 (special ed. 2010), No 419 (4 S.), 2010
- Temmler, A., Graichen, K., Donath, J.:** Laser polishing in medical engineering. *Laser Technik J.* 7, Nr 2, 53-57, 2010
- Ungers, M., Fecker, D., Frank, S., Donst, D., Märgner, V., Abels, P., Kaierle, S.:** In-situ quality monitoring during laser brazing. *Physics Procedia* 5, Nr 2, 493-503, 2010
- Verbraak, H., Küpper, F., Jonkers, J., Bergmann, K.:** Angular ion emission characteristics of a laser triggered tin vacuum arc as light source for extreme ultraviolet lithography. *J. Appl. Phys.* 93304, (6 S.), 2010
- Vijayakumar, D., Jensen, O.B., Ostendorf, R., Westphalen, T., Thestrup, B.:** Spectral beam combining of a 980 nm tapered diode laser bar. *Opt. Expr.* 18, 893-898, 2010
- Vogt, F., Flege, C., Hoeges, S., Borinski, M., Schulte, V. A., Hoffmann, R., Marx, N., Poprawe, R., Wissenbach, K., Blindt, R.:** Development and evaluation of a novel poly-l-lactic acid/caprolactone copolymer coronary stent manufacturing by selective laser melting. *Atherosclerosis Suppl.* 11, Nr 2, 193-193, 2010

# VORTRÄGE

**Vossen, G., Schüttler, J., Nießen, M.:** Optimization of partial differential equations for minimizing the roughness of laser cutting surfaces. In: Diehl, M., Glineur, F., Jarlebring, E., Michiels, W. (Eds.): *Recent Advances in Optimization and its Applications in Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer 2010. pp. 521-530. ISBN 978-3-642-12598-0

**Witzel, J., Kelbassa, I., Gasser, A., Backes, G.:** Increasing the deposition rate of Inconel 718 for LMD. ICALEO 2010. 29th International Congress on Applications of Lasers & Electro Optics, Anaheim/CA., September 26-30, 2010. PAPER 806, (7 S.), 2010

**Wortmann, D., Reininghaus, M., Juschkin, L., Freiburger, R.:** EUV-pump-probe microscopy of FS-Laser induced nano-structure formation. ICALEO 2010. 29th International Congress on Applications of Lasers & Electro Optics, Anaheim/CA., September 26-30, 2010. N107 (4 S.), 2010

**Wueppen, J., Pawlowski, E., Traub, M., Jungbluth, B., Hasler, K.-H., Sumpf, B., Erbert, G.:** Compact module of a frequency-doubled, cw diode laser with an output power of more than 500 mW at 531 nm and a beam quality of less than 1.3. Proc. SPIE 7582, 758204, (8 S.), 2010

**20.01.2010 - S. Herbert:** Defects inspection with an EUV microscope. The 26th European Mask and Lithography Conference (EMLC 2010), Grenoble, Frankreich

**24.01.2010 - M. Leers:** Expansion matched heat sinks made by micro-metal injection molding. Photonics West 2010, San Francisco, CA, USA

**25.01.2010 - D. Esser:** Time dynamics of burst-train filamentation assisted femtosecond laser machining in glasses. Photonics West 2010, San Francisco, CA, USA

**25.01.2010 - M. Strotkamp:** Efficient, green laser based on a blue-diode pumped rare earth-doped fluoride crystal in an extremely short resonator. Photonics West 2010, San Francisco, CA, USA

**25.01.2010 - B. Jungbluth:** Frequency doubling of fiber laser radiation of large spectral bandwidths. Photonics West 2010, San Francisco, CA, USA

**25.01.2010 - D. Hoffmann:** 280 W INNOSLAB amplifier for sub ns laser pulses with multi 100 MW peak power. Photonics West 2010, San Francisco, CA, USA

**26.01.2010 - D. Esser:** Waveguides written with femtosecond laser double pulses in the volume of glass materials. Photonics West 2010, San Francisco, CA, USA

**26.01.2010 - D. Beckmann:** In volume selective laser etching of 3D-microstructures in sapphire and fused silica. Photonics West 2010, San Francisco, CA, USA

**27.01.2010 - S. Gronenborn:** Dynamics of the angular emission spectrum of broad-area VCSELs. Photonics West 2010, San Francisco, CA, USA

**27.01.2010 - W. Schulz:** Schneiden mit radialer Polarisation. Präsentation AIF-Projekt »Komet«, Fürstenfeldbruck

**01.02.2010 - M. Strotkamp:** Power scaling of a compact and efficient blue diode pumped solid state laser emitting green light. ASSP 2010, San Diego, CA, USA

**03.02.2010 - P. Jander:** Perspectives of laser spectroscopic methods for security, industrial and biochemical applications. LACSEA 2010, San Diego, CA, USA

**04.02.2010 - R. Noll:** Perspektiven der Lasertechnik zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Symposium »Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen«, Ettlingen

**09.02.2010 - P. Loosen:** Innovationskraft mit neuen Technologien am Beispiel der Lasertechnik. Workshop »Vorsprung durch innovative Produktionstechnik - Chancen für den Mittelstand«, Fraunhofer IPT, Aachen

**10.02.2010 - M. Nießen:** Simulation robuster Laserschneidtechnik. Symposium »Simulation«, Bremen

**24.02.2010 - J. Gedicke:** Laserstrahl-Mikroschweißen: Robuste und präzise Fügeverfahren in der Aufbau- und Verbindungstechnik. Symposium MST Landshut, Landshut

**25.02.2010 - W. Meiners:** Herstellung medizinischer Implantate mit Selective Laser Melting. METAV, Düsseldorf

**04.03.2010 - R. Poprawe:** So wird aus Theorie Praxis - Ausgründungen aus der RWTH Aachen. High-Tech-Gründerfonds, Bonn

**09.03.2010 - D. Petring:** Laserstrahlschweißen von Kupfer und Kupferlegierungen: Stand der Technik und neue Entwicklungen. Seminar »Fügen von Kupferwerkstoffen - Anwendung und Optimierung«, Deutsches Kupferinstitut SLV Duisburg, Duisburg

**09.03.2010 - J. Holtkamp:** Hochleistungs-Ultrakurzpuls laser als neues Werkzeug für die Fertigungstechnik und Oberflächenfunktionalisierung. Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hannover

**10.03.2010 - R. Poprawe:** Power to the industry - the story of power up scaling. Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hannover

**10.03.2010 - L. Juschkina:** Systemlösungen für die Nutzung der XUV-Strahlung in der Nanotechnologie. Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hannover

**10.03.2010 - S. Probst:** Dosisregelungssystem und Ladegerät einer entladungsbasierten 40kHz-XUV-Quelle. Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hannover

**10.03.2010 - K. Bergmann:** Der laserinduzierte Vakuumfunken als Quelle für die extrem ultraviolett Lithografie. Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hannover

**11.03.2010 - P. Loosen:** Tailored Light - Innovation mit Lichtgeschwindigkeit. Fraunhofer Technologiezirkel »Technologietrends - Perspektiven für die Märkte von übermorgen«, Fraunhofer IAO, Stuttgart

**11.03.2010 - L. Bürgermeister:** Geometrisch-optische Strahlungspropagation in der Kapillare beim Tiefschweißen mit Laserstrahlung. Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hannover

**11.03.2010 - S. Tiesmeyer:** Laseranwendungen und Lasermaterialbearbeitung. Simulation der Strahlungspropagation mit vektorieller Beam Propagation Method und Leontovich-Randbedingungen. Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hannover

**11.03.2010 - U. Jansen:** Simulation des Schweißens kleiner Bauteile. Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hannover

**11.03.2010 - C. Glawe:** Untersuchung der Gasströmung beim Laserstrahlschneiden. Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hannover

**11.03.2010 - C. Fricke-Begemann:** Laser based material analysis for the separation of minerals. GDMB-Fachtagung »Sensor Based Sorting«, Aachen

**18.03.2010 - K. Wissenbach:** Automatisiertes Mikro-Laserstrahl-Auftragschweißen mit dem Faserlaser. Symposium »Thermisches Beschichten mit laserbasierten Fertigungsverfahren«, Technische Akademie Wuppertal, Dresden

**21.03.2010 - X. Yin:** Plasmonic collimation for laser diodes. DPG-Tagung, Regensburg

**23.03.2010 - G. Vossen:** Optimal control of a PDE system for minimizing the roughness of laser cutting surfaces. GAMM-Jahrestagung, Karlsruhe

**23.03.2010 - I. Kelbassa:** High-power ultra-short pulse laser radiation: new sources as key enablers for emerging applications. PICALO 2010, Wuhan, Volksrepublik China

**24.03.2010 - S. Kaierle:** Laser process monitoring: the next generation approach in industrial application. PICALO 2010, Wuhan, Volksrepublik China

**25.03.2010 - D. Petring:** Progress in cutting and welding of sheet metal assemblies in one machine with the laser combi-head. PICALO 2010, Wuhan, Volksrepublik China

**25.03.2010 - B. Burbaum:** Advantages of adaptive optics for laser metal deposition in comparison to conventional optics. PICALO 2010, Wuhan, Volksrepublik China

**25.03.2010 - J. Gottmann:** 3D nano and micro structures in transparent materials by in-volume femtosecond laser processing. PICALO 2010, Wuhan, Volksrepublik China

**12.04.2010 - S. Kaierle:** Photonics21 strategic research agenda: manufacturing and quality. SPIE Photonics Europe 2010, Photonics21 Industry Session, Brüssel, Belgien

**12.04.2010 - R. Poprawe:** RWTH-Aachen CAMPUS. European Photonics Industry Consortium (EPIC), Brüssel, Belgien

**13.04.2010 - B. Gronloh:** High power SHG at 515 nm by extracavity frequency conversion of sub-picosecond pulses from a mode-locked Innoslab MOPA. SPIE Photonics Europe 2010, Brüssel, Belgien

**14.04.2010 - M. Funck:** Design of a miniaturized solid state laser for automated assembly. SPIE Photonics Europe 2010, Brüssel, Belgien

**14.04.2010 - I. Kelbassa:** Additive manufacturing, repair and salvage of high-value aero-engine components by laser metal deposition and selective laser melting. SALA 2010, East Hartford, CT, USA

**15.04.2010 - S. Hoeges:** Generative Fertigung patientenspezifischer Knochenersatzimplantate mittels Selective Laser Melting. Inspire, St. Gallen, Schweiz

**15.04.2010 - A. Gillner:** Laserprozesse in der Fertigung von Solarzellen und -modulen. Optechnet-Photovoltaik-Sitzung, Duisburg

**19.04.2010 - W. Schulz:** Discontinuous-Galerkin method for compressible flows. Center for Computational Engineering Science, Seminars Summer 2010, Aachen

**22.04.2010 - W. Meiners:** Selective Laser Melting auf dem Weg in die industrielle Serienproduktion. VDI Forschungsseminar »Generative Fertigung«, Düsseldorf

**27.04.2010 - M. Wehner:** Laserfix: laser soldering of collagen scaffolds to dermal wounds. Sino-German Workshop on Development of Dressings for Chronic and Burn Wounds, Aachen

**28.04.2010 - R. Noll:** Inline Lasermesstechnik – Perspektiven für eine effiziente Prozessführung. Thyssen Krupp Steel, Duisburg

**29.04.2010 - C. Fricke-Begemann:** Laser-spectroscopy for online measurements of particle composition. WCPT 2010, Nürnberg

**05.05.2010 - R. Poprawe:** Laser technology of tomorrow. International Laser Technology Congress AKL'10, Aachen

**05.05.2010 - S. Kaierle:** How does laser materials processing work? International Laser Technology Congress AKL'10, Aachen

**05.05.2010 - A. Gillner:** Herausforderungen und Trends in der Energietechnik. International Laser Technology Congress AKL'10, Aachen

**05.05.2010 - W. Meiners:** Neue Möglichkeiten der Werkzeugtemperierung durch die Generative Fertigung mit Selective Laser Melting. Würzburger Werkzeugtage, Würzburg

**05.05.2010 - K. Wissenbach:** Final presentation of EU project FANTASIA Flexible near-net-shape generative manufacturing chains and repair techniques for complex shaped aero engine parts. International Laser Technology Congress AKL'10, Aachen

**06.05.2010 - P. Russbuedt:** Leistungsskalierung von Ultrakurzpuls-lasern. International Laser Technology Congress AKL'10, Aachen

**06.05.2010 - A. Lenenbach:** Potenziale laseroptischer Methoden in der klinischen Diagnostik. International Laser Technology Congress AKL'10, Aachen

**06.05.2010 - C. Janzen:** Lasermessverfahren für die Bioanalytik. International Laser Technology Congress AKL'10, Aachen

**06.05.2010 - D. Petring:** Mehr Produktivität, Flexibilität und Energieeffizienz beim Laserschneiden und -schweißen. International Laser Technology Congress AKL'10, Aachen

**06.05.2010 - S. Kaierle:** Neue Wege in der Prozessüberwachung für die Lasermaterialbearbeitung. International Laser Technology Congress AKL'10, Aachen

**07.05.2010 - C. Hartmann:** Aktuelle Entwicklungen beim Laserstrahlbohren und Strukturieren. International Laser Technology Congress AKL'10, Aachen

**07.05.2010 - A. Gasser:** Laserauftragschweißen im Turbomaschinenbau. International Laser Technology Congress AKL'10, Aachen

**07.05.2010 - J. Stollenwerk:** Dünnschichtbearbeitung und Laserpolieren. International Laser Technology Congress AKL'10, Aachen

**11.05.2010 - I. Kelbassa:** Additive manufacturing, repair and salvage of high-value aero-engine components by laser metal deposition - Fraunhofer cluster of innovation TURPRO. LAM 2010, Houston, TX, USA

**12.05.2010 - K. Bergmann:** X-ray microscopy: new perspectives in cellular imaging. Uni Giessen, Giessen

**18.05.2010 - J. Gedicke:** Laser micro joining of metals, polymers and ceramics with high brightness lasers. Benelux Laser Event, Mol, Belgien

**19.05.2010 - I. Kelbassa:** Final results FANTASIA - LLT, RWTH Aachen University. FANTASIA Final Meeting, Brussels, Belgien

**19.05.2010 - P. Loosen:** Review of recent developments in laser sources for industrial manufacturing. Tools for the 21st Century - recent developments in laser sources and systems for manufacturing. Best Western Hall Hotel, Coventry, Großbritannien

**26.05.2010 - A. Richmann:** Polieren optischer Präzisionsoberflächen mit Laserstrahlung – PoliLas. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für angewandte Optik e. V., Wetzlar

**27.05.2010 - R. Poprawe:** Laser applications of tomorrow – perspectives and visions of ultrafast laser materials processing. Council for Scientific and Industrial Research, Advisory Board, National Laser Centre, Pretoria, Republik Südafrika

- 02.06.2010 - D. Buchbinder:** *Les possibilités de la fabrication directe aujourd'hui et pour demain. Centre national d'études spatiales, Toulouse, Frankreich*
- 03.06.2010 - M. Leers:** *Both sides cooled packages for high-power diode laser bars. ECTC, Las Vegas, NV, USA*
- 07.06.2010 - D. Riestler:** *Laser induced forward transfer: a compact machine. LPM 2010, Stuttgart*
- 08.06.2010 - S. Engelhardt:** *3D-microstructuring of protein and polymer networks. LPM 2010, Stuttgart*
- 08.06.2010 - S. Eifel:** *Quality aspects in high power ultra short pulse laser ablation. LPM 2010, Stuttgart*
- 08.06.2010 - S. Beckemper:** *Generation of periodic micro- and nanostructures by polarization controlled laser beam interference technique. LPM 2010, Stuttgart*
- 08.06.2010 - S. Kaierle:** *Qualitäten sichern - Laserprozesse überwachen. WLT Seminar, LASYS 2010, Stuttgart*
- 08.06.2010 - M. Hörstmann-Jungemann:** *Fs-pump-probe measurement of the transient dielectric function of fused silica. LPM 2010, Stuttgart*
- 09.06.2010 - J. Gedicke:** *Laser beam micro welding of DCB substrates. LPM 2010, Stuttgart*
- 09.06.2010 - A. Olowinsky:** *Laser glass frit bonding for hermetic sealing of glass substrates and sensors. LPM 2010, Stuttgart*
- 10.06.2010 - M. Schulz-Ruhtenberg:** *Quest for the ideal laser for an industrial laser doping process for c-Si solar cells. LPM 2010, Stuttgart*
- 10.06.2010 - A. Olowinsky:** *Mikrofügen mit Faserlasern durch prozessangepasste Strahlmodulation. EPMT, Lausanne, Schweiz*
- 10.06.2010 - A. Gasser:** *Laser metal deposition in turbo-engine applications. SLT, Stuttgart*
- 14.06.2010 - R. Poprawe:** *Was gibt es Neues in der Zukunft der Lasertechnik. Rotary, Aachen*
- 15.06.2010 - J. Löhring:** *Mixed-Garnet basierte Laser bei 935 nm für zukünftige satellitengetragene H2O-DIAL-Systeme. Kolloquium der Hochschule Darmstadt (FB MN), Darmstadt*
- 15.06.2010 - M. C. Funck:** *The effect of selective assembly on tolerance desensitization. IODC, Jackson Hole, WY, USA*
- 15.06.2010 - A. Richmann:** *Laser polishing of fused silica. IODC, Jackson Hole, WY, USA*
- 16.06.2010 - H. Kind:** *Laserbasiertes selektives Glaslöten als Fügeverfahren mit angepasstem thermischem Management. LÖT 2010, Aachen*
- 17.06.2010 - A. Richmann:** *Laser polishing of fused silica optical manufacturing and testing. OF&T, Jackson Hole, WY, USA*
- 22.06.2010 - S. Kaierle:** *Photonics21 strategic research agenda. Lasertage Bordeaux JNPLI Scanlab, Bordeaux*
- 22.06.2010 - M. Traub:** *Auslegung abbildender und nicht abbildender optischer Systeme. SKZ-Seminar, Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg*
- 22.06.2010 - J. Schüttler:** *Selbstorganisierte Riefenbildung beim Laserstrahlschneiden. Center for Nonlinear Science, Münster*
- 23.06.2010 - W. Schulz:** *Modelling and process monitoring of laser processing. 1st Conference on Multiphysics Simulation, Bonn*

**23.06.2010 - T. Taubner:** Infrared imaging at nanoscale resolution. 1st Conference on Multiphysics Simulation, Bonn

**29.06.2010 - D. Petring:** Some parameter dependencies of copper and copper alloy welding with fibre-coupled multi-kW lasers. Laser Optics 2010, St. Petersburg, Russland

**05.07.2010 - R. Poprawe:** High power KW- class ns- and fs- SLAB lasers and their specific applications. FLAMN, St. Petersburg, Russland

**08.07.2010 - Y.-C. Hagedorn:** Additive manufacturing of  $Al_2O_3$ - $ZrO_2$ - ceramic parts by selective laser melting. 5th International Conference on Additive Manufacturing, Loughborough University, Leicestershire, Großbritannien

**13.07.2010 - M. Dahmen:** Hybrid welding - processes and world properties. 15th Meeting of the IIW Select Committee on Shipbuilding, Istanbul, Türkei

**13.07.2010 - M. Dahmen:** Laser metal deposition for ship-building and slip repair. 15th Meeting of the IIW Select Committee on Shipbuilding, Istanbul, Türkei

**13.07.2010 - M. Dahmen:** Process and production control in laser beam welding. 63th Annual Assembly & International Conference of the International Institute of Welding, Istanbul, Türkei

**15.07.2010 - D. Klindworth:** Parameter identification in laser welding processes with reduced basis approximations. Cortona 2010 Summer School »Optimal Control of Partial Differential Equations«, Cortona, Italien

**01.08.2010 - A. Bäuerle:** Design of efficient freeform lenses for mass-market. Illumination applications using hybrid algorithms. SPIE Optics + Photonics 2010, San Diego, CA, USA

**11.08.2010 - S. Hoeges:** Bioresorbable implants using selective laser melting. 21st Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, TX, USA

**11.08.2010 - H. Schleifenbaum:** High power selective laser melting (HP SLM) upscaling the productivity of additive metal manufacturing towards factor 10. 21st Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, TX, USA

**15.08.2010 - S. Kaierle:** The environmental impact of laser beam welding. LIMIS, Chángchūn, Volksrepublik China

**19.08.2010 - A. Maryasov:** EUV dark-field microscopy for defect inspection. XRM 2010, Chicago, USA

**20.08.2010 - R. Poprawe:** Next generation lasers as key enablers for new emerging applications. MP3 Conference, Peking, Volksrepublik China

**23.08.2010 - R. Poprawe:** Laser applications of tomorrow - perspectives and visions of ultrafast laser materials processing. Beijing University of Technology, Peking, Volksrepublik China

**01.09.2010 - R. Poprawe:** New lasers enabling next generation micro-processing. Europhoton, Hamburg

**07.09.2010 - S. Kaierle:** Die Fertigung mit Laser optimieren - Synergieeffekte aus Prozessüberwachung und Strahldiagnose. PRIMES Workshop, Pfungstadt

**09.09.2010 - M. Wehner:** Biosensors for standoff-detection of mines and explosives by laser induced fluorescence. 5th Security Research Conference, Berlin

**12.09.2010 - N. Seiler:** Laser induced gradients for surface functionalization. ESB 2010, Tampere, Finnland

**12.09.2010 - R. Noll:** Laser-induced breakdown spectroscopy - new perspectives for inline analysis of materials. 10th ICASI general meeting CCATM'2010, Peking, Volksrepublik China

**13.09.2010 - D. Maischner:** Korrosionsschutz der Schnittflächen von Blechen durch lokales Verzinken/Kunststoffbeschichten mit Laserstrahlung. 9. Dresdner Korrosionsschutztag, Dresden

**14.09.2010 - M. Hermans:** In-situ diagnostics on fs-laser induced modifications in glasses. ALT, Egmond aan Zee, Niederlande

**15.09.2010 - R. Poprawe:** Perspektiven der Laseranwendung. 25 Jahre Laser- und Medizin-Technologie GmbH, Berlin

**21.09.2010 - P. Loosen:** EUV - Licht für die Fertigung der übernächsten Generation von Computerchips. Nanoelektronik-Praktikum FZ-Jülich 2010, Jülich

**22.09.2010 - R. Poprawe:** Hydrodynamics of material removal by melt expulsion: perspectives of laser cutting and laser drilling. LANE 2010, Erlangen

**23.09.2010 - S. Kaierle:** The ecological footprint of laser beam welding. LANE 2010, Erlangen

**23.09.2010 - A. Roesner:** Laserverfahren für Kunststoff-Metall-Verbindungen. Alaska Seminar 2010, Aachen

**24.09.2010 - M. Ungers:** In-situ quality monitoring during laser brazing. LANE 2010, Erlangen

**24.09.2010 - S. Ocylok:** Multi-graded layers by laser cladding for wear and corrosion protection of die-casting moulds. LANE 2010, Erlangen

**26.09.2010 - I. Kelbassa:** Additive manufacturing, repair and salvage of turbo machinery components by laser metal deposition. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA

**27.09.2010 - D. Wortmann:** EUV-pump-probe microscopy of fs-laser induced nanostructure formation. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA

**27.09.2010 - M. Hörstmann-Jungemann:** 3D nano- and microstructures in transparent materials by in-volume femtosecond laser processing. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA

**28.09.2010 - J. Gedicke:** Laser beam welding of electrical interconnections for lithium-ion batteries. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA

**28.09.2010 - D. Petring:** Laser cutting basics, state-of-the-art and research topics. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA

**28.09.2010 - J. Witzel:** Increasing the deposition rate of inconel 718 for LMD. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA

**28.09.2010 - P. Russbuehdt:** Status quo and outlook of power scaling of ultrafast lasers. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA

**29.09.2010 - A. L. Boglea:** New perspectives for the absorber free laser welding of thermoplastics. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA

**29.09.2010 - D. Petring:** Learning more about laser beam welding by applying it to copper and copper alloys. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA

**29.09.2010 - S. Kaierle:** Concept and realization of a high-rate laser drilling process reaching for ten thousand holes per second and beyond. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA

**29.09.2010 - M. Hörstmann-Jungemann:** 3D-microstructuring of sapphire using high power fs-laser radiation and selective etching. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA

**29.09.2010 - R. Poprawe:** New ultrafast high power KW lasers open next generation applications. IEEE Photonics Society, New Jersey, USA

- 30.09.2010 - R. Ostholt:** Laser polishing of metallic freeform surfaces. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA
- 30.09.2010 - D. Hawelka:** Laser-based production of thin wear-protection films. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA
- 30.09.2010 - C. Franz:** Measuring welding velocity at tool center point. ICALEO® 2010, Anaheim, CA, USA
- 30.09.2010 - A. Roesner:** Laser in der Kunststofftechnik. IVAM-Workshop, Dortmund
- 30.09.2010 - J. Weitenberg:** Festkörperlaser und Diodenlaser für das Schweißen von Kunststoffen. Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg
- 03.10.2010 - R. Poprawe:** High power ultra short pulse lasers - key enablers for emerging Applications, Deutsch-Chinesischer Workshop, Wuhan, Volksrepublik China
- 04.10.2010 - I. Kelbassa:** Laser additive manufacturing. Deutsch-Chinesischer Workshop, Wuhan, Volksrepublik China
- 04.10.2010 - L. Juschkin:** Extreme ultraviolet lithography. Jara-Fit Nanoelectronics Days 2010, Aachen
- 04.10.2010 - A. Maryasov:** EUV dark-field microscopy for actinic defect inspection. Jara-Fit Nanoelectronics Days 2010, Aachen
- 05.10.2010 - S. Engelhardt:** Fabrication of 3D polymer-protein hybrid structures. 2010 International Conference of Biofabrication, Philadelphia, PA, USA
- 06.10.2010 - D. Riester:** Polymer- alginate hybrid structures produced with laser induced forward transfer. 2010 International Conference of Biofabrication, Philadelphia, PA, USA
- 06.10.2010 - N. Seiler:** Laserinduzierte Gradienten zur Oberflächen-funktionalisierung von Polymeren. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik, Rostock
- 06.10.2010 - D. Ivanov:** Present stance of molecular dynamics problems. Molecular dynamics based studies of solid targets response to a strong and localized excitation. LPPM3, Petrovac, Montenegro
- 06.10.2010 - V. Lipp:** Atomistic-continuum modeling of short pulse laser melting of semiconductors. LPPM3, Petrovac, Montenegro
- 07.10.2010 - A. Gillner:** Laser in der Photovoltaik. Branchentag Photovoltaik, Gelsenkirchen
- 13.10.2010 - H. Schleifenbaum:** High power selective laser melting - generative Fertigung für die Produktion der Zukunft. Anwenderforum RPD, Fraunhofer IPA, Stuttgart
- 15.10.2010 - M. Dahmen:** Surface processing with laser radiation - cleaning and polishing. National Laser Centre of South Africa, Pretoria, Volksrepublik Südafrika
- 15.10.2010 - M. Dahmen:** Dissimilar joining of steel materials. National Laser Centre of South Africa, Pretoria, Volksrepublik Südafrika
- 15.10.2010 - J. Holtkamp:** Künftige Lasertechnologien in der Mikrobearbeitung und deren Anwendung. LaserJob Technologie Forum, Fürstentfeldbruck
- 18.10.2010 - L. Juschkin:** Artificial and natural mirrors: comparison of dark field EUV microscope and AFM. International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography, Kobe, Japan
- 18.10.2010 - G. Bergweiler:** Improvement of formability and performance of coated ultra-high-strength steels by local heat treatment using a high power diode laser. SSHS 2010, Peschiera del Garda, Italien

**27.10.2010 - G. Vossen:** Concepts of laser welding and simulation. Sino-German Workshop on Simulation of Welding, Berlin

**27.10.2010 - A. Gillner:** Micro and nano processing with ultra short pulsed lasers. ISL 2010, Chemnitz

**03.11.2010 - M. Traub:** Novel applications for high power diode lasers enlighten meetings. High power diode lasers & systems. Photonex 2010, Telford, Großbritannien

**04.11.2010 - M. Nießen:** Modelling and simulation for laser cutting - recent advances in numerics. The 6th International Conference of Photonics and Applications, Hanoi, Vietnam

**04.11.2010 - G. Vossen:** Optimization methods for laser processings - theory, numerics and applications. The 6th International Conference of Photonics and Applications, Hanoi, Vietnam

**08.11.2010 - M. Nießen:** Discontinuous-Galerkin method for compressible flows in a laser cut kerf. The 6th International Conference of Photonics and Applications, Hanoi, Vietnam

**09.11.2010 - G. Vossen:** Numerical model reduction for computation of a heat source in laser welding. The 6th International Conference of Photonics and Applications, Hanoi, Vietnam

**10.11.2010 - R. Poprawe:** Was gibt es Neues in der Zukunft der Lasertechnik? Rotaract Club Aachen, Aachen

**12.11.2010 - R. Poprawe:** Faszination Lasertechnik. Wissenschaftsnacht der RWTH Aachen, Aachen

**12.11.2010 - R. Ostholt:** Laser polishing. Konferenz neue Poliertechnologien, Neuchâtel, Schweiz

**13.11.2010 - L. Juschkina:** Interference lithography at 11 nm with a laboratory gas discharge source. 2010 International Workshop on Extreme Ultraviolet Sources, Dublin, Irland

**13.11.2010 - L. Juschkina:** GIXUVR- grazing incidence extreme ultraviolet reflectometry: an all-optical technique for metrology of ultra-thin layers. 2010 International Workshop on Extreme Ultraviolet Sources, Dublin, Irland

**13.11.2010 - L. Juschkina:** EUV dark-field microscopy for actinic defect inspection. 2010 International Workshop on Extreme Ultraviolet Sources, Dublin, Irland

**14.11.2010 - K. Bergmann:** Brilliance scaling of discharge based EUV and soft X-ray sources. 2010 International Workshop on Extreme Ultraviolet Sources, Dublin, Irland

**14.11.2010 - P. Loosen:** Advanced INNOSLAB solid-state-lasers for XUV/EUV-generation. 2010 International Workshop on Extreme Ultraviolet Sources, Dublin, Irland

**15.11.2010 - M. Nießen:** Discontinuous-Galerkin method for compressible flows in a laser cut kerf. Institute of Aerodynamics and Gardynamics, Stuttgart

**19.11.2010 - L. Juschkina:** GIXUVR-Grazing incidence extreme ultraviolet reflectometry: an all-optical technique for metrology of ultra-thin layers. COST Action MP0601, Short Wavelength Laboratory Sources, Southampton, Großbritannien

**19.11.2010 - A. Maryasov:** EUV dark-field microscopy for defect inspection. COST Action MP0601, Short Wavelength Laboratory Sources, Southampton, Großbritannien

**26.11.2010 - R. Poprawe:** Präzision trifft Leistung - KW Ultrakurz-puls-laser für neue Bearbeitungsverfahren. FH Jena, Jena

**30.11.2010 - R. Poprawe:** Innovation mit Lasertechnik - von der Auftragsforschung bis zum RWTH-CAMPUS. Carl Zeiss Jena, Jena

**30.11.2010 - H. Kind:** Glaslöten mittels Laserstrahlung für Anwendungen in der Sensorik. Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V., Frankfurt/Main

**01.12.2010 - M. Wehner:** Biosensors for standoff-detection of explosives and CBRN threats: options and challenges. 1st International Symposium on Development of CBRN Defence Capabilities, Berlin Congress Centre, Berlin

**03.12.2010 - R. Noll:** Physik - Aufgabe und Beruf. Pius-Gymnasium, Aachen

**06.12.2010 - R. Poprawe:** The future of tailored light- perspectives of lasers, applications and strategies. 74th annual meeting of the Japan Laser Processing Society, Tokyo, Japan

**07.12.2010 - R. Noll:** Mikrochirurgisches Laser-Operationssystem für den sicheren Abtrag von Hartgewebe. Fraunhofer Symposium, München

**09.12.2010 - R. Noll:** Eigenschaften der Laserstrahlung. Aachener Laserseminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme zur Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion«, Fraunhofer ILT, Aachen

**09.12.2010 - C. Janzen:** Strahlformung und -führung. Aachener Laserseminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme zur Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion«, Fraunhofer ILT, Aachen

**09.12.2010 - R. Noll:** Detektion elektromagnetischer Strahlung. Aachener Laserseminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme zur Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion«, Fraunhofer ILT, Aachen

**09.12.2010 - S. Hölter:** Laser-Interferometrie und optische Kohärenztomographie. Aachener Laserseminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme zur Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion«, Fraunhofer ILT, Aachen

**09.12.2010 - T. Schwendt:** Speckle-Messtechnik. Aachener Laserseminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme zur Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion«, Fraunhofer ILT, Aachen

**09.12.2010 - R. Noll:** Laser-Triangulation. Aachener Laserseminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme zur Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion«, Fraunhofer ILT, Aachen

**09.12.2010 - R. Noll:** Laser-Doppler-Verfahren. Aachener Laserseminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme zur Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion«, Fraunhofer ILT, Aachen

**09.12.2010 - P. Werheit:** Laser-Spektroskopie. Aachener Laserseminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme zur Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion«, Fraunhofer ILT, Aachen

**09.12.2010 - R. Wester:** Wechselwirkung Laserstrahlung - Messobjekt. Aachener Laserseminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme zur Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion«, Fraunhofer ILT, Aachen

**10.12.2010 - R. Noll:** Grundlagen und Methoden der Lasermesstechnik – Stand der Technik und neue Entwicklungen. Aachener Laserseminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme zur Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion«, Fraunhofer ILT, Aachen

**17.12.2010 - R. Noll:** Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Lasermesstechnik am Fraunhofer ILT. 38. Aix-Laser-People Treffen, Fraunhofer ILT, Aachen

# KONGRESSE UND SEMINARE

---

## AKL'10

---

**05.05. - 07.05.2010, Aachen**

### **International Laser Technology Congress AKL'10**

Laserhersteller und Laseranwender unterschiedlicher Branchen trafen sich zum 8. Mal in der Kaiserstadt auf dem 2-jährlich stattfindenden International Laser Technology Congress AKL vom 05. bis zum 07. Mai 2010. Der AKL'10 wurde vom Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT veranstaltet. Zu seinen ideellen Trägern gehörten die Europäische Kommission, der VDI, der Arbeitskreis Lasertechnik e.V., das European Laser Institute ELI sowie die Industrieverbände EUROM, SPECTARIS, VDA und VDMA.

Mit über 500 Teilnehmern, rund 60 Referenten und über 30 Ausstellern hat sich der AKL in Deutschland als führendes Forum für angewandte Lasertechnik in der Produktion etabliert. Das internationale Publikum bekam eine breite Palette an Vorträgen geboten. Vom Einsteiger über den Systemanbieter bis hin zum Laseranwender war für jede Zielgruppe etwas Passendes dabei.

Die technologische Fachkonferenz des AKL'10 (06. und 07. Mai 2010) informierte Anwender und Hersteller über neue Entwicklungen und Praxiserfahrungen mit Laserfertigungsverfahren wie Laserschweißen, -schneiden, -bohren und -abtragen. Ein weiterer Schwerpunkt der Konferenz lag auf neuen Laserstrahlquellen wie dem Ultrakurzpulslaser oder der nächsten Generation von Dioden-, Faser- und Festkörperlasern. Im Rahmen der Sponsoren-Ausstellung präsentierten über 30 Unternehmen dem Fachpublikum konferenzbegleitend praktische laserbasierte Lösungen für die unterschiedlichsten Branchen der produzierenden Industrie. Geschäftsführer, Marketing-Verantwortliche sowie Vertriebsleiter erhielten auf dem Technologie Business Tag (05. Mai 2010) einen Überblick

über den aktuellen Stand sowie die Perspektiven des weltweiten Lasermarktes. Im Einsteiger Seminar Lasertechnik (05. Mai 2010) boten Experten aus der Laserpraxis Unternehmen mit wenig Erfahrung in diesem Bereich einen strukturierten, praxisorientierten Gesamtüberblick. Das EU Innovation Forum »Laser Processing in Aeronautics and Power Generation« (05. Mai 2010) richtete sich gezielt an Experten aus Industrie und Wissenschaft, die sich mit der Lasermaterialbearbeitung im Turbinenbau befassen. Im Rahmen der Veranstaltung Lasertechnik Live (07. Mai 2010) zeigten das Fraunhofer ILT und die Firmen des Laser-Anwenderzentrums den Konferenzteilnehmern in rund 80 Live-Präsentationen neueste Ergebnisse aus der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung.

**05.05.2010, Aachen**

### **Technologie Business Tag TBT'10**

Der Technologie Business Tag richtete sich an Marketing-Verantwortliche, Vertriebsleiter, Geschäftsführer und Führungskräfte, die sich gezielt über den Stand und die Perspektiven der Lasermärkte informieren wollten. Auch Technologiebroker, Unternehmensberater, Analysten und Investoren erhielten wertvolle Informationen von Branchenkennern und Marktspezialisten.

Die europäischen, amerikanischen und asiatischen Lasermärkte wurden den rund 130 Teilnehmern anhand von Marktstudien beleuchtet. Die verschiedenen relevanten Absatzmärkte wurden vorgestellt. Auf der Grundlage aktueller technologischer Entwicklungen und der Anforderungen der Anwender wurden Marktprognosen erstellt. Darüber hinaus erläuterten Branchenkenner am Beispiel einzelner Industriezweige, welchen produktionstechnischen Herausforderungen sich die Lasertechnik stellen muss. Daraus wurden Trends abgeleitet, die die Lasertechnik in Zukunft prägen werden. Der Technologie Business Tag versteht sich als Kontaktplattform für die Gestalter von Produkt- und Unternehmensstrategien und ergänzt die eher technisch geprägten Teile des AKL'10 Kongresses.



**05.05.2010, Aachen**

### **EU Innovation Forum »Laser Processing in Aeronautics and Power Generation«**

Im EU Innovation Forum tauschten die rund 80 Teilnehmer von EU-Verbundprojekten die Ergebnisse ihrer FuE-Arbeiten aus. Weiterhin wurde ein intensiver Erfahrungsaustausch mit Technologielieferanten aus der Laserbranche und Technologienutzern aus der Flugzeugindustrie und der Energietechnik betrieben. Inhaltlich konzentrierte sich das EU Innovation Forum auf die Laserfertigungstechnik im Turbinenbau. In der Vortragssession wurden die technologischen Aspekte und Einsatzbereiche generierender und verbindender Verfahren diskutiert. Anwendungsfelder waren die Herstellung von Bauteilen im Flugzeug- und Energiebereich sowie maintenance, repair and overhaul.

Zum Abschluss des EU Innovation Forums konnten sich die Teilnehmer von den erfolgreichen Ergebnissen der durchgeführten FuE-Arbeiten bei den Live-Vorfürhungen im Applikationszentrum des Fraunhofer ILT überzeugen.

**05.05.2010, Aachen**

### **Einsteiger Seminar Lasertechnik**

Das Einsteiger Seminar Lasertechnik richtete sich an Unternehmen, die bisher nicht in der Lasertechnik tätig waren - weder als Anbieter noch als Anwender. Hier erfuhren die rund 80 Teilnehmer in klar strukturierter Form wie Laserbearbeitungsverfahren funktionieren, welche Laser für welche Anwendung eingesetzt werden, welche industriellen Einsatzbereiche

*1 AKL'10 - Sponsoren-Austellung.*

*2 Festredner Prof. Hans-Jörg Bullinger (li) mit Prof. Reinhart Poprawe (re) im Krönungssaal des Aachener Rathauses.*

*3 Preisträger des Innovation Award Laser Technology 2010.*

es gibt, wann sich der Einsatz des Lasers lohnt, welche Dienstleistungen Laserlohnfertiger bieten und welche Entwicklungstrends bzw. Perspektiven sich in der Lasertechnik abzeichnen.

Angesprochen wurden potenzielle Laseranwender und interessierte Strategen, die sich schnell einen Überblick verschaffen wollten. Nach den Fachvorträgen ausgewiesener Laserpraktiker hatten die Teilnehmer bei der Abendveranstaltung die Möglichkeit, direkt Kontakt mit den Anbietern lasertechnischer Systeme und Strahlquellen aufzunehmen.

**05.05.2010, Aachen**

### **Verleihung des Innovation Award Laser Technology 2010**

Preisträger des mit 10.000 Euro dotierten Innovation Award Laser Technology 2010, der seitens des Arbeitskreises Lasertechnik e.V. und des European Laser Institute ELI am 05. Mai 2010 im Rathaus zu Aachen verliehen wurde, ist Dr. rer. nat. Keming Du, Geschäftsführer der EdgeWave GmbH, Würselen. Über 250 Gäste wohnten der Preisverleihung im historischen Ambiente des Krönungssaales bei.

Prof. Reinhart Poprawe, stellvertretender Vorsitzender des Arbeitskreises Lasertechnik AKL e.V. und Leiter des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT, begrüßte die Teilnehmer und insbesondere die Teams der 3 Finalisten sowie die 10 Mitglieder der internationalen Jury. In seiner Laudatio hob Dr. Paul Hilton vom The Welding Institute TWI, Cambridge und Sprecher der Jury die engagierte Arbeit aller 3 Finalisten und die herausragenden Innovationen der Projektteams auf dem Gebiet der Lasertechnik hervor. Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. e. h. mult. Dr. h. c. mult. Hans-Jörg Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft und Gastredner der Festveranstaltung, verlieh den 1. Preis des Innovation Award Laser Technology 2010, der mit 10.000 Euro dotiert war, an Dr. rer. nat. Keming Du und sein Team der EdgeWave GmbH, Würselen für die Entwicklung von »Gütegeschalteten INNOSLAB Lasern für die



2



3

hoch qualitative Mikrobearbeitung«. Der Preisträger Dr. Du wurde weiterhin zum »AKL Fellow« and »ELI Fellow« ernannt. Die Trophäe für den Preisträger sowie die Urkunden für Dr. Du und die anderen Mitglieder des Projektmanagement-Teams Dr. Claus-Rüdiger Haas, Dipl.-Ing. Alexander Schell und Dr. Dailjun Li wurden durch Dipl.-Ing. Ulrich Berners, Vorstandsvorsitzender des Arbeitskreises Lasertechnik AKL e.V., und Dr. Stefan Kaieler, Vorstandsvorsitzender des European Laser Institute ELI, überreicht.

Die internationale Jury, bestehend aus 10 Vertretern aus Industrie und Wissenschaft, wählte zwei weitere Innovations-Teams als Finalisten aus, die ebenfalls im Krönungssaal ausgezeichnet wurden:

Den 2. Platz des Innovation Award Laser Technology 2010 belegten Herr Dipl.-Ing. Jürgen Dupré und sein Team der Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG, Dahlewitz und Oberursel. Bei der Innovation handelte es sich um ein »Instandsetzungsverfahren für Flugzeugtriebwerk-Komponenten mittels Laser-auftragschweißen«. Die Mitglieder des Projektmanagement-Teams waren:

- Dipl.-Ing. Jürgen Dupré, Repair Engineering Specialist, IPT Lead, Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG, Dahlewitz
- Schweißtechniker Elke Weiss, Repair Engineer, Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG, Oberursel
- Dipl.-Ing. Gerhard Backes, Projektleiter Instandsetzungsverfahren, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT, RWTH Aachen University
- Dr. Andres Gasser, Gruppenleiter Laserauftragschweißen, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen

Den 3. Platz des Innovation Award Laser Technology 2010 belegten Dipl.-Ing. Hermann Lembeck und sein Team der MEYER WERFT Laserzentrum GmbH, Papenburg. Bei der Innovation handelte es sich um das »Laser-Hybridschweißen dicker Stahlplatten mit Scheibenlaser im Schiffbau«.

Die Mitglieder des Projektmanagement-Teams waren:

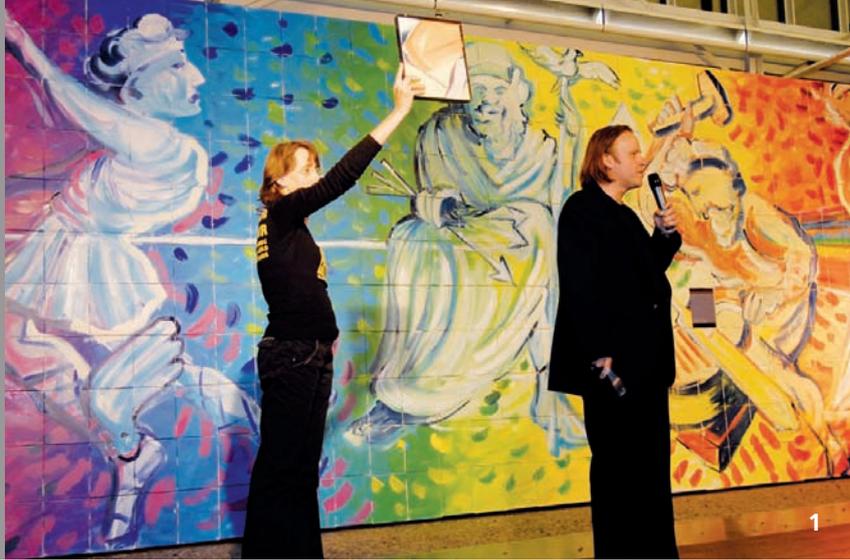
- Dipl.-Ing. Hermann Lembeck, Betriebsleiter
- Dipl.-Ing. Guido Pethan, Projektleiter Investitionen
- Dipl.-Ing. Frank Boekhoff, Erprobungsleiter, FuE, MEYER WERFT Laserzentrum GmbH, Papenburg

Der Innovation Award Laser Technology wird vom Arbeitskreis Lasertechnik e.V. und dem European Laser Institute ELI alle 2 Jahre als europäischer Wissenschaftspreis verliehen. Er richtet sich sowohl an Einzelpersonen als auch an Projektgruppen, deren Fähigkeiten und Engagement zu einer herausragenden Innovation auf dem Gebiet der Lasertechnik geführt haben. Die abgeschlossenen wissenschaftlichen und technologischen Arbeiten befassen sich im Kern mit der Nutzung und Erzeugung von Laserlicht zur Materialbearbeitung und haben zu einem belegbaren wirtschaftlichen Nutzen für die Industrie geführt. Weitere Informationen zum Innovation Award Laser Technology: [www.innovation-award-laser.org](http://www.innovation-award-laser.org)

#### 06.05.2010, Aachen

#### 25-Jahr-Feier des Fraunhofer ILT

Vor 25 Jahren gründete Prof. Gerd Herziger am Technologiestandort Aachen das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT mit einer Handvoll Mitarbeitern. Innerhalb kürzester Zeit avancierte die Forschungseinrichtung unter dem Dach der Fraunhofer-Gesellschaft zum größten Laserzentrum in Europa und beschäftigt mittlerweile über 300 Mitarbeiter. Im Fokus der FuE-Tätigkeiten stehen Verfahren, Systeme und Strahlquellen zum Einsatz in der Laserfertigungs- und Lasermesstechnik für Industriekunden aus den unterschiedlichsten Branchen von der Medizintechnik über die Automobil- bis hin zur Luftfahrtindustrie. Zu den Highlights der letzten 25 Jahre zählen beispielsweise die Entwicklung des 40 KW CO<sub>2</sub>-Lasers in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner Trumpf oder die Entwicklung des 4 KW diodengepumpte Festkörperlasers mit Rofin-Sinar. Der Hersteller elektronischer Schaltsysteme Marquardt setzte auf Basis der Entwicklungen des Fraunhofer ILT erstmals erfolgreich



einen Diodenlaser zum Fügen von Kunststoffbauteilen ein. Im Bereich der laserbasierten Verfahrenstechnik war die Entwicklung und Qualifizierung des Selective Laser Melting und des kombinierten Schneid- und Schweißprozesses durch spezielle Optiken richtungsweisend. Von 1985 bis 2009 konnte das Fraunhofer ILT 365 Patente erfolgreich anmelden. In dieser Zeit wurden rund 30 Unternehmen durch ehemalige Mitarbeiter ausgegründet. Zahlreiche Alumni bringen ihr Know-how bei Laserherstellern und Laseranwendern in die industrielle Produktion ein. Der Alumni-Club »Aix-Laser-People« organisiert über den Arbeitskreis Lasertechnik e.V. regelmäßige Treffen, die der Weiterbildung und der Netzwerkarbeit dienen.

Die offizielle Jubiläumsfeier des Fraunhofer ILT mit Partnern, Alumni und Kunden fand am 05. Mai 2010 im Rahmen des AKL'10 im Ludwig Forum statt. Ende September 2010 wurde das 25-jährige Bestehen mit über 300 Mitarbeitern in den Räumlichkeiten des Instituts gebührend gefeiert.

*1 25 Jahre Fraunhofer ILT - Jubiläumsfeier im Ludwig Forum in Aachen.*

*2 Vortragssession beim 6. Internationalen Aachener Optikkolloquium.*

*3 Dr. Reinhard Noll während seines Vortrags auf dem Aachener Laser Seminar.*

## KONGRESSE UND SEMINARE

**05.05. - 07.05.2010, Aachen**

### **International Laser Technology Congress AKL'10**

2-jährlich stattfindender International Laser Technology Congress AKL mit Technologie Business Tag TBT'10, EU Innovation Forum »Laser Processing in Aeronautics and Power Generation«, Einsteiger Seminar Lasertechnik, lasertechnischer Fachkonferenz AKL'10, konferenzbegleitender Ausstellung und Lasertechnik Live im Fraunhofer ILT.

**22.06. - 23.06.2010, Bonn**

### **Conference on Multiphysics Simulation**

Die Fraunhofer-Allianz »NUSIM - Numerical Simulation of Products and Processes« hat 2010 eine Konferenz unter dem Titel »Conference on Multiphysics Simulation - Advanced Methods for Industrial Engineering« für Teilnehmer aus Wissenschaft und Industrie ausgerichtet. Das Fraunhofer ILT organisierte dabei das Symposium »Laser Induced Manufacturing Processes«.

**19.10. - 20.10.2010, Aachen**

### **6. Internationales Aachener Optikkolloquium**

Mit einem zweitägigen internationalen Kongress rund um die Themen Optik und Photonik bieten die Fraunhofer-Institute für Produktionstechnologie IPT und für Lasertechnik ILT in Aachen alle zwei Jahre eine Informationsplattform zu aktuellen Perspektiven, technologischen Innovationen und neuen Anwendungen aus Industrie und Forschung.

Das Kolloquium mit rund 120 Teilnehmern behandelte die drei Themenkomplexe »Märkte und Strategie«, »Produkte und Innovation« sowie »Technologie und Produktion« ausführlich in rund 20 Fachvorträgen.



Das Programm umfasste anwendungsnahe Präsentationen aktueller Entwicklungen und Trends sowie Führungen durch die Maschinenhallen und Labore des Fraunhofer IPT und des Fraunhofer ILT. Weitere Informationen zum 6. Internationalen Aachener Optikkolloquium unter [www.optik-kolloquium.de](http://www.optik-kolloquium.de)

**21.10.2010**

**Plymouth, Michigan, USA**

**Technical Conference »Towards Carbon Neutral Vehicles«**

Konferenz von Fraunhofer USA und dem Michigan Memorial Phoenix Energy Institute der University of Michigan mit ca. 100 Teilnehmern aus dem Automobilbereich in Plymouth, Michigan, USA.

**10.11.2010, Aachen**

**4. Hannover-Messe Laser-Herbstforum**

Thema: Laser in der Produktion, Neue Möglichkeiten für die Photovoltaik und die Elektromobilität mit Schwerpunkt Fertigungstechnologien für Energiespeicher und Elektrofahrzeuge. Das Hannover-Messe Laser-Herbstforum wurde gemeinsam organisiert vom Fraunhofer ILT, dem Laser Zentrum Hannover, der Limo Lissotschenko Mikrooptik GmbH, der Ruhr-Universität Bochum (Fakultät für Maschinenbau, Lehrstuhl für Laseranwendungstechnik), dem IVAM Fachverband für Mikrotechnik und der Deutschen Messe Hannover. Das Laser-Herbstforum gab Ausblick auf die Sonderschau Laser für Mikromaterialbearbeitung und Mikroproduktion der Hannover-Messe. Zu den Themenschwerpunkten gehören u. a. mobile Energiespeicher, Strom-Infrastruktur sowie alternative Kraft- und Brennstoffe.

**09.12. - 10.12.2010, Aachen**

**Aachener Laser Seminar »Lasersensoren und Lasermesssysteme zur Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion«**

Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen.

---

## KOLLOQUIUM LASERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN

---

**14.01.2010, Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen**

**Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. S. Hell, Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie, Göttingen: »Optische Nano-Mikroskopie jenseits der Beugungsgrenze«

**14.04.2010, Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen**

**Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. L. Wöste, Freie Universität Berlin, Institut für Experimentalphysik, Berlin: »Nutzung und Anwendung von Plasma-Filamenten«

**22.04.2010, Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen**

**Kolloquium Lasertechnik**

Dr. H. Giessen, Universität Stuttgart, 4. Physikalisches Institut, Stuttgart: »Meta-Nano Materialien«

**29.04.2010, Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen**

**Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. W. Ubachs, Faculty of Sciences, Department of Physics and Astronomy, Amsterdam: »Kohärente EUV-Quellen«



**20.05.2010, Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. R. Sauerbrey, Forschungszentrum Dresden-  
Rossendorf, Dresden: »Röntgen-Laser«

**27.05.2010, Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. H.-J. Kull, Lehr- und Forschungsgebiet Laserphysik  
der RWTH Aachen, Aachen: »Laserplasmen«

**01.07.2010, Aachen**

**Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
Kolloquium Lasertechnik**

Prof. Dr. E. Cellier, Institut für Computational Science, ETH  
Zürich, Zürich: »Energie, Exergie, Emergie«

---

## AIX-LASER-PEOPLE

---

**07.05.2010, Aachen**

**37. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«**

des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT mit  
80 live-Vorführungen im Laser-Anwenderzentrum des ILT im  
Umfeld des International Laser Technology Congress AKL'10 in  
Aachen.

**17.12.2010, Aachen**

**38. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«**

des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT  
mit Vortrag von Dr. Reinhard Noll, Kompetenzfeldleiter  
Messtechnik des Fraunhofer ILT, zum Thema »Aktuelle Ent-  
wicklungen im Bereich der Lasermesstechnik am Fraunhofer ILT«  
und Besichtigung der EdgeWave GmbH in Würselen mit  
Erläuterungen zu neuen Entwicklungen im Bereich der  
SLAB-Laser durch den Geschäftsführer Dr. Keming Du.

*1 Teilnehmer der »Conference on  
Multiphysics Simulation« in Bonn.*

*2 Schülerveranstaltung im Fraunhofer ILT.*

*3 Mitarbeiter des Fraunhofer ILT auf der  
Photonics West 2010 in San Francisco.*



## VERANSTALTUNGEN FÜR SCHÜLER UND STUDENTEN

**29.01.2010, Aachen**

**Kinderuni RWTH Aachen University**

Vortrag von Prof. Poprawe im Audimax der RWTH Aachen zum Thema »Das Laserschwert der Zukunft - Was kommt nach Star Wars?«.

**11.03.2010, Aachen**

**Unihits für Kids**

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler der Klasse 6 der Bischöflichen Maria-Montessori-Gesamtschule in Krefeld zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

**24.03.2010, Aachen**

**Schülerführung**

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler der Ernst-Barlach-Realschule.

**21.04.2010, Aachen**

**Studentenführung**

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Design-Studenten der FH Aachen.

**22.04.2010, 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 und Politik kennen.

Das Fraunhofer ILT hat zusammen mit dem Fraunhofer IPT und IME an diesem bundesweiten Berufsorientierungstag für Mädchen zwischen 10 und 15 Jahren teilgenommen. Insgesamt wurden 50 Mädchen an diesem Tag durch die Institute geführt.

**25.05.2010, Aachen**

**Studentenführung**

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für eine Studentinnengruppe aus San Sebastian, Spanien.

**18.06.2010, Aachen**

**Unihits für Kids**

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler der Klasse 6 des Gymnasiums in den Filder Benden in Moers zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

**14.07.2010, Aachen**

**Studentenführung**

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für eine Studentengruppe aus Krakau.

**03.08.2010, 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 am 03.08.2010 im Fach Maschinenbau A mit Vorlesungen und Laborübungen zum Thema Lasertechnik beteiligt.

**12.11.2010, Aachen**

**Studentenführung**

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Studenten der FH Köln.



## MESSEBETEILIGUNGEN

**23.01. - 28.01.2010**

**San Francisco, USA**

**Photonics West 2010**

Internationale Fachmesse für Optik und Photonik  
Teilnahme des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls  
für Lasertechnik LLT am deutschen Pavillon.

ILT Themen: Aufbau- und Verbindungstechnik von Lasern  
und Laserkomponenten, Markierungslaser, Faserlaser,  
nichtlineare Optik.

**13.04. - 15.04.2010**

**Paris, Frankreich**

**JEC Composites 2010**

Fachmesse für Verbundwerkstoffe

Teilnahme des Fraunhofer ILT und des CLFA  
am Fraunhofer-Gemeinschaftsstand.

Thema: Schweißen von Faserverbundwerkstoffen.

**19.04. - 23.04.2010**

**Hannover**

**HANNOVER Messe 2010**

Internationale Industriemesse

Teilnahme des Fraunhofer ILT am IVAM-Gemeinschaftsstand  
sowie an den Fraunhofer-Gemeinschaftsständen.

ILT Themen: Laser in der Mikrotechnik, lasertechnische  
Lösungen für den Bereich Mobilität.

*1 Fraunhofer ILT auf der*

*EuroBlech 2010 in Hannover.*

*2 Fraunhofer-Gemeinschaftsstand*

*auf der K 2010 in Düsseldorf.*

**06.09. - 10.09.2010**

**Valencia, Spanien**

**PV-Sec 2010**

25th European Photovoltaic Solar Energy Conference  
and Exhibition. 5th World Conference on Photovoltaic  
Energy Conversion.

ILT Thema: Laserprozesse in der Photovoltaik.

**26.09. - 30.09.2010**

**Anaheim, Kalifornien, USA**

**ICALEO 2010**

29th International Congress on Applications  
of Lasers & Electro-Optics

Teilnahme des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für

Lasertechnik LLT an den Vortragsessions und an dem Vendor  
Ausstellungs-Programm der ICALEO.

**28.09. - 01.10.2010**

**Düsseldorf**

**Glasstec 2010**

Internationale Fachmesse für Glas, Glasmaßchinen  
und Glasherstellung

Teilnahme des Fraunhofer ILT  
am Fraunhofer-Gemeinschaftsstand.

ILT Thema: Glas - Werkstoff für Innovationen.

**26. - 30.10.2010**

**Hannover**

**EuroBLECH 2010**

21. Internationale Technologiemesse für Blechverarbeitung  
Teilnahme des Fraunhofer ILT.

ILT Themen: Kombikopf, innovative Messmethode zum  
Einrichten und Überwachen der tatsächlichen Schweißbahn  
und -geschwindigkeit auf dem Werkstück, neues Verfahren  
zur Regelung der wirklichen TCP-Position zur Naht, Hoch-  
geschwindigkeitsschneiden von Feinblechen mit Faserlasern;  
Selbstoptimierende Schneidmaschine.



**27.10. - 03.11.2010**

**Düsseldorf**

**K 2010**

Internationale Fachmesse für Kunststoff, Kautschuk und Kunststoffverarbeitung  
Teilnahme des Fraunhofer ILT am Fraunhofer-Gemeinschaftsstand.  
ILT Thema: Abzeichnungsfreie Fügenähte durch Laserstrahl-Kunststoffschweißen mit TransTWIST.

**17.11. - 19.11.2010**

**Düsseldorf**

**COMPAMED 2010**

Internationale Fachmesse  
Teilnahme des Fraunhofer ILT am IVAM Gemeinschaftsstand.  
ILT Themen: Laserdurchstrahlschweißen von Kunststoffen ohne Zusatz von Absorbieren, Mikrostrukturierung von Werkzeugoberflächen für eine Funktionalisierung von abgeformten Polymerbauteilen.

**01.12. - 04.12.2010**

**Frankfurt**

**EuroMold 2010**

17. Weltmesse für Werkzeug- und Formenbau, Design und Produktentwicklung  
Teilnahme des Fraunhofer ILT am Stand der Fraunhofer-Allianz Generative Verfahren und am Fraunhofer-Gemeinschaftsstand.  
ILT Themen: Generative Fertigungsverfahren und Polieren mit Laserstrahlung.

---

## AUSZEICHNUNGEN

---

### Deutscher Studienpreis an Dr. Ümit Aydin

Für seine Arbeit zum Thema »Energieersparnis durch automatisierte Laser-Sortierung für das Aluminium-Recycling« hat unser ehemaliger Kollege Dr. Ümit Aydin am 23. November 2010 den Deutschen Studienpreis erhalten: zweiter Platz in der Kategorie Natur- und Technikwissenschaften. »Diese Auszeichnung ist für mich ein Beleg dafür, dass die RWTH Aachen und insbesondere das ILT/LLT durch ihre Themenkompetenzen exzellente Dissertationen ermöglichen und in der Deutschen Spitzenforschung ganz vorne sind«, so der Preisträger, der mittlerweile bei Boston Consulting in Düsseldorf tätig ist.

*3 Dr. Ümit Aydin bei der Preisverleihung des deutschen Studienpreises 2010 mit Bundestagspräsident Norbert Lammert.  
Quelle: Körper-Stiftung, David Ausserhofer.*

# 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. Stefan Kaiерle (Vorsitzender)  
Fraunhofer ILT, Deutschland
- Dr. Paul Hilton  
TWI, Großbritannien
- Dr. Wolfgang Knapp  
CLFA, Frankreich
- Prof. Dr. Veli Kujanpää  
Lappeenranta University of Technology, Finnland
- Dr. Filip Motmans  
Lasercentrum Vlaanderen, Belgien
- Prof. Dr. José Luis Ocaña  
Centro Láser U.P.M., Spanien
- Prof. Dr. Andreas Ostendorf  
Ruhr-Universität Bochum, Deutschland

## Kontakt

Dr. Stefan Kaiерle  
Telefon +49 241 8906-212  
Fax +49 241 8906-212  
[kaierle@europeanlaserinstitute.org](mailto:kaierle@europeanlaserinstitute.org)

# PHOTONAIX E.V.

## KOMPETENZNETZ OPTISCHE TECHNOLOGIEN



### Kurzportrait

PhotonAix, das Kompetenznetz für Optische Technologien und Systeme, wurde im Jahr 2002 auf Initiative des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT, des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT und des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen gegründet. Das Aachener Kompetenznetzwerk PhotonAix und weitere acht regionale Kompetenznetze im Bereich der Optischen Technologien verknüpfen in ihren Regionen die Kompetenzen der über 400 Mitglieder aus Forschung und Industrie mit dem gemeinsamen Ziel, die Optischen Technologien zu fördern.

Von der Lasermaterialbearbeitung über die Biophotonik bis hin zu Anwendungen in Verkehr und Raumfahrt repräsentieren die Netze die vollständige Bandbreite der Optischen Technologien »made in Germany«. Die Hauptaktivitäten und Dienstleistungsangebote der Kompetenznetze umfassen Technologiemanagement, Beratung von Start-Up-Unternehmen, regionales Technologie- und Branchenmarketing, Aus- und Weiterbildungsinitiativen sowie die intensive Förderung der Kommunikation innerhalb der Netzwerke. Durch die enge Verzahnung des Know-hows in den Regionen gelingen praxis- und zeitnahe Problemlösungen und ein schnellerer Transfer von Forschungsergebnissen in marktreife Produkte.

### Highlights 2010

Neben den Gemeinschaftsständen der Kompetenznetze Optische Technologien auf der Photonics West 2010 in San Jose, USA und der Optatec 2010 in Frankfurt standen im vergangenen Jahr die europäischen Technologieplattform Photonics21 und die Mitarbeit an der NRW Clusterstrategie im Mittelpunkt.

Ziel der Technologieplattform Photonics21 ist es, die führende Rolle Europas im Bereich der Optischen Technologien weiter auszubauen und gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu koordinieren.

Die Clusterpolitik der Landesregierung Nordrhein-Westfalen fördert die Kooperation von Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Öffentlicher Hand entlang von Wertschöpfungsketten in insgesamt 16 Branchen- und Technologiefeldern.

Gemeinsam mit sieben weiteren Netzwerken wurde PhotonAix von der Landesregierung beauftragt, das Clustermanagement für das Technologiefeld »NanoMikro+Werkstoffe« aufzubauen.

### Kontakt

PhotonAix e.V.  
Dipl.-Phys. Christian Hinke  
Geschäftsführer  
Steinbachstraße 15  
52074 Aachen

Telefon +49 241 8906-352  
Fax +49 241 8906-121  
hinke@photonaix.de  
www.photonaix.de

# 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 Ausbildungsstandes 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 über 90 Mitglieder an.

Das Aufgabenspektrum des AKL e.V. umfasst:

- 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. Dr. Reinhart Poprawe M. A.

(stellvertr. Vorsitzender)

Prof. Rolf Schloms (Kassenwart)

Dipl.-Phys. Axel Bauer (Geschäftsführer)

### **Kontakt**

Steinbachstraße 15

52074 Aachen

Telefon +49 241 8906-109

Fax +49 241 8906-112

info@akl-ev.de

www.akl-ev.de

# CD-ROM »LASERTECHNIK«

## CD-Rom »Lasertechnik« (deutsch)

Die CD-Rom ist eine Sammlung von Grafiken, Bildern und Videos der Vorlesungen Lasertechnik I + II von Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe M.A. und wurde 2003 produziert.

Sie wurde vom Lehrstuhl für Lasertechnik LLT in der Fakultät Maschinenwesen der RWTH Aachen in enger Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT erstellt.

Inhalt sind die Grundlagen der Lasertechnik sowie die physikalischen und technischen Prozesse für moderne Fertigungsverfahren. Darüber hinaus wird an zahlreichen Beispielen zu Lasern und industriellen Anwendungen der heutige Stand der wirtschaftlichen Nutzung demonstriert.

Die Darstellungen können einzeln über das mitgelieferte Programm Acrobat Reader 5.0 auf handelsüblichen PCs aufgerufen werden. Systemvoraussetzungen sind: Microsoft Windows 95 OSR 2.0, Windows 98 SE, Windows Millennium Edition, Windows NT 4.0 mit Service Pack, Windows 2000, Windows XP und MacOSX (64 MB Ram Arbeitsspeicher sowie 30 MB freier Festplattenspeicher).

Das Ausdrucken und Verwerten der unveränderten Grafiken und Bilder ist ausschließlich zu Lehrzwecken gestattet.

Weitere Informationen und Bestellzettel zur CD-Rom »Lasertechnik« erhalten Sie über den Arbeitskreis Lasertechnik e.V., Steinbachstraße 15, 52074 Aachen.

## Ansprechpartnerin

Diana Heinrichs  
Telefon +49 241 8906-122  
Fax +49 241 8906-112  
[diana.heinrichs@ilt.fraunhofer.de](mailto:diana.heinrichs@ilt.fraunhofer.de)



# FACHBÜCHER



## Bestelladresse

Springer Kundenservice  
Haberstraße 7  
69126 Heidelberg  
Telefon +49 6221 345-0  
Fax +49 6221 345-4229  
SDC-bookorder@springer-sbm.com  
www.springer.de

## »Lasertechnik für die Fertigung« von Reinhart Poprawe

Grundlagen, Perspektiven und Beispiele für den innovativen Ingenieur.

### Inhalt

Einleitung, Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung an Grenzflächen, Absorption von Laserstrahlung, Energietransport und Wärmeleitung, Thermomechanik, Phasenumwandlungen, Schmelzbadströmung, Laserinduziertes Verdampfen, Plasmaphysik, Laserstrahlquellen, Oberflächentechnik, Umformen, Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Fügen, Abtragen und Bohren, Schneiden, Systemtechnik, Lasermesstechnik, Ergänzungen A: Optik, B: Kontinuumsmechanik, C: Laserinduziertes Verdampfen, D: Plasmaphysik, E: Bedeutung der verwendeten Symbole und Konstanten, F: Farbbildteil, Sachverzeichnis.

2005. XVII, 526 S. 353 Abb. (VDI-Buch)

ISBN 3-540-21406-2

## »Tailored Light 2« by Reinhart Poprawe

Laser Application Technology

### Contents

Preface.- Introduction.- Radiation at interfaces.- Absorption of Laser Radiation.- Energy Transport and Heat Conduction.- Thermo Mechanics.- Phase Transformations.- Melt Flow.- Laser Induced Vaporization.- Plasma Physics. - Laser Beam Sources. - Surface Treatment.- Forming.- Rapid Prototyping & Rapid Tooling.- Joining.- Ablation.- Drilling.- Cutting.- System Technology.- Laser Measurement Technology.- Appendix.- Subject index. 2011.

2011. 1st Edition. XVI, 605 p. 350 illus. in color. Hard cover (RWTHedition)

ISBN: 978-3-642-01236-5

# 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 2010**  
(englische Version online unter [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de))
- Jahresbericht 2009**  
(englische Version online unter [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de))
- Jahresbericht 2008**  
(englische Version online unter [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de))
- Tagungsband des International Laser Technology Congress AKL'10**
- Informationsbroschüre »European Laser Institute ELI«** (englisch)
- Informationsflyer »Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V.«**
- CD-Rom »Lasertechnik«**
- Fachbuch »Lasertechnik für die Fertigung«**
- Fachbuch »Tailored Light 2«**

## Themenbroschüren

- Abtragen, Reinigen und Markieren**
- Bohren mit Laserstrahlung**  deutsch  englisch
- Faserlaser**
- Festkörperlaser**
- In-Volume Micro Structuring**  
with Femtosecond Lasers (englisch)
- Lasermikroskopie**
- Lasertechnik für Instandsetzung**  
und Funktionalisierung  deutsch  englisch
- Laser in der Kunststofftechnik**  deutsch  englisch
- Laser in der Photovoltaik**  deutsch  englisch

- Laser in Medizintechnik**  
und Biotechnologie  deutsch  englisch
- Mikrofügen mit Laserstrahlung**  deutsch  englisch
- Mikro- und Nanostrukturierung**  
mit Laserstrahlung  deutsch  englisch
- Modellierung und Simulation**
- Nichtlineare Optik**  
und abstimmbare Laser  deutsch  englisch
- Optik-Design und Diodenlaser**
- Packaging**
- Polieren mit Laserstrahlung**
- Qualitätssicherung in der Lasermaterialbearbeitung**
- Rapid Manufacturing**  deutsch  englisch
- Röntgenmikroskopie**
- Röntgensysteme**
- Selektives Laserätzen von Glas und Saphir**
- Systemtechnik für das pulver-**  
basierte Laserauftragschweißen  deutsch  englisch
- Ultrakurzpulslaser**
- Wärmebehandlung mit Laserstrahlung**  deutsch  englisch
- XUV-Quellen**

## Absender

Name, Vorname \_\_\_\_\_  
Firma \_\_\_\_\_  
Abteilung \_\_\_\_\_  
Straße \_\_\_\_\_  
PLZ/Ort \_\_\_\_\_  
Telefon \_\_\_\_\_  
Fax \_\_\_\_\_  
E-Mail \_\_\_\_\_

bitte faxen an:

**Fraunhofer ILT, Stefanie Flock**

**Fax +49 241 8906-121**

# IMPRESSUM

## **Redaktion**

Dipl.-Phys. Axel Bauer (verantw.)  
Stefanie Flock

## **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 2011

## **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)