



**Fraunhofer** Institut  
Lasertechnik

# Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2002



Jahresbericht  
des Fraunhofer-Instituts  
für Lasertechnik ILT  
2002



»Der Fortschritt ist die Verwirklichung von Ideen« Oscar Wildes Ausspruch könnte als Credo des Fraunhofer ILT stehen. Schließlich ist die Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik integraler Bestandteil unserer Mission. Somit blicken wir mit Freude auf die Innovationen des Jahres 2002 zurück.

Der SLAB-Laser wurde kontinuierlich weiterentwickelt. Im Labor konnte bei 1 kW Ausgangsleistung bereits eine um den Faktor 2 bessere Fokussierbarkeit als die besten CO<sub>2</sub>-Laser nachgewiesen werden. Die Marktentwicklung diodengepumpter Festkörperlaser und damit die Grundlage für einen unserer FuE-Schwerpunkte ist auf stabilem Kurs. Dabei sollen Hemmschwellen wie die Langzeitstabilität dieser Systeme besonders im getakteten Betrieb nicht verschwiegen werden. Aber auch hier sind deutliche Fortschritte zu verzeichnen.

Durch die enge Verbindung von Laserentwicklung und Anwendung gelingt es uns immer wieder, neue Horizonte zu öffnen. Das am ILT entwickelte Selective Laser Melting ermöglicht aufgrund der Geometriefreiheiten die Herstellung komplexer Bauteile. Die medizintechnische Umsetzung im Bereich der Zahnimplantate ist bereits eingeläutet. Ein anschauliches Beispiel für mass-customization.

Die Verbreitung dieser und vieler anderer Innovationen auf industriellen und wissenschaftlichen Foren wird aktiv von den einzelnen ILT-Mitarbeitern betrieben. So konnten auf dem Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'02 über 60 FuE-Projekte 'live' in Versuchsständen präsentiert werden. Das AKL'02 hat mit 35 technischen Vorträgen, 11 marktwirtschaftlichen Beiträgen, 30 Ausstellern und über 400 Teilnehmern die eigene Messlatte weit übersprungen. Die Resonanz war äußerst positiv. Bei unseren Teilnehmern und insbesondere unseren Sponsoren bedanken wir uns an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich.

Schließlich ist uns die Zertifizierung des ILT-Qualitätsmanagement auf dem neuen Standard ISO 9001:2000 gelungen. Eine gute Ausgangssituation um mit unseren Kernkompetenzen und einem hoch motivierten Team die Herausforderungen für 2003 anzunehmen – trotz der bundespolitisch bedingten Kürzungen unserer Grundfinanzierung. Unseren Partnern wünsche ich für 2003 ein erfolgreiches und kreatives Jahr!

Aachen, im Februar 2003  
Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe M.A.



Fraunhofer-Institut  
für Lasertechnik ILT

Steinbachstraße 15  
52074 Aachen  
Telefon: +49 (0) 241 / 8906 -0  
Fax: +49 (0) 241 / 8906 -121

E-Mail: [info@ilt.fraunhofer.de](mailto:info@ilt.fraunhofer.de)  
[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)

# Inhalt

Das Institut im Profil	6	Patente	102
Leitbild	7	Dissertationen	103
Geschäftsfelder	8	Diplomarbeiten	103
Gremien	10	Wissenschaftliche Veröffentlichungen	104
Ansprechpartner	11	Vorträge	106
Kernkompetenzen	12	Messebeteiligungen	107
Dienstleistungsangebot	14	Kongresse und Tagungen	108
Das Institut in Zahlen	16	Publikationen	110
Kundenreferenzen	19	Filme und Multimedia-Software	113
Fraunhofer USA Center for Laser Technology CLT	20	Informations-Service	115
Coopération Laser Franco-Allemande CLFA	22	Impressum	117
Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick	24		
 <b>Einige ausgewählte Forschungsergebnisse aus den Geschäftsfeldern des ILT</b>			
Laserstrahlquellen und Plasmasysteme	26 - 42		
Laserfertigungsverfahren	43 - 72		
Laseranlagen und Systemtechnik	73 - 88		
Lasermess- und Prüftechnik	89 - 101		



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

## Kurzportrait

ILT - dieses Kürzel steht seit über 15 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 Stahlbau, der Feinmechanik und der Optik.

Mit über 230 Mitarbeitern und 10.000 m<sup>2</sup> Nutzfläche zählt das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten seines Fachgebietes. Die vier Geschäftsfelder des Fraunhofer ILT decken ein weites, vertikal integriertes Themenspektrum ab. Im Geschäftsfeld »Laserstrahlquellen und Plasmasysteme« konzentrieren sich die Entwicklungsaktivitäten auf innovative Dioden- und Festkörperlaser für den industriellen Einsatz sowie auf kompakte EUV-Strahlquellen für die Lithographie in der Halbleiterproduktion. Das Geschäftsfeld »Laserfertigungsverfahren« löst Aufgabenstellungen zum Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen, Löten sowie zur Oberflächenbearbeitung und Mikrofertigung. Das Anwendungsspektrum reicht von der Makrobearbeitung über die Nanostrukturierung bis hin zur Biophotonik. Im Geschäftsfeld »Laseranlagen und Systemtechnik« werden Prototypanlagen entwickelt, konstruiert und vor Ort installiert. Prozessüberwachung und -regelung sind ebenso Bestandteil

der Aktivitäten wie Steuerungen und Systemkomponenten. Im Geschäftsfeld »Lasermess- und Prüftechnik« werden Verfahren und Systeme zur Oberflächeninspektion, zur Stoffanalyse, zur Prüfung der Maßhaltigkeit und Geometrie von Bauteilen sowie zur Analyse statischer und dynamischer Verformungen entwickelt.

Unter einem Dach bietet das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik Forschung und Entwicklung, Systemaufbau und Qualitätssicherung, Beratung und Ausbildung. Zur Bearbeitung der Forschungs- und Entwicklungsaufträge stehen industrielle Lasersysteme verschiedener Hersteller sowie eine umfangreiche Infrastruktur zur Verfügung.

Im Anwenderzentrum des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik 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 ILT-Experten. Bereits 10 Firmen nutzen die Vorteile des Anwenderzentrums. Neben Tochterfirmen führender Laserhersteller und innovativer Laseranwender finden hier Neugründer aus dem Bereich des Sonderanlagenbaus, der Laserfertigungstechnik und der Lasermesstechnik ein geeignetes Umfeld zur industriellen Umsetzung ihrer Ideen.



## 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 Partner 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 Erfolges.

## 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 Engagement 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.

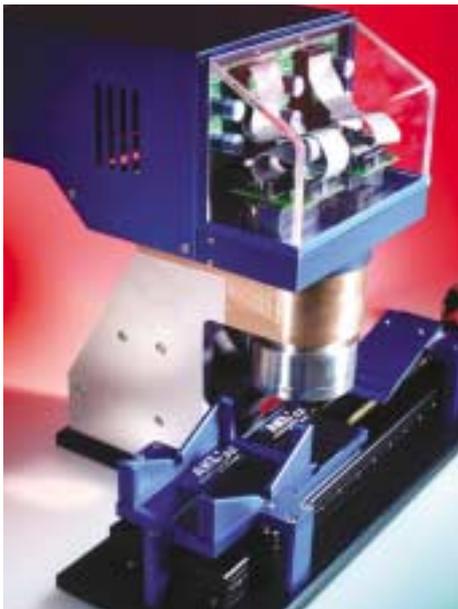
## Position

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.

## Geschäftsfeld »Laserstrahlquellen und Plasmasysteme«

Das Geschäftsfeld umfasst die Entwicklung von Diodenlaser-Modulen und Systemen sowie diodengepumpter Festkörperlaser, das Design neuer Diodenlaserstrukturen, die Mikromontage von Diodenlasern und optischer Komponenten sowie die Entwicklung von Plasmasystemen. Zu den herausragenden Projektergebnissen, die in enger Kooperation mit den Industriepartnern erfolgreich in die Praxis überführt worden sind, zählen u. a. der transversal diodengepumpte 5 kW-Festkörperlaser sowie die Diodenlasermodule zum Fügen von Kunststoffbauteilen. In Kooperation mit dem Fraunhofer IAF werden neue Strukturen entworfen, die die Herstellung von Diodenlasern höherer Strahlqualität erlauben. Zu den Alleinstellungsmerkmalen des Geschäftsfeldes zählt weiterhin die Montage von Hochleistungs-Diodenlasern und insbesondere die Realisierung teilautomatisierter Montageanlagen. Im Bereich Plasmatechnik liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung von EUV-Strahlquellen für die Halbleiterlithographie. Die wesentlichen Zielmärkte des gesamten Geschäftsfeldes sind die Lasermaterialbearbeitung, die Medizintechnik, die Messtechnik sowie der Komponentenmarkt für die Informations- und Kommunikationstechnik.



## Geschäftsfeld »Laserfertigungsverfahren«

Zu den Fertigungsverfahren, mit denen sich das Geschäftsfeld befasst, zählen die Trenn- und Fügeverfahren in Mikro- und Makrotechnik sowie die Oberflächenverfahren. Die angebotenen Dienstleistungen reichen von der Verfahrensentwicklung für die Herstellung branchenspezifischer Produkte und die Integration dieser Verfahren in Produktionslinien über Simulationsdienstleistungen für Laserapplikationen bis zur Musterfertigung zur Unterstützung des Serienanlaufes. Die Stärke des Geschäftsfeldes beruht auf dem umfangreichen Prozess-Know-how, das auf die Kundenanforderungen jeweils zugeschnitten wird. Neben den Prozessentwicklungen bietet das Geschäftsfeld durch Nutzung ausgewählter Technologienetzwerke komplette Systemlösungen an. Dem Kunden werden laserspezifische Problemlösungen angeboten, die Konstruktion, Werkstoff, Produktdesign, Produktionsmittel und Qualitätssicherung mit einbeziehen. Neben dem Zielmarkt Materialbearbeitung spricht das Geschäftsfeld ebenfalls Kunden aus den Bereichen Medizintechnik, Biotechnologie und Chemie an.



## Geschäftsfeld

### »Lasieranlagen und Systemtechnik«

Das Geschäftsfeld konzentriert sich einerseits auf die Entwicklung von Prototypanlagen für Laserapplikationen und plasmatechnische Anwendungen und andererseits auf die Lasersystemtechnik mit Schwerpunkt Automation und Qualitätssicherung. Anwendungsbereiche sind u. a. Schweißen, Schneiden, Härten, Reparaturbeschichten, Bohren und Mikrofügen. In der Systemtechnik werden Komplettlösungen zur Prozessüberwachung, Komponenten und Steuerungen zur Präzisionsbearbeitung, laserspezifische CAD/CAM-Technologiemodule sowie Software zum Messen, Steuern, Regeln und Prüfen angeboten. Insbesondere in der Prozessüberwachung hält das Geschäftsfeld umfangreiches und bei Bedarf patentrechtlich geschütztes Know-how vor. Zahlreiche Systeme wurden in diesem Bereich bereits für Unternehmen lizenziert. Zielmärkte sind neben den Lasieranlagen- und -komponentenherstellern sämtliche Branchen der produzierenden Industrie, die Laser in der Fertigungstechnik einsetzen oder beabsichtigen, dies zu tun.



## Geschäftsfeld

### «Lasermess- und Prüftechnik«

Das Angebotsspektrum des Geschäftsfeldes umfasst die Entwicklung von Mess- und Prüfverfahren sowie entsprechender Anlagen zur Stoffanalyse und zur Geometrie- und Oberflächenprüfung. Auch die erforderliche Mess- und Prüfsoftware wird auf die kundenspezifischen Problemstellungen zugeschnitten. Die Stoffanalyse beruht auf dem Einsatz laserspektroskopischer Verfahren. Schwerpunktmäßig befasst sich dieser Bereich mit der Analyse metallischer Werkstoffe, der Verwechslungsprüfung hochlegierter Stähle, der Schnellerkennung von Kunststoffen sowie der Analyse von Prozessabgasen. Für die parallele Verarbeitung von Detektorsignalen hoher Bandbreite werden spezielle Elektronikkomponenten entwickelt. Seit kurzem wird das neue Themenfeld Biophotonik aufgegriffen. Im Rahmen von Verbundprojekten wird Expertise im Bereich hochsensitiver Fluoreszenzdetektion für Proteinchips systematisch aufgebaut. Im Bereich Geometrie- und Oberflächenprüfung werden Komponenten, Geräte und Anlagen, mit denen 1- bis 3D Informationen über die Geometrie- oder die Oberflächenbeschaffenheit von Werkstücken gewonnen werden können, entwickelt. Hierzu zählen beispielsweise Verfahren und Sonderanlagen für die Prüfung der Topologie von strang- und bandförmigen Produkten, Geräte für die 1D- bis 2D-Messung von Stückgut sowie Elektronikkomponenten für Lasertriangulations- und Laserlichtschnittsensoren. Zielmärkte sind sämtliche Branchen der produzierenden Industrie, die mess- oder prüftechnische Aufgaben mit hoher Zuverlässigkeit durchführen müssen.



## Kuratorium und Gremien

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:

**Ch. Schneider** Dr.-Ing.  
Vorsitzender

**C. Baasel**  
Carl Baasel Lasertechnik GmbH

**D. Basting** Dr.  
Lambda Physik GmbH

**H. Hornig** Dipl.-Ing.  
BMW AG

**G. Marowsky** Prof. Dr.  
Laserlaboratorium Göttingen e. V.

**H. Martinen** Dipl.-Phys.  
Rofin Sinar Laser GmbH

**T. Monsau** MinRat Dipl.-Phys.  
Ministerium für Arbeit und Soziales,  
Qualifikation und Technologie des  
Landes NRW

**G. Müller** Prof. Dr.-Ing.  
Laser-Medizin-Technologie GmbH

**R. Müller** Dr.  
Osram Opto Semiconductors  
GmbH & Co. OHG

**H. Opower** Prof. Dr. rer. nat.  
KLEO Halbleitertechnik

**J. von Schaewen** MinR Dr.  
Bundesministerium für Bildung  
und Forschung (BMBF)

**M. Stückradt** Dr.  
Kanzler der RWTH Aachen

**R. Wollermann-Windgasse** Dr. rer. nat.  
Trumpf Lasertechnik GmbH

Die achzehnte Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 18. September 2002 im Fraunhofer ILT in Aachen statt.

### Institutsleitungskreis (ILEI)

Der Institutsleitungskreis (ILEI) berät die Institutsleitung und wirkt bei der Entscheidungsfindung über die Grundzüge der Forschungs- und Geschäftspolitik des Instituts mit. Mitglieder des ILEI sind: Prof. Dr. R. Poprawe, Dr. P. Loosen, Dipl.-Ing. Wolfgang Oesterling (bis 30.04.02), B.-O. Großmann (ab 01.05.02), Dr. E.W. Kreutz, Dipl.-Phys. A. Bauer, Dr. K. Boucke, Dr. A. Gillner, Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Dr. S. Kaierle, Dr. W. Neff, Dr. R. Noll, Dr. D. Petring, Priv.-Doz. Dr. W. Schulz, Dr. B. Weikl, Dr. K. Wissenbach, Dipl.-Phys. G. Vittr, Dr. J. Gottmann.

### Arbeitsschutzausschuss (ASA)

Der Arbeitsschutzausschuss (ASA) ist für die Lasersicherheit und alle anderen sicherheitstechnischen Fragen im Fraunhofer ILT zuständig. Mitglieder des Ausschusses sind: Dipl.-Ing. Wolfgang Oesterling (bis 30.04.02), B.-O. Großmann (ab 01.05.02), M. Brankers, Dr. E.-W. Kreutz, A. Lennertz, Dr. W. Neff, B. Theisen, K.-H. Ulfig, Dipl.-Ing. F. Voigt, Dipl.-Ing. N. Wolf, Dr. G. Kotitschke, 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, Dipl.-Phys. G. Vittr, B. Theisen.

### Lehrstuhl für Lasertechnik (LLT) der RWTH Aachen

Der Lehrstuhl für Lasertechnik (LLT) ist überwiegend in den Räumen des Fraunhofer ILT untergebracht. Dies ermöglicht eine enge wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen Fraunhofer ILT und dem Lehrstuhl für Lasertechnik, welche durch einen Kooperationsvertrag geregelt ist. Leiter des Lehrstuhls für Lasertechnik ist Prof. Dr. rer. nat. R. Poprawe. M. A.. Akademischer Direktor ist Dr. E.W. Kreutz.

# Ansprechpartner



Prof. Dr. rer. nat.  
Reinhart Poprawe M.A. (-110)  
Institutsleiter



Dr. Peter Loosen (-162)  
stellvertretender Institutsleiter



Dr. Dirk Petring (-210)  
Abt. Trenn- und Fügeverfahren



Dipl.-Phys. Axel Bauer (-194)  
Marketing und Kommunikation



Dr. Konstantin Boucke (-132)  
Abt. Laserkomponenten



Dr. Konrad Wissenbach (-147)  
Abt. Oberflächentechnik



Bernd-O. Großmann (-185)  
Verwaltung und Infrastruktur



Dipl.-Ing. Dieter Hoffmann (-206)  
Abt. Festkörper- und Diodenlaser



Dr. Arnold Gillner (-148)  
Abt. Mikrotechnik



Dr. Bruno Weikl (-134)  
IT-Management



Dr. Reinhard Noll (-138)  
Abt. Lasermess- und Prüftechnik



Dr. Stefan Kaierle (-212)  
Abt. Systemtechnik



Dr. Alexander Drenker (-223)  
Qualitätsmanagement



Dr. Willi Neff (-142)  
Abt. Plasmatechnologie



Priv.-Doz. Dr. W. Schulz (-204)  
Abt. Modellierung und Simulation

## Laserkomponenten

Dr. Konstantin Boucke ( -132)

- Aktive und passive Kühlung von Diodenlasern
- Konfektionierung von Diodenlasern
- Elektro-optische Charakterisierung von Diodenlasern
- Theoretische Modellierung neuer Diodenlaserstrukturen
- Mikromontageprozesse
- Automatisierung von Mikromontageprozessen

## Festkörper- und Diodenlaser

Dipl.-Ing. Dieter Hoffmann ( -206)

- Entwicklung von Festkörper- und Diodenlasern
- Verfahren und Komponenten zur Frequenzkonversion
- Formung von Diodenlaserstrahlen
- Entwicklung von Diodenlasermodulen und -systemen
- Design und Charakterisierung von mikrooptischen Komponenten
- Entwicklung von Komponenten für Festkörper- und Diodenlaser

## Lasermess- und Prüftechnik

Dr. Reinhard Noll ( -138)

- Entwicklung, Bau und Erprobung von Lasermess- und Prüfsystemen
- Chemische Analyse von festen, flüssigen und gasförmigen Substanzen mit Laser-Spektroskopie
- Fluoreszenz-Spektroskopie
- Messung geometrischer Größen
- Oberflächeninspektion
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren
- Echtzeitdatenverarbeitung und Automation

## Plasmatechnologie

Dr. Willi Neff ( -142)

- Anregungssysteme für die Plasmatechnik
- Nieder- und Hochdruckplasmen für Reinigungsverfahren und Sterilisation
- Plasmabasierte EUV- und Röntgenquellen sowie Röntgentechnik
- Kurzzeitmesstechnik
- Photo- und Plasmachemie

## Trenn- und Fügeverfahren

Dr. Dirk Petring ( -210)

- Hochgeschwindigkeitsbearbeitung
- Dickblechbearbeitung
- Trennen und Fügen von Sondermaterialien
- Abtragen (Bohren, Caving, Perforieren, Gravieren)
- 3D-Anwendungen
- Schweißen mit Zusatzwerkstoff
- Hybridverfahren
- Design von Bearbeitungsdüsen und -optiken
- Sensorgestützte Prozessüberwachung und -regelung
- Rechnergestützte Prozesssimulation und -optimierung
- Multimediale Ausbildungs- und Informationssysteme

## Oberflächentechnik

Dr. Konrad Wissenbach ( -147)

- Umwandlungshärten, Umschmelzen, Beschichten, Legieren und Dispergieren zur Herstellung beanspruchungsgerechter Funktionsschichten
- Entwicklung von Pulverzufuhrsystemen
- Polieren von Glas und Metallen
- Reinigung und Modifikation von Oberflächen wie Entgraten, Aktivieren und Strukturieren
- Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing zur Herstellung metallischer Bauteile, Werkzeuge und Implantate

## Mikrotechnik

Dr. Arnold Gillner ( -148)

- Laserstrahlmikrolöten und -mikroschweißen
- Lasergestütztes Biegen und Justieren
- Feinschneiden und Bohren von Metallen, Keramiken, Halbleitern und Diamanten
- Mikrostrukturierung mit Excimer- und Nd:YAG-Lasern
- Mikrostanz- und -prägetechnik
- Markieren und Beschriften
- Laser-CVD und -PVD, Laser-Galvanik
- Schneiden und Perforieren von Papier, Kunststoffen und Verbundwerkstoffen
- Schweißen von Thermoplasten und thermoplastischen Elastomeren

## Modellierung und Simulation

Priv.-Doz. Dr. W. Schulz ( -132)

- Design von Hohlkathoden zur Erzeugung von EUV-Strahlung
- Auslegung von Resonatoren für Gas-, Festkörper- und Hochleistungsdiodenlaser
- Optimierung der Strahlführung in optischen Systemen
- Analyse des Strahlungstransports in Prozessgasen während der Bearbeitung
- Analyse von Unter- und Überschallströmungen von Arbeits- und Prozessgasen
- Analyse von Schmelzströmung, Wärmetransport, Schmelzen und Verdampfen
- Dynamische Modelle zum Abtragen, Schneiden, Schweißen und Bohren
- Algorithmen zur Auswertung von Messdaten
- Programmierung graphischer Benutzeroberflächen zur Simulation der Modelle und Visualisierung von Messdaten mit kommerziellen Graphikservern wie OpenGL®
- Numerische Methoden und Berechnungsverfahren, wie z. B. Cluster-In-Cell Verfahren (CIC), adaptive Vernetzung in bewegten Gebieten (hierarchische Basen), Finite Elemente und Finite Volumen Methoden auf zeitlich veränderlichen Gebieten (Level-Set Methode)
- Prozessüberwachung mit räumlich und zeitlich höchstauflösenden, kommerziellen CCD- und CMOS-Kamerasystemen
- Steuerung und Regelung von Fertigungsprozessen

## Systemtechnik

Dr. Stefan Kaierle ( -212)

- Pilotanlagen
- Integration von Lasertechnik in Fertigungseinrichtungen
- Entwicklung von Sensoren und Regelungssystemen
- Entwicklung von Diodenlasernetzteilen, Funkenerosionsgeneratoren und Hochspannungs-Impuls-generatoren
- Nullserien-Applikation
- Anlagenkonzeptionierung
- Steuerungstechnik für Laseranlagen
- Aus- und Weiterbildung

## Dienstleistungen

Das Dienstleistungsangebot 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
- Fertigungs- und Montagetechnik
- Pulsnetzteile und Steuerungstechnik
- Strahlführung und -formung
- Entwicklung, Aufbau und Test von Pilotanlagen
- Verfahrensentwicklung
- Modellierung und Simulation
- Prozessüberwachung und -regelung
- Muster- und Testserien
- Integration von Lasertechnik in bestehende Produktionsanlagen
- Röntgen-, EUV- und Plasmasysteme



## Kooperationen mit FuE-Partnern

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 am Fraunhofer ILT (spezielle Kooperationsverträge)

Durch Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und spezialisierten Unternehmen bietet das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik 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.

## Ausstattung

Die Nutzflächen des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT betragen über 10.000 m<sup>2</sup>.

### Technische Infrastruktur

Zur technischen Infrastruktur des Instituts gehören eine mechanische und eine elektronische Werkstatt, ein Metallographielabor, ein Fotolabor, ein Labor für optische Messtechnik sowie eine Konstruktionsabteilung. Das Fraunhofer ILT verfügt über einen Videokonferenzraum und ein vernetztes Rechnersystem.

### 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
- Nd:YAG-Laser bis 5 kW
- Diodenlasersysteme bis 3 kW
- Diodengepumpte Festkörperlaser bis 5 kW
- Excimerlaser
- Faserlaser
- Fünfachsigle Portalanlagen
- Dreiaxiale Bearbeitungsstationen
- Strahlführungssysteme
- Robotersysteme

- Sensoren zur Prozessüberwachung für die Lasermaterialbearbeitung
- Direct-writing- und Laser-PVD-Stationen
- Reinräume zur Montage von Diodenlasern, Diodenlasersystemen und diodengepumpten Festkörperlasern
- 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
- Einrichtungen zur holographischen Schwingungsanalyse und Speckle-Interferometrie

## 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.

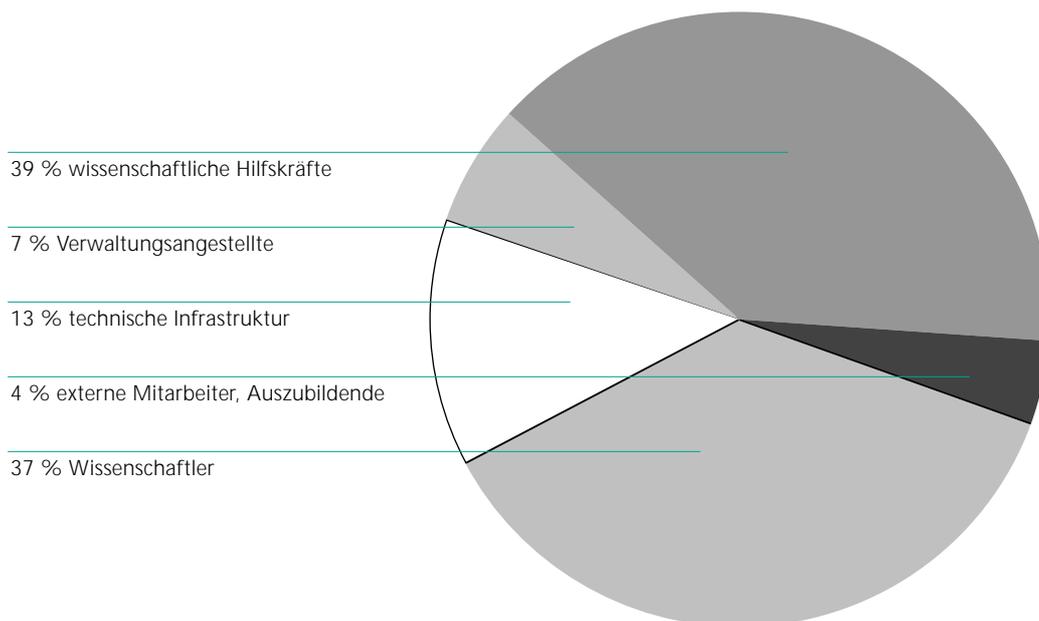
© AVIA-Luftbild, Aachen  
Dipl.-Ing. Martin Jochum



## Mitarbeiter

Mitarbeiter am Fraunhofer ILT 2002	Anzahl
<b>Stammpersonal</b>	<b>140</b>
- Wissenschaftler und Ingenieure	91
- Abordnung Wissenschaftler	-
- technische Infrastruktur	33
- Verwaltungsangestellte	16
<b>Weitere Mitarbeiter</b>	<b>109</b>
- wissenschaftliche Hilfskräfte	98
- externe Mitarbeiter	8
- Auszubildende	3
<b>Mitarbeiter am Fraunhofer ILT, gesamt</b>	<b>249</b>

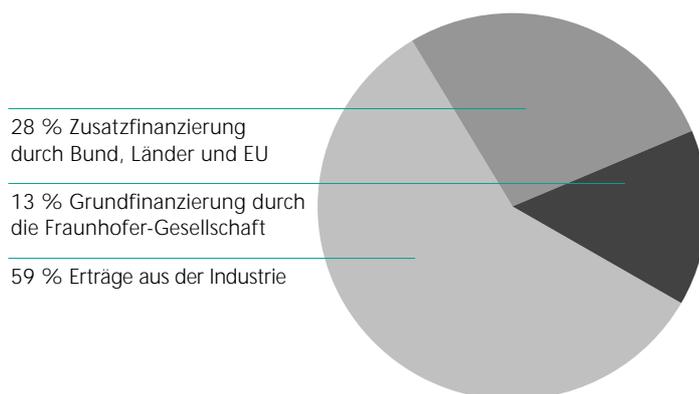
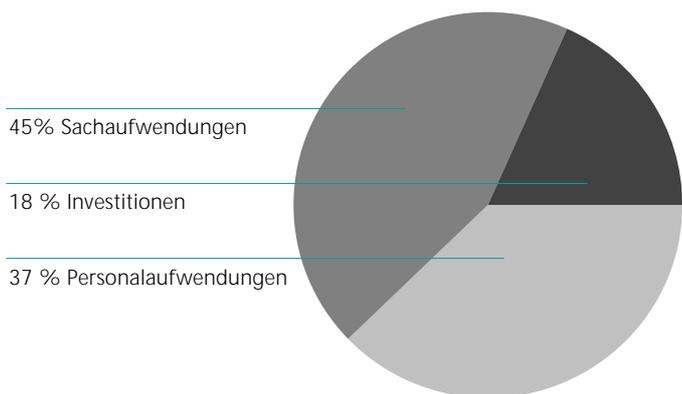
- 5 Mitarbeiter haben ihre Promotion abgeschlossen
- 21 Studenten haben ihre Diplomarbeit am Fraunhofer ILT durchgeführt



## Aufwendungen und Erträge (vorläufig)

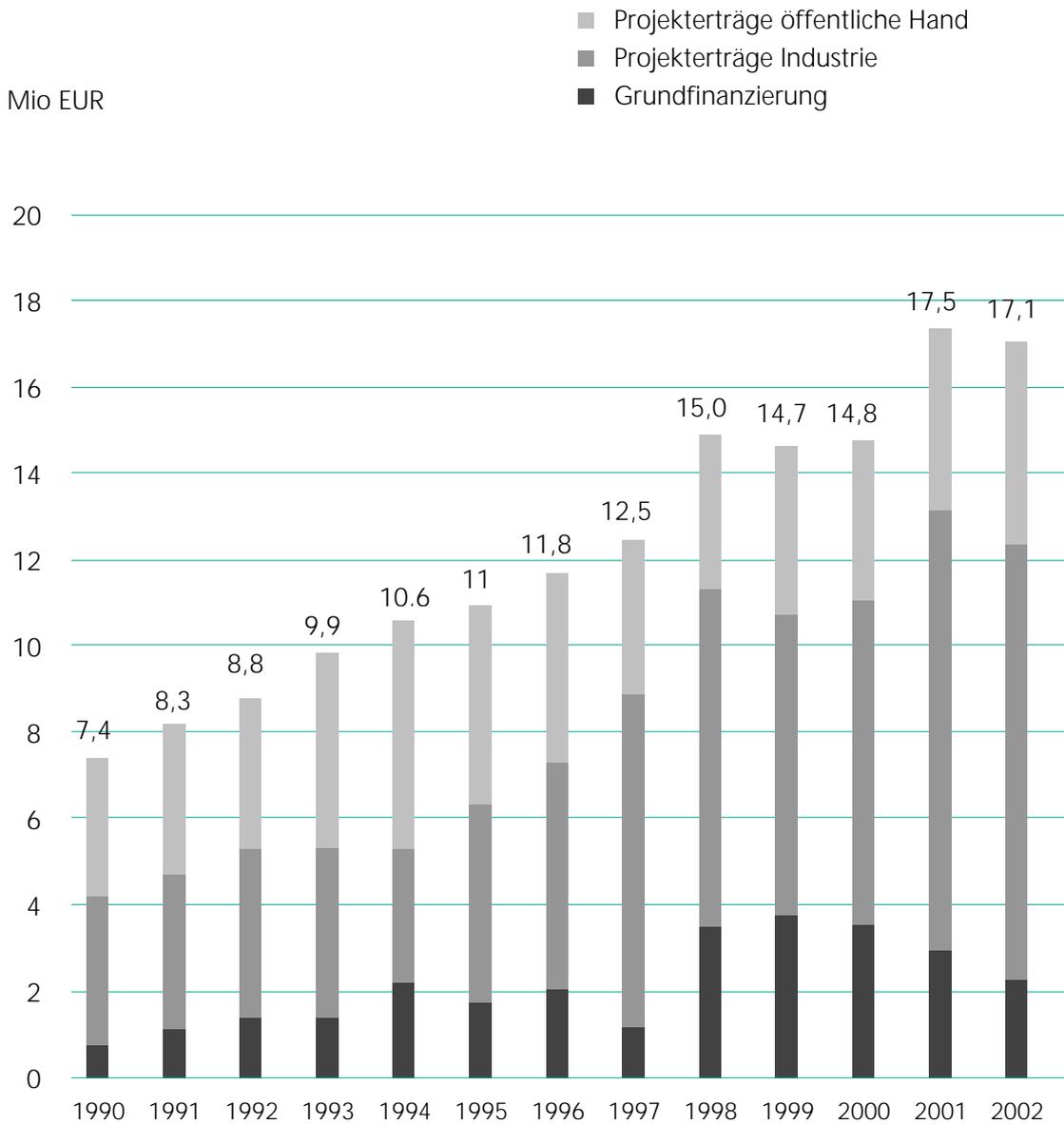
Aufwendungen 2002	Mio. EUR
<b>Betriebshaushalt</b>	<b>17,1</b>
- Personalaufwendungen	7,8
- Sachaufwendungen	9,3
<b>Investitionen</b>	<b>3,8</b>

Erträge Betriebshaushalt 2002	Mio. EUR
- Erträge aus der Industrie	10,1
- Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	4,7
- Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	2,3
<b>Erträge, gesamt</b>	<b>17,1</b>
- davon entfallen auf Auslandsprojekte	1,9



## Betriebshaushaltentwicklung

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



# Kundenreferenzen



HEIDELBERG INSTRUMENTS

Heraeus



Stand Februar 2003  
Mit freundlicher Genehmigung der  
Kooperationspartner.

Die aufgelisteten Firmen sind ein  
repräsentativer Ausschnitt aus der  
umfangreichen Kundenliste des  
Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik.

# 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 neue Gebäude des CLT umfasst Räumlichkeiten mit einer Grundfläche von 1250 m<sup>2</sup>. Mit einem Gesamtwert von mehr als 9 Millionen US\$ weist das CLT die modernste und vielseitigste Ausstattung von Lasersystemen in Nordamerika auf.



Die verfolgten Ziele sind:

- Einbindung in wissenschaftliche und industrielle Entwicklungen in den USA
- Know-how Zuwachs durch schnelleres Erkennen von Trends im Bereich der Laser- und Fertigungstechnik
- Beschleunigte Nutzung von FuE- und Arbeitsmethoden, in denen die USA führend sind
- Know-how Zuwachs durch enge Kooperation mit der Wayne State University
- Stärkung der Position am FuE-Markt
- Steigerung der Industrieerträge aus den USA
- Steigerung der Motivation und der Qualifikation der Mitarbeiter

Die zentrale Philosophie von Fraunhofer USA ist der Aufbau eines deutsch-amerikanischen Joint-Ventures, bei dem Nehmen und Geben im Einklang zueinander stehen. Der Nutzen für beide Seiten ist eine essentielle Voraussetzung für die Zusammenarbeit. Die Fraunhofer-Gesellschaft wird stets auch Interessen der amerikanischen Seite berücksichtigen und versuchen, Beziehungen zu entwickeln, die sich wechselseitig verstärken. Als erster kommerzieller Partner des Centers

wurde »Visotek« im Januar 2001 gegründet. Geschäftszweck ist die rasche Kommerzialisierung von Fraunhofer Technologie und die gemeinsame Bearbeitung von Forschungsprojekten. Erste Prototypen von Schweißoptiken mit integrierter Prozesskontrolle und Strahlsteuerung wurden ausgeliefert. An fasergekoppelten Diodenlasern hoher Leistung wird intensiv geforscht.

Das Interesse der amerikanischen Partner konzentriert sich auf die:

- Nutzung von Kompetenzen der Fraunhofer-Institute für amerikanische Unternehmen
- Nutzung der Erfahrung bei der Einführung neuer Technologien
- Verbindungen zwischen Industrie und Hochschule
- Praxisnahe Ausbildung von Studenten, Diplomanden und Doktoranden

## Dienstleistungen

Das CLT Michigan bietet Dienstleistungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung an. Diese umfassen das gesamte Spektrum von Schulung und Machbarkeitsstudien über Prozessentwicklung bis hin zur Vorserienentwicklung und Systemintegration. Als unabhängige Einrichtung bietet es vor allem kleinen und mittelständischen Unternehmen die Möglichkeit, ihren Prozess mit Fraunhofer-Maschinen und -Personal zu entwickeln und zu testen. Auch komplette Anlagen können am CLT entwickelt und erprobt werden. Die Kunden kommen aus der Automobilindustrie, der Bauindustrie, dem Schiffbau und der Medizintechnik.

## Mitarbeiter

Am CLT sind deutsche sowie amerikanische Mitarbeiter tätig. Ziel ist es, die deutschen Mitarbeiter turnusmäßig auszutauschen, damit die gesammelten Erfahrungen in die Mutterinstitute einfließen können und weiteren Mitarbeitern in Deutschland die Möglichkeit geboten wird, sich durch einen USA-Aufenthalt weiter zu qualifizieren. Darüber hinaus fertigen Studenten aus Aachen in den USA ihre Diplomarbeit an.

## Ausstattung

Die derzeitige Ausstattung des CLT umfasst CO<sub>2</sub>-Laser im Leistungsbereich von 6 kW, pulsare Nd:YAG-Laser von 1 kW bis 4,4 kW, Diodenlaser von 300 W bis 4 kW, eine Vielzahl von Spezial- und Hybridoptiken sowie eine Reihe von 3-, 5- und 6-Achsen Anlagen.

»Laserspot«, eine vom CLT initiierte und organisierte Arbeitsgruppe unterstützt das CLT darin, state-of-the-art Lasersysteme einer breiten Gruppe von Laserherstellern zur Verfügung zu stellen. Die Kunden des CLT Michigan profitieren davon, dass das CLT nicht vertraglich an einen einzelnen Laserhersteller gebunden ist und somit das jeweils am besten geeignete System für eine spezielle Anwendung ermitteln kann.

## Kundenreferenzen

- Alcan
- Borg Warner
- Coherent Semiconductor Group
- DaimlerChrysler
- Dana Corporation
- Ford Motor Company
- General Motors
- JMC Technology Group
- Johnson Controls
- Kuka
- LASAG
- Nuvonyx
- Parker Hannifin
- Praxair Surface Technologies, Inc.
- PRC Lasers
- Rofin Sinar
- Soudronic
- Spectra Physics
- Trumpf
- Tailor Steel
- T&H Lemont
- Valeo
- Visteon

## Aufwendungen Betriebshaushalt 2002\*

	Mio. US\$
<b>Betriebshaushalt</b>	<b>3,1</b>
- Personalaufwendungen	1,05
- Sachaufwendungen	2,05

\*Nachkalkulation ist noch nicht erfolgt

## Ihr Ansprechpartner



Dr. Stefan Heinemann  
Direktor

46025 Port Street  
Plymouth  
Michigan 48170  
USA

Telefon: ++1 / 734 / 354 -6300  
Durchwahl: -210  
Fax: ++1 / 734 / 354 -3335  
E-Mail: sheinemann@clt.fraunhofer.com

[www.clt.fraunhofer.com](http://www.clt.fraunhofer.com)

# Coopération Laser Franco-Allemande CLFA

## Kurzportrait

In der CLFA in Paris kooperiert das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik seit 1997 erfolgreich mit führenden französischen Forschungseinrichtungen. In der von den französischen Partnern (u.a. CEA, CNRS und DGA) in Arcueil bei Paris bereitgestellten Infrastruktur arbeiten interdisziplinäre Expertenteams aus Deutschland und Frankreich gemeinsam am Transfer lasergestützter Fertigungsverfahren in die europäische Industrie.

Die verfolgten 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 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 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

## 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

Die Infrastruktur der CLFA in Arcueil umfasst auf einer Gesamtfläche von 3000 m<sup>2</sup> CO<sub>2</sub>-, Nd:YAG- und Excimerlaser verschiedener Leistungsklassen sowie entsprechende Handhabungssysteme. Diese sind komplementär zu denen des Fraunhofer ILT und werden von den Kunden aus allen Bereichen der französischen Industrie intensiv genutzt.

## Umsatz und Kundenspektrum

Der Umsatz der CLFA betrug im Geschäftsjahr 2001 rund 2 Mio Euro. Die Kunden der CLFA kommen aus allen Bereichen der französischen Wirtschaft: Automobilbau, Luft- und Raumfahrt, Off-shore-Industrie und Nukleartechnik sowie den relevanten Zulieferbranchen.

Die Einbindung der CLFA im Rahmen europaweiter Verbundprojekte wird ebenfalls erfolgreich betrieben.

## Ihr Ansprechpartner



**Dr. Wolfgang Knapp**  
Direktor

16 bis, avenue Prieur de la Côte d'Or  
94114 Arcueil Cedex  
Frankreich

Telefon: +33(0)1 / 4231 -9891  
Fax: +33(0)1 / 4231 -9747  
E-Mail: [wknapp@clfa.fr](mailto:wknapp@clfa.fr)

[www.clfa.fr](http://www.clfa.fr)

# Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

## Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung zum unmittelbaren Nutzen für Unternehmen und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Mit technologie- und systemorientierten Innovationen für ihre Kunden tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Dabei zielen sie auf eine wirtschaftliche, sozial gerechte und umweltverträgliche Entwicklung der Gesellschaft.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft eine Plattform zur fachlichen und persönlichen Qualifizierung für verantwortliche Positionen in ihren Instituten, in der Wirtschaft und in anderen Bereichen der Wissenschaft.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 57 Institute, an über 40 Standorten in ganz Deutschland. Rund 13 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von etwa einer Milliarde Euro. Davon fallen etwa 900 Millionen Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Für rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft Erträge aus

Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Ein Drittel wird von Bund und Ländern beigesteuert, um damit den Instituten die Möglichkeit zu geben, Problemlösungen vorzubereiten, die in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer. Von ihnen wird die bedarfsorientierte Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft mitgestaltet.

Ihren Namen verdankt die Gesellschaft dem als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreichen Münchner Gelehrten Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

## 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

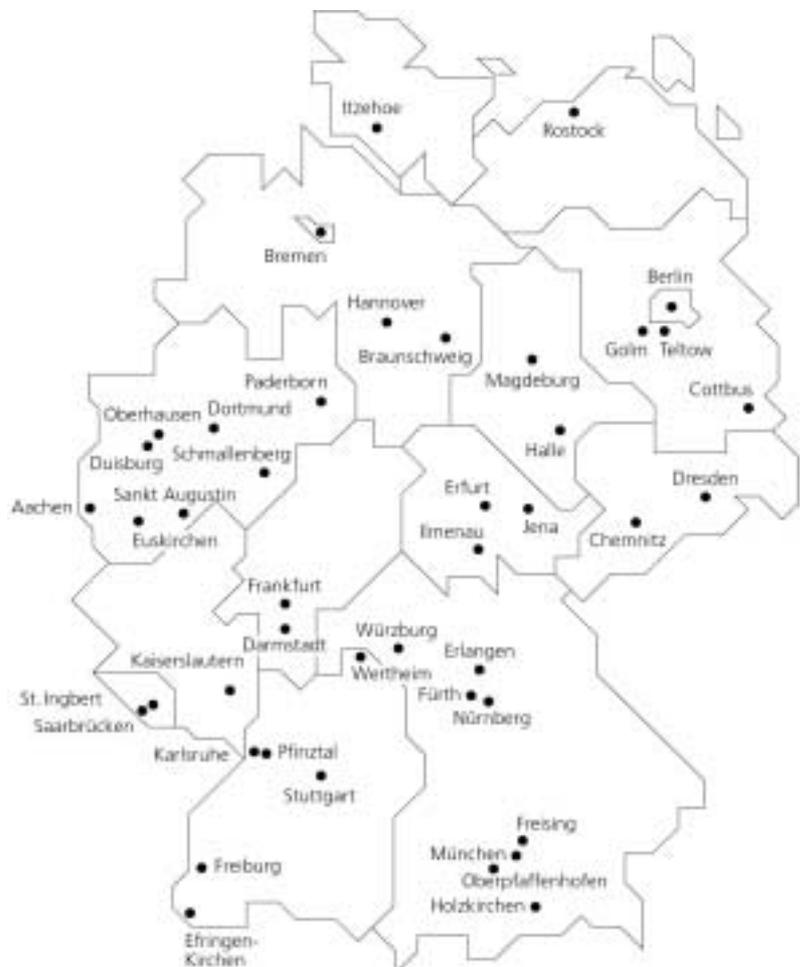
Die Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt Produkte und Verfahren bis zur Anwendungsreife. Dabei werden in direktem Kontakt mit dem Auftraggeber individuelle Lösungen erarbeitet. Je nach Bedarf arbeiten mehrere Fraunhofer-Institute zusammen, um auch komplexe Systemlösungen zu realisieren. Es werden folgende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

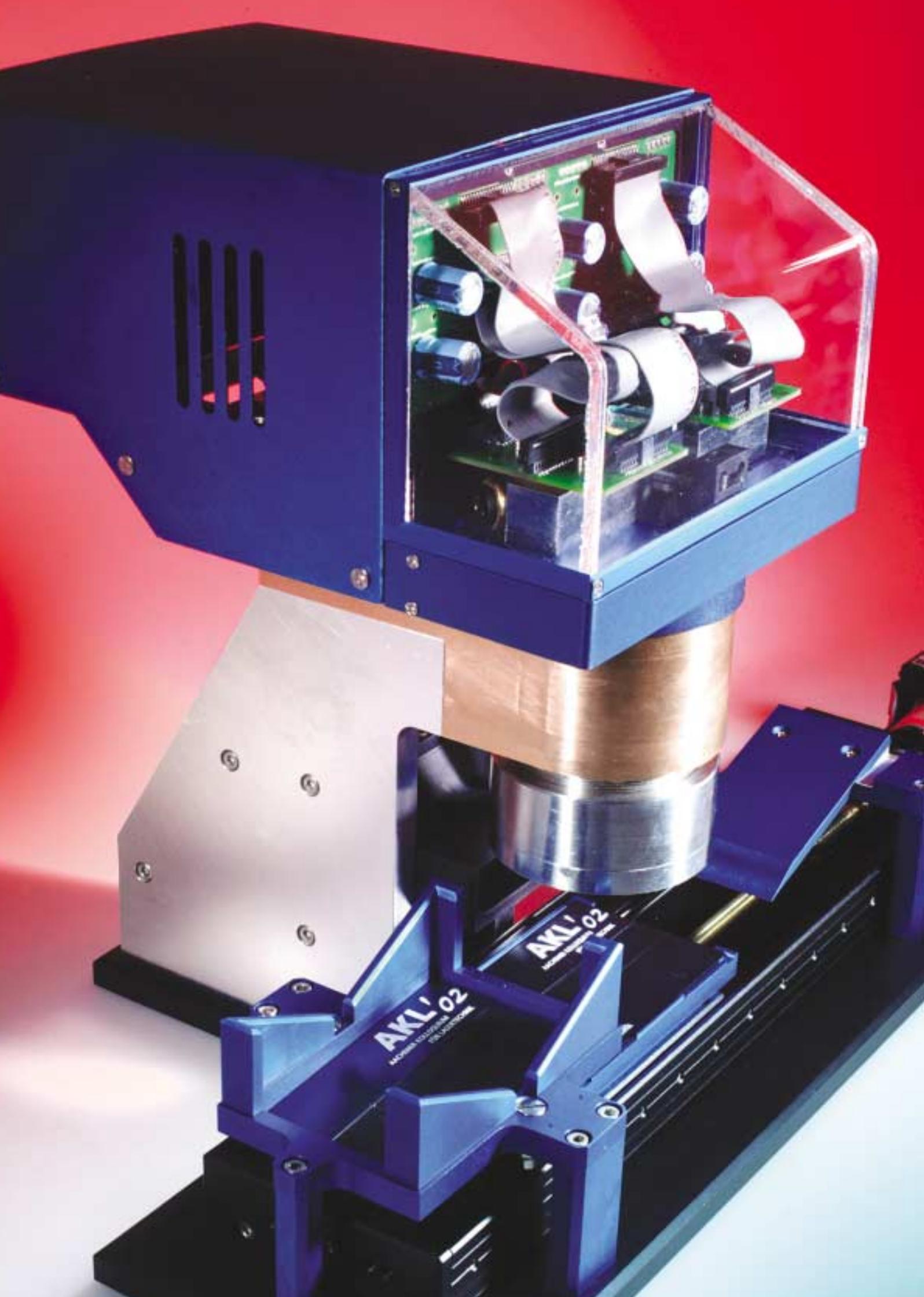
- Optimierung und Entwicklung von Produkten bis hin zur Herstellung von Prototypen
- Optimierung und Entwicklung von Technologien und Produktionsverfahren
- Unterstützung bei der Einführung neuer Technologien durch:
  - Erprobung in Demonstrationszentren mit modernster Geräteausstattung
  - Schulung 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 Vorteile der Vertragsforschung

Durch die Zusammenarbeit aller Institute stehen den Auftraggebern der Fraunhofer-Gesellschaft zahlreiche Experten mit einem breiten Kompetenzspektrum zur Verfügung. Gemeinsame Qualitätsstandards und das professionelle Projektmanagement der Fraunhofer-Institute sorgen für verlässliche Ergebnisse der Forschungsaufträge. Modernste Laborausstattungen machen die Fraunhofer-Gesellschaft für Unternehmen aller Größen und Branchen attraktiv. Neben der Zuverlässigkeit einer starken Gemeinschaft sprechen auch wirtschaftliche Vorteile für die Zusammenarbeit, denn die kostenintensive Vorlauforschung bringt die Fraunhofer-Gesellschaft bereits als Startkapital in die Partnerschaft ein.

## Die Standorte der Forschungseinrichtungen





# Geschäftsfeld Laserstrahlquellen und Plasmasysteme

Demonstrator für einzeladressierbare Hochleistungsdiodenlaser	28	Atmosphärendruckplasmen zur Entkeimung von Packstoffen	38
Kurzpulsnetzteil für Hochleistungs-Diodenlaser	29	Plasmareaktoren für den Schadstoffabbau in Gasen	39
Diodenlaser für Schneidanwendungen	30	XUV-Licht als Messwerkzeug für die Nanoanalytik	40
Diodenlaser zum Querteilen von Dünnscheiben	31	Particle In Cell Code zur Simulation von Hohlkathodenentladungen	41
Modularer Härtelaser	32		
Direkt diodengepumptes Femtosekunden-Lasersystem	33		
Breitbandig abstimmbarer Kurzpuls laser	34		
Kurzpuls-Hochleistungs- MOPA-Anordnung mit mittleren Leistungen im kW-Bereich	35		
Diodenendgepumpter Slablaser	36		
Kontinuierliche Plasmabehandlung bei Atmosphärendruck	37		

## 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.

Demonstrator für einzeladressierbare  
Hochleistungsdiodenlaser

# Demonstrator für einzeladressierbare Hochleistungsdiodenlaser

## Aufgabenstellung

Bei herkömmlichen Diodenlaserbarren sind alle Emittter parallel geschaltet. Wird die elektrische Kontaktierung hingegen für jeden Emittter einzeln vorgenommen, können sie unabhängig von den anderen angesteuert werden. Damit entsteht mit dem einzeladressierten Diodenlaserbarren eine räumlich und zeitlich modulierbare Strahlquelle. Für diesen speziellen Diodenlasertyp soll ein Demonstrationsgerät aufgebaut werden. Demonstriert werden soll die Leistungsfähigkeit von einzeladressierten Diodenlaserbarren kombiniert mit der Fähigkeit, komplexe Muster mit großer Geschwindigkeit generieren zu können.

## Vorgehensweise

Als Laserquelle wird ein Diodenlaserbarren mit 48 Emitttern ausgewählt. Um Leistungsschwankungen und eventuelle Totalausfälle einzelner Emittter ausgleichen zu können, werden zwei Diodenlaserbarren parallel betrieben und über ihre Polarisierung gekoppelt. Die beiden Diodenlaserbarren bilden eine Spalte der Beschriftung, so dass jeder Emittter in einer anderen Zeile steht. Die Pixelgröße beträgt etwa 100 µm im Durchmesser. Beschriftet wird eine lasergravierbare Kunststoffolie. Ein Streifen dieser Folie wird in

Aluminiumkarten im Visitenkartenformat integriert. Um die Zeilen der Beschriftung generieren zu können, wird die zu beschriftende Karte auf einer Linearachse relativ zu den Diodenlaserbarren verschoben. Eine Magazinierung der Karten und eine zusätzliche Entnahmehilfe ermöglichen eine zügige Beschriftung.

## Ergebnisse und Anwendungen

Das Gerät befindet sich im Aufbau. Bei Vorversuchen wurden kontrastreiche Beschriftungen mit einer Auflösung von etwa 200 dpi erzeugt.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. M. Roehner, Tel.: -195  
E-mail: roehner@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Ing. N. Bönig, Tel.: -173  
E-mail: boenig@ilt.fraunhofer.de  
Dr. K. Boucke, Tel.: -132  
E-mail: boucke@ilt.fraunhofer.de



# Kurzpulsnetzteil für Hochleistungs- Diodenlaser

## Aufgabenstellung

Die Bestimmung der Kurzpulswellenlänge von Hochleistungs-Diodenlasern ist von großer Bedeutung, um das thermische Verhalten konfektionierter Diodenlaser zu analysieren. Die Wellenlänge von Diodenlasern ist stark temperaturabhängig ( $> 0,2\text{nm/K}$ ), so dass über die Wellenlängenverschiebung die thermische Belastung des Diodenlasers ermittelt werden kann. Die Kurzpulswellenlänge dient hierbei als Referenzwellenlänge im thermisch unbelasteten Zustand. Um diese zu bestimmen, muss der Diodenlaser mit sehr kurzen Pulsen betrieben werden ( $< 1\ \mu\text{s}$ ). Hierzu muss eine Stromquelle entwickelt werden, die eine über 100 A Stromamplitude bei Pulslängen von maximal  $1\ \mu\text{s}$  erzeugen kann.

## Vorgehensweise

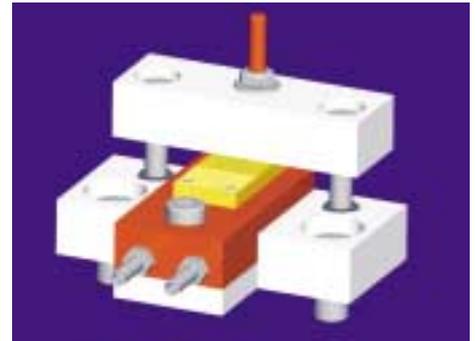
Um die Kosten gering zu halten, wird das Netzteil weitestgehend auf Basis kommerziell erhältlicher Komponenten realisiert. Ein Pulsgenerator erzeugt die gewünschten Pulse, die von einem Treibermodul in Hochstrompulse bis 120 A bei maximal 20 V umgesetzt werden. Das Treibermodul ist so ausgelegt, dass Pulse mit variabler Pulslänge von  $< 1\ \mu\text{s}$  bis cw (continuous wave) erzeugt werden können. Um kurze Anstiegs- und Abfallszeiten zu erreichen, muss die Selbstinduktion im Stromkreis minimiert werden. Hierzu ist der Diodenlaserhalter so ausgelegt, dass die stromführenden Komponenten möglichst in engem Abstand geführt werden, um die Induktivität zu verringern. Außerdem werden spezielle Flachbandkabel eingesetzt.

## Ergebnisse und Anwendungen

Messungen der Pulslänge mit dem entwickelten Diodenhalter und Flachbandkabeln zeigen, dass mit dem Netzteil Pulslängen von weniger als  $1\ \mu\text{s}$  bei Stromstärken von über 50 A realisiert werden können. Auch bei Diodenlaserstacks bestehend aus sieben in Serie geschalteten Diodenlasern erreicht das Netzteil Anstiegszeiten von weniger als  $1\ \mu\text{s}$  bei 100 A Stromamplitude. Das Netzteil wird zur Charakterisierung von Diodenlasern im Pulsbetrieb und zur Bestimmung der Kurzpulswellenlänge eingesetzt.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. C. Scholz, Tel.: -423  
E-mail: [scholz@ilt.fraunhofer.de](mailto:scholz@ilt.fraunhofer.de)  
Dr. K. Boucke, Tel.: -132  
E-mail: [boucke@ilt.fraunhofer.de](mailto:boucke@ilt.fraunhofer.de)



# Diodenlaser für Schneidanwendungen

## Aufgabenstellung

Im Rahmen des BMBF-Leitprojektes »Modulare Diodenlaser Strahlwerkzeuge MDS« werden Lasergeräte, die die spezifischen Eigenschaften und Vorteile des Diodenlasers nutzen, entwickelt und erprobt. Für Schneidanwendungen bis zu 1 mm Blechdicke soll ein kompaktes Diodenlasergerät hoher Strahldichte realisiert werden.

## Vorgehensweise

Um die erforderliche Strahldichte für Schneidanwendungen zu erzielen, werden sechs linear polarisierte Diodenlaserbarren mit drei unterschiedlichen Wellenlängen spektral überlagert. Die Wellenlängen- und Polarisationskopplung wird mit einem verkitteten Bauteil bestehend aus dielektrischen Kantenfiltern, einer  $\lambda/4$ -Platte und einem Polarisationsstrahlteiler realisiert. Im Anschluss wird das linienförmige Strahlungsfeld der sechs überlagerten Diodenlaserbarren mit einem Treppenspiegel-paar geometrisch so umgeordnet, dass sich ein symmetrisches Strahlprofil ergibt. Mit einer zylindrischen Optik wird der Strahl dann auf das Werkstück fokussiert.

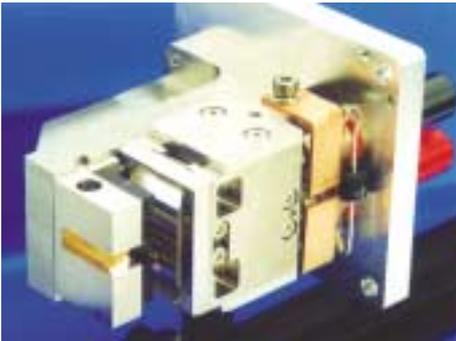
## Ergebnisse und Anwendungen

Die maximale Strahlleistung am Werkstück beträgt etwa 155 W bei einem Betriebsstrom von 55 A. Mit dem dabei erzielten Strahlparameterprodukt von etwa 22 mm mrad ergibt sich eine Strahldichte von  $2 \times 10^6 \text{ W cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ .

Mit einer Laserleistung von 125 W und einem Fokusbereich von 0,3 mm sind gratfreie Laserschnitte an Blechdicken bis 0,8 mm bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 5 m/min demonstriert worden.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. A. Knitsch, Tel.: -414  
E-mail: knitsch@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206  
E-mail: d\_hoffmann@ilt.fraunhofer.de



# Diodenlaser zum Querteilen von Dünoblechen

## Aufgabenstellung

Im Rahmen des Ministerleitprojektes »Modulare Diodenlaser Strahlwerkzeuge MDS« wurde ein Diodenlasersystem zum Querteilen von maximal 40 mm breiten Blechen aufgebaut. Die Homogenität und die Linearität der Intensitätsverteilung im Bearbeitungsfokus ist von besonderer Bedeutung für die Qualität der Schnitte.

## Vorgehensweise

Der Systemaufbau basiert auf 4 Diodenlaserstacks mit je 6 Diodenlasern. Die Strahlung wird in Slow-Axis durch einen Wellenleiter homogenisiert. Über eine spezielle Optik wird die Slow-Axis in die Bearbeitungszone abgebildet. Die Linienbreite soll 40 mm betragen. Die Fast-Axis wird mit einer Brennweite von 30 mm auf eine Linie von 0,2 mm fokussiert.

## Ergebnisse und Anwendungen

Die Forderung nach Homogenität und Linearität der Linie wird erreicht. Die Linienabmessung beträgt 40 x 0,2 mm. Die Flankensteilheit ist < 5% der Linienbreite, und die Homogenität > 90%.

Die Koppeffizienz durch das optische System beträgt 78%. Die Laserleistung im Bearbeitungsfokus erreicht 680 W.

Das modular aufgebaute optische Konzept erlaubt eine einfache, auf den Anwendungsfall hin optimierte Skalierung des Intensitätsprofils.

Das Lasergerät wird für die Schneidapplikation in eine entsprechende Bearbeitungsanlage integriert. Erste Schneid-Experimente zeigen die Funktionalität des Systems und die Realisierbarkeit des Prozesses.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. H.-D. Plum, Tel.: -216

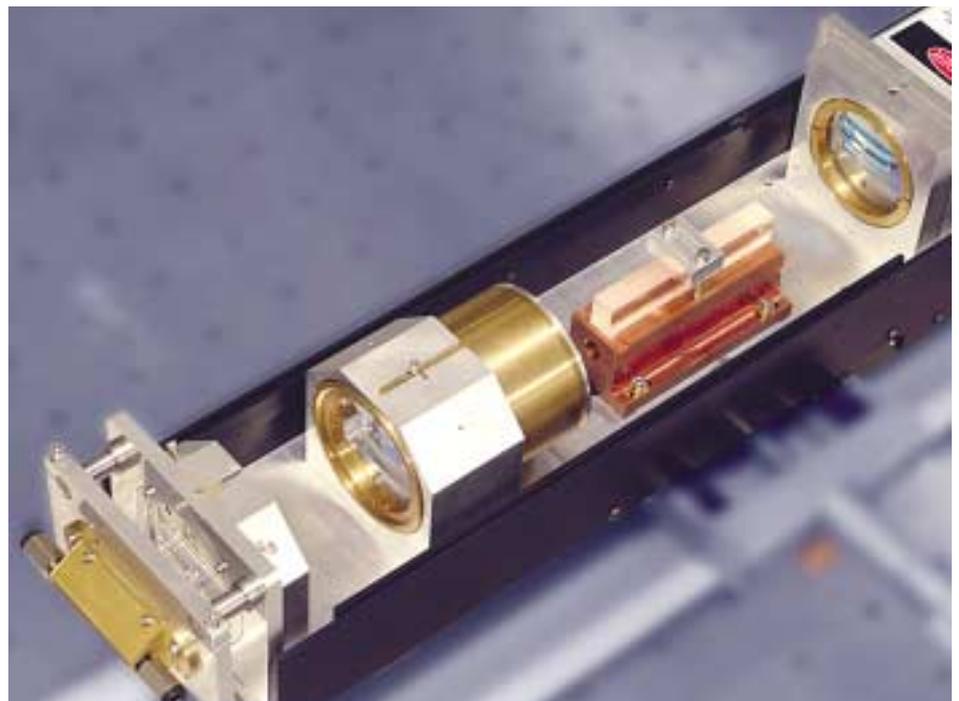
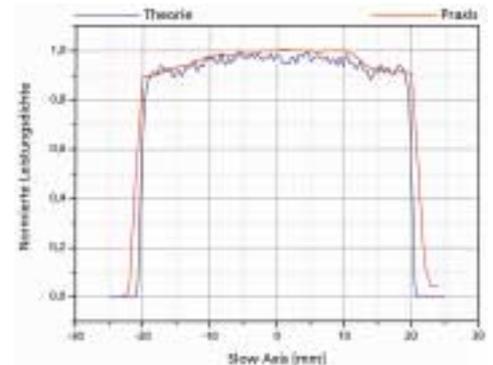
E-mail: plum@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206

E-mail: d\_hoffmann@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. M. Traub, Tel.: -342

E-mail: traub@ilt.fraunhofer.de



## Aufgabenstellung

Im Rahmen des Ministerleitprojektes »Modulare Diodenlaser Strahlwerkzeuge MDS« wurden fünf Diodenlasermodule zum Härten von metallischen Oberflächen aufgebaut. Die Forderung nach Homogenität der Intensitätsverteilung im Bearbeitungsfokus und deren Gleichheit bei allen Modulen stellt besondere Anforderungen an das optische System.

## Vorgehensweise

Die optischen Elemente der Diodenlaser-Strahlformung und die Anbindung eines Pyrometers sind in einem industrietauglichen Gehäuse integriert. Die Strahlung des Diodenlaser-Stacks wird in Richtung der Slow-Axis homogenisiert. Durch den Aufbau und Test eines Prototypen konnte die Auslegung des optischen Systems mittels 3D-Raytracing optimiert werden. Weitere vier identisch aufgebaute Module wurden nach Abnahme des Prototypen gefertigt.

## Ergebnisse und Anwendungen

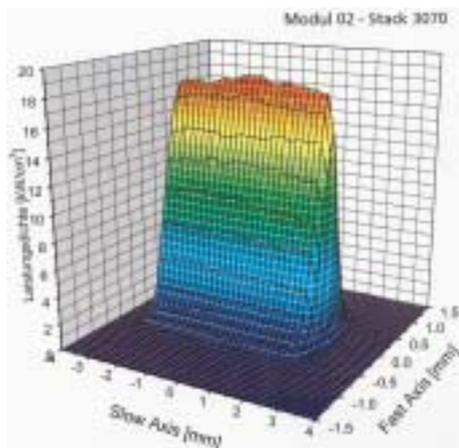
Die Forderung nach Homogenität und Gleichheit der Strahlverteilung im Fokus wird bei allen fünf Modulen erreicht. Mit einer Effizienz größer als 80 % der Gesamtoptik wird eine Laserleistung über 450 W am Werkstück erzielt. Die Strahlabmessung ist kleiner als 5 mm x 0,8 mm, und die Leistungsdichte beträgt ca. 20 kW/cm<sup>2</sup>. Die Flankensteilheit (< 5 % der Linienbreite) und die Homogenität (> 90 %) des Slow-Axis-Intensitätsprofils erfüllen höchste Anforderungen. Erste Versuche zum Härten von Stahl wurden bereits erfolgreich durchgeführt.

Die hohe Leistungsdichte und die einfache Anpassung des optischen Systems an die Verfahrensparameter sowie die rechteckförmige Intensitätsverteilung erlauben den Einsatz des Systems bei einer Vielzahl weiterer Anwendungen in der Materialbearbeitung wie beispielsweise Kunststoffschweißen und Schneidapplikationen.

Die Anpassung des Strahlquerschnittes auf die von der jeweiligen Anwendung geforderten Abmaße wird durch die modulare Optik ermöglicht.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. H.-D. Plum, Tel.: -216  
E-mail: plum@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206  
E-mail: d\_hoffmann@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Ing. M. Traub, Tel.: -342  
E-mail: traub@ilt.fraunhofer.de



# Direkt diodengepumptes Femtosekunden-Lasersystem

## Aufgabenstellung

Zur Erzeugung von Röntgenstrahlung mit Hilfe von Lasern oder zur hochpräzisen Bearbeitung, beispielsweise von biologischem Material, werden ultrakurze Pulse im Femtosekundenbereich benötigt. Die erforderlichen Pulsenergien  $> 10 \mu\text{J}$  können nur durch Oszillator-Verstärker Anordnungen erreicht werden. Kommerziell erhältliche Ti:Saphir Oszillator-Verstärker-Systeme in Chirped Pulse Amplification Bauweise (CPA) sind vor allem wegen des justageanfälligen Stretchers und des aufwendigen gütegeschalteten und frequenzverdoppelten Pumpasers komplex und teuer. Dies verhindert den Einsatz in kommerziellen Anwendungen.

## Vorgehensweise

Die Verwendung von Colquiriit-Kristallen als Lasermedium ermöglicht den Einsatz von effizienten, kompakten Diodenlasern als Pumpquelle. Dies vereinfacht den apparativen Aufwand erheblich. Eine Pumpquelle aus strahlgeformten, thermo-elektrisch gekühlten roten Diodenlaserbarren ( $\lambda = 685 \text{ nm}$ ) wurde entwickelt und getestet. Damit werden zwei thermo-elektrisch gekühlte Laserkristalle im Resonator eines regenerativen Verstärkers von beiden Seiten longitudinal gepumpt. Heute erhältliche Chirped Pulse Amplification-Systeme benötigen einen Aufbau bestehend aus einem Puls Stretcher vor der Verstärkung und einem Puls Kompressor dahinter. Durch den Verzicht eines Puls Stretchers im regenerativen Verstärker des Fraunhofer ILT konnte eine besonders einfache und justageunempfindliche Kompensation der Dispersion erreicht werden. Die Pulse werden durch

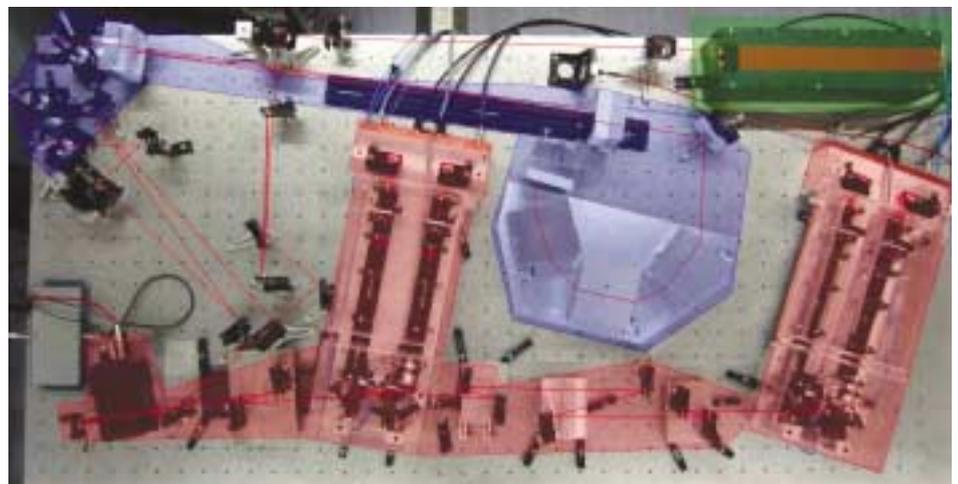
die Dispersion der Resonatorelemente ausreichend gedehnt, um die Resonatortoptiken nicht zu zerstören, und mit einer Kombination aus einem Prismenkompressor und gechirpten Spiegeln auf  $< 100 \text{ fs}$  gestaucht.

## Ergebnisse und Anwendungen

Das System liefert bei einer Repetitionsrate von 2,5 kHz Pulse mit Pulslängen von 75 fs bei Pulsenergien von 115  $\mu\text{J}$ . Dies ist derzeit die höchste Pulsenergie aus einem direkt diodengepumpten Verstärkersystem und die kürzeste Pulsdauer aus einem Colquiriit- CPA-System. Die Leistungsaufnahme des Gesamtsystems inklusive Kühlung beträgt nur ca. 400 W. Das System wurde erfolgreich zur Mikrostrukturierung von Ohrenknochen eingesetzt.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. T. Mans, Tel.: -303  
E-mail: mans@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Phys. P. Rußbüldt, Tel.: -303  
E-mail: rusbueldt@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206  
E-mail: d\_hoffmann@ilt.fraunhofer.de



# Breitbandig abstimmbarer Kurzpulslaser

## Aufgabenstellung

Die resonante Laser Sekundär Neutralteilchen Massenspektroskopie (Laser-SNMS) stellt das empfindlichste Messverfahren zur orts aufgelösten Stoffanalyse von Oberflächen dar. Zu diesem Zweck werden Laserquellen benötigt, deren Wellenlänge über einen weiten Spektralbereich frei einstellbar ist (190 - 1000 nm). Das Verfahren erfordert Pulsenergien im Millijoule-Bereich, Pulsdauern um 10 ns und Linienbreiten von weniger als 10 GHz. Für den kommerziellen Einsatz im High-Throughput-Screening müssen die bisher in Forschungseinrichtungen verwendeten Farbstofflaser durch hochrepetitierende, kompakte und wartungsarme Festkörperlasersysteme ersetzt werden.

## Vorgehensweise

Die benötigte schmalbandige Laserline kann im geforderten Wellenlängenbereich durch Frequenzkonversion eines breitbandig abstimmbaren Ti:Saphir-Lasers erzeugt werden.

Da das Absorptionsband dieses Lasermediums im blauen und grünen Bereich des sichtbaren Spektrums liegt und seine Speicherzeit gleichzeitig gering ist ( $3,2 \mu\text{s}$ ), wird zum Pumpen ein gütegeschalteter und frequenzverdoppelter Nd:YAG-Laser eingesetzt. Die Wellenlängenselektion erfolgt mittels Prismen im Laserresonator. Für die Einengung der Laserlinienbreite werden dielektrisch beschichtete Etalons verwendet.

## Ergebnisse und Anwendungen

Als erster Meilenstein wurde ein Ti:Saphir-Laser entwickelt, der zwischen 675 nm und 1030 nm abstimmbar ist. Bei einer Pumpleistung von 10 W und einer Pulsfolgefrequenz von 1 kHz liefert der Laser Pulsenergien zwischen 0,8 mJ und 2,8 mJ. Die Pulsdauer liegt in weiten Wellenlängenbereichen unter 10 ns und beträgt an den Rändern des Abstimmbereichs ca. 60 ns. Die Strahlqualität ist besser als  $M^2 = 1,5$ . Als nächster Entwicklungsschritt folgt die Erschließung des noch fehlenden Wellenlängenbereichs durch nichtlineare Frequenzkonversion des Ti:Saphir-Lasers.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. B. Jungbluth, Tel.: -414  
E-mail: jungbluth@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206  
E-mail: d\_hoffmann@ilt.fraunhofer.de



# Kurzpuls-Hochleistungs-MOPA-Anordnung mit mittleren Leistungen im kW-Bereich

## Aufgabenstellung

Die fortschreitende Erhöhung der Packungsdichte von lithographisch erzeugten Strukturen in Mikrochips erfordert neuartige Methoden im Bereich der Lithographie-Strahlungsquellen. Für die laserbasierte EUV-Lithographie mit einer Wellenlänge von  $\lambda = 13,4$  Nanometern müssen Hochleistungs-Lasersysteme mit Pulsleistungen im MW-Bereich, mittleren Leistungen im kW-Bereich und hoher Strahlqualität entwickelt werden.

Im Auftrag von Xtreme technologies wird ein Nd:YAG Oszillator-Verstärkersystem mit Pulsdauern unter 10 Nanosekunden, Repetitionsraten von mehreren Kilohertz und einer mittleren Leistung im Kilowatt-Bereich bei einer Beugungsmaßzahl von  $M^2 < 10$  entwickelt.

## Vorgehensweise

Das Verstärkersystem basiert auf kommerziellen diodengepumpten Nd:YAG Lasermodulen, die in Zusammenarbeit mit der Firma Rofin Sinar in den letzten Jahren für den Einsatz in Hochleistungsw-Lasern entwickelt wurden. Die Module werden kontinuierlich transversal gepumpt.

Um die geforderte hohe Strahlqualität zu erreichen, wird eine geeignete Optik zur Kompensation der strahlqualitätsverschlechternden Effekte entwickelt. Diese treten bei Nd:YAG-Stäben auf, die mit hoher mittlerer Leistung betrieben werden.

## Ergebnisse und Anwendungen

Bisher wurde die Oszillator-Verstärker-Anordnung mit bis zu 10 Kilohertz bei einer Pulslänge zwischen 7 und 37 Nanosekunden betrieben.

Ein System auf Basis eines Industrielasers bestehend aus vier Lasermodulen wurde entwickelt und aufgebaut. Das System erreicht bei 10 Kilohertz eine mittlere Ausgangsleistung von 400 Watt.

Bei vollem Ausbau einer optimierten Anordnung auf acht Lasermodule wird bei einer Repetitionsrate von 20 Kilohertz eine mittlere Leistung von 2 Kilowatt erwartet.

Neben der EUV-Lithographie ist das System interessant in der Hochgeschwindigkeits-Materialbearbeitung wie beispielsweise zum Perkussionsbohren, zur Oberflächen-Strukturierung oder zur Pulsed Laser Deposition.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206  
E-mail: d\_hoffmann@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Phys. K. Nicklaus, Tel.: -224  
E-mail: nicklaus@ilt.fraunhofer.de



Prototyp der MOPA-Anordnung mit angeschlossener EUV-Plasma-Kammer (Foto: Xtreme technologies)

# Diodenendgepumpter Slablaser

## Aufgabenstellung

Laserdioden sind als Pumplichtquelle für Festkörperlaser wegen ihrer spektralen Eigenschaften und ihrer Formbarkeit besser geeignet als Blitzlampen. Industriell verfügbar sind diodengepumpte Slablaser mit Ausgangsleistungen von einigen Watt bei sehr guter Strahlqualität und mit Ausgangsleistungen von einigen Kilowatt, bei denen der Laserstrahl in eine Lichtleitfaser mit einem Kerndurchmesser von einigen 100  $\mu\text{m}$  eingekoppelt wird. Die Leistungs-Skalierbarkeit von Slablaser unter Beibehaltung der guten Strahlqualität ist durch die Belastbarkeit des Laserkristalls begrenzt.

Ziele der Untersuchungen zum diodenendgepumpten Slablaser sind die Steigerung der Ausgangsleistung in den 100 W Bereich bei einer Strahlqualität von  $M^2 < 2$  für Beschriftungsanwendungen und zu einer Ausgangsleistung von 1000 W mit Strahlqualität von  $M^2 < 10$  für Präzisionsbearbeitungen.

## Vorgehensweise

Bei dem im Bild gezeigten Slablaserkonzept wird ein quaderförmiger Laserkristall mit einem Diodenlaserstack endgepumpt. Die Eigenschaften der Diodenlaserstrahlung ermöglichen die Fokussierung zu einer homogenen Linie mit einem hohen Aspektverhältnis.

Der so gepumpte Kristall besitzt ein verstärkendes Volumen mit rechteckförmigem Querschnitt, das mittels eines stabil/instabilen Hybridresonators effizient bei hoher Strahlqualität ausgenutzt wird. Nachteilig bei Direktanwendungen wirken sich in der instabilen Richtung des Laserstrahls entstehende Maxima im Fokus aus. Zur Reduktion des Leistungsinhaltes der Nebenmaxima wurden Auskoppelspiegel mit örtlich variabler Reflektivität verwendet. Der Verlauf des Reflexionsprofils wurde mit Hilfe eines Resonatormodellierungsprogramms optimiert.

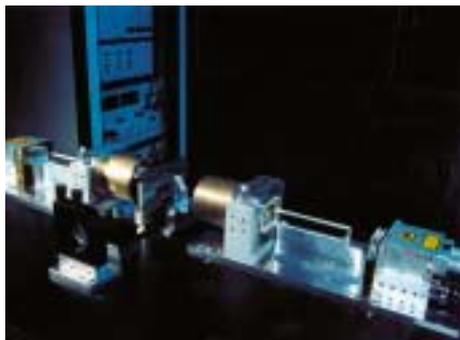
## Ergebnisse und Anwendungen

Ein gütegeschalteter Laser wurde mit einem Stack aus 6 Diodenlasern gepumpt und eine Ausgangsleistung von 80 W bei einer Strahlqualität  $M^2 < 1,5$  erreicht. Bei 1 kHz Repetitionsrate betrug die Pulsenergie 6 mJ und die Pulslänge 15 ns.

Im cw-Betrieb wurden 982 W Ausgangsleistung bei einer Strahlqualität von  $M^2 < 7$  über den vollen Leistungsbereich erreicht.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. C. Schnitzler, Tel.: -128  
E-mail: schnitzler@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206  
E-mail: d\_hoffmann@ilt.fraunhofer.de



# Kontinuierliche Plasmabehandlung bei Atmosphärendruck

## Aufgabenstellung

Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines On-line-Plasma-Prozesses bei Atmosphärendruck für die Behandlung von verschiedenen Substratoberflächen (Papier, Fasern, Plastik, Textilien) mit Geschwindigkeiten von 600 m/min und Bahnbreiten bis zu zwei Metern. Es soll damit möglich sein, verbesserte Produkte (in Bezug auf Adhesion, Benetzbarkeit, Bedruckbarkeit) herzustellen. In den industriellen Prozessen wird ein geringerer Energieverbrauch sowie eine umweltfreundlichere Produktion angestrebt.

## Vorgehensweise

Der Projektverbund ist aus elf Partnern aus sechs europäischen Nationen zusammengesetzt. Beteiligt sind sechs Forschungsinstitutionen (mit den Arbeitsgebieten Plasma, Papier, Komposit-Fasern) sowie fünf Industriepartner (Anlagenbau, Papierherstellung, Textilindustrie und Glasfasern).

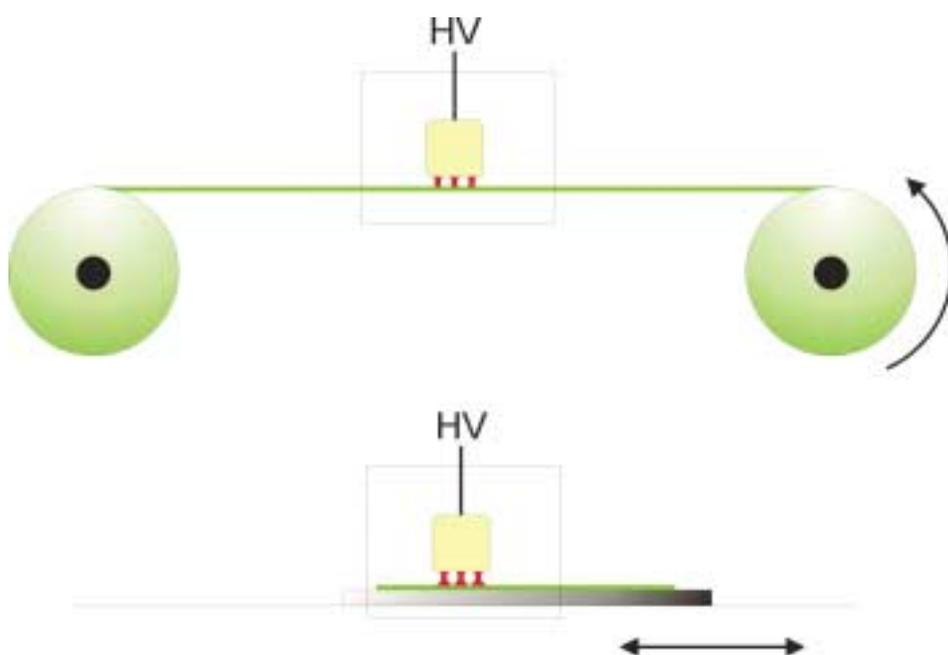
## Ergebnisse und Anwendungen

Mögliche Anwendungsgebiete finden sich überall dort, wo plasmachemische Oberflächenmodifikationen bei schnellen Bahngeschwindigkeiten erreicht werden sollen.

Das Projekt wird zur Zeit von der Europäischen Gemeinschaft unter dem Kennzeichen »G1RD-CT-2002-00747« gefördert.

## Ansprechpartner

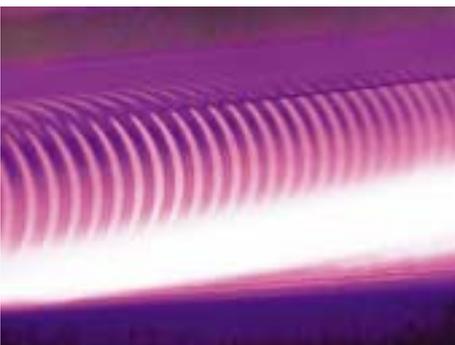
Dipl.-Phys. M. Heise, Tel.: -137  
E-mail: heise@ilt.fraunhofer.de  
Dr. W. Neff, Tel.: -142  
E-mail: neff@ilt.fraunhofer.de



# Atmosphärendruck- plasmen zur Entkeimung von Packstoffen

## Aufgabenstellung

Bei der Verpackung von Lebensmitteln oder medizinischen Produkten werden höchste Ansprüche an die Keimfreiheit der verwendeten Packstoffe - meist Kunststoff-Folien, z. B. aus PET, PE oder PP - gestellt. In Bereichen, wo eine aseptische Verpackung notwendig ist, werden derzeit auf Wasserstoffperoxid oder Heißdampf basierende Verfahren eingesetzt. Diese bringen aber in Bezug auf Umweltverträglichkeit und betrieblicher Handhabung Nachteile mit sich. Ziel ist es, umweltverträgliche, effiziente Verfahren zu entwickeln und diese industriell einzusetzen.



Atmosphärendruckplasma erzeugt durch eine Barrierenentladung

## Vorgehensweise

Plasmen bei Atmosphärendruck, wie sie in einer Barrierenentladung erzeugt werden, können zur Entkeimung von Packstoffen verwendet werden. Ausgenutzt wird dabei, dass von solchen Plasmen UV-Strahlung emittiert wird, die eine keimabtötende Wirkung hat. Zusätzlich können oxidierende Radikale produziert werden, die ebenfalls eine entkeimende Wirkung haben. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV werden mit Sporen beimpfte Proben (*Bacillus subtilis* bzw. *Aspergillus niger* auf PET) in unterschiedlichen Entladungsaufbauten am Fraunhofer ILT behandelt und anschließend die Anzahl der überlebenden Keime ausgezählt (Count-Reduction-Methode).

## Ergebnisse und Anwendungen

Im Rahmen des Projekts wurde zunächst die prinzipielle Entkeimungswirkung von Plasmen demonstriert. Es wurde gezeigt, dass in einer Barrierenentladung keine wesentlichen Einbußen bei der Entkeimungseffizienz auftreten, wenn der Packstoff mit einer Durchfahrge-  
schwindigkeit bis 30 m/min durch die Entladung bewegt wird. Durch die Entwicklung neuer Entladungsanordnungen konnte die Entkeimungseffizienz deutlich gesteigert werden. Eine Keimreduktion um fünf Größenordnungen ( $\log KR = 5$ ) ist mit der sogenannten kaskadierten Entladung innerhalb weniger Sekunden möglich. Es wurde ein kompakter Reaktor aufgebaut, der nach diesem Prinzip arbeitet und an dem nach einer Weiterentwicklung End-Point-Tests in einer sterilen Umgebung durchgeführt werden können.

Die Arbeiten wurden durch das BMBF unter der Kontraktnummer »13N7602« gefördert.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. M. Heise, Tel.: -137  
E-mail: heise@ilt.fraunhofer.de  
Dr. W. Neff, Tel.: -142  
E-mail: neff@ilt.fraunhofer.de

# Plasmareaktoren für den Schadstoffabbau in Gasen

## Aufgabenstellung

In vielen Bereichen des täglichen Lebens findet man Schadstoffe in der Luft, deren Konzentrationen strengen Grenzwerten unterliegen. So beispielsweise die Abgasemission aus Kraftfahrzeugen oder der Industrie, die häufig auch mit sogenannten VOCs (Volatile Organic Compounds) belastet sind. Bisherige Reinigungstechniken sind oftmals aufwändig in der Installation und der Wartung. Atmosphärendruckplasma wie beispielsweise die Barrierenentladung bieten dazu eine wartungsarme, einfach zu installierende Alternative.

## Vorgehensweise

Die Barrierenentladung (auch dielektrisch behinderte Entladung bzw. Dielectric Barrier Discharge genannt) ist bei Umgebungsdruck die geeignetste Methode zur Erzeugung eines nichtthermischen Plasmas.

In Barrierenentladungen werden bei Atmosphärendruck und nur leicht erhöhter Umgebungstemperatur oxidative und reduktive Radikale (Molekülbruchstücke) durch Stöße von hochenergetischen Elektronen mit Gasmolekülen erzeugt. Die anschließende Radikalchemie baut Schadstoffe im Abgas ab und beeinflusst die Wechselwirkung des Abgases mit unmittelbar nachgeschalteten Katalysatoren.

Der Einfluss von Plasmaeigenschaften, Additiven und Katalysatoren ist dabei für den Schadstoffabbau von entscheidender Bedeutung. Mit Hilfe einer umfangreichen Gasanalyse werden Reaktionsmechanismen aufgestellt, die es erlauben, für jede Anwendung einen geeigneten Plasmaprozess zu konzipieren.

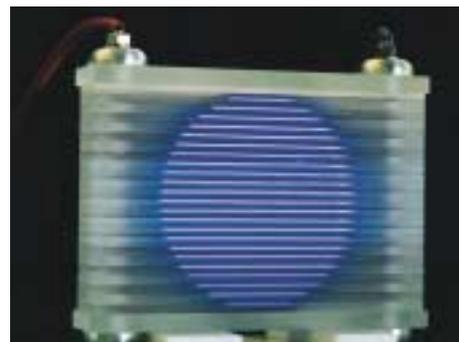
## Ergebnisse und Anwendungen

Während wir in der Vergangenheit die Plasmareaktoren aus Quarzglas aufgebaut haben, ist es nun gelungen, Reaktoren auf Keramikbasis zu realisieren, ein erster Schritt in Richtung kostengünstiger Serienfertigung. Durch eine weitere Verringerung der Baugröße ist nun eine Implementierung, beispielsweise in den Abgasstrang im Motorraum eines Kraftfahrzeuges, möglich. Die Kombination mit Katalysatoren und Additiven kann die Effizienz eines Verfahrens weiter steigern.

Zur Bewertung der Einsatzmöglichkeit des Plasmaverfahrens sind Machbarkeitsstudien im Hause möglich. Auf Wunsch kann eine kundenspezifische Reaktorauslegung sowie eine verfahrenstechnische Begleitung der Versuche erfolgen. Darüber hinaus können eine elektrische Ansteuerung, elektrische Messtechnik sowie PC-Steuerung für das Gesamtsystem geliefert werden.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. O. Franken, Tel.: -415  
E-mail: franken@ilt.fraunhofer.de  
Dr. W. Neff, Tel.: -142  
E-mail: neff@ilt.fraunhofer.de



Plasmareaktor aus Quarzglas

# XUV-Licht als Messwerkzeug für die Nanoanalytik

## Aufgabenstellung

Licht im Spektralbereich extrem ultravioletter Strahlung (XUV) zeichnet sich durch besondere Eigenschaften aus. Große Wirkungsquerschnitte bei der Wechselwirkung mit Materie und kurze Wellenlängen von ca. 1 bis 50 nm ermöglichen Analysen mit Eindringtiefen von Nanometern bis Mikrometern mit einer Ortsauflösung weit jenseits der Lichtmikroskopie.

Ein industrieller Einsatz von XUV-Licht war bisher mangels geeigneter kompakter Lichtquellen und leistungsfähiger, abbildender optischer Elemente noch nicht möglich. Mittlerweile ist jedoch von der Firma AIXUV GmbH die am Fraunhofer ILT entwickelte gasentladungsbasierte EUV-Quelle für Strahlung mit 10 - 20 nm Wellenlänge kommerziell erhältlich. Außerdem sind sowohl am Fraunhofer IWS als auch am Fraunhofer IOF die Beschichtungsverfahren so weit entwickelt, dass mittels präziser Multischichtsysteme hochreflektierende Spiegeloptiken hergestellt werden können. Die drei Institute haben es sich daher zur Aufgabe gemacht, gemeinsam am Beispiel verschiedener Demonstratoren die einzelnen Komponenten zu entwickeln und zusammenzuführen.



## Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wird derzeit ein Aufbau untersucht, mit dem spektral aufgelöst transmittiertes oder reflektiertes Licht von definierten Proben gemessen wird. Damit sollen z. B. Schichtdicken, Materialstruktur und die chemische Zusammensetzung der Proben bestimmt werden. In dem Aufbau werden mittels eines Kollektors gleiche Strahlenbündel aus dem Emissionsgebiet der EUV-Quelle ausgekoppelt, von denen einer mit der Probe wechselwirkt und einer als Referenzsignal dient. Um Ortsauflösungen im Submikrometer-Bereich zu erzielen, werden am IOF und am IWS geeignete Schwarzschild-Objektive entwickelt.

## Ergebnisse und Anwendungen

Mögliche Anwendungsfelder sind im Umfeld der EUV-Lithographie die Optik-, Masken- und Photolackcharakterisierung, bei der Halbleiterproduktion die Messung von niedrig-Z-Kontaminationen und Schichtdicken, in der Analytik die Messung von Rauigkeiten oder der chemischen Zusammensetzung oberflächennaher Schichten sowie in den Life-Sciences die Mikroskopie lebender Zellen.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. K. Walter, Tel.: -313  
E-mail: walter@ilt.fraunhofer.de  
Dr. W. Neff, Tel.: -142  
E-mail: neff@ilt.fraunhofer.de

# Particle In Cell Code zur Simulation von Hohlkathodenentladungen

## Aufgabenstellung

Prozessoren und Speicherchips verdoppeln ihre Leistungsfähigkeit im 1 - 2 Jahrestakt. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist die fortschreitende Verkleinerung der Strukturgrößen der Chips. Für einen der nächsten Schritte bei der Reduzierung der Strukturgrößen werden leistungsfähige Lichtquellen im EUV-Bereich (Extreme Ultraviolett) mit einer Wellenlänge von 13,5 nm benötigt. Eine aussichtsreiche Möglichkeit der Strahlungserzeugung bilden Hohlkathodenentladungen. Zur Optimierung dieser Quellen ist unter anderem ein gutes Verständnis der Zündphase der Entladung notwendig. Neben experimentellen Untersuchungen stellen hierzu numerische Modellrechnungen ein unverzichtbares Hilfsmittel dar.

## Vorgehensweise

Aufgrund der geringen Gasdrücke werden dabei sogenannte Particle-Codes verwendet. Dabei wird die Bewegung der Ladungsträger im elektrischen Feld durch numerische Integration der Bewegungsgleichungen berechnet. Das elektrische Feld wird selbstkonsistent aus den Ladungsträgerdichten und den Randbedingungen auf einem Gitter bestimmt. Die Gitterpunkte bilden Zellen, daher auch der Name Particle In Cell-Verfahren. Die Stöße der Elektronen und Ionen mit Neutralgasatomen werden mit Hilfe von Pseudozufallszahlen in den Simulationsrechnungen berücksichtigt.

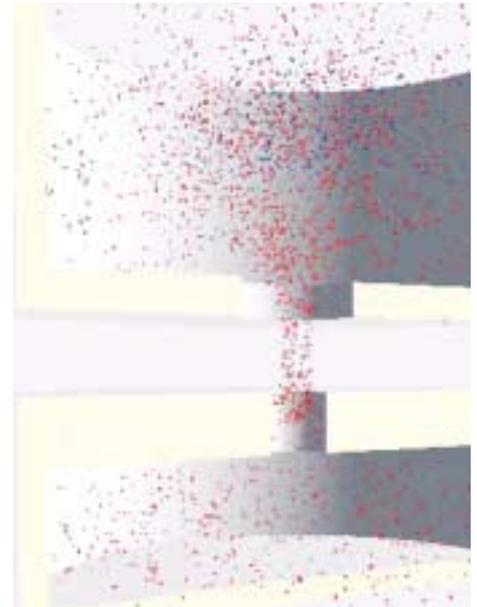
## Ergebnisse und Anwendungen

Ein wesentliches Ergebnis der Simulationsrechnungen ist die Zeit vom Anlegen der Entladungsspannung bis zur Zündung der Entladung, nach der der Hauptstrom von etwa 15 kA durch die Entladung fließt und die Strahlung erzeugt wird. Diese Zeit bestimmt neben der Wiederverfestigungszeit der Entladung die maximale Pulsfrequenz und damit die maximale mittlere Strahlungsleistung.

Teilchencodes können vorteilhaft dort eingesetzt werden, wo eine kontinuumsmechanische Beschreibung nicht möglich ist oder die physikalischen Effekte nicht hinreichend gut beschrieben sind.

## Ansprechpartner

Dr. R. Wester, Tel.: -401  
E-mail: wester@ilt.fraunhofer.de  
Dr. W. Neff, Tel.: -142  
E-mail: neff@ilt.fraunhofer.de



Entladungsgeometrie mit einem Teil der in der Rechnung verwendeten Teilchen. Elektronen sind blau, Ionen rot dargestellt.

Geschäftsfeld  
Laserfertigungsverfahren





# Geschäftsfeld Laserfertigungsverfahren

Präzisionsbohren mit Laserstrahlung	46	Prozessüberwachung beim Simultanschweißen von Thermoplasten	61
Laserstrahlperforation von Kautschukriemchen für Spinnmaschinen	47	Optischer Diodenlaser-Schneidplotter	62
Laserstrahlbonden mikrooptischer Bauelemente	48	Schweißen hochfester Edelstähle im Schienenfahrzeugbau	63
Simultanes Laserstrahlmikroschweißen mit Diodenlasern	49	Robuste und effiziente Anwendungen des Laser-Lichtbogen-Hybridschweißens	64
Laserstrahlmikroschweißen von Uhrenkomponenten	50	Erhöhung der Einschweißtiefe in Aluminium mit Hochleistungs-Diodenlaser	65
Laserstrahlunterstütztes Tiefziehen	51	Neue Fügetechniken mit dem Diodenlaser-Ringstrahl	66
Laserstrahl-Weichlöten keramischer Schaltungsträger	52	Instandsetzung von Flugtriebwerkskomponenten mittels Laserstrahl-Auftragschweißen	67
Justagestrukturen zum Laserstrahlmikroumformen	53	Prozessüberwachung beim Laserstrahl-Auftragschweißen	68
Mikrobearbeitung von Keramiken mit Nd:YAG-Laserstrahlung	54	Herstellung von Aluminium-Bauteilen mit SLM	69
VUV-Laseranlage zur Fertigung mikrotechnischer Produkte	55	GridGen2D: Graphische Software zur Definition von Berechnungsgebieten für FEM/FVM-Aufgaben	70
Laserunterstützte Mikroanastomose	56	Paralleles Hochleistungsrechnen auf einem Linux-Cluster	71
Photospaltung von Linkersystemen	57	Abtrag von Metallstiften: Simulation der Gasströmung	72
Mikrostrukturen zum geleiteten Zellwachstum	58		
Fluidikzelle für bioanalytische Anwendungen	59	<b>Anmerkung der Institutsleitung</b> 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.	
Simultanschweißen von Thermoplasten mittels Laserstrahlung	60		

Rohrförmiger Justageaktuator

# Präzisionsbohren mit Laserstrahlung

## Aufgabenstellung

Beim Einbringen von Präzisionsbohrungen in metallische Bauteile mit einem Durchmesser im  $\mu\text{m}$ -Bereich können die aus herkömmlichen Laserstrahlbohrverfahren bekannten Parameter, bei denen die Bohrung durch eine Abbildung der Laserstrahlung erzeugt wird, nicht übernommen werden. So muss beispielsweise die Abweichung des Strahlquerschnitts von einer geometrisch idealen Kreisform kompensiert werden. Auch die Polarisationsrichtung der Laserstrahlung beeinflusst, anders als bei Bohrungen im mm-Bereich, das Ergebnis.

## Vorgehensweise

Um eine von dem Strahlquerschnitt unabhängige Bohrungsgeometrie zu erhalten, erfolgt der Bohrprozess im sogenannten Wendelbohrverfahren. Dabei rotiert die Laserstrahlung relativ zum Bauteil und der Materialabtrag wird in mehreren Überläufen durch Erodieren erzielt. Gleichzeitig rotiert die Laserstrahlung in sich selbst, wodurch ein Ausgleich der Polarisationsrichtung erreicht wird. Durch Verkippen der Laserstrahlung relativ zum Bauteil können neben zylindrischen auch konische Bohrungen erzeugt werden.

## Ergebnisse und Anwendungen

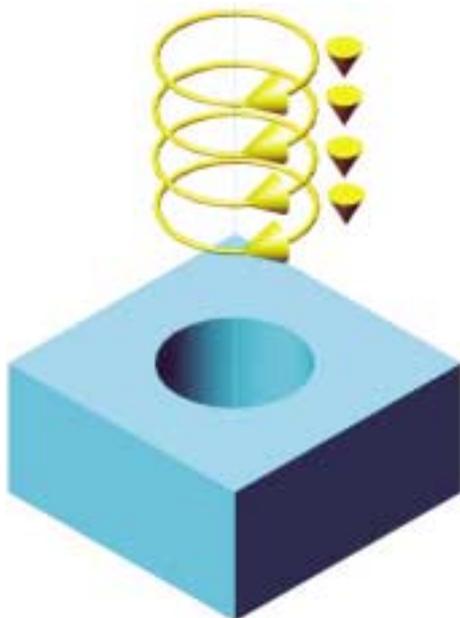
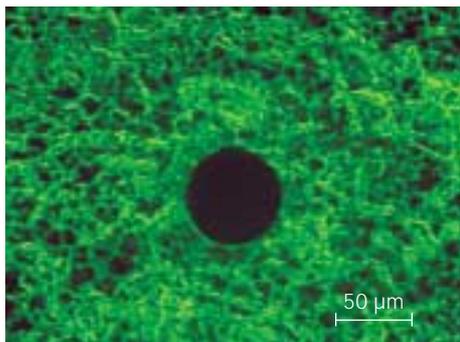
Mit dem beschriebenen Verfahren lassen sich kreisrunde Bohrungen mit einem Durchmesser bis hinunter zu  $30\ \mu\text{m}$  erzeugen. Bei den konischen Bohrungen sind Aufweitungsverhältnisse von bis zu  $1 : 2,5$  möglich.

Untersucht wurden bislang Werkzeug- und Edelmetalle mit einer Materialdicke von bis zu  $2\ \text{mm}$ .

Mögliche Anwendungen finden sich überall dort, wo mit konventionellen, beispielsweise spanenden Verfahren Bohrungen dieser Geometrie und Präzision bislang nicht oder nur mit erheblichem Aufwand eingebracht werden können. Konkrete Beispiele hierzu sind Einspritzdüsen der Automobilindustrie oder Startlochbohrungen für EDM-Verfahren.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. W. Wawers, Tel.: -311  
E-mail: wawers@ilt.fraunhofer.de  
Dr. A. Gillner, Tel.: -148  
E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de



# Laserstrahlperforation von Kautschukriemchen für Spinnmaschinen

## Aufgabenstellung

Elastomere Riemchen auf Basis von Nitril-Kautschuk werden in Spinnereimaschinen zur Faserzusammenführung verwendet. Für ein neuartiges Spinnverfahren müssen in die Riemchen runde und elliptische Löcher eingebracht werden, durch die mittels Unterdruck die Rohfasern angesaugt und vor dem Verspinnen möglichst eng zusammengebracht werden. Die Riemchenperforation muss glatte Lochränder erzeugen, um ein Verhaken und Festsetzen der Faser zu vermeiden.

## Vorgehensweise

Als qualitativ bestes Verfahren stellte sich die Laserstrahlperforation heraus. Aufgrund der guten Absorptionseigenschaften des Materials wurde als Strahlquelle ein CO<sub>2</sub>-Laser verwendet. Nachdem in einer Machbarkeitsstudie die Qualifikation des Verfahrens bewiesen werden konnte, wurde eine Doppeloptik entworfen, die aus zwei einzeln von einander arbeitenden Schneidoptiken besteht, mit der zwei Riemchen gleichzeitig bearbeitet werden können. Über eine Strahlteilung werden beide Optiken von einer Strahlquelle bestrahlt.

## Ergebnisse und Anwendungen

Es konnte gezeigt werden, dass die Kautschuk-Riemchen mit einem CO<sub>2</sub>-Laser in hoher Qualität reproduzierbar perforiert werden können. Dabei werden je nach Riemchengröße 70 - 100 Löcher pro Stunde mit Durchmessern kleiner 1 mm hergestellt.

Da bei der Laserstrahlbearbeitung von Kautschuk gesundheitsgefährdende und geruchsintensive Emissionen entstehen, muss eine Filteranlage vorgesehen werden, welche die entstehende Abluft vollständig erfasst und reinigt.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys., Dipl.-Ing. U.-A. Russek,  
Tel.: -158

E-mail: russek@ilt.fraunhofer.de

Dr. A. Gillner, Tel.: -148

E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de

Mit freundlicher Genehmigung der  
Fa. Zinser Textilmaschinen GmbH.



# Laserstrahlbonden mikrooptischer Bauelemente

## Aufgabenstellung

In der Montage mikrooptischer Bauteile werden heute überwiegend in manueller Vorgehensweise Linsen, Fasern und andere optische Elemente durch Klebetechniken verbunden. Zur Erhöhung des Automatisierungsgrades der Fertigung und zur Verbesserung der Produkteigenschaften werden Verfahren benötigt, die in Fertigungslinien integrierbar sind und die möglichst auf Füge-Zusatzstoffe verzichten.

## Vorgehensweise

Für die Werkstoffkombination Glas und Silizium wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem die Glasbauteile, Linsen, Fasern und Spiegel nach einer entsprechenden Präparation auf ein Siliziumsubstrat positioniert werden. Dabei können durch eine geeignete Messtechnik und die anschließende maßgenaue Bauteilvorbereitung Bauteilgenauigkeiten ausgeglichen werden. Anschließend werden beide Bauteile verpresst und die transparente Glaskomponente mit einem Nd:YAG-Laser durchstrahlt. An der Grenzfläche entsteht eine hochfeste oxidische Verbindung innerhalb von Sekundenbruchteilen, die ähnliche Festigkeiten aufweist wie das anodische Bonden.

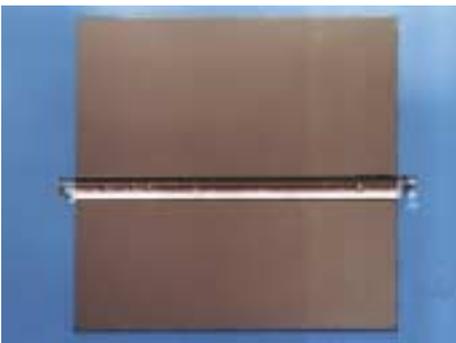
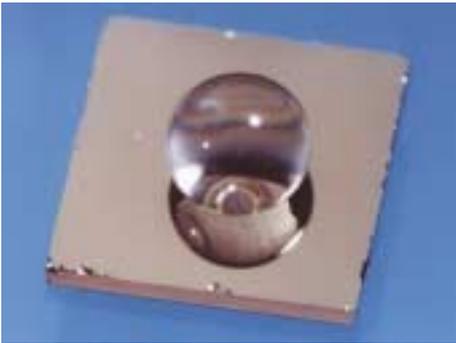
## Ergebnisse und Anwendungen

Mit dem als Laserstrahlbonden bezeichneten Verfahren konnten Linsen, Fasern und Spiegel direkt auf Siliziumsubstraten ohne Zusatzwerkstoff fixiert werden. Die hierfür notwendigen Laserleistungen liegen im Bereich  $P < 50 \text{ W}$  und die Fügezeiten  $t < 1 \text{ s}$ . Dabei ist das dem Silicon-Fusion-Bonding ähnliche Verfahren nicht auf ausdehnungsangepasste Gläser beschränkt, sondern kann mit anderen hochtemperaturfesten Gläsern und Quarz durchgeführt werden.

Mit diesem Verfahren ist die justierte Montage mikrooptischer Komponenten in automatisierten Fertigungslinien, z. B. für optoelektronische Bauteile, Wellenlängen-Multiplexer, Faserverbinder und optische Koppler, möglich.

## Ansprechpartner

Dr.-Ing. A. Olowinsky, Tel.: -491  
E-mail: olowinsky@ilt.fraunhofer.de  
Dr.-Ing. A. Gillner, Tel.: -148  
E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Lasergebundene Linse  
Unten: Lasergebundene Glasfaser

# Simultanes Laserstrahl- mikroschweißen mit Diodenlasern

## Aufgabenstellung

Kurze Bearbeitungszeiten und geringe Investitionskosten sind wichtige Merkmale von Fertigungsprozessen bei der Produktion mikromechanischer Bauteile in der Serienfertigung.

Das Laserstrahlmikroschweißen hat sich in diesem Zusammenhang bereits etabliert. Allerdings sind durch die generell serielle Bearbeitung aufgrund der Bewegung des Laserstrahls oder der Bauteile die Prozesszeiten häufig zu lang für eine Massenfertigung.

## Vorgehensweise

Durch simultanes Mikroschweißen mit mehreren Diodenlasern, die jeweils einen Linienfokus von 2 mm x 0,2 mm aufweisen, soll die Bearbeitungszeit verkürzt und gleichzeitig durch den Wegfall von Bewegungseinrichtungen die Maschinentechnik vereinfacht werden.

Zur Verfahrensentwicklung des simultanen Mikroschweißens wurden in Edelstahl 1.4301 mit 1 mm Stärke Blindschweißungen erzeugt. Hierzu wurde bei Flachproben ein einzelner Diodenlaser verwendet. Für applikationsnahe Geometrien zur Erzeugung einer Ringnaht wurden drei Diodenlaser so überlagert, dass ein gemeinsamer Brennfleck von 5,5 mm x 0,2 mm entstand. Die Schweißnahtgeometrie wurde im Quer- und Längsschliff mit Ergebnissen der Simulation verglichen.

## Ergebnisse und Anwendungen

Aufgrund des großen Strahldurchmessers in lateraler Richtung wird schon bei Intensitäten von  $10^4 \text{ W/cm}^2$  die Verdampfungstemperatur erreicht. Dies führt zu unregelmäßigen Nahttiefen. Bis 500  $\mu\text{m}$  lassen sich durch simultanes Laserstrahlmikroschweißen gleichmäßige Nahttiefen reproduzierbar mit einem Verhältnis Nahttiefe zu Nahtbreite von 0,5 bis 1 herstellen.

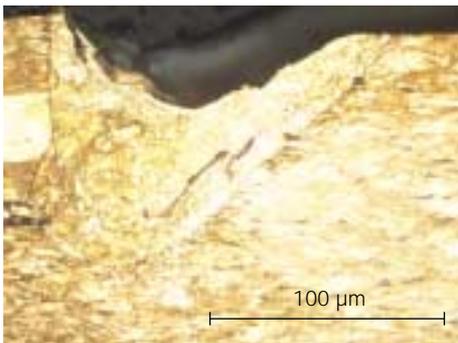
## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. K. Klages, Tel.: -490  
E-mail: klages@ilt.fraunhofer.de  
Dr. A. Gillner, Tel.: -148  
E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de

# Laserstrahlmikroschweißen von Uhrenkomponenten

## Aufgabenstellung

In der Uhrenherstellung wird eine Verbindungstechnik gefordert, die in der Lage ist, schnell, flexibel, verzugs- und verschmutzungsfrei die Uhrenkomponenten zu fügen. Einerseits erfordern die zur Zeit eingesetzten Verfahren, beispielsweise Bördeln oder Einpressen, den Einsatz mechanischer Kräfte auf die zu fügenden Bauteile, so dass die Wahrscheinlichkeit eines Verzugs sehr groß ist oder nur sehr grobe Endtoleranzen einzuhalten sind. Andererseits ist das Kleben der Uhrenkomponenten sehr aufwändig. Die einzelnen Bauteile müssen in der Regel vorbehandelt werden. Die Handhabung des Klebstoffs in Hinblick auf die gering benötigten Mengen und die konstant zu haltenden Umgebungsbedingungen ist nur unter großem apparativem Aufwand für eine Massenfertigung geeignet. Die Verbindungstechnik muss darüber hinaus in der Lage sein, auch unterschiedliche Metalle miteinander zu fügen.



Oben: Im SHADOW-Verfahren geschweißte Datumsscheiben.  
Unten: Querschliff einer Laserstrahl-geschweißten Datumsscheibe.

## Vorgehensweise

Das Mikroschweißen von Uhrenkomponenten mit gepulster Nd:YAG-Laserstrahlung, insbesondere im sogenannten SHADOW-Verfahren, führt zu einer kurzen Bearbeitungszeit, das Verfahren ist berührungslos und daher sehr flexibel in Bezug auf Geometrie- oder Materialänderungen. Die Möglichkeit gepulster Laserstrahlquellen, die Pulsleistung über die Dauer des Pulses zu variieren, lässt eine Anpassung der Energieeinkopplung während des Prozesses zu, so dass eine gleichbleibende Einschweißtiefe und -breite über die gesamte Länge der Schweißnaht sichergestellt werden kann.

## Ergebnisse und Anwendungen

Das Anwendungsbeispiel zeigt eine Datumsscheibe aus der Messinglegierung Ms61Pb. Ein einzelner Laserpuls wird mit einer hohen Vorschubgeschwindigkeit  $v_f = 40$  m/min über das Bauteil bewegt und erzeugt eine 13,5 mm lange ringförmige Schweißnaht. Die kontinuierliche Prozessführung mit sehr geringem Energieeintrag ermöglicht das Fügen von Mikrobauteilen, von schwierig zu schweißenden Materialien und von Materialkombinationen wie beispielsweise Stahl und Messing. Beim Fügen von Stahlbauteilen im SHADOW-Verfahren können sehr hohe Vorschubgeschwindigkeiten erreicht werden, die nur durch physikalische Effekte wie beispielsweise Humping begrenzt sind. Schweißnähte von bis zu 25 mm Länge können abhängig von Material und Geometrie erzeugt werden. Das SHADOW-Verfahren eignet sich sowohl für lineare Schweißnähte als auch für rotationssymmetrische Bauteile.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. T. Kramer, Tel.: -407,  
E-mail: kramer@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Ing. A. Olowinsky, Tel.: -491,  
E-mail: olowinsky@ilt.fraunhofer.de  
Dr. A. Gillner, Tel.: -148,  
E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de

# Laserstrahlunterstütztes Tiefziehen

## Aufgabenstellung

Steigende Anforderungen an die Fertigung metallischer Kleinteile für mikrotechnische Anwendungen erfordern neue Technologien, mit denen den erhöhten Komplexitäts- und Genauigkeitsanforderungen begegnet werden kann. Die Blechumformung stellt dafür ein geeignetes Verfahren dar, welches jedoch hinsichtlich der erreichbaren Umformgrade an seine Grenzen stößt.

Mit einer lokalen Erwärmung des Bauteils kann der Umformgrad eines Ziehprozesses erweitert werden. Hierfür wird ein Laserstrahl eingesetzt, der durch transparente Werkzeugteile hindurch das Bauteil während des Umformvorgangs erwärmt. Damit wird ein Temperaturprofil im Bauteil erzeugt, das den Fließvorgang begünstigt und das Grenzziehverhältnis erweitert.

## Vorgehensweise

Durch den Einsatz von transparenten Werkzeugteilen aus Saphir oder Diamant kann der Laserstrahl prozessbegleitend das Bauteil erwärmen. Der Laserstrahl wird an die Kontur des Bauteils angepasst, so kann die Temperatur im Fließbereich des Bauteils erhöht werden und der Bereich der Kraffteinleitung wird nicht erwärmt.

Zum Einsatz kommen fasergeführte Festkörperlaser oder Diodenlaser, da damit die Integration der Laserstrahl-optik in das Umformwerkzeug ermöglicht wird. Durch spezielle Optiken kann der Laserstrahl an die zu erwärmenden Bauteilbereiche angepasst werden. Die prozessbegleitende Erwärmung bietet den Vorteil der sehr kurzen Aufwärmphase, was das Verfahren für die Massenfertigung mit sehr kurzen Taktzeiten einsetzbar macht.

## Ergebnisse und Anwendungen

Das Verfahren der laserstrahlunterstützten Blechumformung wurde anhand eines Tiefziehprozesses mit rotationssymmetrischem Napf praktisch umgesetzt. Eine Ziehmatrize aus Saphir ermöglicht hier die Erwärmung des Kragenbereichs mittels eines ringförmigen Laserstrahls.

Mit einem Ziehstempel von 4 mm Durchmesser wurde ein Stahlblech aus 1.4301 mit einer Stärke von 150  $\mu\text{m}$  im Erstzug ohne Erwärmung und mit einer Erwärmung von 150 J gezogen. Das Grenzziehverhältnis  $\beta$  konnte durch die Erwärmung um 10 % von 2,0 auf 2,2 erweitert werden.

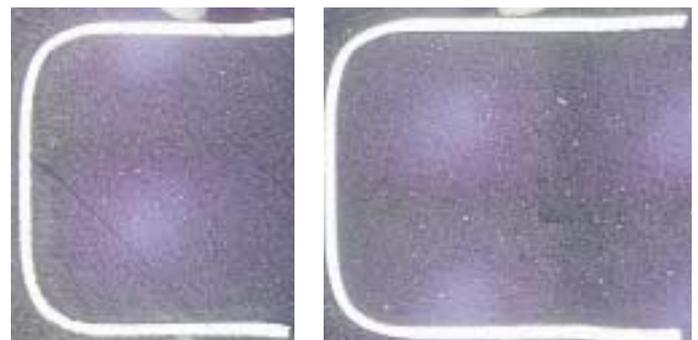
Mögliche Anwendungen können insbesondere in der Herstellung von metallischen Kleinteilen gesehen werden, wo die Umformung vollständig im Erstzug ohne intermittierende Wärmebehandlung erfolgen muss, um Anforderungen der Massenfertigung gerecht zu werden.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. A. Bayer, Tel.: -273  
E-mail: bayer@ilt.fraunhofer.de  
Dr. A. Gillner, Tel.: -148,  
E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de



**Oben:** Ziehringe aus Saphir zum laserunterstützten Tiefziehen rotationssymmetrischer Nöpfe.  
**Unten:** Querschliff eines rotationssymmetrischen Napfes. 1. Tiefgezogen ohne Erwärmung. Grenzziehverhältnis:  $\beta = 2,0$ . 2. Tiefgezogen mit einer Erwärmung durch Laserstrahlung von 150 J. Grenzziehverhältnis:  $\beta = 2,2$ .



# Laserstrahl-Weichlöten keramischer Schaltungs- träger

## Aufgabenstellung

In der Automobiltechnik werden bevorzugt elektronische Sensoren oder Steuerungssysteme auf Basis keramischer Schaltungsträger eingesetzt. Keramische Schaltungsträger zeichnen sich durch ausgezeichnete Eigenschaften in Bezug auf die im Motorraum eines Kraftfahrzeugs vorherrschenden Bedingungen aus. Montiert auf aktive oder passive Wärmesenken widerstehen die elektronischen Systeme zuverlässig und dauerhaft thermischen Belastungen aus dem Umfeld. Aber gerade die Kombination mit Wärmesenken erschwert gravierend die Endmontage der Produkte. Elektrische oder mechanische Verbindungen zwischen Gehäuseanschlüssen und korrespondierenden Kontaktierungsflächen auf dem keramischen Schaltungsträger können nur mit sehr großem technischen Aufwand realisiert werden.

## Vorgehensweise

Aufgrund der guten Fokussierbarkeit, der exakten Dosierbarkeit der Energieeinbringung und den hohen Leistungsreserven bietet das Laserstrahl-Weichlöten die idealen Voraussetzungen, diese Fügeaufgabe zuverlässig und reproduzierbar zu lösen.

Durch die Zusammenführung kommerzieller Diodenlasersysteme mit präzisen Positionierungssystemen auf Basis schneller Galvanometer-Scanner können die erforderlichen Verbindungen produktspezifisch und mit hoher Geschwindigkeit erzeugt werden.

## Ergebnisse und Anwendungen

Die industrielle Einsatzfähigkeit des Laserstrahl-Weichlöten konnte für verschiedene Applikationen erfolgreich nachgewiesen werden. Durch Laserstrahl-Weichlöten können stoffschlüssige Verbindungen mit hoher Qualität einhergehend mit geringer thermischer Belastung für das Produkt hergestellt werden. Die mit diesem Verfahren erzielbaren Prozesszeiten liegen in der Größenordnung einiger 100 Millisekunden je Kontaktierung, abhängig von der Fügeanordnung und der Wahl des Lotwerkstoffs.

Durch den Einsatz kostengünstiger Diodenlasersysteme ist das Laserstrahl-Weichlöten unter ökonomischen Aspekten wettbewerbsfähig zu den industriell etablierten Verfahren. Durch die zusätzliche Option, die Temperatur in der Fügezone online mittels intelligenter Sensoren zu steuern, ist das Löten mit Laserstrahlung hervorragend für die automatisierte Fertigung geeignet.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. L. Bosse, Tel.: -305  
E-mail: bosse@ilt.fraunhofer.de  
Dr. A. Gillner, Tel.: -148  
E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de



Keramischer Schaltungsträger mit lasergelöteten Anschlusskontakten.

# Justagestrukturen zum Laserstrahlmikroumformen

## Aufgabenstellung

Ein wesentlicher Aspekt in der Aufbau- und Verbindungstechnik ist die Positionierung und Justage einzelner Bauelemente zueinander. Das Laserstrahlmikroumformen bietet die Möglichkeit, Montage und Justage voneinander zu trennen und hierdurch den Montageaufwand zu reduzieren. Bauteilintegrierte Justagestrukturen ermöglichen durch gezieltes Beaufschlagen mit Energie durch den Laserstrahl eine sub-Mikrometer-genaue Endpositionierung bei kostengünstiger mechanischer Vormontage.

## Vorgehensweise

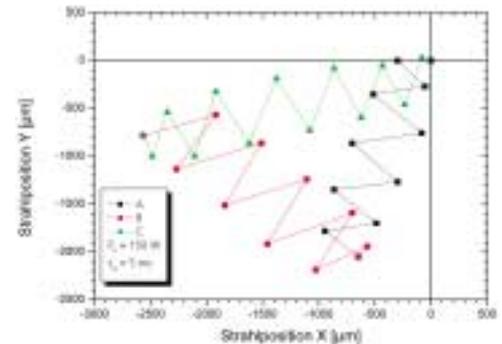
Rohrförmige Aktuatoren mit integrierten Justageelementen ersetzen externe mechanische Stellelemente zur Positionskontrolle. Die Verteilung der Justageelemente auf der Zylinderwand erlaubt eine freie Kippbewegung um drei Achsen. Somit können die beiden Stirnflächen des Aktuators exakt zueinander positioniert werden. Die Bearbeitung erfolgt mit einem gepulsten Nd:YAG-Laser. Jeder Puls verursacht eine Verformung der Struktur und somit eine Bewegung der Stirnfläche um eine Drehachse. Die Verformung beruht auf dem Mechanismus des laserinduzierten Stauchens.

## Ergebnisse und Anwendungen

Die Verkürzung einer Doppelbrücke resultiert in einem Kippen um eine Achse, die durch die beiden anderen Brücken definiert ist. Geringe Pulsenergien von 0,75 J führen zu Kippbewegungen von 4,5 mrad. Mittels sequentieller Bearbeitung der verschiedenen Doppelbrücken lassen sich alle Positionen der Stirnfläche erreichen.

## Ansprechpartner

Dr.-Ing. A. Olowinsky, Tel.: -491  
E-Mail: olowinsky@ilt.fraunhofer.de  
Dr.-Ing. A. Gillner, Tel.: -148  
E-Mail: gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Bewegung einer Stirnfläche eines rohrförmigen Justageaktuators.  
Unten: Rohrförmiger Justageaktuator



# Mikrobearbeitung von Keramiken mit Nd:YAG- Laserstrahlung

## Aufgabenstellung

Bauteile aus Keramik werden im Bereich der Werkzeugtechnik, Elektronikindustrie und in medizinischen Anwendungen eingesetzt. Viele der geforderten Strukturen im Bereich 0,1 - 1 mm können mit konventionellen Verfahren nicht hergestellt werden. Als Alternative bietet sich der Laserabtrag an, bei dem durch sukzessives Verdampfen und zeilen- bzw. flächenhaftes Abscannen die gewünschten dreidimensionalen Strukturen erzeugt werden können. Dabei lassen sich auch komplexe Freiformflächen, Bohrungen in Wafern und Aussparungen realisieren.

## Vorgehensweise

Für die genannten Anwendungen wurden zwei verschiedene Lasersysteme eingesetzt. Beim Abtrag mit  $3\omega$ -Nd:YAG-Laserstrahlung wird die Laserstrahlung mittels eines Galvanometerscanners über die Oberfläche des Werkstücks gelenkt. Die Scangeschwindigkeit kann, abhängig vom Scannersystem, mehr als 1000 mm/s betragen. Damit kann das Material bei hoher Scangeschwindigkeit in kurzer Zeit mit optimaler Überlappung und ausreichender Energie abgetragen werden.

Beim Schneiden und Bohren von Keramiken mit Nd:YAG-Laserstrahlung wird dagegen die Relativbewegung von Werkstück und Laserstrahl mit Positioniertischen realisiert.

## Ergebnisse und Anwendungen

Für den Einsatz in der Werkzeugtechnik wurden 3D-Strukturen als Prägestempel in  $Al_2O_3$  hergestellt. Dabei wurde eine Oberflächenqualität von  $Ra < 1 \mu m$  erreicht. Die Abtraggeschwindigkeit liegt im Bereich von einigen 100 mm/s.

Mittels Nd:YAG-Laserstrahlung hoher Strahlqualität konnten Bohrungen mit einem Durchmesser von 650  $\mu m$  bei einer Bearbeitungsgeschwindigkeit von ca. 300 Bohrungen pro Stunde hergestellt werden. Bohrungen mit einem Durchmesser von 30  $\mu m$  wurden in Saphir-Platten mit einer Dicke von bis zu 500  $\mu m$  realisiert.

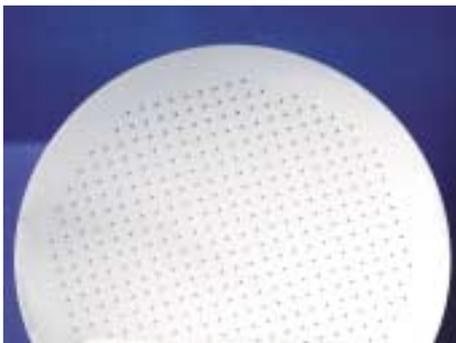
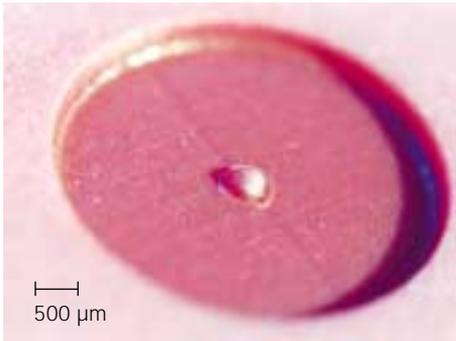
## Ansprechpartner

Dr. Li-Ya Yeh, Tel.: -322

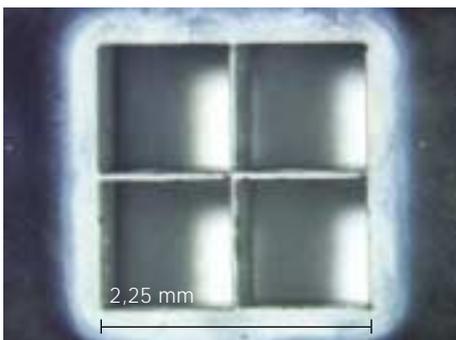
E-mail: yeh@ilt.fraunhofer.de

Dr. A. Gillner, Tel.: -148

E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Prägewerkzeug  
in  $Al_2O_3$   
Mitte: Laserbohrungen  
in Saphir-Wafer  
Unten: Lasergeschnittene  
Silizium-Struktur



# VUV-Laseranlage zur Fertigung mikrotechnischer Produkte

## Aufgabenstellung

In der Biotechnik und der chemischen Verfahrenstechnik steigen die Anforderungen an die Komplexität und den Integrationsgrad fluidischer Komponenten. Die chemische Kombinatorik zur Herstellung kleinster Substanzmengen oder Analysensysteme für biomedizinische Anwendungen erfordern chemisch inerte Oberflächen. Ein bewährter Werkstoff für diese Anwendungen ist PTFE. Hier fehlen aber bisher noch geeignete Verfahren zur Mikrostrukturierung.

In der Medizintechnik ist eine Strukturierung von Kathetern erforderlich, um z. B. kleine Bohrungen für die definierte Abgabe kleiner Substanzmengen, Sensoren in dünne, flexible Schläuche oder eine gezielte Porosität zum Einwachsen von Körpergewebe einzubringen.

## Vorgehensweise

Zur präzisen Bearbeitung von fluoridierten Polymerwerkstoffen wie z. B. Teflon™ oder PTFE wird eine neuartige Produktionsmethode auf der Basis des Präzisionsabtrags mit VUV-Laserstrahlung (Wellenlänge 157 nm) entwickelt und erprobt.

Im einzelnen sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Konzeption und Aufbau einer flexiblen VUV-Laser-Bearbeitungsanlage
- Auswahl und Validierung der optischen Komponenten
- Erarbeitung des Fertigungsverfahrens
- Präzise Bearbeitung von Beispielen aus PTFE und Glas
- Nachweis der Biokompatibilität der laserbearbeiteten Muster

Die Erprobung des Verfahrens- und Anlagenkonzepts erfolgt an konkreten Aufgabenstellungen, um daraus direkt neue Produktentwicklungen ableiten zu können.

## Ergebnisse und Anwendungen

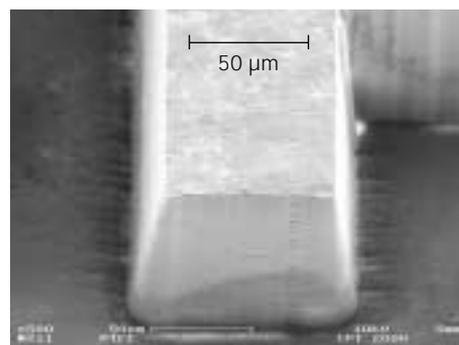
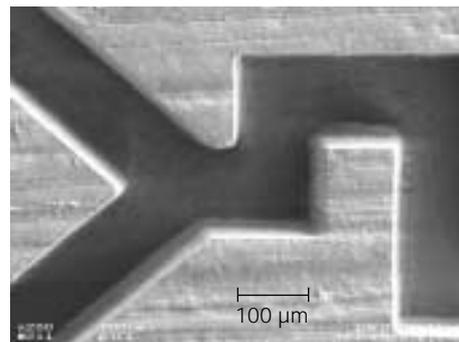
Erste Muster zeigen eine bisher nicht erreichte Präzision der Laserbearbeitung von Teflon™. Ebenso konnten auch Gläser unterschiedlicher Zusammensetzung rissfrei bearbeitet werden.

Nach Ertüchtigung der VUV-Laseranlage ist eine vielfältige Erprobung in der Musterfertigung von Mikrofluidsystemen, Mikroreaktoren und Implantaten vorgesehen. Daraus werden neue Ansätze zur Herstellung von Medizinprodukten und von Komponenten für die biochemische Analytik erwartet.

Das Projekt wird im Rahmen des Programmes »Förderung von innovativen Netzwerken« (InnoNet) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter der Nummer IN2020 gefördert.

## Ansprechpartner

Dr. M. Wehner, Tel.: -202,  
E-mail: wehner@ilt.fraunhofer.de  
Dr. A. Gillner, Tel.: -148,  
E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Fluidstruktur  
in Teflon™  
Unten: Detail der  
Struktur

# Laserunterstützte Mikroanastomose

## Aufgabenstellung

Das Verbinden (Anastomose) von kleinen, tubulären Strukturen mit einem Innendurchmesser von 0,1 - 0,75 mm wird gewöhnlich mit mikrochirurgischen Techniken unter Verwendungen von Lupen (2 - 6-fache Vergrößerung) oder Mikroskopen (20-fache Vergrößerung) durchgeführt.

Die Reanastomose des Vas deferens (Samenleiters) nach Vasektomie (Auftrennung) zur Schwangerschaftsverhütung ist ein spezifisches Beispiel für eine mikrochirurgische Technik. Eine zweischichtige sog. Vasvasostomie kann bis zu 20 einzeln plazierte Nähte und damit selbst in den erfahrensten Händen 2 - 2,5 Stunden Operationszeit erfordern. Probleme sind dabei oft eine ungenügende Anfangsdichtigkeit, hohe Granulationstendenz, lokale Fremdkörperreaktionen und eine lange Operationszeit.

Im Rahmen eines gemeinsamen Projekts der Urologischen Klinik des Universitätsklinikums der RWTH Aachen, des Lehrstuhls für Textilchemie und Makromolekulare Chemie der RWTH Aachen, des Instituts für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen und des Fraunhofer ILT wird daher ein laserunterstütztes Verfahren entwickelt, das eine kürzere Operationszeit bei hoher Anfangsdichtigkeit der Anastomose erlaubt.



**Oben:** Laseranastomose am Samenleiter der Ratte.  
**Unten:** Testprobe nach Prüfung der Zugfestigkeit.

## Vorgehensweise

Ausgehend von einer Literaturrecherche und der Bewertung unterschiedlicher Ansätze wurde das Vorgehen festgelegt. Die Gefäßenden werden auf einen bioresorbierbaren Mikrostant (Hülse) aufgesteckt und mit Hilfe eines speziellen Gewebeklebers, der für die Anwendung mit Farbstoff dotiert wurde, versiegelt. Die Aushärtung des Klebers erfolgt durch eine vorübergehende Temperaturerhöhung, die durch die Strahlung einer Laserdiode induziert wird. Die Laserstrahlung wird dazu über eine Lichtleitfaser zum Operationsort geführt. Die Erprobung des Verfahrens erfolgt zuerst in-vitro, später soll die Operationstechnik am Tiermodell überprüft werden.

## Ergebnisse und Anwendungen

In grundlegenden Untersuchungen wurden zuerst die geeigneten Bestrahlungsparameter und Modi festgelegt. Hier konnten Anastomosen mit einer Anfangsfestigkeit bis zu 50 % im Vergleich zu nativem Gewebe erzielt werden. Außerdem wurde ein einfacher Applikator entwickelt, der im Tierversuch eingesetzt und erprobt werden soll.

Eine erfolgreiche Erprobung des Verfahrens am Beispiel Samenleiter lässt eine Erweiterung auf andere mikrochirurgische Fragestellungen, wie z. B. das Verbinden kleiner Blutgefäße, erwarten.

## Ansprechpartner

Dr. M. Wehner, Tel.: -202,  
E-mail: wehner@ilt.fraunhofer.de  
Dr. A. Gillner, Tel.: -148,  
E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de

# Photospaltung von Linkersystemen

## Aufgabenstellung

Für die Chemie, insbesondere die Festphasensynthese und für die Molekularbiologie, sind Ankergruppen (Linker), die sich nur unter bestimmten Bedingungen spalten lassen, von großer Bedeutung.

So können bequem komplexe Synthesen an einem festen Trägermaterial durchgeführt werden, an deren Ende das fertige Molekül abgespalten wird und so in Reinform erhalten werden kann.

In der Bioanalytik sind darüber hinaus nach der Detektion von Peptiden und Proteinen auf Biochips diese von der Chipoberfläche gezielt abzuspalten.

## Vorgehensweise

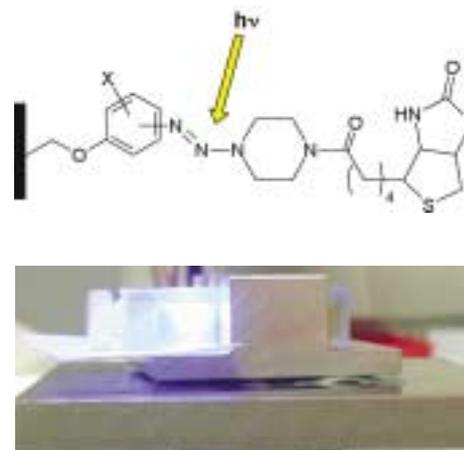
Die Spaltung von Linkern durch Photoneneinwirkung ist eine elegante Methode zur selektiven Ablösung von Molekülen von Oberflächen. Photolabile Linker zeichnen sich dadurch aus, dass sie tolerant gegenüber sauren und basischen Reaktionsbedingungen sind und erst bei Einwirkung von Licht der geeigneten Wellenlänge zerfallen.

Im Rahmen einer Kooperation mit dem Lehrstuhl für organische Chemie der RWTH Aachen ist es gelungen, ein Linkersystem auf Triazenbasis selektiv mit verdreifachter Nd:YAG-Laserstrahlung zu spalten.

## Ergebnisse und Anwendungen

Die harzgebundene Triazen-gruppierung absorbiert abhängig von der Substitution UV-Strahlung im Bereich 300 - 360 nm. In grundlegenden Untersuchungen wurden geeignete Laserparameter (Wellenlänge, Intensität, Bestrahlungszeit) und Lösungsmittel etc. ermittelt, um eine Spaltung mit hohen Umsätzen und guten Reinheiten durchzuführen.

In weiterführenden Experimenten soll ein Triazenlinker an einer Substratoberfläche aufgebaut werden, der dann eine lokal selektive Abspaltung von beispielsweise Biotin und daran gebundenen Molekülen vom Träger mittels Laserstrahlung ermöglichen soll.



## Ansprechpartner

Dipl.-Chem. E. Bremus-Köbberling,  
Tel.: -202  
E-mail: [bremus@ilt.fraunhofer.de](mailto:bremus@ilt.fraunhofer.de)  
Dr. A. Gillner, Tel.: -148  
E-mail: [gillner@ilt.fraunhofer.de](mailto:gillner@ilt.fraunhofer.de)

Partner:  
Prof. D. Enders, OC RWTH Aachen  
Dipl.-Chem. Christiaan Rijksen, OC RWTH Aachen

Oben: Photospaltung  
des Triazenlinkers.  
Unten: Bestrahlung  
des Reaktionsgemisches  
in einer Küvette.

# Mikrostrukturen zum geleiteten Zellwachstum

## Aufgabenstellung

In Medizintechnik und Biotechnologie werden zunehmend Komponenten verwendet, deren Oberflächen so vorbehandelt sind, dass sie den Anforderungen der jeweiligen Nutzung ideal entsprechen. Bei medizinischen Implantaten bedeutet dies eine möglichst optimale Anbindung des Implantats an das biologische Gewebe. Häufig bedeutet dies, dass körpereigene Zellen das Implantat besiedeln oder in vorbestimmte Bereiche einwachsen und so einen Verbund eingehen. Damit die Zellen eine geeignete Oberfläche vorfinden, werden unterschiedliche Verfahren der Oberflächenmodifikation untersucht.

## Vorgehensweise

Für die Herstellung biomedizinischer Mikrobauteile wurden Laserverfahren zur Erzeugung definierter Mikrostrukturen auf Polymeroberflächen entwickelt. Für die Polymerbearbeitung kommen Excimerlaser, vorrangig mit 193 nm Wellenlänge, zum Einsatz. In einem Rasterverfahren werden regelmäßige Mikrostrukturen erzeugt, was neben der Veränderung der Topographie auch Einfluss auf die chemische Zusammensetzung der Oberfläche hat.

Die Überprüfung der Funktionalität erfolgt dabei jeweils durch die Messung der Benetzungseigenschaften und Zellbesiedlungstests.

## Ergebnisse und Anwendungen

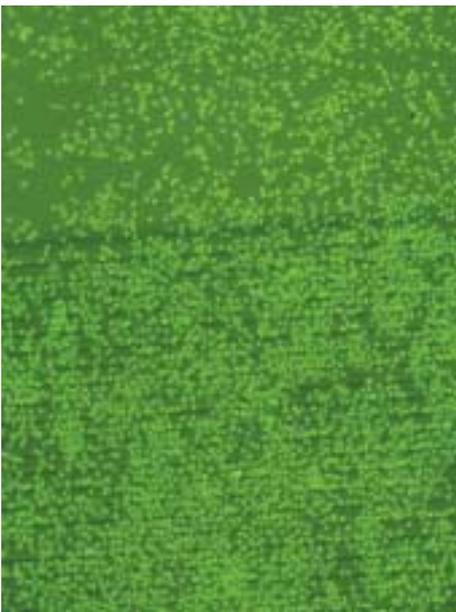
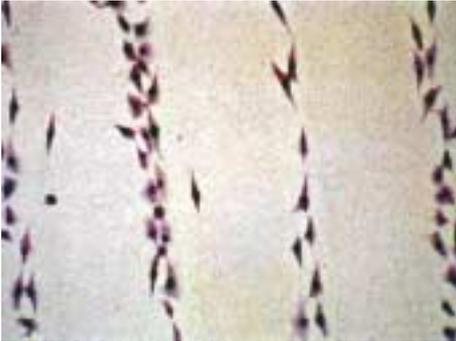
Die Untersuchungen einer Vielzahl von Polymeren, die mit Näpfchen-, Noppen-, Rillen- und Schuppenstrukturen versehen wurden, zeigen, dass sich die Polymere in zwei Gruppen einteilen lassen: diejenigen, die durch die Laserbearbeitung hydrophiler werden, und die, die hydrophober werden (»Lotus«-artiger Effekt).

Die Zellbesiedelung mit L929 Zellen mit anschließender Vitalfärbung sowie Hämealaunfärbung gibt Hinweise darauf, dass ein unterschiedliches Wachstum auf behandelten und unbehandelten Polymeroberflächen, z. B. bei Poly(dimethylsiloxan), durch die Laserbehandlung herbeigeführt werden kann.

Die Anwendbarkeit solcher mit Laserverfahren ortsselektiv maßgeschneiderter Oberflächen, bei denen sich Eigenschaften wie hydrophil/hydrophob bzw. rauh/glatt abwechseln, sind Gegenstand weiterer Untersuchungen in Kooperation mit dem Institut für Pathologie der RWTH Aachen.

## Ansprechpartner

Dipl.-Chem. E. Bremus-Köbberling,  
Tel.: -202  
E-mail: [bremus@ilt.fraunhofer.de](mailto:bremus@ilt.fraunhofer.de)  
Dr. A. Gillner, Tel.: -148  
E-mail: [gillner@ilt.fraunhofer.de](mailto:gillner@ilt.fraunhofer.de)



Oben: 40 µm breite zellreiche Streifen auf PDMS.  
Unten: Erhöhte Zelldichte bzw. Mitoseaktivität in laserbearbeiteter Zone (unten, PC).

# Fluidikzelle für bioanalytische Anwendungen

## Aufgabenstellung

In der Abteilung Messtechnik des Fraunhofer ILT wurde eine Anlage für Anwendungen in der Bioanalytik entwickelt, mit der ein Einzelmolekülnachweis in wässrigen Lösungen möglich ist. Diese Anlage besteht u. a. aus der Fluidikzelle mit integriertem Proteinchip, einer konfokalen Messanordnung sowie einem Desorptionslaser, mit dem die mittels Fluoreszenzverfahren detektierten Molekülpaare vom Biochip abgelöst werden können. Die hierfür entwickelte Fluidikzelle wird in einer Probenkassette gehalten, die die Verbindung zu den Lineartischen herstellt.

In der Fluidikzelle muss das Probevolumen minimiert sein, es muss eine uniforme, laminare Strömung vorliegen, es dürfen keine Totwassergebiete entstehen und die verwendeten Materialien müssen sowohl chemisch als auch biologisch verträglich sein. Da die Fluoreszenzanregung und die Beobachtung durch den Boden der Fluidikzelle erfolgen, müssen hohe Anforderungen an dessen optische, mechanische und thermische Eigenschaften gestellt werden.

## Vorgehensweise

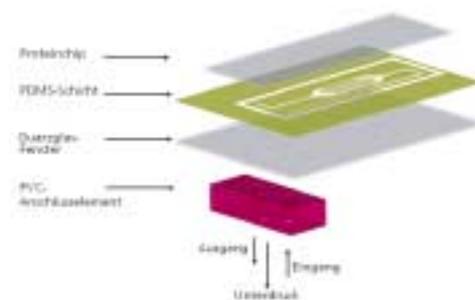
Als Basis der Fluidikzelle diente ein optisch hochreines Suprasil 1 Glassubstrat mit einer Dicke von 1,0 mm. Auf diesem Glas wurde im Gießverfahren eine definierte PDMS-Schicht aufgebracht (Höhe: 200  $\mu\text{m}$ ). In diese Schicht wurden im Maskenprojektionsverfahren mit einem Excimer-Laser der Wellenlänge  $\lambda = 193 \text{ nm}$  Kanäle mit einer Breite von 450  $\mu\text{m}$  generiert.

## Ergebnisse und Anwendungen

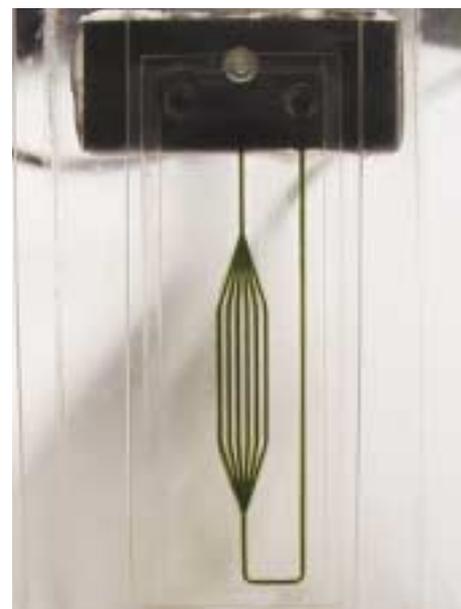
Mit diesem Verfahren wurden ausreichend glatte Kanäle hergestellt. Durch das Gießverfahren kann eine sehr gute Haftung der PDMS-Schicht auf dem Glas erzielt werden. Zur Fixierung und Abdichtung des Proteinchips, relativ zur Fluidikzelle, wurde um die Mikrokanäle ein breiter Kanal strukturiert, der als Unterdruckkanal verwendet wird. Beim Anlegen eines Unterdrucks von ca. 40 mm Hg wird der Proteinchip fixiert und die Kanäle in ausreichendem Maße abgedichtet.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. S. Beckemper, Tel.: -325,  
E-mail: [beckemper@ilt.fraunhofer.de](mailto:beckemper@ilt.fraunhofer.de)  
Dr. A. Gillner, Tel.: -148  
E-mail: [gillner@ilt.fraunhofer.de](mailto:gillner@ilt.fraunhofer.de)



Oben: Schematische Darstellung der Fluidikzelle.  
Unten: Beströmte Fluidikzelle.



# Simultanschweißen von Thermoplasten mittels Laserstrahlung

## Aufgabenstellung

Das Kunststoffschweißen mit Laserstrahlung hat sich mittlerweile als Alternative zu konventionellen Fügeverfahren bewährt. Allerdings ist die übliche Technik des seriellen Abscannens der Fügekontur häufig zu langsam, um in die Massenfertigung Einzug zu finden.

## Vorgehensweise

Der kompakte und modulare Aufbau von Hochleistungsdiodenlasern erlaubt den simultanen Fügeprozess. Die gesamte Naht wird mit einem einzigen Bestrahlungspuls gefügt. Dies erlaubt kurze Prozesszeiten.

## Ergebnisse und Anwendungen

Sechs Hochleistungsdiodenlasermodule, welche jeweils eine homogene, linienförmige Leistungsdichteverteilung ( $20 \times 1 \text{ mm}^2$ ) bei maximal 15 W liefern, sind derart angeordnet, dass sie eine rechteckige Nahtkontur von  $20 \times 40 \text{ mm}^2$  eines hermetisch verschließbaren Probekörpers vollständig bestrahlen. Das verwendete Lasersystem erlaubt individuelle Ansteuerung und Überwachung der einzelnen Lasermodule. In der Anpassung der Leistungsdichteverteilung an die Nahtgeometrie durch entsprechende Strahlformung und -führung liegt eine Herausforderung des simultanen Fügeprozesses.

Schweißversuche zeigen, dass zusätzlich zu kurzen Prozesszeiten durch die simultane Prozessführung breitere Prozessfenster sowie erhöhte Spaltüberbrückbarkeiten und Nahtfestigkeiten im Vergleich zum Konturfügen erreicht werden. Da die gesamte Fügenaht gleichzeitig plastifiziert wird, ist es möglich, Toleranzen abhängig vom Design der Naht und der Fügeumgebung abzuschmelzen und auszugleichen. Simultanes Verschweißen von Probekörpern aus Polyamid lieferte bei einer Gesamtlaserleistung von 80 Watt und einer Bestrahlungszeit von 1 Sekunde eine dichte Naht, welche einem Druck von 16 bar widerstand. Durch die Verwendung höherer Laserleistungen kann die Prozesszeit weiter gesenkt werden. Die wirtschaftliche Bewertung des simultanen Fügeprozesses muss Aspekte wie die Schweißnahtlänge, die benötigte Laserleistung, die Produktanzahl sowie die Taktzeit berücksichtigen.

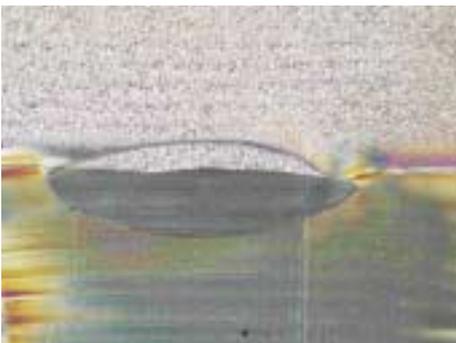
## Ansprechpartner

Dipl.-Phys., Dipl.-Ing. U.-A. Russek,  
Tel.: -158

E-mail: russek@ilt.fraunhofer.de

Dr. A. Gillner, Tel.: -148

E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de



Mikrotomschnitte simultan verschweißter PA Proben.  
Oben: Anhaftung  
Mitte: Gute Verschweißung  
Unten: Lochbildung in der Schweißnaht

# Prozessüberwachung beim Simultanschweißen von Thermoplasten

## Aufgabenstellung

Beim Simultanschweißen von Thermoplasten mittels Laserstrahlung stellt die Prozesskontrolle eine wesentliche Herausforderung dar. Entsprechend der Prozessführung ist es notwendig, ein örtlich aufgelöstes Prozesssignal über das gesamte Bauteil zu erhalten.

## Vorgehensweise

Durch die Laserbestrahlung der Thermoplaste in Überlappgeometrie kommt es aufgrund von Strahlungsabsorption zur Temperaturerhöhung im Fügebereich. Die entstehende Wärmestrahlung bietet sich als prozessbezogenes Signal an. IR-Kameras ermöglichen die Aufnahme der Wärmestrahlung. Ein rechteckiges Kästchen aus Polycarbonat wurde mit sechs Hochleistungsdiodenlasermodulen simultan bestrahlt. Mittels einer IR-Kamera konnte ein ortsaufgelöstes, prozessbezogenes Bild der entstehenden Wärmestrahlung aufgenommen werden. Abb. 1 zeigt das Wärmestrahlungsbild der Fügenaht zum Ausschaltzeitpunkt der Laserstrahlquellen.

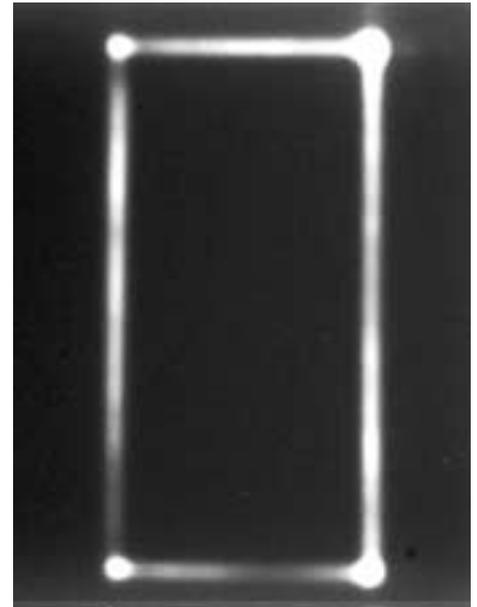
## Ergebnisse und Anwendungen

Der Einsatz von IR-Kameras beim Simultanschweißen von Thermoplasten unterstützt die individuelle Justage der Diodenlasermodule zur Schweißnahtgeometrie, liefert ein Maß für die Temperaturverteilung über die Nahtgeometrie und erlaubt sowohl die Identifizierung von Schweißfehlern wie Schmelzaustritt oder Überhitzung als auch eine on-line Prozesskontrolle. Selbst kleine Veränderungen der physikalischen Eigenschaften der Fügepartner oder der Spalte zwischen ihnen bedürfen einer entsprechenden Anpassung der Prozessparameter. Durch den Vergleich des gemessenen Signals mit einem Referenzsignal können Laserleistung oder Bestrahlungszeit entsprechend einem Regelkreis angepasst werden. Dadurch bleibt eine hohe Schweißnahtqualität erhalten. Das Referenzsignal wird durch systematische Untersuchungen bestimmt. Insbesondere wird durch die prozess- und regelkreisangepasste Software der IR-Kamera die schnelle Verarbeitung der Daten sowie eine on-line- als auch eine post-process-Kontrolle ermöglicht.

Mit freundlicher Unterstützung von  
Thermosensorik GmbH, Erlangen

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys., Dipl.-Ing. U.-A. Russek,  
Tel.: -158  
E-mail: russek@ilt.fraunhofer.de  
Dr.-Ing. A. Gillner, Tel.: -148  
E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de



IR-Kamerabild einer simultan bestrahlten, rechteckigen Schweißnahtkontur (20 x 40 mm<sup>2</sup>).

# Optischer Diodenlaser-Schneidplotter

## Aufgabenstellung

Im Rahmen des BMBF-Leitprojektes »Modulare Diodenlaser Strahlwerkzeuge (MDS)« werden neuartige Diodenlasergeräte entwickelt und erprobt. Für Schneidanwendungen wurde ein Diodenlasergerät aufgebaut, das durch koaxiale Überlagerung der Strahlung von sechs Diodenbarren eine Leistungsdichte von ca.  $2 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$  bereitstellt. Die erzielte Strahlqualität beträgt im Mittel 20 mm mrad bei einer Leistung von ca. 100 W. Dieser »optische Schneidplotter« soll an verschiedenen metallischen und organischen Werkstoffen erprobt werden.



Diodenlaser-Schneiden von Edelstahlblech der Dicke 0,5 mm.

## Vorgehensweise

Das Diodenlasergerät wurde mit einem Schneidkopf ausgerüstet und an einem Dreiachs-Handling montiert. Es sind zahlreiche Schneidversuche unter Verwendung verschiedener Verfahrensparameter und Probenmaterialien durchgeführt worden.

Darüber hinaus wurde für vergleichende Schneiduntersuchungen ein kommerzieller, diodengepumpter Nd:YAG Laser mit einer Strahlqualität von 15 mm mrad eingesetzt.

## Ergebnisse und Anwendungen

Diodenlaser-Brenn- bzw. Schmelzschnitte in Baustahl der Stärke 0,5 mm konnten bei einer Leistung von 100 W am Werkstück mit 5,75 m/min bzw. 0,5 m/min realisiert werden.

Bei gleicher Laserleistung betrug die Trenngrenzgeschwindigkeit für Edelstahl der Stärke 0,5 mm bzw. 0,1 mm unter Verwendung des Schneidgases Stickstoff 1,2 m/min bzw. 9 m/min.

Darüber hinaus wurde demonstriert, dass mit dem Diodenlaser auch organische Werkstoffe wie Leder, Papier, Pappe und Baumwollgewebe geschnitten werden können.

Der eingesetzte Nd:YAG Laser verfügte im Vergleich zu dem Diodenlaser über eine 25 % bessere Strahlqualität und einen im Mittel 10 % kleineren Fokus. Unter Verwendung dieses Gerätes wurden in Bau- und Edelstahlblechen der Stärke 0,5 mm bei 100 W Leistung durchschnittlich 20 % höhere Schneidgeschwindigkeiten als mit dem optischen Schneidplotter erreicht. Diodenlaser besitzen jedoch im Vergleich zu Nd:YAG Lasern den Vorteil eines kleineren Bauvolumens (ca. Faktor 10) und eines höheren Wirkungsgrades (ca. Faktor 5).

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. B. Seme, Tel.: -426  
E-mail: seme@ilt.fraunhofer.de  
Dr. D. Petring, Tel.: -210  
E-mail: petring@ilt.fraunhofer.de

# Schweißen hochfester Edelstähle im Schienen- fahrzeugbau

## Aufgabenstellung

Im Automobilbereich wie auch im Schienenfahrzeugbereich finden immer mehr hochfeste Edelstähle als Strukturbauteile (Profile) Verwendung. Diese erfüllen bei geringerer Blechstärke gleiche Ansprüche an die Festigkeit, die sonst nur mit größeren Wandstärken erzielt werden. Mit diesen Stählen sind vergleichbare Leichtbaukonstruktionen wie im Aluminiumsektor möglich. Hinzu kommt bei diesen Stählen die gute Verschweißbarkeit auch mit Strahlschweißverfahren, wie das Laserstrahlschweißen.

## Vorgehensweise

Für die montagegenaue, d. h. präzise und verzugsminimierte, Fertigung von Fahrzeugkomponenten (Strukturteilen) wurden Musterbauteile lasertechnisch gefertigt. Dazu gehörige Buchsen wurden ohne Zusatzwerkstoff mit einem CO<sub>2</sub>-Laser in die Profile eingeschweißt. Die zugehörigen Aufnahmen wurden durch Laserstrahlschneiden hergestellt. Außerdem wurden die Profile untereinander durch Laserstrahlschweißen verbunden.

Entsprechend der verwendeten Wandstärken und geforderten Vorschubgeschwindigkeiten werden neben CO<sub>2</sub>-Laser auch diodengepumpte Nd:YAG-Laser eingesetzt.

## Ergebnisse

Die geschweißten Bauteile wurden fertigmontiert und in einem Prüfstand statischen und dynamischen Belastungstests unterzogen. Hierbei hielten die Schweißverbindungen sämtlichen Tests stand. Weitere Untersuchungen an anderen Fahrzeugkomponenten mit diversen Schweißnaht- und Stoßkonfigurationen werden zur Zeit durchgeführt.

Vor allem die enge Kooperation von Konstrukteuren und Laserverfahrensexperten verspricht signifikante Fortschritte im Schienenfahrzeug-Leichtbau.

Diese Arbeiten werden im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes »eSIE.CAR« unter der Federführung der Siemens-Duewag-Schienenfahrzeug GmbH durchgeführt.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. N. Wolf, Tel.: -448  
E-mail: wolf@ilt.fraunhofer.de  
Dr. D. Petring, Tel.: -210  
E-mail: petring@ilt.fraunhofer.de



# Robuste und effiziente Anwendungen des Laser-Lichtbogen-Hybridschweißens

## Aufgabenstellung

Der wesentliche Gewinn bei der Kombination von Laser und Lichtbogen resultiert aus der simultanen Anwendung eines tiefschweißenden Strahlwerkzeuges und eines Lichtbogenprozesses, der mit hoher Wirtschaftlichkeit sowohl Prozesswärme als auch schmelzflüssigen Zusatzwerkstoff bereitstellt. In der Kombination entsteht ein robuster, spalttoleranter, flexibel steuerbarer und effizienter Prozess, der die Schweißbarkeit von Bauteilen auch bei bisher als extrem geltenden Anforderungsprofilen mit beanspruchungsgerechter Qualität ermöglicht. Ein patentiertes Schweißkopfdesign und die richtige Prozessführung bringen die Vorteile der Technik vollständig zum Tragen.

## Vorgehensweise

Der patentierte Hybridschweißkopf des Fraunhofer ILT besitzt einen kompakten, Laserstrahl und Lichtbogen umschließenden, wassergekühlten Düsenkörper mit einem ringförmigen Schutzgaskanal und einem integrierten, leicht auswechselbaren Offaxis-Kontaktrohr. Diese Lösung gestattet die effektivste Zusammenführung von Laserstrahl und Lichtbogen auf engstem Raum und gewährleistet eine homogene, kontaminationsfreie Prozessgaströmung. Mit dem ILT-Hybridkopf werden CO<sub>2</sub>- und Nd:YAG-Laseranlagen in Kombination mit handelsüblichen Stromquellen für Stahl- sowie Aluminiumanwendungen ausgestattet.

## Ergebnisse und Anwendungen

Die weltweit erste in der Serienfertigung eingesetzte Laser-MIG/MAG-Hybridschweißanlage wurde im Jahr 2000 vom Fraunhofer ILT bei einem Behälterbauer für das Schweißen von Öltanks in Betrieb genommen und TÜV-zertifiziert. Mittlerweile wird das Hybridschweißen im Schiff-, Automobil- und Behälterbau sowie in der Rohr- und Profilverarbeitung eingesetzt. Im Jahr 2002 wurde die ILT-Hybridschweißtechnik für das Fügen von Edelstahlrohren im Wandstärkebereich zwischen 2,4 und 14,4 mm durch Lloyd's Register für einen Rohrhersteller qualifiziert. Eine ebenfalls patentierte ILT-Variante des Laser-WIG-Hybridschweißens wird inzwischen von einem Automobilzulieferer für die Herstellung von Tailored Blanks eingesetzt.

Die nächsten Anwendungen sollen zusätzlich von einer neuen Modulationstechnik, der Ausdehnung auf Laser-MIG-Lötverfahren und einer speziell auf 3D-Anwendungen getrimmten »Integrierten Hybriddüse« profitieren.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. C. Fuhrmann, Tel.: -221  
E-mail: fuhrmann@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Ing. N. Wolf, Tel.: -448  
E-mail: wolf@ilt.fraunhofer.de  
Dr. D. Petring, Tel.: -210  
E-mail: petring@ilt.fraunhofer.de



# Erhöhung der Einschweißtiefe in Aluminium mit Hochleistungsdiodenlaser

## Aufgabenstellung

Der stetig wachsende Einsatz von Aluminiumlegierungen in der Luftfahrt und im Karosseriebau sowie die voranschreitende Verbesserung der Strahlqualität von Diodenlasern machen Hochleistungsdiodenlaser für Schweißanwendungen an Aluminium interessant. Aufgrund der vergleichsweise geringen Leistungsdichte von Hochleistungsdiodenlasern und der hohen Wärmeleitfähigkeit von Aluminium ist bislang nur Wärmeleitungsschweißen realisierbar. Durch Anpassung der Strahlfleckgröße und Aufbringen von absorptionssteigernden Schichten kann das Schweißergebnis optimiert werden.

## Vorgehensweise

Zur Untersuchung des Einflusses der Strahlfleckabmessungen beim Schweißen von 6 mm dicker AlMg-Legierung wurde bei konstanter Vorschubgeschwindigkeit und Laserleistung von 2,5 kW der Arbeitsabstand variiert. Der Laserstrahl wurde im Bereich 0 mm bis 20 mm schrittweise defokussiert. Die Schweißungen erfolgten ohne Schmelzbadabstützung und Wurzelschutz.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde eine absorptionssteigernde Graphitschicht auf 2 mm dicker AlMg-Legierung aufgebracht und die im Fokus erzeugten Schweißergebnisse mit entsprechenden Schweißungen an unbeschichtetem Material verglichen.

## Ergebnisse und Anwendungen

Größere Strahlfleckabmessungen können beim Wärmeleitungsschweißen bei ausreichend niedriger Vorschubgeschwindigkeit tiefere Einbrände erzeugen. Mit abnehmender Vorschubgeschwindigkeit verschiebt sich die bezüglich der erzielbaren Einschweißtiefe optimale Defokussierung zu größeren Werten. Mit steigender Defokussierung nimmt die Nahtbreite entsprechend dem größer werdenden Spot zu.

Durch das Aufbringen einer Graphitschicht kann eine Steigerung des Absorptionsgrades der AlMg-Legierung auf ca. 90 % im kalten Zustand erreicht werden. Durch die erhöhte Absorption der Laserstrahlung lässt sich die Vorschubgeschwindigkeit auf das drei- bis vierfache steigern, wobei die Schweißergebnisse bezüglich der Nahtquerschnittsabmessungen vergleichbar mit denen der Schweißungen am unbeschichteten Material sind.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. C. Benter, Tel.: -219  
E-mail: benter@ilt.fraunhofer.de  
Dr. D. Petring, Tel.: -210  
E-mail: petring@ilt.fraunhofer.de

Abb. 1 und 2 von oben:  
Schweißnähte in 6 mm AlMg-Legierung,  
 $v = 150 \text{ mm/min}$ .  
Abb. 3 und 4:  
Schweißnähte in 2 mm AlMg-Legierung mit Graphitschicht.



# Neue Fügetechniken mit dem Diodenlaser- Ringstrahl

## Aufgabenstellung

Im Rahmen des BMBF-Leitprojektes »Modulare Diodenlaser-Strahlwerkzeuge MDS« wurde am Fraunhofer ILT ein Diodenlaser mit ringförmigem Strahlfleck entwickelt und aufgebaut. Auf dem Gebiet der Fügetechniken bietet dieses Gerät vielfältige Anwendungsmöglichkeiten wie das Single-Shot-Laserpunktschweißen an Überlappverbindungen oder das verzugsfreie Single-Shot-Rundnahtschweißen an kleinen zylindrischen Bauteilen. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dem Schweiß- oder Lötprozess durch die zentrale Durchgangsapertur draht- oder pulverförmiges Zusatzmaterial koaxial zuzuführen oder durch Kombination des Ringstrahls und eines koaxialen Nd:YAG- oder CO<sub>2</sub>-Laserstrahls einen Laser-Laser-Hybridprozess zu realisieren.

## Vorgehensweise

Mit dem Diodenlaser-Ringstrahl sind Verbindungsschweißungen an VA-Stahl und Baustahl im Single-Shot-Schweißverfahren, also ohne Relativbewegung zwischen Werkstück und Laserstrahlung, erzeugt worden. Der im mittleren Durchmesser 5 mm messende Ringstrahl hat eine Leistung von 2 kW. Je nach Blechdicke und Bearbeitungsaufgabe wurde die Bestrahlzeit variiert.

## Ergebnisse

Die ermittelte Durchschweißgrenzzeit für 1 mm dicke Baustahl- und Edelstahlbleche beträgt etwa 400 ms.

Belastbare Überlapp-Punktschweißungen an je 1 mm dicken VA-Stahlblechen können bei einer Bestrahlzeit von 1 s erzeugt werden. Ab einer Bestrahlzeit von 1,5 s ist die Verbindung 2 mm tief durchgeschweißt. Die gleichen Werte gelten für 0,8 mm dicke Baustahlbleche.

Ein im Außendurchmesser 5 mm messendes VA-Stahlröhrchen mit einer Wandstärke von 1 mm wurde in Single-Shot-Technik auf ein 1 mm dickes VA-Stahlblech geschweißt. Dabei wurde bei einer Bestrahlzeit von 250 ms eine Rund-Kehlnaht auf der Bauteilseite mit dem Röhrchen erzeugt. Durch die kurze Einwirkzeit des Lasers und die rundum gleichmäßige Bestrahlung der Fügestelle entsteht eine verzugfreie Verbindung.

Bei einer von der rohrabgewandten Seite durchgeführten Überlappschweißung konnte das Röhrchen mit dem Blech in 1 s verzugfrei verbunden werden.

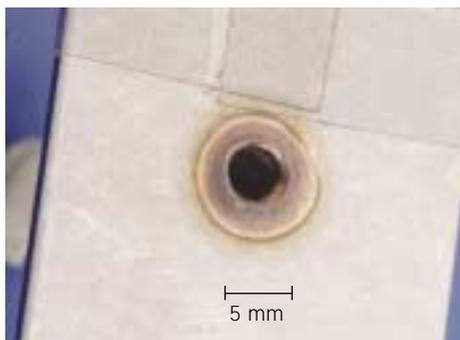
Die beschriebenen Beispiele stellen nur einen kleinen Ausschnitt der vielfältigen Schweiß-, Löt- und Hybridprozesse dar, die mit der Ringstrahltechnik zukünftig erschlossen werden sollen.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. C. Benter, Tel.: -219  
E-mail: benter@ilt.fraunhofer.de  
Dr. D. Petring, Tel.: -210  
E-mail: petring@ilt.fraunhofer.de



Rohr-Blech-Verbindung aus  
Edelstahl, Wandstärke 1 mm,  
Schweißzeit 250 ms.



# Instandsetzung von Flugtriebwerkskomponenten mittels Laserstrahl-Auftragschweißen

## Aufgabenstellung

Zur Steigerung des spezifischen Wirkungsgrades kommen im Nieder- und Hochdruckverdichterbereich moderner Flugtriebwerke sogenannte BLISKS (Blade Integrated Disks) aus Nickel- und Titanbasislegierungen zum Einsatz. Aufgrund der integrierten Beschauung der BLISKS ist eine Instandsetzung durch Austausch der z. B. durch Fremdkörpereinschläge beschädigten Schaufeln (Bild 1) nicht möglich.

Ein Instandsetzungsverfahren stellt das artgleiche Laserstrahl-Auftragschweißen mit pulverförmigem Zusatzwerkstoff dar.

## Vorgehensweise

In einem ersten Schritt werden die geeigneten Verfahrensparameter und -strategien an Modellen, die in Geometrie und Werkstoff den standardisiert ausgefrästen Schadensbereichen des Originalbauteils entsprechen, ermittelt.

Basierend auf den Ergebnissen der Voruntersuchungen werden die Verfahrensparameter und -strategien dem Originalbauteil angepasst.

Durch CAD/CAM Module (Makros) werden die Verfahrensparameter und -strategien in NC Befehle umgesetzt.

Durch Postprocessing und Transfer der erstellten NC Befehle an die Anlage wird eine geschlossene Prozesskette realisiert.

## Ergebnisse und Anwendungen

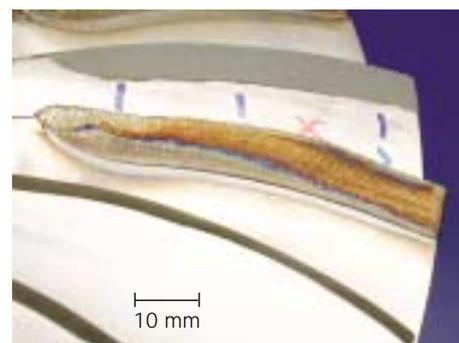
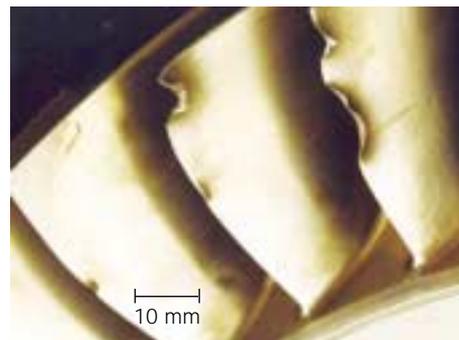
Für die Instandsetzung von BLISKS aus Nickel- (z. B. Inconel 718) und Titanbasislegierungen (z. B. Ti6Al4V) ist eine geschlossene Prozesskette verfügbar, die ein Laserstrahl-Auftragschweißen mit folgenden Spezifikationen ermöglicht:

- hergestellte Schichten frei von Poren, Rissen und Anbindungsfehlern
- oxidfreies Auftragschweißen ohne Prozessgaskammer
- minimaler Wärmeeintrag und somit minimaler Verzug der Bauteile

Eine instandgesetzte Einströmkante einer BLISK-Schaukel aus Ti6Al4V ist in Bild 2 dargestellt.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. I. Kelbassa, Tel.: -411  
E-mail: kelbassa@ilt.fraunhofer.de  
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147  
E-mail: wissenbach@ilt.fraunhofer.de



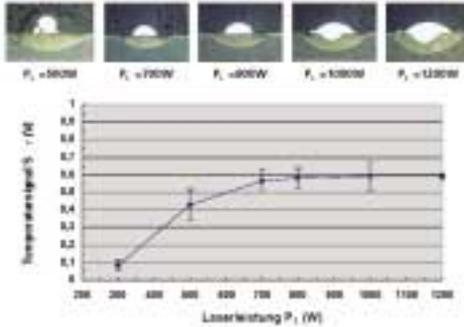
**Oben:** Durch Fremdkörpereinschläge beschädigte BLISK-Schaukeln.  
**Unten:** Instandgesetzte Einströmkante einer BLISK-Schaukel aus Ti6Al4V.

# Prozessüberwachung beim Laserstrahl-Auftrag- schweißen

## Aufgabenstellung

Das Laserstrahl-Auftragschweißen mit pulverförmigen Zusatzwerkstoffen wurde in den letzten Jahren bis zur Serienreife entwickelt. Anwendungen für diese Technologie finden sich beispielsweise in der Instandsetzung von teuren Teilen (Präzisionswerkzeuge, Motorenteile, Maschinenteile, Triebwerkskomponenten) und im Bereich des Verschleiß- und Korrosionsschutzes.

Um eine gleichbleibende Qualität der Schichten beim Laserstrahl-Auftragschweißen zu gewährleisten, insbesondere bei sich ändernden Bauteilgeometrien, soll eine Prozessüberwachung basierend auf der Detektion der emittierten Wärmestrahlung aus der Wechselwirkungszone entwickelt werden. Zusätzlich soll der Zustand diverser Komponenten (z. B. Schutzglas, Strahlteiler, Düse) im Bearbeitungskopf mit verschiedenen Sensoren überwacht werden.



**Oben:** Gemessenes Temperatursignal beim Laserstrahl-Auftragschweißen von Edelstahl auf Vergütungsstahl in Abhängigkeit von der Laserleistung und zugehörige Querschliffe.  
**Unten:** Bearbeitungskopf mit integrierter Sensorik und Koaxialdüse für die Pulverzufuhr.

## Ergebnisse und Anwendungen

Die in den Bearbeitungskopf integrierten Sensoren liefern Signale zur emittierten Wärmestrahlung, zum Verschmutzungsstatus des Schutzglases, zur einfallenden und rückreflektierten Laserleistung und zu Temperaturen von diversen Komponenten im Bearbeitungskopf (Düse, Strahlteiler, Schutzglas). Zusätzlich kann über eine CCD Kamera der Prozess überwacht werden. Der Bearbeitungskopf wurde beim Laserstrahl-Auftragschweißen erfolgreich getestet. In weitergehenden Untersuchungen werden Korrelationen zwischen Bearbeitungsergebnis (z. B. Aufmischungsgrad, s. Bild 1) und gemessenen Signalen erarbeitet, die es erlauben, den Bearbeitungskopf in der industriellen Fertigung für eine Prozessüberwachung einzusetzen.

Der Bearbeitungskopf wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Precitec KG entwickelt und am Fraunhofer ILT erprobt. Die Arbeiten werden durch das »PROINNO« Programm des BMWI gefördert.

## Vorgehensweise

In den Bearbeitungskopf wird ein Einfarbenpyrometer so integriert, dass die Wärmestrahlung koaxial zur Laserstrahlung gemessen wird. Der Bearbeitungskopf wird für Nd:YAG Laserstrahlung ausgelegt und enthält eine koaxiale Pulverdüse für die Zufuhr des Zusatzwerkstoffes (s. Bild 2). Durch diese Konfiguration kann ein richtungsunabhängiges Auftragschweißen und Messen realisiert werden.

## Ansprechpartner

Dr.-Ing. A. Gasser, Tel.: -209  
E-mail: gasser@ilt.fraunhofer.de  
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147  
E-mail: wissenbach@ilt.fraunhofer.de

# Herstellung von Aluminium-Bauteilen mit SLM

## Aufgabenstellung

Mit dem Selective Laser Melting SLM wurde ein neues generatives Fertigungsverfahren für die Herstellung von nahezu beliebig komplexen metallischen Bauteilen entwickelt. Bisher werden mit SLM hauptsächlich Stahlwerkstoffe und Titanlegierungen verarbeitet. Aufgabenstellung ist die Erweiterung des Verfahrens für die Verarbeitung von Aluminiumwerkstoffen.

## Vorgehensweise

Unterschiedliche Aluminium-Legierungen werden auf ihre Eignung für die Verarbeitung mit dem SLM Verfahren untersucht. Ziel der Untersuchungen ist, den Einfluss der Legierungselemente und -anteile auf den SLM-Prozess zu bestimmen. Dazu werden grundlegende Untersuchungen zur Bestimmung von Absorptionsgrad, Prozessparameter und geeigneter Scanstrategien für unterschiedliche Aluminiumlegierungen durchgeführt. Die Eignung der Legierungen wird anhand der erzielbaren Dichte sowie der Rissfreiheit bewertet.

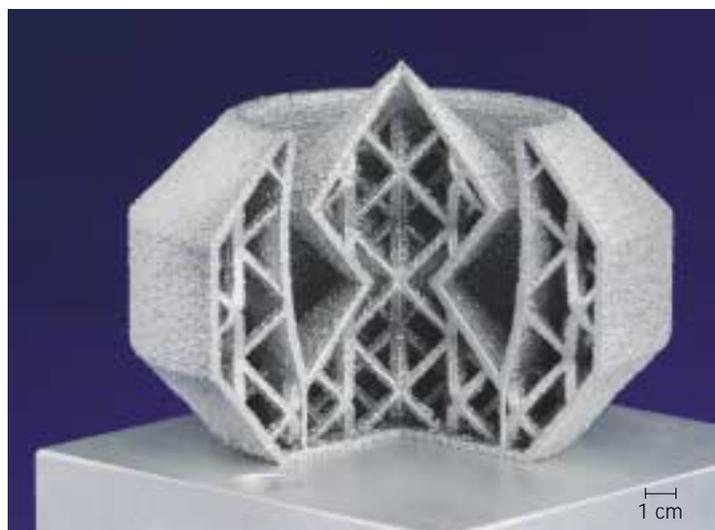
## Ergebnisse und Anwendungen

Bauteile aus unterschiedlichen Aluminium-Silizium Legierungen können mit einer Dichte von ca. 100 % rissfrei hergestellt werden. Beispielhaft wurden Bauteile aus den Legierungen AlSi25 und AlSi10Mg aufgebaut. Weitere Legierungen befinden sich in der Erprobung. Neben der schnellen Herstellung komplexer Funktionsprototypen ist das

Selective Laser Melting als Fertigungsverfahren für Bauteile mit einzigartiger Geometrie geeignet. Das im Bild gezeigte Demonstrationsbauteil mit einer komplexen internen Struktur wurde mit SLM aus AlSi10Mg hergestellt, um das Anwendungspotenzial z. B. für den Ultraleichtbau zu verdeutlichen.

## Ansprechpartner

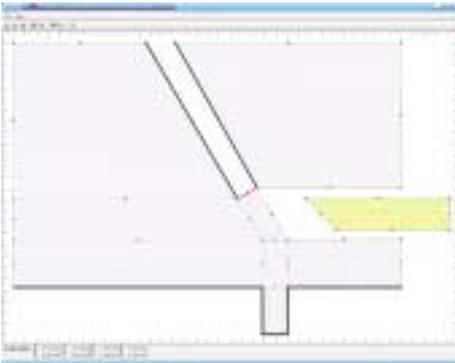
Dr. W. Meiners, Tel.: -301  
E-mail: [meiners@ilt.fraunhofer.de](mailto:meiners@ilt.fraunhofer.de)  
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147  
E-mail: [wissenbach@ilt.fraunhofer.de](mailto:wissenbach@ilt.fraunhofer.de)



# GridGen2D: Graphische Software zur Definition von Berechnungsgebieten für FEM/FVM-Aufgaben

## Aufgabenstellung

Im Rahmen des Remote-Computing-Konzepts wird eine graphische Software erstellt, die auch weniger erfahrenen Benutzern die Definition und Manipulation von Berechnungsgebieten an ihrem Arbeitsplatz-PC erlaubt. Programmpakete zur numerischen Lösung von Aufgaben zur Strömung oder Wärmeleitung durch die Methoden der Finiten Elemente oder Volumen erfordern in der Regel die Definition des Berechnungsgebiets und der Randbedingungen in Form einer ASCII-Datei. Die Erstellung dieser Datei ist umständlich, fehleranfällig und setzt viel Erfahrung und Fachwissen voraus. Die Software soll intuitiv bedienbar sein, den Benutzer interaktiv durch direkte Darstellung seiner Änderungen unterstützen und alle Schritte bis zur Übergabe des Problems an eine Numerik-Software enthalten. Die Übergabe des definierten Problems an die Numerik soll über eine Kommunikations-Schnittstelle via Intra- oder Internet erfolgen.



Rändern (Randbedingungen und Randwerte) sind veränderbar. Die Bedienkonzepte sind an die Bedienung bekannter Vektor-Grafik-Programme angelehnt, um dem Benutzer eine schnelle Einarbeitung zu ermöglichen. Nach Abschluss der Aufgabendefinition erlaubt GridGen2D das Starten der Berechnung durch eine auf einem leistungsfähigen Rechnersystem ablaufende Numerik-Software über das TCP/IP-Protokoll.

## Ergebnisse und Anwendungen

GridGen2D wurde erfolgreich zur Definition von 2D-Berechnungsgebieten eingesetzt, um beispielsweise die Strömung des Schneidgases beim Schneiden mit Laserstrahlung mit der Methode der Finiten Volumen zu simulieren. GridGen2D ermöglicht auch die Generierung von Problemstellungen zur Methode der Finiten Elemente. Eine nicht-kartesische Vernetzung der Gebiete und die Berücksichtigung krummliniger Ränder sind möglich.

## Vorgehensweise

Das plattformunabhängige Java™-Programm GridGen2D erlaubt die Definition und Manipulation von zweidimensionalen Berechnungsgebieten. Das Programm stellt die Berechnungsgebiete mittels des Grafikstandards OpenGL™ dar und erlaubt das Erstellen, Löschen, Verschieben und Verformen von Berechnungsgebieten. Eigenschaften von Gebieten (Vernetzung, Kopplungen an Nachbargebiete) und

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. J. Michel, Tel.: - 163  
E-mail: michel@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Phys. M. Nießen, Tel.: -307  
E-mail: niessen@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Phys. S. Pfeiffer, Tel.: -153  
E-mail: pfeiffer@ilt.fraunhofer.de

# Paralleles Hochleistungsrechnen auf einem Linux-Cluster

## Aufgabenstellung

Numerische Verfahren auf der Basis von Finiten Elementen und Volumen sind erprobte Methoden, um Aufgaben zur Strömung und Wärmeleitung zu lösen. Die erfolgreiche Anwendung dieser Verfahren und die Visualisierung der Ergebnisse erfordert die Kenntnis und das Verständnis entsprechender numerischer Programme. Auch weniger erfahrenen Benutzern soll der Zugang zu diesen numerischen Methoden über eine einheitliche Schnittstelle zur Untersuchung ihrer Problemstellungen gegeben werden. Darüber hinaus soll dem Anwender auch die nötige Rechenleistung zur Verfügung gestellt werden, um umfangreiche Probleme in möglichst kurzer Zeit bearbeiten zu können.

## Vorgehensweise

Zur Definition von zweidimensionalen Berechnungsgebieten mit ihren Randbedingungen wurde das plattformunabhängige Java™-OpenGL™-Programm GridGen2D erstellt. Dieses Programm erlaubt in Anlehnung an bekannte Bedienungskonzepte von Vektor-Grafik-Programmen die Bearbeitung der Gebiete des Problems an einem Arbeitsplatz-PC. Die durch GridGen2D definierte Aufgabe wird über ein Kommunikationsprotokoll (Internet-Protokoll TCP/IP) im Intranet oder von außen über das Internet an ein Linux-Cluster übermittelt. Ein leistungsfähiges Numerik-Paket berechnet dort das gestellte Problem auf einer vorgegebenen Anzahl von Prozessoren unter Verwendung der parallelen Kopplungsbibliotheken MPI und MPCCI. Die Ergebnisdaten übermittelt die Numerik

bereits während der Berechnung über TCP/IP an das plattformunabhängige Java™-Programm Visualization, das die Ergebnisse mittels des Grafikstandards OpenGL™ darstellt. Visualization erlaubt dem Benutzer zudem, mit der laufenden Berechnung auf dem Cluster-System zu interagieren.

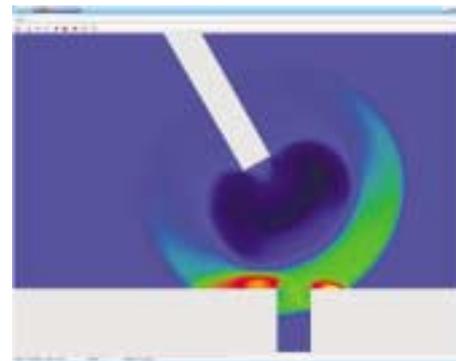
## Ergebnisse und Anwendungen

Das Linux-Cluster ermöglicht mit günstiger Standard-Hardware auch weniger erfahrenen Benutzern die Durchführung rechenintensiver Simulationen von komplexen Aufgaben von ihrem Arbeitsplatz-PC aus und eröffnet neuen Benutzerkreisen den Zugang zu numerischen Methoden. Bisherige Anwendungen umfassen

- Simulationen zur Dynamik des Schneidgases beim Schneiden mit Laserstrahlung
- Anwendung von Hochleistungs-Diodenlasern für den Schweißprozess (Wärmeleitung im festen Material)
- Simulation von geladenen Teilchen in einer Hohlkathode mittels der Monte-Carlo-Methode

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. J. Michel, Tel.: - 163  
E-mail: michel@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Phys. M. Nießen, Tel.: -307  
E-mail: niessen@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Phys. S. Pfeiffer, Tel.: -153  
E-mail: pfeiffer@ilt.fraunhofer.de



# Abtrag von Metallstiften: Simulation der Gasströmung

## Aufgabenstellung

In einem Glaskörper eingelassene Metallstifte werden in einem Brennvorgang zusammen mit Sauerstoff durch den Laser im Pulsbetrieb bis zu einer Tiefe von 2 mm abgetragen. Aufgrund einer unzureichenden Sauerstoffzufuhr innerhalb des Bohrloches konnten vor Projektbeginn nur maximale Abtrags-tiefen von 1 mm erreicht werden. Zum Auffinden geeigneter Verfahrensparameter wird die Sauerstoffzufuhr simuliert.

## Vorgehensweise

Die Sauerstoffzufuhr wird durch eine räumlich-zweidimensionale zeitabhängige Eulergleichung mit der Finiten-Volumen-Methode vom Godunov-Typ simuliert. Hierbei werden die Riemann Probleme zur Berechnung der numerischen Flüsse an den Zellberandungen mit einem modifizierten Harten-Lax-Leer-Verfahren gelöst. Die Einströmbedingung der Gasdüse in das Berechnungsgebiet wird durch die stationäre Lösung der Fadenströmung innerhalb der Gasdüse vorgegeben.

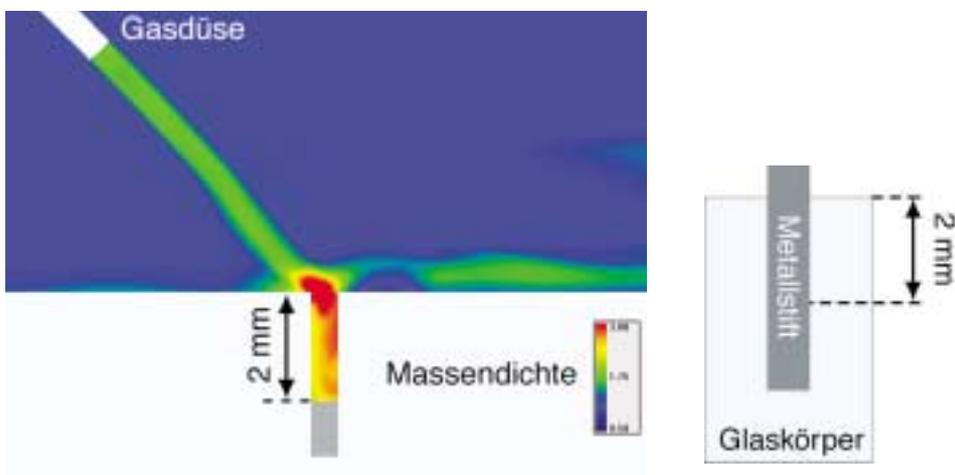
Mit der Simulation wurde der Einfluss von Positionierung (Winkel, Abstand, Ausrichtung), Typ (Konisch, Laval) sowie Verfahrensparameter (Austrittsdruck, Geschwindigkeit) der Gasdüse untersucht. Die Darstellung der Druck-, Dichte, Mach-, Geschwindigkeitsverteilungen und derer Gradienten innerhalb der Gasströmung erfolgte in einer interaktiven graphischen Oberfläche.

## Ergebnisse und Anwendungen

Als Ergebnis wurde eine Lavaldüse in einer bestimmten Anordnung für die Sauerstoffzufuhr gewählt. Damit konnte eine ausreichende Bohrtiefe von mindestens 2 mm erreicht werden. Die Empfindlichkeit der Bearbeitungsergebnisse von Düsentyp und Positionierung konnte dem Kunden mit einer Computeranimation dargestellt werden.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. J. Michel, Tel.: - 163  
E-mail: michel@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Phys. M. Nießen, Tel.: -307  
E-mail: niessen@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Phys. S. Pfeiffer, Tel.: -153  
E-mail: pfeiffer@ilt.fraunhofer.de



Geschäftsfeld  
Lasieranlagen  
und Systemtechnik





# Geschäftsfeld Laseranlagen und Systemtechnik

Anlage zum Laserstrahlbearbeiten von Halogenbrennern	76	Anwendung der koaxialen Prozessüberwachung (CPC) bei gepulster Laserstrahlung	85
Laserstrahlschweißen von Glasampullen für die Medizintechnik	77	3D-Offline Planung für das Laserstrahlschweißen	86
Laserstrahlschweißen von thermoplastischen Quick-Connectoren für die Automobilindustrie	78	Fraunhofer Erprobungs- und Beratungszentrum Lasertechnik	87
Mobile Anlage zum Laserstrahl-Auftragschweißen	79	VELI – Virtual European Laser Institute	88
Laserstrahlreinigen von Hochspannungsmasten	80		
Autonome Produktionszelle für das Laserstahlschweißen	81		
Kaskadierte Crossjet-Düse für Hochleistungs-Diodenlaser Anwendungen	82		
Koaxiale Prozesskontrolle (CPC) für Hochleistungsdiodenlaser	83		
Koaxiale Prozesskontrolle	84		

## 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.

Koaxiale Prozesskontrolle (CPC)  
für Hochleistungsdiodenlaser.

# Anlage zum Laserstrahlbearbeiten von Halogenbrennern

## Aufgabenstellung

Netzspannungshalogenlampen zeichnen sich dadurch aus, dass kein Spannungswandler mehr zum Betreiben der Lampen notwendig ist. Sie vereinen den höheren Wirkungsgrad und die gute Einstellbarkeit der Farbtemperatur mit dem einfachen Betrieb bei 230 V, wie er heute im Haushalt Standard ist.

Bei der Herstellung dieser Halogenlampen muss in einem Fertigungsschritt ein Teil eines Molybdänstifts entfernt werden. Ziel der Entwicklungsarbeiten war die Konzeption und der Bau einer Anlage zum automatisierten Laserstrahlschneiden und -bohren dieses Stifts.

## Vorgehensweise

In einer umfangreichen Machbarkeits- und Qualifizierungsstudie wurde ein Prozessfenster für das Laserstrahlbohren des Molybdänstifts entwickelt. Darauf aufbauend wurde anhand des Pflichtenhefts und der Anforderungen des Kunden eine Anlage zum Entfernen des Mittelpols bei Halogenbrennern konzipiert und gebaut.

## Ergebnisse und Anwendungen

Die Anlage arbeitet vollautomatisch mit einer manuellen Zu- und Abfuhr der zu bearbeitenden Halogenbrenner. Sie umfasst neben der Befüllstation Stationen zum Schneiden und Bohren des Stifts sowie zur Sortierung der Produkte in Gut- und Schlechteile.

Die Bearbeitung erfolgt mit einem gepulsten Nd:YAG-Laser. Die Laserstrahlung wird über Lichtleitfasern zu zwei Stationen transportiert. Das Abtrennen des Stifts erfolgt im Einzelpulsverfahren mit einer festen Optik. Die Positionierung für das anschließende Bohren wird mittels rechnergestützter Bildverarbeitung über einen Galvanometerscanner realisiert. Das Bohren mit Sauerstoffunterstützung ist der wichtigste Produktionsschritt. Er definiert das Produkt und bestimmt somit die Ausbringung der Maschine, die im Drei-Schicht-Betrieb arbeitet.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. A. Olowinsky, Tel.: -491  
E-mail: olowinsky@ilt.fraunhofer.de  
Dr. A. Gillner, Tel.: -148  
E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de



Laserstrahlbearbeitungsmaschine zur Entfernung des Mittelpols bei Halogenbrennern.

# Laserstrahlschweißen von Glasampullen für die Medizintechnik

## Aufgabenstellung

Für das Verschließen von Medikamentenampullen aus Glas werden üblicherweise Flammheizungen eingesetzt. Diese können jedoch erhöhte Anforderungen an die Partikelfreiheit nicht erfüllen. Daher soll der Verschluss mittels Laserstrahlung realisiert werden.

## Vorgehensweise

In Abhängigkeit von der verwendeten Laserstrahlung wird diese von Glas absorbiert und in Wärme umgewandelt. Eine ausreichende Temperaturerhöhung führt zum Schmelzen des Glases. Dadurch bietet sich die Möglichkeit, mittels Laserstrahlung und einer entsprechenden mechanischen Führung der Objekte Glasampullen zu verschließen.

## Ergebnisse und Anwendungen

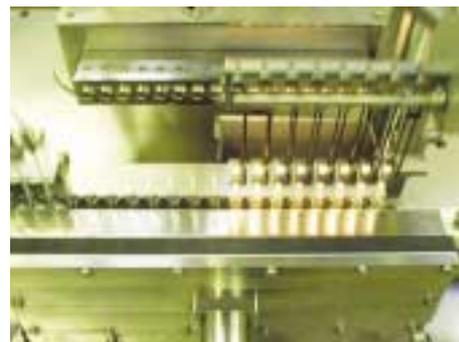
Im Kundenauftrag wurde der laserstrahlunterstützte Verschluss von Medikamentenampullen aus Glas in eine kommerzielle Ampullenfüll- und -verschleißlinie integriert. Dabei erfolgt das Aufschmelzen des Ampullenspießes mittels CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung anstelle der sonst üblichen Flammheizung. Aus ersten Versuchen ergaben sich Anforderungen an die mechanische Stabilität des Aufbaus, die laser-spezifischen Parameter sowie die Justierbarkeit des Strahlweges. Diese Anforderungen konnten sowohl durch entsprechende Modifikation der Strahlungsquelle als auch durch angepasste konstruktive Gestaltung der Lasereinheit erfüllt werden. In zwei Ampullenstationen mit den Abschnitten Reinigen, Sterilisieren, Füllen, Verschließen und

Verpacken wurde jeweils eine laser-gestützte Abschmelzeinheit integriert. Diese Einheit sorgt für das Vorwärmen und Verschließen von jeweils acht Ampullen pro Arbeitstakt bei einer Ausbringung von 400 Ampullen/min. Die beim bisher verwendeten Verschleißverfahren der Flammheizung entstehende Wärmebelastung des Umgebungsraumes konnte deutlich reduziert werden. Da die Wärmeeinbringung in die Ampulle durch Strahlungstransport erfolgt, ist ein partikelfreies Verschließen möglich.

Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Bosch, Geschäftsbereich Verpackungstechnik.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. G. Otto, Tel.: -165  
E-mail: otto@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Ing. M. Poggel, Tel.: -165  
E-mail: poggel@ilt.fraunhofer.de  
Dr. A. Gillner, Tel.: -148  
E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de



# Laserstrahlschweißen von thermoplastischen Quick-Connectoren für die Automobilindustrie

## Aufgabenstellung

Bei der Herstellung von KFZ-Kupplungs- und Bremsleitungen aus glasfasergefülltem Polyamid (PA 12) wird die Verbindung zwischen Rohr und Quick-Connector bisher durch eine Reibschweißung hergestellt. Dies hat den nachteiligen Effekt eines hohen Schmelzaustriebs auf der Rohrinne-seite.

Als Alternative bietet sich das Laserdurchstrahlschweißverfahren an, da hier die Energieeinbringung räumlich und zeitlich präziser steuerbar ist. Ferner kann die entstehende Schmelze konzeptbedingt nicht ins Rohrinne-re gelangen.

## Vorgehensweise

Für das Laserdurchstrahlschweißen von Kunststoffen bietet sich der Hochleistungsdiodelaser an. Sowohl die optischen Eigenschaften der Fügepartner als auch deren Geometrie wurden an das Verfahren und Produkt angepasst. Durch den formschlüssigen Kontakt der Fügepartner wird die Wärmeleitung zur gemeinsamen Plastifizierung begünstigt und eine qualitativ hochwertige, belastbare Naht erzeugt.

## Ergebnisse und Anwendungen

In systematischen Versuchsreihen konnten die zum Herstellen der Verbindung optimalen Prozessparameter ermittelt werden. Die Berstdruckuntersuchungen von laserstrahlgeschweißten Kupplungs- und Bremsleitungen ergaben Druckfestigkeiten von 250 bar. Die laserstrahlgestützten Schweißnähte erfüllen alle von der Automobilindustrie gestellten Anforderungen, wie z. B. Dichtigkeit, Temperatur- und Alterungsbeständigkeit.

Das Fraunhofer ILT erarbeitete in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber das Konzept für eine lasergestützte Anlage zum Verbinden von Rohr und Quick-Connector. Die Verfahrensgrundlagen sowie alle Laserkomponenten (Strahlungsquelle, elektrische Versorgung, Optiken) dieser sich im Aufbau befindenden Schweißstation wurden vom Fraunhofer ILT geliefert.

Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Agora bv, Niederlande.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. G. Otto, Tel.: -165  
E-mail: otto@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Ing. M. Poggel, Tel.: -165  
E-mail: poggel@ilt.fraunhofer.de  
Dr. A. Gillner, Tel.: -148  
E-mail: gillner@ilt.fraunhofer.de



# Mobile Anlage zum Laserstrahl-Auftragschweißen

## Aufgabenstellung

Anlagen für das Laserstrahl-Auftragschweißen mit mehr als 1 kW Leistungsbedarf werden bisher für den stationären Einsatz beim Endanwender oder bei Dienstleistern konzipiert. Bauteile, die aus technischen (Größe) oder wirtschaftlichen Gründen (Ausfallzeit) nicht transportiert werden können, sind mit diesen Konzepten nicht zu bearbeiten. Notwendig ist hierzu eine mobile Anlage, mit der die Bearbeitung »vor Ort« erfolgen kann. In Zusammenarbeit mit der Firma Schuler Held Lasertechnik wird am Fraunhofer ILT eine solche Anlage entwickelt und erprobt. Die Anforderungen sind Eignung zur 3D-Bearbeitung, geringer Raumbedarf, geringes Gewicht, rasche Zerlegbarkeit und ausreichende Robustheit.

## Vorgehensweise

Von der Firma Schuler Held Lasertechnik wird eine Anlage mit drei Linear- und zwei Drehachsen realisiert. Das Fraunhofer ILT rüstet diese Anlage mit einem fasergekoppelten Diodenlaser und einem Beschichtungskopf aus, der das 3D-Auftragschweißen ermöglicht.

## Ergebnisse und Anwendungen

Bild 1 zeigt die mobile Anlage der Firma Schuler Held Lasertechnik. Der Raumbedarf ist  $2 \times 2 \times 2,6 \text{ m}^3$ . Das Gesamtgewicht beträgt ca. 1200 kg. Die drei Linearachsen und das Gestell sind miteinander verschraubt und können rasch zerlegt werden. Jedes Einzelteil wiegt nicht mehr als 220 kg. Die Verfahrswege der Linearachsen sind  $x = 600 \text{ mm}$ ,  $y = 600 \text{ mm}$  und  $z = 700 \text{ mm}$ . Die Strahlführung erfolgt

innerhalb der beiden Drehachsen über Umlenkspiegel. So ist eine größtmögliche Beweglichkeit des Beschichtungskopfes gewährleistet, da die Lichtleitfaser nicht tordiert wird. Die Laserstrahlquelle ist ein Diodenlaser neuester Bauart mit 2 kW Ausgangsleistung.

Bild 2 zeigt den Beschichtungskopf. Die Pulverzufuhr erfolgt über eine Dreistrahl Düse. Drei einzelne Pulverstrahlen werden im Arbeitspunkt des Laserstrahls zusammengeführt. Dieses Konzept erlaubt das 3D-Auftragschweißen. Auch eine Überkopf-Bearbeitung ist möglich. Hierzu muss ein Querjet integriert werden, um die Optik vor Pulverpartikeln zu schützen.

Die Anlage wird derzeit am Fraunhofer ILT aufgebaut. Im Laufe des Jahres 2003 ist die Demonstration des mobilen Einsatzes vorgesehen. Potenzielle Anwendungen für die mobile Anlage sind die »vor Ort« - Reparatur großer Kurbelwellen (Länge  $> 3 \text{ m}$ ), großer Umformwerkzeuge (z. B. in der Automobilindustrie) oder das »vor Ort« - Auftragschweißen von Dampfturbinenkomponenten.

## Ansprechpartner

Dr. A. Weisheit, Tel.: -403  
E-mail: [weisheit@ilt.fraunhofer.de](mailto:weisheit@ilt.fraunhofer.de)  
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147  
E-mail: [wissenbach@ilt.fraunhofer.de](mailto:wissenbach@ilt.fraunhofer.de)



**Oben:** Mobile 5-Achs-Anlage (Schuler Held Lasertechnik).  
**Unten:** Überkopf-Auftragschweißen mit der Dreistrahl Düse mit integriertem Querjet.

# Laserstrahlreinigen von Hochspannungsmasten

## Aufgabenstellung

Für Energieversorgungsunternehmen stellen die zahlreichen Hochspannungsmasten ein wertwichtiges Betriebsmittel dar. Zur Vermeidung gravierender Korrosionsschäden müssen daher die Altanstriche in regelmäßigen Zyklen erneuert werden. In Abhängigkeit vom Zustand des Altanstrichs reicht die Instandsetzungsaufgabe vom Entrostern über das Reinigen bzw. Aufrauen der Oberfläche bis zum Komplettabtrag des Altanstrichs. Auf standortspezifische, kostenintensive Einhausungen soll damit künftig verzichtet werden können.

## Vorgehensweise

Das gemeinsame Ziel der kooperierenden Projektpartner RWE-Net, Clean-Lasersysteme, Peiniger RöRo und Fraunhofer ILT ist die Entwicklung eines mobilen mit einem Lastkraftwagen transportierbaren Laserstrahlreinigungssystems. Zunächst wurde eine geeignete Laserstrahlquelle ermittelt, mit der die Verfahrensentwicklung durchgeführt wurde. In Emissionsuntersuchungen wurden die entstehenden Abtragprodukte analysiert. Auf Basis dieser Untersuchungen wurde eine geeignete Absauganlage mit entsprechender Filtertechnik realisiert. Ein handgeführter ergonomischer Bearbeitungskopf mit geringem Gewicht, in den sowohl die Strahlführung und -formung als auch die Absaugung integriert wurden, war ein weiteres Entwicklungsziel. Durch eine 50 m lange Lichtleitfaser wird die Laserstrahlung vom Laser zum Bearbeitungskopf geführt. Eine robuste Ummantelung schützt die empfindliche Faser vor Knick

und Bruch. Bei der Entwicklung der Nd:YAG-Laserstrahlquelle mit 450 W Ausgangsleistung wurden einerseits die in den Voruntersuchungen ermittelten Anforderungen berücksichtigt; andererseits sind Konzepte erarbeitet worden, um den speziellen Anforderungen eines Außeneinsatzes (Erschütterungen und klimatische Bedingungen) gerecht zu werden.

## Ergebnisse und Anwendungen

Das entwickelte Laserstrahlreinigungssystem mit allen Einzelkomponenten hat sich bei der Erprobung am Mast grundsätzlich bewährt. Je nach Wahl der Verfahrensparameter wird dabei ein Komplettabtrag oder auch nur eine Reinigung bzw. Aufrauhung der Oberfläche des noch tragfähigen Altanstrichs erzielt. Bereiche, in denen die Farbe abgeplatzt ist und die in Folge der Bewitterung stark oxidiert, bzw. verrostet sind, können in der erforderlichen Qualität metallisch blank gereinigt werden. Weitere Anwendungsfelder könnten Brücken, Schiffe, Tanks oder andere Metallkonstruktionen sein. Um die Flächenraten in den wirtschaftlichen Bereich zu steigern, ist die Entwicklung von Systemen mit Laserleistungen von 2 kW oder mehr notwendig.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. C. Johnigk, Tel.: -301  
E-mail: johnigk@ilt.fraunhofer.de  
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147  
E-mail: wissenbach@ilt.fraunhofer.de



# Autonome Produktionszelle für das Laserstrahlschweißen

## Aufgabenstellung

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 368 »Autonome Produktionszellen« wurde eine Demonstrationsanlage für das autonome Laserstrahlschweißen (3D) aufgebaut. Autonome Produktionszellen (APZ) sind in der Lage, komplexe Bearbeitungsprozesse mit einem maximalen Grad an Selbständigkeit über einen längeren Zeitraum zuverlässig und störungstolerant durchzuführen. Daher müssen sie sowohl über einen hohen Automatisierungsgrad als auch über eine hohe Flexibilität verfügen.

## Vorgehensweise

Die APZ besteht aus den Komponenten Planung, Bearbeitung sowie Überwachung, Regelung und Visualisierung des Bearbeitungsprozesses.

Es wurde eine 5-Achs-Portal-Anlage als Laser -APZ umgebaut, die sich wahlweise mit einer offenen Steuerung auf OSACA-Basis oder aber mit einer kommerziellen Steuerung betreiben lässt. Als Strahlquelle wird ein 4,4 kW diodengepumpter Nd:YAG-Laser verwendet. Ein Technologiemodul erlaubt die CAD-gestützte Bahn- und Prozessplanung und Feature-basierte Generierung von Daten für die Bearbeitung. Für die Visualisierungsaufgaben und zur Interaktion zwischen Mensch und Maschine steht ein Leitstand zur Verfügung, der mit einem ergonomischen Benutzerinterface ausgestattet ist. Während der Bearbeitung beobachten verschiedene Sensoren den Prozess und ermöglichen sowohl Überwachungs- und Regelungsaufgaben als

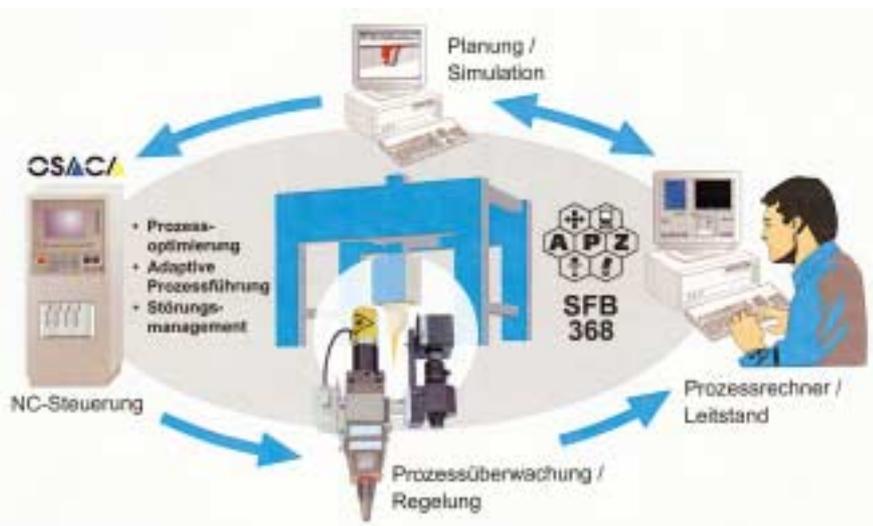
auch eine Umplanung. Die unterschiedlichen Sensorsignale werden von einem Prozessrechner erfasst und weiterverarbeitet. Der Prozessrechner fungiert als zentrale Komponente zur Kopplung der vernetzten Module der APZ.

## Ergebnisse und Anwendungen

Nach dem realisierten Umbau steht eine 5-Achs-Bearbeitungsanlage zur Verfügung, die speziell für die Laserbearbeitung optimiert wurde und dem letzten Stand der Technik entspricht. Der SFB wurde Ende des Jahres 2002 positiv begutachtet und wird nun in der vierten Phase fortgesetzt. Die Arbeiten werden in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Lasertechnik der RWTH Aachen durchgeführt.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. S. Mann, Tel.: -321  
E-mail: mann@ilt.fraunhofer.de  
Dr. S. Kaieler, Tel.: -212  
E-mail: kaieler@ilt.fraunhofer.de



# Kaskadierte Crossjet-Düse für Hochleistungs-Diodenlaser Anwendungen

## Aufgabenstellung

Die Laseroptiken von Hochleistungs-diodenlaser(HDL)-Geräten müssen wegen der geringen Arbeitsabstände während des Schweißprozesses besonders effektiv vor Verschmutzung durch Rauchniederschlag und Spritzern geschützt werden, allerdings ohne dabei den Schweißprozess zu stören. Am ILT wurde eine neuartige »kaskadierte Crossjet-Düse« speziell hinsichtlich dieser Anforderungen des HDL-Schweißprozesses entwickelt.

## Vorgehensweise

Bei der Entwicklung des Düsendesigns wurden folgende Anforderungen berücksichtigt:

- Flache, kompakte Bauform
- Montagemöglichkeit direkt an die HDL-Optik
- Große Durchgangsapertur
- Breite Druckluftströmung, die die gesamte HDL-Optik abdeckt
- Variierbare Druckluftströmung

Ein spezielles Feature ist die sog. »Kaskadierung« der Crossjet-Düse. Die Druckluftströmung wird von zwei parallelen, engen Schlitzen mit unterschiedlichen Spaltmaßen erzeugt, wodurch zwei Airjets mit entsprechend unterschiedlichem, »kaskadiertem« Massenstrom entstehen. Das Spaltmaß des dem Werkstück näheren Schlitzes ist geringer als das des optiknahen Hauptschlitzes. Die schwächer ausgeprägte Strömung des engeren Schlitzes unterstützt einerseits die Optikschtzwirkung des Hauptjets und vermittelt andererseits als Reibungsgrenzschicht zwischen der Hauptströmung und der nahezu ruhenden Atmosphäre über dem Werkstück. Dadurch soll die Störung der Schweißzone minimiert werden.

Weiter zeichnet sich der kaskadierte Crossjet durch seine Flexibilität aus. Ein Stegeinsatz erzeugt zusammen mit den Innenflächen der Ober- und Unterschalen die Schlitze. Durch einfachen Austausch des Stegeinsatzes lassen sich die Schlitzanordnung und -abmessungen variieren.

## Ergebnisse und Anwendungen

Die Crossjet-Düse hat sich beim Einsatz in umfangreichen Schweißversuchen an verschiedenen Werkstoffen (Edelstahl, Stahl, verzinkter Stahl, Aluminium) und bei kleinen Arbeitsabständen bewährt. Die Kaskadierung der Druckluftströmung sorgt im Vergleich zu bisherigen Lösungen für eine deutlich effektivere Spritzerablenkung und gewährleistet damit einen erheblich verbesserten Optikschtzw. Dies konnte insbesondere beim Schweißen von verzinkten Stahlblechen nachgewiesen werden.

Strömungstechnische Untersuchungen mit verschiedenen Stegeinsätzen bieten weiteres Optimierungspotential für die Crossjet-Düse.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. C. Benter, Tel.: -219  
E-mail: benter@ilt.fraunhofer.de  
Dr. D. Petring, Tel.: -210  
E-mail: petring@ilt.fraunhofer.de



# Koaxiale Prozesskontrolle (CPC) für Hochleistungsdiodenlaser

## Aufgabenstellung

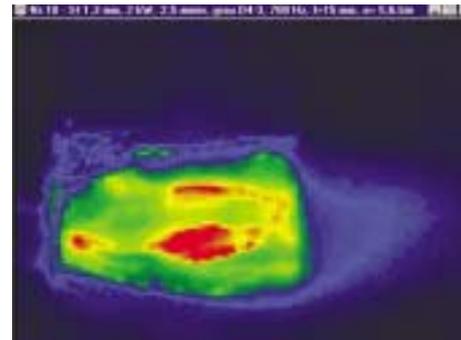
Das CPC-System dient der Aufzeichnung der Sekundärstrahlung (Temperaturstrahlung, Plasmastrahlung) von Schweißprozessen mit Hochleistungsdiodenlasern. Die Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahl und Werkstück soll während des Prozesses von einer koaxial zum Laserstrahl angeordneten CCD-Kamera durch die Bearbeitungsoptik beobachtet werden. Ziel der Untersuchungen sind Erkenntnisse zur Schmelzbadbewegung und zur Dynamik der Sekundärstrahlung während des Schweißprozesses.

## Vorgehensweise

Ein dichroitischer Spiegel mit hoher Abbildungsqualität lenkt die Laserstrahlung des Hochleistungsdiodenlasers um 90° um und gestattet zugleich durch Transmission anderer Wellenlängen die koaxiale Beobachtung der Wechselwirkungszone mit der Kamera. Anschließend wird die Laserstrahlung auf die Werkstückoberfläche fokussiert. Um sowohl eine optimale Fokussierung als auch eine verzeichnungsfreie Abbildung eines großen Beobachtungsfeldes (max. 12 x 12 mm<sup>2</sup>) und eine effektive Korrektur der Bildfeldkrümmung zu erreichen, wurde eine speziell angepasste Fokussieroptik für die CPC ausgelegt. Am Zoom-Objektiv der CCD-Kamera (max. 735 Bilder/s) kann der gewünschte Bildausschnitt eingestellt werden. Das Kamerasignal wird über einen PC mit entsprechender Software visualisiert und ausgewertet.

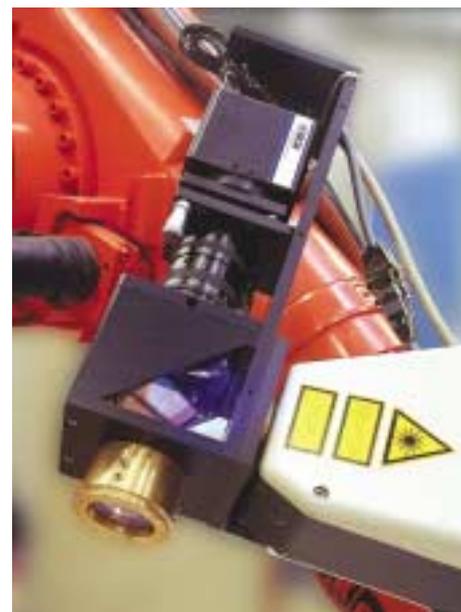
## Ergebnisse und Anwendungen

Erste Testaufnahmen von Schweißprozessen an Edelstahl, Stahl und Aluminium zeigen die Leuchtdichteverteilung des Schmelzbad und der nachlaufenden, abkühlenden Schweißnahtoberraupe. Eine Falschfarbendarstellung gestattet die differenzierte Betrachtung interessanter Grauwertebereiche des Kamerabildes beispielsweise zur Untersuchung der Fließbewegung der Schmelze. Demnächst werden Aufnahmen von Schweißprozessen auch quantitativ analysiert.



## Ansprechpartner

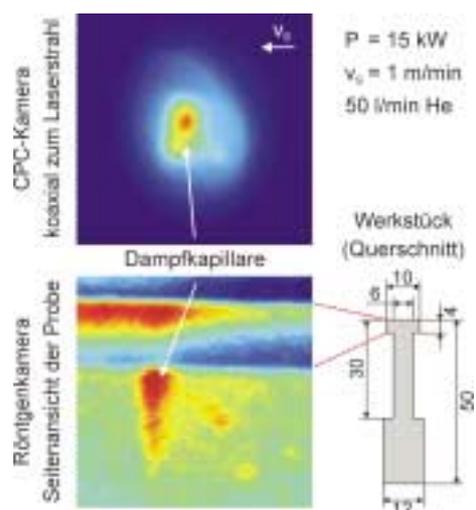
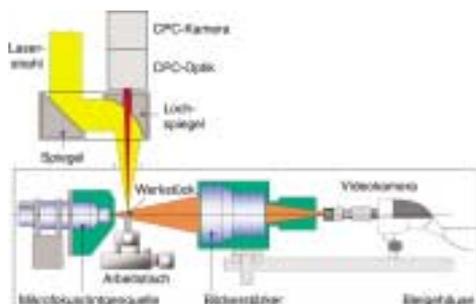
Dipl.-Ing. C. Benter, Tel.: -219  
E-mail: benter@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Ing. F. Schneider, Tel.: -426  
E-mail: schneider@ilt.fraunhofer.de  
Dr. D. Petring, Tel.: -210  
E-mail: petring@ilt.fraunhofer.de



Oben: Screenshot der CPC-Software.  
Unten: CPC an ROFIN DL025.

## Aufgabenstellung

Die Koaxiale Prozesskontrolle (CPC) wurde im Fraunhofer ILT zur Überwachung von Bearbeitungsprozessen mit Laserstrahlung entwickelt. Die Methode ist grundsätzlich bei allen Verfahren der Lasermaterialbearbeitung einsetzbar. Insbesondere beim Schweißen mit Laserstrahlung findet das System bisher die häufigste Verwendung. Mit den Bildern des CPC lassen sich Prozesszustände unterscheiden, aber auch wichtige charakteristische Parameter, wie die Einschweißtiefe, direkt bestimmen. Um die bisher empirisch ermittelten Zusammenhänge zu bestätigen, wurde nach einem Verfahren gesucht, die Bearbeitung zeitgleich zu der Beobachtung durch das CPC System zu visualisieren.



Oben: Versuchsaufbau  
Unten: Kamerabilder und Werkstückgeometrie

## Vorgehensweise

Um die komplexe Aufgabenstellung zu lösen, wurde der Einsatz von Röntgenstrahlung zur Online-Visualisierung der wahren Schweißnahtgeometrie ausgewählt. Da im Fraunhofer ILT keine geeignete Röntgenquelle zur Verfügung steht, wurde mit der Universität Osaka, die über eine solche Quelle verfügt, und dem Japanischen Forschungszentrum AMPI, das geeignete Lasersysteme in der Nähe zur Universität Osaka unterhält, Kontakt aufgenommen. Beide Einrichtungen waren an der Durchführung dieser Untersuchungen interessiert und stimmten einer Kooperation zu.

## Ergebnisse und Anwendungen

Nach intensiver Vorbereitung konnten im November 2002 die ersten gemeinsamen Untersuchungen in Japan durchgeführt werden. Durchgeführt wurden Schweißungen sowohl mit einem  $\text{CO}_2$ -Laser bis 20 kW Leistung als auch mit einem Nd:YAG-Laser mit 2,5 kW Leistung. Das sich daraus ergebende umfangreiche Proben- und Datenmaterial befindet sich zur Zeit in Auswertung. Die ersten Ergebnisse werden im Frühjahr 2003 erwartet.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. P. Abels, Tel.: -428  
E-mail: abels@ilt.fraunhofer.de  
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212  
E-mail: kaierle@ilt.fraunhofer.de

# Anwendung der koaxialen Prozessüberwachung (CPC) bei gepulster Laserstrahlung

## Aufgabenstellung

Mit dem vom Fraunhofer ILT entwickelten Verfahren der koaxialen Prozessüberwachung (Coaxial Process Control - CPC) wird die Wechselwirkungszone von Laserstrahl und Werkstück während der Materialbearbeitung mit einem bildgebenden Detektor (CCD- oder CMOS-Kamera) beobachtet. Die Kamerabilder lassen Rückschlüsse auf die Qualität der Bearbeitung des Werkstücks zu. Die Kamera ist so angeordnet, dass die Beobachtung koaxial zum Laserstrahl durch die Bearbeitungsoptik erfolgt. Das Messverfahren wurde im Labor an verschiedenen Applikationen bei kontinuierlicher Laserstrahlung getestet und erfolgreich in industriellen Projekten eingesetzt. Um dem Bedarf nach Prozessüberwachung auch bei Anwendung von gepulster Laserstrahlung zu entsprechen, musste das CPC-System erweitert werden.

## Vorgehensweise

Das CPC-System ermöglicht durch seine flexibel und modular erweiterbare Softwarestruktur die erforderliche Anpassung für die Anwendung bei gepulster Laserstrahlung. Die bisher eingesetzte Betriebssoftware wurde so verändert, dass eine Synchronisation der Prozessaufnahme mit den Laserpulsen erfolgt. Hierdurch kann auf eine elektrische Kopplung mit dem Laser verzichtet und gleichzeitig hohe Flexibilität erreicht werden. Die unter LabVIEW™ erstellte Analysesoftware ist auch bei der Bearbeitung mit hohen Pulsraten in der Lage, die aufgezeichneten Prozessbilder in Echtzeit zu bewerten.

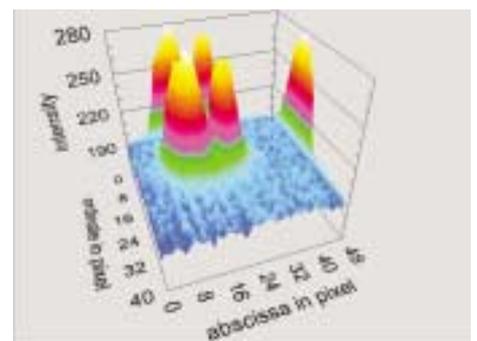
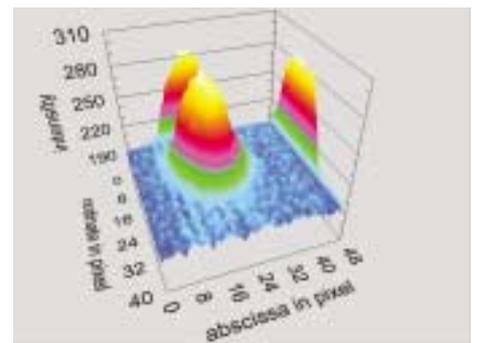
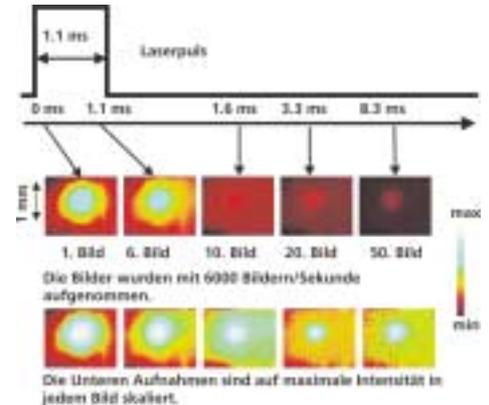
## Ergebnisse und Anwendungen

Die Analyse der Filme ergab, dass bei gepulster Laserstrahlung sogar eine Beobachtung der sich zwischen den Pulsen abkühlenden Schmelze möglich ist. Besonders die Prozessbilder der Werkstoffschmelze ermöglichen ein Erkennen geometrische Nahtfehler, wie Positionsverschiebungen, ohne zusätzliche Lichtquelle.

Die bestehenden Algorithmen für die kontinuierliche Bearbeitung mit Laserstrahlung lassen sich weiterhin für die Bilder während der »Laser-an-Zeit« des Laserpulses einsetzen und liefern die vom Einsatz des CPC-Systems bisher bekannten Resultate.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys., Dipl.-Inf. J. Petereit,  
Tel.: -326  
E-mail: petereit@ilt.fraunhofer.de  
Dr. S. Kaielerle, Tel.: -212  
E-mail: kaielerle@ilt.fraunhofer.de



Oben: Prozessbilder der CPC bei gepulster Laserstrahlung.  
Mitte: CPC-Aufnahme einer Schweißung im Stumpfstoß ohne Spalt.  
Unten: CPC-Aufnahme einer Schweißung im Stumpfstoß mit verbleibendem Spalt.

# 3D-Offline Planung für das Laserstrahlschweißen

## Aufgabenstellung

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches »Autonome Produktionszellen« (SFB 368) wurde ein featurebasiertes 3D-Offline-Planungssystem für Laserstrahlschweißaufgaben entwickelt.

Die Offline-Planung der Laserbearbeitung ermöglicht die Erstellung eines NC-Programms ohne Blockierung der Bearbeitungsanlage. Durch die realistische Simulation der Bearbeitungsaufgabe und Modellierung der Bearbeitungsanlage wird eine fertigungsnahe Planung erzielt.

## Vorgehensweise

Kern des Planungssystems ist die Beschreibung der Laserstrahlbearbeitungsaufgabe durch Bearbeitungsobjekte, den sogenannten Features. Der herausragende Vorteil des Feature-Modells besteht in der Verknüpfung von geometrischen Daten (CAD) mit technologischen Informationen in Form von Prozessparametern und Bearbeitungsstrategien.

Bei der Strukturierung des Planungssystems wurde eine strikte Trennung von funktions- und darstellungsorientierten Programmteile vollzogen. Das Resultat ist ein gekapselter Funktionskern, in welchem das technologische Wissen zusammengefasst ist.

Der Funktionskern kann in drei Anwendungsvarianten genutzt werden: »Stand-alone«, »Plug-in« und »Server«. Der Zugriff auf den Funktionskern erfolgt über anwendungsspezifische Schnittstellen. Hierdurch wird eine Integration in andere Applikationen und eine flexiblere Nutzung der Planungsdaten ermöglicht.

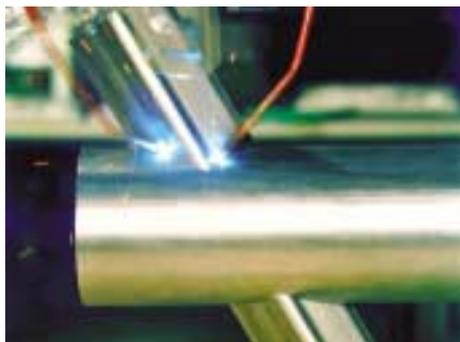
## Ergebnisse und Anwendungen

Das eigenständige 3D-Planungssystem ist eine realisierte »Stand-alone«-Lösung. Das System wurde auf Basis des Funktionskerns entwickelt und mit einer graphischen 3D-Darstellung und einer standardisierten Schnittstelle (IGES) zum Einlesen von CAD-Modellen ausgestattet. Als weitere Anwendung wurde im SFB 368 der Funktionskern als Server-Client-Modell in einen Anlagenleitstand integriert. Für die Kommunikation zwischen Leitstand und Funktionskern wurde der CORBA-Standard verwendet.

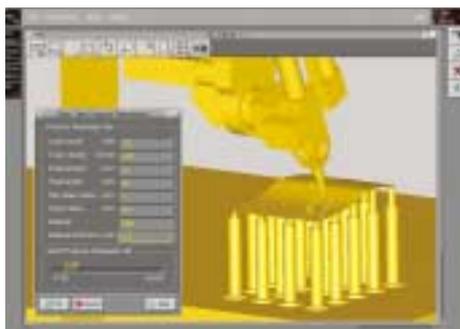
Der SFB 368 wurde Ende letzten Jahres positiv begutachtet und wird in der vierten Phase fortgesetzt. Die Arbeiten werden in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen durchgeführt.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. J. Kittel, Tel.: -136  
E-mail: kittel@ilt.fraunhofer.de  
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212  
E-mail: kaierle@ilt.fraunhofer.de



Oben: 5-Achs-Laserstrahlschweißen.  
Mitte: Bildschirmausgabe des Anlagenleitstandes.  
Unten: Bildschirmausgabe des 3D-Planungssystems.



## Aufgabenstellung

Das Potenzial der Lasertechnik als hochflexibles und universelles Werkzeug in der Materialbearbeitung, Messtechnik und Medizin ist bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Gerade kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die gegenüber neuen Technologien aufgeschlossen sind, haben nach bisheriger Erfahrung ein hohes Interesse, die Möglichkeiten der Lasertechnik zu nutzen.

## Vorgehensweise

Das Fraunhofer ILT beteiligte sich 1996 an einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ausgeschriebenem Projekt zur Einführung der Lasertechnologie in KMUs. Als Erprobungs- und Beratungszentrum (EBZ) der Lasertechnik koordinierte das Fraunhofer ILT den Verbund des Landes NRW. Durch das bundesweit flächendeckende Netzwerk mit insgesamt mehr als 60 Partnern erhielten KMUs unabhängige und kompetente Beratung und anwenderspezifische Erprobungen in der Lasertechnik.

Während der sechsjährigen Laufzeit des Projektes wurden viele tausend individuelle Anfragen erfolgreich bearbeitet und einige hundert Veranstaltungen ausgerichtet. Darüber hinaus wurde während der Projektlaufzeit das Internetportal [www.lasernetz.de](http://www.lasernetz.de) geschaffen und als Informationsplattform weiterentwickelt.

## Ergebnisse und Anwendungen

Seit Mitte 2002 ist die zweite und letzte Förderphase ausgelaufen. Die Abschlussveranstaltung war auch Auftakt für die Fortführung der Erprobungs- und Beratungszentren in Eigenregie ohne öffentliche Förderung.

Die Beratungen und Erprobungen werden unter ähnlichen Bedingungen für die an Lasertechnik interessierten KMUs fortgesetzt. Das Fraunhofer ILT hat neben der Beratungsleistung weiterhin die Aufgabe der Koordination des Verbundes EBZ-NRW übernommen.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. P. Abels, Tel.: -428  
E-mail: [abels@ilt.fraunhofer.de](mailto:abels@ilt.fraunhofer.de)  
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212  
E-mail: [kaierle@ilt.fraunhofer.de](mailto:kaierle@ilt.fraunhofer.de)

# VELI - Virtual European Laser Institute

## Aufgabenstellung

Europa nimmt in der Laserforschung weltweit eine Spitzenposition ein. Für Industrieunternehmen und insbesondere für Klein- und Mittelständische Unternehmen (KMU) ist es jedoch aufwendig, die verteilt in Europa vorhandenen Forschungsergebnisse zu nutzen und in neue Produkte oder innovative Laserapplikationen umzusetzen. Ziel von VELI ist es, den Zugang zu dem vorhandenen Know-how zu erleichtern und so eine bessere Nutzung zu ermöglichen.



## Vorgehensweise

Mit dem Virtual European Laser Institute wird ein europäisches Netzwerk aufgebaut, das einen lokalen Zugang zu dem europaweit verteilten Wissen ermöglicht. Wesentliche Aufgaben von VELI sind:

- Aufbau einer Datenbank, die das in den Forschungseinrichtungen vorhandene Know-how beinhaltet
- Betrieb einer virtuellen Umgebung, in der Angebot und Nachfrage von Wissen aufeinander treffen
- Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen für den Technologietransfer sowohl zwischen Forschungseinrichtungen und Unternehmen als auch zwischen Forschungseinrichtungen untereinander

## Ergebnisse und Anwendungen

Unter Federführung des Fraunhofer ILT haben 15 führende europäische Laserforschungseinrichtungen Mitte 2001 das Virtual European Laser Institute gegründet. Das Netzwerk ist offen für weitere Partner. Ziel ist, alle relevanten europäischen Forschungseinrichtungen in VELI zu integrieren.

Weitere Informationen im Internet unter [www.veli.net](http://www.veli.net).

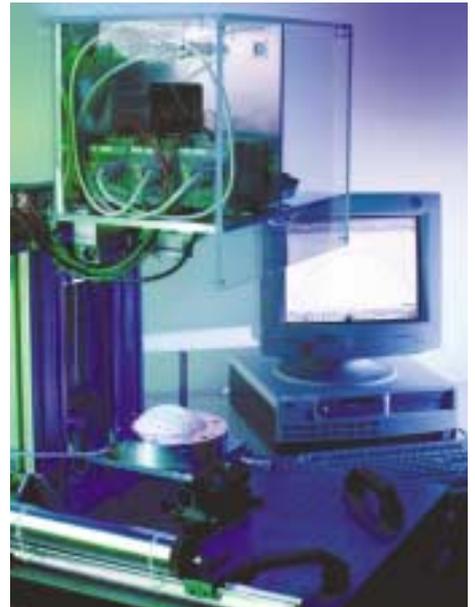
Die Arbeiten werden von der Europäischen Union gefördert.

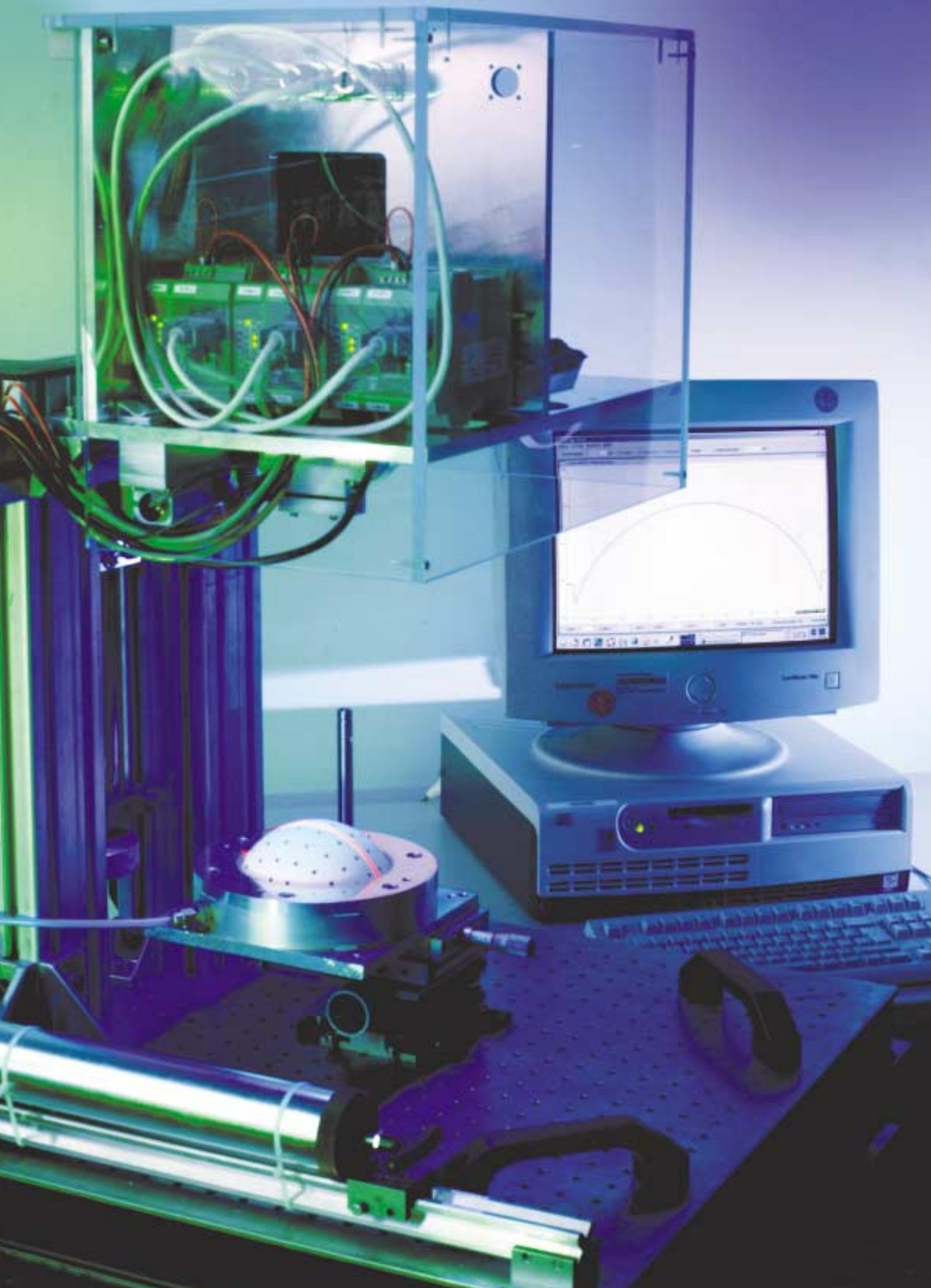
## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. C. Hinke, Tel.: -352  
E-mail: [hinke@ilt.fraunhofer.de](mailto:hinke@ilt.fraunhofer.de)  
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212  
E-mail: [kaierle@ilt.fraunhofer.de](mailto:kaierle@ilt.fraunhofer.de)



Geschäftsfeld  
Lasermess-  
und Prüftechnik





# Geschäftsfeld Lasermess- und Prüftechnik

Online 3D-Formänderungsanalyse mit Laser-Lichtschnittverfahren	92
Schnelle Identifikation von Leichtmetall-Legierungen für die automatische Sortierung	93
Entwicklung von Auswerteverfahren für die Stahleinheitsanalyse	94
Lasergestützte Elementanalyse an verzünderten Produktionskontrollproben	95
Online-Messung an verzinkten Blechen	96
Online Elementanalyse von Aerosolen im Hochofengichtgas	97
Mess- und Darstellungssoftware für die orts aufgelöste Elementanalyse fester Stoffe	98
Analyse kleinster Flüssigkeitströpfchen	99
Beobachtung von Kristallisationsbedingungen für Proteine mit Laser-Lichtstreuung	100
Micro-Analyse- und Bearbeitungs- system für Anwendungen im Bereich der Life Science	101

## 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.

Demonstrationsaufbau für die online 3D-Formänderungsanalyse von Blechen beim Bulge-Test.

# Online 3D-Formänderungsanalyse mit Laserlichtschnittverfahren

## Aufgabenstellung

Mit dem auf dem Prinzip der Triangulation basierenden Laserlichtschnittverfahren werden geometrische Profile von Messobjekten bei hohen Messfrequenzen berührungslos gemessen. Dadurch eignet es sich insbesondere für den Einsatz bei online Mess- und Prüfaufgaben im industriellen Umfeld.

Ein Anwendungsgebiet ist die 3D-Formänderungsanalyse bei dem hydraulischen Tiefungsversuch, dem sogenannten Bulge-Test, der zur Bestimmung des Umform- und Verfestigungsverhaltens von Blechen eingesetzt wird. Der Bulge-Test erlaubt eine schnelle und umfassende Materialcharakterisierung, so dass er sowohl bei der Entwicklung neuer metallischer Werkstoffe mit immer komplexeren Eigenschaften als auch bei der Prüfung von Blechen im Rahmen der Qualitätssicherung eingesetzt wird.

## Vorgehensweise

Im Rahmen eines laufenden FuE-Verbundvorhabens soll ein Demonstrator für eine 3D-Lasersensorik aufgebaut und mit einer Blechprüfmaschine kombiniert werden. Die Verformung der Bleche beim Bulge-Test wird dabei mit Laserlichtschnittsensoren in zwei zueinander senkrechten Ebenen erfasst. Eine zusätzliche Kamerasensorik verfolgt zudem online die Trajektorien einzelner Punkte auf der Oberfläche der Bleche. Aus den Messdaten werden die Materialeigenschaften - wie Fließ- und Verfestigungsverhalten - berechnet.

## Ergebnisse und Anwendungen

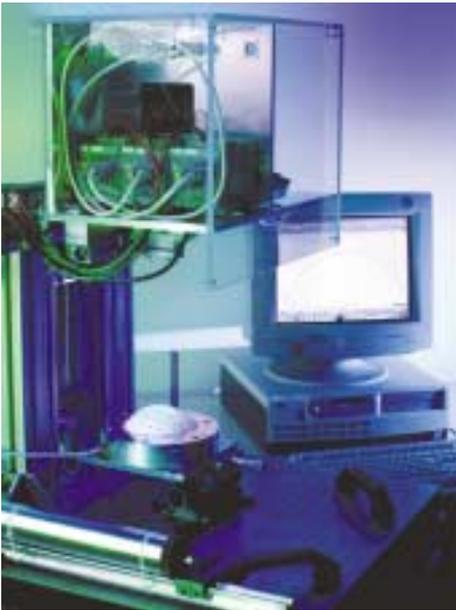
Im Projektverlauf wurde ein Demonstrationsaufbau erstellt, bei dem die drei Einzelsensoren spektral entkoppelt sind. Während der Umformung kann so mit den drei Sensoren simultan und ohne störende Beeinflussung durch Umgebungs- und Streulicht das Umformverhalten gemessen werden.

Mit dem Sensor sind geometrische Kenngrößen der Bleche, wie z.B. die Kuppenhöhe, mit einer Genauigkeit von 15 µm bestimmbar. Für die Anwendung der Lasersensorik zur Prüfung von Werkstoffen mit stark variierenden Oberflächeneigenschaften wird im folgenden Projektabschnitt eine adaptive Belichtungsregelung entwickelt.

Das Projekt wird von mittelständischen Unternehmen sowie vom Bundesministerium für Bildung, Forschung und Technologie unter der Förderkennzahl 13N8111 gefördert.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. F. Hilbk-Kortenbruck,  
Tel.: -160  
E-mail: hilbk@ilt.fraunhofer.de  
Dr. R. Noll, Tel.: -138  
E-mail: noll@ilt.fraunhofer.de



Demonstrationsaufbau für die online 3D-Formänderungsanalyse von Blechen beim Bulge-Test.

# Schnelle Identifikation von Leichtmetall-Legierungen für die automatische Sortierung

## Aufgabenstellung

Ein werkstoffliches Recycling von Reststoffen mit hoher Wertschöpfung ist häufig nur mit sortenreinem Vormaterial möglich. Dies gilt insbesondere für Leichtmetalle, die zunehmend - beispielsweise im Automobilbau - eingesetzt werden. Da mit konventionellen Analyse- und Sortierverfahren keine wirtschaftliche Trennung von Leichtmetall-Legierungen möglich ist, soll im Rahmen eines nationalen FuE-Vorhabens ein neuartiges, lasergestütztes Identifikationsverfahren entwickelt werden.

Das Projekt wird als Verbundvorhaben mit dem Kurztitel SILAS in einem Konsortium durchgeführt, an dem neben dem Fraunhofer ILT ein Hochschulinstitut und fünf mittelständische Unternehmen beteiligt sind.

## Vorgehensweise

Der Verfahrensansatz für die schnelle Identifikation des Sortiergutes beruht auf einer Kombination aus Bildverarbeitung, lasergestützter Geometrierfassung und Laser-Emissionsspektroskopie.

Nach dem Durchlaufen einer Vereinzelungseinheit werden geometrisch-optische Merkmale des Sortiergutes erfasst und mit Bildverarbeitungsalgorithmen ausgewertet. Danach wird laserspektroskopisch die chemische Zusammensetzung der Einzelkörner bestimmt. Das Sortiergut wird schließlich entsprechend der auf allen Messgrößen basierenden Sortierentscheidung in zwei oder mehr Fraktionen getrennt ausgeschleust.

Ziel des Vorhabens ist die Realisierung eines Demonstrators im Technikumsmaßstab, mit dem die Funktionalität des Sortierverfahrens unter realitätsnahen Bedingungen getestet wird.

## Ergebnisse und Anwendungen

Für eine wirtschaftliche Sortierung von Leichtmetallen sind Messraten im Bereich von 100 Hz notwendig. Um diese mit dem laserspektroskopischen Verfahren zu realisieren, wird ein hochrepetitierendes Lasersystem in Verbindung mit einem Paschen-Runge-Spektrometer mit Photomultiplier-Detektion eingesetzt.

Im ersten Abschnitt des Vorhabens wurden spektroskopische Untersuchungen an verschiedenen Leichtmetall-Legierungen durchgeführt, um für die Laser-Identifikation geeignete Spektrallinien zu bestimmen. Eine Auswahl von 20 Spektrallinien wurde getroffen, mit denen u.a. die Elemente Al, Cu, Fe, Mg, Mn, Si und Zn analysiert werden können.

Das Projekt wird von mittelständischen Unternehmen sowie vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit innerhalb des InnoNet-Programms unter dem Förderkennzeichen 16IN0100 gefördert.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. F. Hilbk-Kortenbruck,  
Tel.: -160  
E-mail: hilbk@ilt.fraunhofer.de  
Dr. R. Noll, Tel.: -138  
E-mail: noll@ilt.fraunhofer.de



Die Sortierung von Leichtmetallen nach Legierungstypen ermöglicht das Schließen der Werkstoff-Kreisläufe.

# Entwicklung von Auswerteverfahren für die Stahlreinheitsanalyse

## Aufgabenstellung

Um die Reinheit von Stählen zu bestimmen, sind Einschlüsse in der Stahlmatrix zu identifizieren und zu quantifizieren. Bisherige Methoden sind zeit- und kostenintensiv oder bieten nur eine geringe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Stahlhersteller und Unternehmen ermitteln daher Kennzahlen für die Stahlreinheit anhand der Messdaten von räumlich aufgelösten Multielementanalysen, die auf der Emissionsspektrometrie mit Laser- oder Funkenanregung basieren. Diese Angaben zur Stahlreinheit sind selbst auf europäischer Ebene nicht vergleichbar. Ziel ist es, mit Partnern der europäischen Stahlindustrie ein einheitliches Auswerteverfahren zu definieren, das für die verschiedenartigen Prüfsysteme vergleichbare Kennzahlen für die Stahlreinheit ermittelt.

## Vorgehensweise

Im Rahmen einer Kooperation mit Partnern aus der Europäischen Stahlindustrie werden mit einem definierten Probensatz Multielementanalysen mit Funken- und Laser-Emissionsspektrometrie vor Ort bei den beteiligten Partnern durchgeführt. Die erzeugten Messdaten werden in einem einheitlichen Datenformat zentral zum Fraunhofer ILT übermittelt. Die verschiedenen Auswerteverfahren zur Ermittlung von Kennzahlen für die Stahlreinheit werden evaluiert und bezüglich der Geräteunabhängigkeit und Richtigkeit verbessert.

Die Ergebnisse der verschiedenen Algorithmen werden allen Verbundpartnern auf einem am Fraunhofer ILT installierten Web-Server zugänglich gemacht. Dies ermöglicht eine schnelle Vergleichbarkeit und Bewertung der ermittelten Kennzahlen für die Stahlreinheit durch alle Partner und trägt damit zu einem gezielten Entwicklungsprozess der Auswerteverfahren bei.

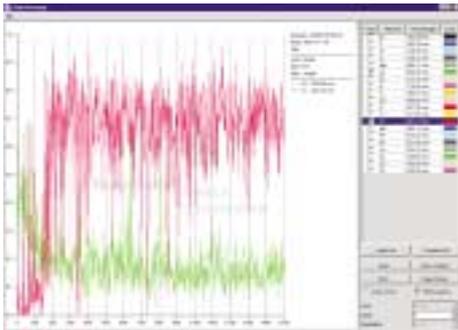
## Ergebnisse und Anwendungen

Ein einheitliches Datenformat für die verschiedenen im Verbund benutzten Spektroskopiesysteme und ein einheitlicher Satz von Prozessparametern wurden definiert. Prüfprozeduren sichern die Datenkonsistenz. Zur Zeit werden zentrale, servergestützte Anwendungen erarbeitet, die das Vorhandensein aller Auswerteprogramme bei allen Partnern überflüssig macht. Somit können alle Partner immer auf die aktuellsten Auswerte- und Darstellungsprogramme zugreifen.

Das Projekt wird mit finanzieller Unterstützung der Europäischen Kommission für Kohle und Stahl (ECSC) durchgeführt.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. H. Bette, Tel.: -154  
E-mail: [bette@ilt.fraunhofer.de](mailto:bette@ilt.fraunhofer.de)  
Dr. R. Noll, Tel.: -138  
E-mail: [noll@ilt.fraunhofer.de](mailto:noll@ilt.fraunhofer.de)



Anzeigemodul zur Darstellung von Messdaten im Rahmen des Projektes. Aufgrund des einheitlichen Formates können die Datensätze aller Verbundpartner trotz verschiedener Analysensysteme mit diesem Modul dargestellt werden.

# Lasergestützte Elementanalyse an verzünderten Produktionskontrollproben

## Aufgabenstellung

Die Elementanalyse von Produktionskontrollproben ist eine wichtige Anwendung für die Vor-Ort-Analytik im Stahlwerk. Diese Stahl- oder Roheisenproben können eine Zunderschicht von bis zu 1 mm Dicke aufweisen. Die Zunderschicht muss entfernt werden, um eine zuverlässige Analyse des Bulkmaterials zu erhalten. Die zur Zeit eingesetzten Verfahren wie Funken-Emissionsspektrometrie, Verbrennungsanalyse und Röntgenfluoreszenzanalyse erfordern dazu einen hohen Aufwand für die Probenpräparation, zum Beispiel durch mechanisches Fräsen und Schleifen der Proben. Die automatisierte Probenvorbereitung im Schnellanalyse-Labor ist ein störanfälliger Arbeitsschritt und ein erheblicher Kostenfaktor. Eine Teilaufgabe ist die Entwicklung eines Analyseverfahrens, das eine vereinfachte Probenpräparation und Analyse ermöglicht.

## Vorgehensweise

In Kombination mit der Laser-Emissionsspektrometrie zur Analyse erfolgt die Probenpräparation ebenfalls mit dem Laser. Die Zunderschicht wird lokal durch die Laserstrahlung abgetragen und das Bulkmaterial nachfolgend mit dem Laser analysiert. Der Laser arbeitet berührungsfrei und im Vergleich zum automatisierten Fräsen und Schleifen weitgehend verschleiß- und wartungsfrei.

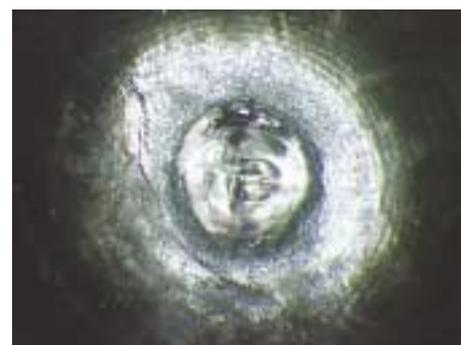
## Ergebnisse und Anwendungen

Die Richtigkeit und Präzision der Analyseergebnisse an der Zunderschicht konnte durch eine gezielte Steuerung der Laserpulse verbessert werden. Der Vergleich der Analysewerte zwischen präparierter und unpräparierter Probe zeigt für die meisten Elemente eine sehr gute Korrelation.

Die Arbeiten werden von der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl (EGKS) finanziell unterstützt.

## Ansprechpartner

Dr. V. Sturm, Tel.: -154  
E-mail: sturm@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Phys. J. Vrenegor, Tel.: -308  
E-mail: vrenegor@ilt.fraunhofer.de  
Dr. R. Noll, Tel.: -138  
E-mail: noll@ilt.fraunhofer.de



**Oben:** Beispiel einer Produktionskontrollprobe aus Roheisen. Links: Probe, die für die konventionelle Analyse präpariert wurde. Rechts: Probe ohne Präparation mit Zunderschnitt.  
**Unten:** Mikroskopaufnahme eines Kraters nach dem Abtrags- und Analyseschritt mit Laserstrahlung.

# Online-Messung an verzinkten Blechen

## Aufgabenstellung

Ziel ist die Untersuchung und Bewertung der Leistungsfähigkeit einer online Messmethode zur Überwachung charakteristischer Parameter bei der Produktion verzinkter Bleche. Ein bedeutender Parameter ist die Dicke der Zinkschicht, die typischerweise im Bereich von 2-20  $\mu\text{m}$  liegt.

## Vorgehensweise

Im Rahmen eines europäischen FuE-Projekts wird basierend auf der Laser-Emissionsspektrometrie (LIBS) ein Messverfahren zur Charakterisierung der Zinkschicht auf Stahlsubstraten erarbeitet und im Hinblick auf dessen Anwendbarkeit in der Produktion untersucht.

## Ergebnisse und Anwendungen

In der ersten Projektphase wurde mit der Auslegung der Gerätekomponenten begonnen. Verfahrensparameter wurden an statischen Blechproben im Labor erprobt. Durch gezielte Anpassung der Laserparameter konnte der Tiefenabtrag deutlich gesteigert werden. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für die Messung an bewegten Blechen.

Das Projekt wird mit finanzieller Unterstützung der Europäischen Kommission für Kohle und Stahl (EGKS) durchgeführt.

## Ansprechpartner

Dr. V. Sturm, Tel.: -154  
E-mail: sturm@ilt.fraunhofer.de  
Dr. R. Noll, Tel.: -138  
E-mail: noll@ilt.fraunhofer.de

Probe eines verzinkten Blechs



# Online Elementanalyse von Aerosolen im Hochofengichtgas

## Aufgabenstellung

Die Alkalimetalle Na, K sowie Zn und Pb haben bekanntermaßen einen schädlichen Einfluss auf den Hochofenbetrieb. Die Reaktionen dieser Kreislaufstoffe führen zu einem erhöhten Energieverbrauch, fördern den Kokszerfall im Ofen und die Ansatzbildung in den Schachtwänden.

Das Ziel ist die Entwicklung und der Vor-Ort-Test eines lasergestützten Messsystems, das in der Lage sein soll, online und in-situ den Gichtstaubgehalt am Gichtgasrohr zur Verbesserung der Prozesskontrolle am Hochofen zu analysieren.

## Vorgehensweise

Im Rahmen eines Europäischen FuE-Projektes wurde ein Messsystem basierend auf der Laser-Emissionsspektrometrie (LIBS) entwickelt und nacheinander an drei verschiedenen Hochöfen installiert. Der Zugang zum Gichtgasrohr erfolgt über eine 2,7 m lange Sonde, die ein System von Lichtwellenleitern und Optiken zur Detektion der Linienstrahlung des laserinduzierten Plasmas enthält. Die Sonde kann entlang des Rohrquerschnitts verschoben werden und ermöglicht so räumlich aufgelöste Messungen.

## Ergebnisse und Anwendungen

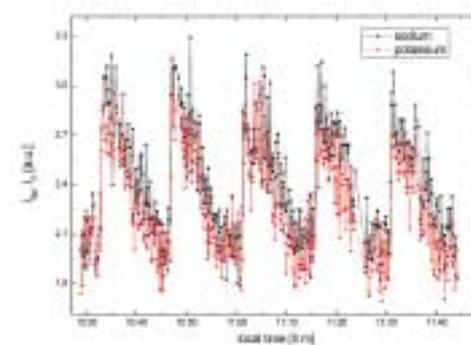
Erstmals war es möglich, den Gichtstaub am Hochofen online und in-situ zu analysieren. Die Einsatzfähigkeit des Lasermesssystems wurde durch Messkampagnen in Deutschland, Finnland und Spanien verifiziert. Das System ermöglicht die kontinuierliche und simultane Überwachung von Na, K, Zn, Pb, C, N, O, H, Ca und Fe bei Gasgeschwindigkeiten von 10 - 20 m/s, Gastemperaturen von 115 - 180° C und einer Staubdichte von 4 - 10 g/m<sup>3</sup>. Messperioden von bis zu 10 h pro Tag bei 10 Messwerten pro Sekunde wurden aufgenommen. Korrelationen der gemessenen Elementkonzentrationen zu Betriebsparametern des Hochofens, wie Windmenge, Differenzdruck und Chargierungsperiode, konnten gefunden werden.

Der Gichtgasdruck von 2 - 4 bar kann aufgrund von Stoß- und Relaxationsprozessen der Teilchen erniedrigend auf die gemessene Strahlungsintensität der Analyten wirken. Über eine zeitliche Modulation der Laserpulse konnte jedoch eine signifikante Erhöhung des Signal-zu-Untergrund-Verhältnisses erreicht werden, z. B. bei Stickstoff um bis zu 65 %.

Das Projekt wurde mit finanzieller Unterstützung der Europäischen Kommission für Kohle und Stahl (EGKS) durchgeführt.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. A. Brysch, Tel.: -124,  
E-mail: brysch@ilt.fraunhofer.de  
Dr. V. Sturm, Tel.: -154,  
E-mail: sturm@ilt.fraunhofer.de  
Dr. R. Noll, Tel.: -138,  
E-mail: noll@ilt.fraunhofer.de



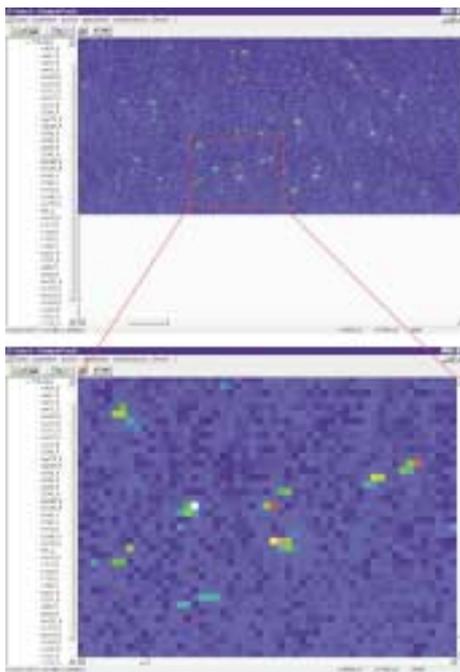
Ausschnitt einer Messperiode am Gichtgasrohr eines deutschen Hochofens. Die periodische Änderung der Elemente Natrium und Kalium spiegelt den Chargierungsprozess wider.

# Mess- und Darstellungssoftware für die ortsaufgelöste Elementanalyse fester Stoffe

## Aufgabenstellung

Chemische Landkarten von Materialoberflächen mit einer Ortsauflösung besser als  $20\ \mu\text{m}$  erlauben eine Qualitätsbeurteilung vieler Materialien, wie z. B. von Stählen. Im Rahmen eines Industrieprojektes hat das Fraunhofer ILT das Analysesystem SML entwickelt, das solche Messungen auf Basis der Laser-Emissionsspektrometrie mit einer Messfrequenz von bis zu  $1\ \text{kHz}$  ermöglicht.

In Abhängigkeit von den Materialeigenschaften der zu untersuchenden Probe und der analytischen Fragestellung müssen verschiedene Messparameter und Messmethoden ausgewählt werden. Aufgabe ist die Erstellung einer Software, die sowohl eine benutzerfreundliche Handhabung und Verwaltung der Messparameter und -methoden für automatisierte Messabläufe als auch eine einfache und schnelle Darstellung der Messdatensätze erlaubt.



Darstellung der Messdaten des Analysesystems SML mit der entwickelten Software.

Im linken Fensterteil können aus einem Baummenü die darzustellenden Elementkanäle ausgewählt werden.

Die gemessenen Signalhöhen werden farbkodiert dargestellt.

**Oben:** Messwertdarstellung der Manganverteilung einer Probe in einem Messfeld von  $4,28 \times 2,00\ \text{mm}^2$ . Die farbigen Punkte in dieser Fläche sind lokale Mangananreicherungen.

**Unten:** Detailvergrößerung des oberen Bildes um den Faktor 4. Die sichtbaren kleinen Quadrate entsprechen einer Größe von  $20 \times 20\ \mu\text{m}^2$  auf der Probenoberfläche.

## Vorgehensweise

Die Software wurde im Hinblick auf eine einfache und intuitive Bedienbarkeit konzipiert. Für die Datenübertragung werden standardisierte Übertragungsprotokolle verwendet, so dass die Möglichkeit der Bedienung und Überwachung auch von einem entfernten Arbeitsplatz möglich ist.

## Ergebnisse und Anwendungen

Die Software erlaubt eine einfache und schnelle Bedienung des vom Fraunhofer ILT entwickelten Analysesystems SML zur Erstellung chemischer Landkarten von Materialoberflächen. Mit dieser Software wird der Bedienungsaufwand erheblich reduziert und der mögliche Probendurchsatz des Analysesystems erhöht. In den Abbildungen sind Visualisierungen eines Datensatzes zu sehen. Damit kann rasch ein erster Eindruck über die Messergebnisse gewonnen werden, um z. B. zu entscheiden, in welchen Regionen weitere Untersuchungen durchgeführt werden sollen.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. H. Bette, Tel.: -154  
E-mail: [bette@ilt.fraunhofer.de](mailto:bette@ilt.fraunhofer.de)  
Dr. R. Noll, Tel.: -138  
E-mail: [noll@ilt.fraunhofer.de](mailto:noll@ilt.fraunhofer.de)

# Analyse kleinster Flüssigkeitströpfchen

## Aufgabenstellung

In der chemischen Analytik werden unter dem Begriff »Hyphenated Techniques« Kombinationsverfahren verstanden, die eine chromatographische Trennstufe mit einer empfindlichen Detektion der vereinzelt Fraktionen verbinden. In einem laufenden nationalen Verbundprojekt wird durch die Kopplung der Micro-HPLC (High-Pressure Liquid Chromatography) als Trennstufe mit Laser-Emissionsspektrometrie als Detektionsverfahren eine neuartige Analysetechnik für die Speziationsanalytik entwickelt. Ein Anwendungsschwerpunkt liegt im Bereich der metallorganischen Verbindungen.

## Vorgehensweise

Das Eluat einer HPLC Säule wird durch eine piezoelektrisch gepulste Düse in eine regelmäßige Folge kleiner Tröpfchen überführt. Diese Tröpfchen werden synchronisiert von einem Laserpuls getroffen, verdampft und in ein leuchtendes Plasma überführt (LIBS = Laser Induced Breakdown Spectrometry). Die Plasmaemission wird spektral analysiert und gibt Auskunft über die elementare Zusammensetzung der Probe.

## Ergebnisse und Anwendungen

Zusammen mit den Verbundpartnern wird ein Demonstrator aufgebaut, mit dem die Einsatzmöglichkeiten dieser neuen Technik untersucht werden sollen. Um eine hohe Reproduzierbarkeit zu erreichen, ist eine exakte zeitliche Ansteuerung des Lasers erforderlich.

Einzelne Tröpfchen werden mit einem fokussierten Diodenlaser mit einer zeitlichen Genauigkeit von ca. 1 Mikrosekunde detektiert. Um auch kleine Elementgehalte im sub-ppm Bereich nachweisen zu können, muss die Plasmaemission mit höchster Empfindlichkeit detektiert werden. Dazu wurde eine Lichtsammeloptik konzipiert und aufgebaut, die zusammen mit einem Paschen-Runge-Spektrometer die Kernkomponenten des Demonstrators bildet. In dem von einem Projektpartner beigestellten Spektrometer detektieren höchstempfindliche Channeltron-Photomultiplier die Linienemission der Analyten. Um die Wechselwirkung des Laserpulses mit dem Flüssigkeitströpfchen zu optimieren, wird die Dynamik des Tröpfchens mit hoher zeitlicher Auflösung untersucht. Dazu werden eine schnelle elektrooptische Kamera mit Verschlusszeiten im Subnanosekundenbereich und ein Mach-Zehnder Interferometer, mit dem sich Druckwellen sichtbar machen lassen, verwendet.

Das Projekt wird durch das BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N8039, durch mittelständische Unternehmen und durch die Fraunhofer Gesellschaft gefördert.

## Ansprechpartner

Dr. C. Janzen, Tel.: -196,  
E-mail: janzen@ilt.fraunhofer.de  
Dr. R. Noll, Tel.: -138,  
E-mail: noll@ilt.fraunhofer.de



Mach-Zehnder Interferometer zur Untersuchung der Wechselwirkung von Laserpulsen mit nl-Tröpfchen.

# Beobachtung von Kristallisationsbedingungen für Proteine mit Laser- Lichtstreuung

## Aufgabenstellung

Die Röntgenstrukturanalyse ist heute die wichtigste Methode zur Strukturklärung von Proteinen. Für ihren Einsatz werden Protein-Einkristalle benötigt, die oft nur unter sehr speziellen Bedingungen (pH-Wert, Lösungsmittel, Konzentration und Art verschiedener Fällungsreagenzien...) zu erhalten sind. Laserverfahren können die Suche nach optimalen Kristallisationsbedingungen vereinfachen.

## Vorgehensweise

Laserlichtstreuverfahren bieten die Möglichkeit, vor oder während der Kristallisation die Wechselwirkungen zwischen den Proteinen zu untersuchen. Die statische Lichtstreuung erlaubt die Messung des zweiten osmotischen Virialkoeffizienten gelöster Moleküle und gibt ein Maß für die Größe der anziehenden oder abstoßenden Kräfte zwischen den Proteinmolekülen. Mit Hilfe der dynamischen Lichtstreuung lässt sich die Teilchenbewegung und daraus der hydrodynamische Stokes-Radius bestimmen. Die Änderung des Diffusionsverhaltens durch attraktive oder repulsive Wechselwirkungen kann so empfindlich und lange vor der tatsächlich eintretenden Kristallisation beobachtet und verfolgt werden. Ein vielversprechender Ansatz zur Beschleunigung und Systematisierung der Proteinkristallisation besteht in der Anwendung von Hochdurchsatzverfahren mit einer adaptiven Anpassung der Kristallisationsparameter auf der Basis der durch Lichtstreuung ermittelten Kenngrößen. Ziel ist das möglichst schnelle Auffinden des jeweiligen »Kristallisationsfensters«.

## Ergebnisse und Anwendungen

In Kooperation mit dem Institut für molekulare Biotechnologie der RWTH Aachen wird der Einsatz von Lichtstreuverfahren zur Beurteilung von Kristallisationsbedingungen an einem Labormessplatz untersucht. Zum Einsatz kommen Helium-Neon- und Diodenlaser sowie empfindliche Photomultiplier als Photonenzählmodule. Mit diesen Untersuchungen soll eine Verkleinerung des für die Messung statischer und dynamischer Lichtstreuung benötigten Probenvolumens auf weniger als einen Mikroliter erreicht werden. Zusätzlich soll die Messung in einem für eine spätere Automatisierung geeigneten Probengefäß - z. B. eine modifizierte Mikrotiterplatte - ermöglicht werden. Dazu ist eine starke Unterdrückung des an Grenzflächen gestreuten Lichts notwendig. Zu diesem Zweck wurde ein konfokaler optischer Aufbau für Lichtstremessungen erstellt.

## Ansprechpartner

Dr. C. Janzen, Tel.: -196,  
E-mail: [janzen@ilt.fraunhofer.de](mailto:janzen@ilt.fraunhofer.de)  
Dr. R. Noll, Tel.: -138  
E-mail: [noll@ilt.fraunhofer.de](mailto:noll@ilt.fraunhofer.de)



Proteinkristall (Glucose Isomerase) für die Röntgenstrukturanalyse.

# Micro-Analyse- und Bearbeitungssystem für Anwendungen im Bereich der Life Science

## Aufgabenstellung

Ziel ist die Entwicklung eines universellen Laseranalyse- und Bearbeitungssystems für molekularbiologische Modelle in wässriger Lösung. Anwendungen sind beispielsweise der Einzelmolekülnachweis zur Untersuchung von Protein-Protein Wechselwirkungen im Bereich Life Science.

## Vorgehensweise

Ein Mehrachssystem zum Justieren und Scannen von Biochips mit einer Positioniergenauigkeit von 1  $\mu\text{m}$  ermöglicht den ortsselektiven Einzelmolekülnachweis. Die von einem Laserpuls im Pikosekundenbereich in einem kleinen Probenvolumen erzeugte Fluoreszenz wird über einen konfokalen Mikroskopaufbau in Verbindung mit hochsensitiven Avalanche-Photodioden detektiert. Ein zweiter Laser wird dazu verwendet, an definierten Stellen immobilisierte Spezies abzulösen. Parallel zum oben beschriebenen Verfahren besteht über eine Mikroskopoptik gleichzeitig die Möglichkeit zur flächenhaften Fluoreszenzdetektion mit einer hochsensitiven Kamera.

## Ergebnisse und Anwendungen

Ein Micro-Analyse- und Bearbeitungssystem für Anwendungen im Bereich der Life Science wurde aufgebaut. Die Komponenten lassen sich durch eine modulare Software steuern, so dass eine Anpassung an unterschiedliche Aufgabenstellungen auf einfache Weise möglich ist.

## Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) O. Klein, Tel.: -133  
E-Mail: oklein@ilt.fraunhofer.de  
Dr. C. Janzen, Tel.: -196  
E-mail: janzen@ilt.fraunhofer.de  
Dipl.-Phys. A. Brysch, Tel.: -124  
E-mail: brysch@ilt.fraunhofer.de  
Dr. R. Noll, Tel.: -138,  
E-mail: noll@ilt.fraunhofer.de



Ansicht des Micro-Analyse- und Bearbeitungssystems für Anwendungen im Bereich der Life Science.

## National

102 26 724.3

Verfahren zum Montieren eines laseraktiven Materials mittels stoffschlüssigem Fügeverfahren

102 32 815.3

Verfahren zur Modifizierung von Materialeigenschaften

102 07 692.8

Verfahren und Vorrichtung zur Prüfung der Qualität einer Haft- oder Klebeverbindung in einer Mehrschichtanordnung

102 17 678.7

Verfahren und Vorrichtung für die Verbesserung der Laser-Materialbearbeitung mit hybriden Prozessen durch synchronisierte Pulsmodulation

102 28 743.0

Verfahren zum Glätten und Polieren von Oberflächen durch Bestrahlung mit energetischer Strahlung

102 09 374.1

Diodenlaseranordnung mit einer Mehrzahl von elektrisch in Reihe geschalteten Diodenlasern

102 07 334.1

Verfahren und Vorrichtung zur Führung und Konvertierung der Strahlung aus optoelektronischen Bauteilen

102 53 515.9

Strahlungsführendes und/oder frequenzkonvertiertes optisches System sowie Verfahren zur Herstellung

102 38 096.1

Gasentladungslampe

102 29 498.4

Verfahren und Vorrichtung zur Durchführung der Plasmaemissions-spektrometrie

102 48 207.1

Vorrichtung zum Scherschneiden und Verfahren dazu

102 50 074.6

Verfahren zum Aufbau mikro-optischer Bauteile

102 56 663.1

Gasentladungslampe für EUV-Strahlung

102 08 781.4

Verfahren und Vorrichtung zum Bestimmen der Intensitätsverteilung beim Auftreffen eines Laserstrahls auf eine Oberfläche

## International

PCT/DE02/00818

Verfahren zum Schneiden von zu fügenden Bauteilen mit Laserstrahlung

PCT/DE02/01017

Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen von Extrem-Ultraviolettstrahlung/weicher Röntgenstrahlung

PCT/DE02/01085

Maßnahmen zur Regelung der Leistungseinkopplung in eine Gasentladungsquelle für EUV-Strahlung

PCT/EP02/08848

Schweißen mit gepulster Laserstrahlung

## Deutschland

DE 195 32 105 C 2

Verfahren und Vorrichtung zur Behandlung von dreidimensionalen Werkstücken mit einer direkten Barrierenentladung sowie Verfahren zur Herstellung einer mit einer Barriere versehenen Elektrode für diese Barrierenentladung

DE 197 51 716 C 2

Anordnung zur Formung und Führung von Strahlung

DE 198 59 933 C 2

Verfahren zum Fügen eines Werkstückes aus zellularem Werkstoff

DE 100 17 845 C 1

Schweißdüsenanordnung und damit betriebenes Schweißverfahren

DE 199 57 808 C 2

Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung von Stoffkonzentrationen und/oder der Strömungsgeschwindigkeit in Gasen, Aerosolen und Stäuben

DE 100 27 149 C 2

Vorrichtung für die Röntgenradiografie mit relativ zu ihrer Partikelquelle bewegbarer Röntgenquelle und Verwendung derselben

DE 101 09 750 C 2

Anordnung zur Detektion eines Glasbruchs einer Glasscheibe

DE 101 04 732 C 1

Verfahren und Vorrichtung zum selektiven Laser-Schmelzen von metallischen Werkstoffen

DE 101 20 725 C 1

Koaxiale Pulverdüse zur Oberflächenbearbeitung mit einem Diffusor

## Europa

EP 0 732 727 B 1

Vereinfachtes Verfahren zur Vorbehandlung und Beschichtung von Oberflächen

EP 0 855 095 B 1

Laseranordnung, vorzugsweise Hochleistungs-Gaslaseranordnung

EP 0 889 769 B 1

Verfahren zum Fügen von Werkstücken mit Laserstrahlung

EP 0 879 494 B 1

Optisch gepumpter Verstärker, insbesondere ein Festkörperverstärker

EP 1 036 488 B 1

Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von Extrem-Ultraviolettstrahlung und weicher Röntgenstrahlung

EP 1 151 508 B 1

Resonatoranordnung mit mindestens zwei Faltungselementen

EP 1 198 341 B 1

Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus einer Werkstoffkombination

EP 1 181 754 B 1

Optische Verstärker-Anordnungen

EP 1 197 127 B 1

Extrem ultraviolette Strahlungsquelle auf Basis einer Gasentladung

## USA

US 6, 351, 477 B 1

Optically pumped intensifying agent, in particular a solid intensifying agent

US 6, 365, 870 B 1

Method and device for treating workpieces with Laser radiation

US 6, 389, 106 B 1

Method and Device for producing extreme ultraviolet and soft x-rays from a gaseous discharge

US 6, 461, 409 B 1

Process and Device for Handling Streaming Gases

**Wiedmann, N.** - 29.01.2002  
Hochleistungsdiodenlaser für Hochtemperaturanwendungen

**Weichenhain, R.** - 16.04.2002  
Einfluss von Pulsdauer und Wellenlänge auf die Laser-Mikromaterialbearbeitung von Keramiken

**Wild, M.** - 19.04.2002  
Lokal selektives Bonden von Silizium und Glas mit Laser

**Ostlender, A.** - 26.04.2002  
Multifunktionale Bildverarbeitung zur Tiefenmessung in der Mikrosystemtechnik

**Olowinsky, A.** - 18.12.2002  
Laserstrahlmikroumformen - neues Justageverfahren in der Mikrotechnik

**Bauer, Ingo**  
Signalentstehung bei der Überwachung des Schweißens mit Laserstrahlung

**Bönig, Norbert**  
Demonstrator für einzeladressierbare Hochleistungsdiodenlaser

**Brehm, Carsten**  
Influence of electrode surfaces and work tolerances on the beam characteristics of a diffusion cooled coaxial CO<sub>2</sub> laser

**Esser, Dominik**  
Oszillator-Verstärker Anordnung zur Erzeugung von Hochleistungs-Laserpulsen mit einstellbarer Pulsdauer

**Grunau, Markus**  
Teachmöglichkeit beim Scanner Schweißen

**Hoppe, Volker**  
Development of a Hybrid Welding Process for Aluminium Tubes utilizing a 5 kW CO<sub>2</sub> Laser and Gas Metal Arc Welding combined

**Henneböhle, Ulrike**  
Erprobung einer Koaxialdüse zum Laserstrahlaufragschweißen für die Instandsetzung im Werkzeug- und Formenbau

**Jerzembeck, Sven**  
Auslegung eines Autofokus-systems für die Röntgenerzeugung mit Femtosekundenlaserstrahlung

**Keissner, Bernhard**  
Untersuchungen zur pyrometrischen Prozessüberwachung beim Weichlöten von Lötpaste mit Diodenlaserstrahlung

**Luttmann, Jörg**  
Güteschaltung von Nd:YAG Slablasern mit Hybridresonatoren

**Leers, Michael**  
Thermische Kontaktierung quaderförmiger Lasermedien

**Lierfeld, Thomas**  
Charakterisierung einer zweistufigen Barrierenentladungsanordnung für Oberflächenprozesse

**Mayer, Corinna**  
Strukturierung von Funktionspolymeren mit UV-Laserstrahlung

**Mönkemeyer, Philipp**  
Prozessüberwachung beim Laserstrahlschweißen von Aluminiumwerkstoffen

**Najjari, Hicham**  
Design und Prototyping einer µ-Fluidzelle zur Proteomanalyse

**Palmen, André**  
Simultanfügen von Thermoplasten mittels Hochleistungsdioden-Laserstrahlung

**Pfeiffer, Stefan**  
Approximatives Modell für die Dynamik der Plasmakapillare beim Tiefschweißen mit Laserstrahlung

**Radenz, Ulf**  
Untersuchung zur Konzeptionierung einer Hochgeschwindigkeitsschnittstelle zum Datenaustausch zwischen Hochleistungslaser und PC

**Stier, Benoit**  
Verfeinerung des approximativen Modells für das Schmelzschneiden mit Laserstrahlung

**Wawers, Welf**  
Kinematikanalyse verschiedener Optikkonzepte für flexible Bauteilbearbeitung mit gepulster Nd:YAG Laserstrahlung

**Zäck, Hans-Jürgen**  
Fertigungsoptimierung dünnwandiger Rohre aus PTFE

- C. Schnitzler, G. Schmidt, M. Höfer, D. Hoffmann, R. Poprawe  
**A 500 W High Brightness Diode end pumped Nd:YAG Slab Laser**  
Technical Digest: »Advanced Solid-State Lasers« 1  
(1-3) (2002)
- R. Poprawe  
**Ausblick zu Entwicklung und Anwendung von neuen Hochleistungs-Laserstrahlquellen**  
Tagungsband »Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'02«  
(39-62) (2002)
- S. Kaierle, E. W. Kreutz, S. Mann, R. Poprawe  
**Autonome Produktionszelle für das Schweißen mit Laserstrahlung**  
RWTH-Themen 1  
(88-89) (2002)
- S. Mann, S. Kaierle, E. W. Kreutz, R. Poprawe  
**Autonome Produktionszelle für das Schweißen mit Laserstrahlung**  
Schweissen & Schneiden 9  
(518-522) (2002)
- N. Wiedmann, J. Schmitz, K. Boucke, N. Herres, J. Wagner, M. Mikulla, R. Poprawe, G. Weimann  
**Band-Edge Aligned Quaternary Carrier Barriers in InGaAs-AIGaAs High-Power Diode Lasers for Improved High-Temperature Operation**  
IEEE Journal of Quantum Electronics 38, (67-72) (2002)
- F. Hilbk-Kortenbruck, M. Höhne, R. Noll  
**Compact measuring system for laser emission spectrometry of coated and uncoated metals**  
Tagungsband »9. Anwendertreffen Röntgenfluoreszenz und Funkene-missionsspektrometrie« 9  
(59-69) (2002)
- R. Poprawe, W. Schulz  
**Development and application of new high-power laser beam sources**  
Riken Review 50  
(3-10) (2002)
- M. Höfer, C. Schnitzler, G. Schmidt, D. Hoffmann, R. Poprawe  
**Diode end pumped slab laser with variable reflectivity mirror**  
Technical Digest: »Advanced Solid-State Lasers« 1  
(1-3) (2002)
- A. Knitsch, A. Luft, T. Groß, D. Ristau, P. Loosen, R. Poprawe  
**Diode laser modules of highest brilliance for materials processing**  
Proceedings of SPIE 4651  
(256-263) (2002)
- J. Willach, A. Horn, E. W. Kreutz  
**Drilling of cooling holes and shaping of blow-out facilities in turbine blades by laser radiation**  
Materials for Advanced Power Engineering 2002, Proceedings of the 7th Liege Conference Part II  
(743-750) (2002)
- M. Heise, W. Neff  
**Effiziente Entkeimung - Kalte Atmosphärendruckplasmen zur Entkeimung von Packstoffen**  
Pack Report European Packaging 4  
(116) (2002)
- S. Pischinger, J. Geiger, W. Neff, R. Böwing, J. Thiemann, H.-J. Koß  
**Einfluss von Zündung und Zylinderinnenströmung**  
MTZ Motortechnische Zeitschrift 5  
(388-399) (2002)
- U. Brokmann, M. Jacquorie, M. Talkenberg, A. Harnisch, E. W. Kreutz, D. Hülsenberg, R. Poprawe  
**Exposure of photosensitive glasses with pulsed UV-laser radiation**  
Research Journal Microsystem Technologies 8  
(102-104) (2002)
- N. Pirch, E. W. Kreutz  
**Front tracking thermomechanical model for transient stresses during laser welding**  
Proceedings of »Mathematical modelling of weld phenomena« 6  
(629-658) (2002)
- M. Stepputat, R. Noll, R. Miguel  
**High-Speed Detection of Additives in Technical Polymers with Laser-Induced Breakdown Spectrometry**  
VDI-Berichte 1667  
(35-40) (2002)
- M. Stepputat, R. Noll, R. Miguel  
**High-Speed Detection of Additives in Technical Polymers with Laser-Induced Breakdown Spectrometry**  
Tagungsband »9. Anwendertreffen Röntgenfluoreszenz und Funkene-missionsspektrometrie« 9  
(35-40) (2002)
- R. Noll  
**Industrielle Anwendungen der Lasermesstechnik für Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion**  
VDI-Berichte  
(1-13) (2002)
- K. Wissenbach  
**Innovative Entwicklungen im Bereich des Laserstrahlreinigens - ein Überblick**  
Tagungsband »Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'02«  
(497-513) (2002)
- D. Petring  
**Innovative Entwicklungen im Bereich des Laserstrahlschneidens und -schweißen - ein Überblick**  
Tagungsband »Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'02«  
(407-425) (2002)
- S. Kaierle  
**Innovative Entwicklungen in der Prozessüberwachung - ein Überblick**  
Tagungsband »Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'02 2  
(298-311) (2002)
- R. Noll  
**Laser Measuring Technology - Applications for Process and Quality Control in Production Lines**  
VDI-Berichte 1694  
(69-75) (2002)
- J. Gottmann, B. Vosseler, E. W. Kreutz  
**Laser crystallisation during pulsed laser deposition of barium titanate thin films at low temperatures**  
Applied Surface Science 197  
(831-838) (2002)
- A. Gillner, L.-Y. Yeh, A. Dohrn, A. Bayer  
**Laser micro manufacturing of moulds and forming parts**  
Proceedings of ICALEO  
(1-6) (2002)
- A. Gillner, E. Bremus-Köbberling, P. Jacobs  
**Laser Structuring and Modification of Surfaces for Medical and Micro Chemical Components**  
Proceedings of ICALEO  
(1-10) (2002)
- A. Brysch, V. Sturm, R. Noll, H. Denecke-Arnold, H. Brinkmann, K. Mülheims, A. Opfermann, K. Mavrommatis, H. W. Gudenau, K. Heinänen  
**Laser-Based Elemental Analysis of the Top Gas of a Blast Furnace**  
VDI-Berichte 1694  
(117-123) (2002)
- M. Kraushaar, R. Noll, H.-U. Schmitz  
**Laser-Emissionsspektrometrie zur Multi-Element-Analyse von Schlacke aus dem stahlerzeugenden Prozess**  
Tagungsband »9. Anwendertreffen Röntgenfluoreszenz und Funkene-missionsspektrometrie« 9  
(41) (2002)

- E. Bremus-Köbberling, A. Gillner, H. Höcker, R. Poprawe, H. A. Richter  
**Laserbohrungen für die Befestigung von Retina-Implantaten**  
RWTH-Themen 2 (53-54) (2002)
- R. Noll  
**Lasermesstechnik im industriellen Einsatz - ein Überblick**  
Tagungsband »Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'02« (131-146) (2002)
- F. Schneider, B. Seme, D. Petring, R. Poprawe  
**Laserstrahl-Hochgeschwindigkeitsschneiden - Laserstrahl-Schnellschneiden: Grenzwertorientierte Prozesse für Fein- und Feinstbleche**  
Tagungsband »Internationale Schneidtechnische Tagung 2002« (79-85) (2002)
- D. Petring  
**Laserstrahlschweißen - Fortschritte durch Hybridtechnik**  
Tagungsband zu Messe und Kongress »Materialbearbeitung und Analyse mit Lasern« (122-123) (2002)
- F. Rinner, J. Rogg, P. Friedmann, M. Mikulla, G. Weimann, R. Poprawe  
**Longitudinal carrier density measurement of high power broad area laser diodes**  
Applied Physics Letters 1 (19-21) (2002)
- E. W. Kreutz, R. Weichenhain, R. Wagner, A. Horn  
**Microstructuring of SiC by laser ablation with pulse duration from ns to fs range (LAMP 2003)**  
Riken Review 50 (54-63) (2002)
- S. Keutgen, G. Backes, E.W. Kreutz, N. Pirch  
**Mikrostruktur einer laserbehandelten AlSnZn - Legierung und deren Korrelation mit Verfahrensparametern und Simulationsrechnungen**  
Strahltechnik, Handbuch zum Abschlusskolloquium des DFG-Schwerpunktprogramms 18 (219-228) (2002)
- E. W. Kreutz, M. Aden, M. Niessen, A. Husmann, R. Poprawe  
**Modelling of chemical processes in the dynamic expansion for pulsed laser deposition**  
Proceedings of SPIE: »Photon Processing in Microelectronics and Photonics« 4637 (54-63) (2002)
- C. Lambert, D. Weuster-Botz, R. Weichenhain, E. W. Kreutz, A. A. DeGraaf, S. M. Schoberth  
**Monitoring of Inorganic Polyphosphate Dynamics in Corynebacterium glutamicum Using a Novel Oxygen Sparger for Real Time 31P in vivo NMR**  
Acta Biotechnol. 22 (245-260) (2002)
- A. Gillner  
**Neue Entwicklungen in der Lasermikrotechnik - ein Überblick**  
Tagungsband »Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'02« (217-230) (2002)
- M. Stepputat, R. Noll, R. Miguel  
**On-Line Detection of Heavy Metals and Brominated Flame Retardants in Technical Polymers with Laser-Induced Breakdown Spectrometry**  
VDI-Berichte 1694 (15-20) (2002)
- R. Noll, M. Krauhausen  
**Online thickness measurement of flat products**  
Industrial Laser Solutions 7 (9-12) (2002)
- A. Brysch, V. Sturm, R. Noll  
**Online-Überwachung von Aerosolen im Hochofen-Gichtgas durch Laser-Emissionsspektrometrie**  
VDI-Berichte 1667 (149-154) (2002)
- I. Kelbassa, A. Gasser, G. Backes, S. Keutgen, E. W. Kreutz, N. Pirch  
**Repair and (re)conditioning of compressor and turbine blades by CO<sub>2</sub> and Nd:YAG laser radiation**  
Materials for Advanced Power Engineering 2002, Proceedings of the 7th Liège Conference Part II (751-758) (2002)
- J. Willach, A. Horn, E. W. Kreutz  
**Shaping of zirconia by laser radiation for blow-out facilities of cooling holes in turbine blades**  
Shaping II, Proceedings of the 2nd International Conference on Shaping of Advanced Ceramics 2 (233-238) (2002)
- R. Noll, V. Sturm  
**Stand und Perspektiven der Laser-Emissionsspektrometrie**  
Tagungsband »9. Anwendertreffen Röntgenfluoreszenz- und Funkenemissionsspektrometrie« 9 (1-16) (2002)
- M. Talkenberg, E. W. Kreutz, A. Horn, M. Jacquorie, R. Poprawe  
**UV laser radiation-induced modifications and microstructuring of glass**  
Proceedings of SPIE: »Photon Processing in Microelectronics and Photonics« 4637 (258-258) (2002)
- S. Mann, L. Böske, S. Kaieler, E.W. Kreutz, R. Poprawe  
**Automated Beam Monitoring and Diagnosis for CO<sub>2</sub> lasers**  
Proc. of Photonics West 2002 San Jose, CA, USA
- A. Bollig, H. Rake, Ch. Kratzsch, S. Kaieler  
**Application of Neuro-Predictive Control to Laser Beam Welding**  
proceedings of 15th Triennial World Congress of the International Federation of Automatic Control Barcelona, Spain, 2002
- S. Heinemann, S. Kaieler, D. Petring, R. Poprawe  
**Laser MIG Hybrid Welding of Thin Sheet Metals.**  
Proceedings of Sheet Metal Welding Conference X, Detroit, MI, USA (2002)
- C. Maier, P. Moenkemeyer, T. Wehner, M. Kogel-Hollacher, S. Kaieler, M. Dahmen, C. Kratzsch, R. Poprawe  
**Laser Hybrid Welding of Aluminum Tailored Blanks including Process Monitoring**  
Proceedings of Sheet Metal Welding Conference X, Detroit, MI, USA (2002)
- S. Kaieler  
**New developments in process monitoring and control for laser beam welding**  
Proceedings of 6th China National Conference on Laser Materials Processing in Beijing, China (2002)
- J. Petereit, P. Abels, S. Kaieler, C. Kratzsch, E.W. Kreutz  
**Failure recognition and online process control in laser beam welding**  
Proceedings of ICALEO 2002, Scottsdale, Arizona, USA, Section C, pp. 91-98
- R. Laitinen, D. Porter, M. Dahmen, S. Kaieler, R. Poprawe  
**Comparative Study on the Weldability of Different Shipbuilding Steels**  
Proc. of the International Welding/Joining Conference-Korea 2002 (IWC-Korea 2002), Gyeongju, Korea
- M. Dahmen, S. Kaieler, G. Kapper, J. Michel, W. Schulz, K. Spielvogel, R. Poprawe  
**Quality Assurance in Laser-beam Welding of Heavy Section Steel Sheet**  
Proc. of the International Welding/Joining Conference-Korea 2002 (IWC-Korea 2002), Gyeongju, Korea

19.01.2002 - A. Knitsch  
Diode Laser Modules of Highest Brilliance for Materials Processing  
Photonics West 2002, San Jose, CA

19.01.2002 - S. Mann  
Automated Beam Monitoring and Diagnosis for CO<sub>2</sub> Lasers  
Photonics West 2002, San Jose, CA

19.01.2002 - T. Kramer  
SHADOW - A New Welding Technique  
Konferenz SPIE, Laser 2002, San Jose, CA

19.01.2002 - M. Talkenberg  
UV laser-radiation-induced modification and microstructuring of glass (Invited Paper)  
Photonics West 2002, San Jose, CA

19.01.2002 - A. Olowinsky  
Laser Beam Micro Welding in Watch Industry  
Photonics West 2002, San Jose, CA

02.02.2002 - C. Schnitzler  
A 500 W high brightness diode end pumped Nd:YAG slab laser  
Konferenz ASSL2002, Quebec

02.02.2002 - M. Hoefler  
Diode end pumped slab lasers with reflectivity mirror  
Konferenz ASSL 2002, Quebec

02.02.2002 - H.-D. Hoffmann  
Diode end pumped slab lasers with reflectivity mirror  
Konferenz ASSL 2002, Quebec

05.02.2002 - S. Kaierle  
Process Control in Heavy Section Welding / Laser MIG Hybrid Welding  
Papenburg (TRANSLAS Workshop)

26.02.2002 - M. Stepputat  
High speed detection of additives in technical polymers with laser-induced breakdown spectrometry OPTAM, Frankfurt

27.02.2002 - A. Brysch  
Online Monitoring of Aerosols in the top gas of a blast furnace by laser spectrometry  
3. Konferenz über Optische Analysentechnik, Frankfurt am Main

27.02.2002 - L. Boeske  
Automatisierte Strahlüberwachung und Fehlerdiagnose für die Materialbearbeitung mit Laserstrahlung  
Angewandte Informatik zur Füge-technik, Berlin

27.02.2002 - M. Dahmen  
Laserauftragschweißen und Beschichten  
Fachmesse für Verbindungs- und Schweißtechnik, Stuttgart

27.02.2002 - M. Dahmen  
Hybridschweißen  
Fachmesse für Verbindungs- und Schweißtechnik, Stuttgart

27.02.2002 - M. Dahmen  
Vergleichende Studie zum Laserstrahlschweißen von Schiffbaustählen  
Fachmesse für Verbindungs- und Schweißtechnik, Stuttgart

27.02.2002 - M. Dahmen  
Prozesskontrolle beim Schweißen und Schneiden  
Fachmesse für Verbindungs- und Schweißtechnik, Stuttgart

04.03.2002 - F. Hilbk-Kortenbruck  
Kompaktes Messsystem für die Laser-Emissionsspektrometrie an beschichteten und unbeschichteten Metallen  
9. Anwendertreffen Röntgenfluoreszenz und Funkenemissionspektrometrie, Dortmund

04.03.2002 - R. Noll  
Stand und Perspektiven der Laser-Emissionsspektrometrie  
9. Anwendertreffen Röntgenfluoreszenz und Funkenemissionspektrometrie, Dortmund

04.03.2002 - M. Stepputat  
Schnelle Detektion von Additiven in technischen Kunststoffen mit LIBS  
9. Anwendertreffen Röntgenfluoreszenz und Funkenemissionspektrometrie, Dortmund

06.03.2002 - D. Petring  
Laserstrahlschweißen - Fortschritte durch Hybridtechnik  
Laser-Optik 2002, Berlin

09.03.2002 - S. Kaierle  
New Advances in Process Control for Automotive Laser Applications  
ALAW, Dearborn

11.03.2002 - C. Schnitzler  
INNOSLAB Abschlussvortrag  
LASER 2000 Treffen, Freiburg

21.03.2002 - J. Michel  
Approximative Modellierung des Tiefschweißprozesses  
DPG-Frühjahrstagung, Bochum

21.03.2002 - B. Stier  
Singuläre Störungstheorie im approximativen Modell für das Schneiden mit Laserstrahlung  
DPG-Frühjahrstagung, Bochum

21.03.2002 - S. Pfeiffer  
Approximative Modellierung der Schmelzströmung beim Laserstrahlschweißen  
DPG-Frühjahrstagung, Bochum

21.03.2002 - W. Schulz  
Singuläre Störungstheorie im approximativen Modell für das Schneiden mit Laserstrahlung  
DPG-Frühjahrstagung, Bochum

21.03.2002 - K. Klages  
Laserstrahlmikroschweißen ungleicher Metalle  
DPG-Frühjahrstagung, Bochum

11.04.2002 - P. Loosen  
Neue Laser eröffnen neue Möglichkeiten  
Laser-Kolloquium IFSW, Stuttgart

20.04.2002 - N. Pirch  
Theoretical investigations of laser induced crystallization and stress development in phase change electroceramic materials  
Fifth International Conference on Modeling and Simulation of Microsystems, San Juan

28.04.2002 - A. Weisheit  
Recent Developments in Laser Cladding and Selective Laser Melting  
International Symposium on Thermal Spray, Bombay

06.05.2002 - S. Kaierle  
Virtual European Laser Institute  
Brüssel (VI Workshop)

15.05.2002 - S. Kaierle  
New developments in process monitoring and control for laser beam welding  
LMPC, Beijing, China

17.05.2002 - S. Kaierle  
Recent Developments and Trends in Lasertechnology  
Beijing Polytechnic University, China

18.05.2002 - C. Schnitzler  
A kw class diode endpumped slab laser  
CLEO 2002, Kalifornien

19.05.2002 - P. Russbuedt  
Design of a Laser Diodepumped 100 µJ regenerative Cr:LiSGaF fs-Amplifier  
CLEO 2002, Kalifornien

20.05.2002 - S. Kaierle  
Trends in Laser Source Development  
BIOET, Beijing, China

24.05.2002 - K. Boucke  
Development of High-Brightness, High-Power Diode Lasers: The Z-Laser  
LAMP 2002, Osaka

25.05.2002 - M. Heise  
Application of stacked discharge setups at atmospheric pressure for packaging sterilisation  
ICOPS 2002, Banff, Kanada

25.05.2002 - H.-D. Hoffmann  
Development of highpower laser diode pumped solid state lasers  
LAMP 2002, Osaka

28.05.2002 - D. Petring  
Macro-Processing with High Power Diode Lasers  
LAMP 2002, Osaka

14.06.2002 - E. W. Kreutz  
Farbige Markierung von Gläsern mit Laserstrahlung  
ITWM, Scharnebeck

17.06.2002 - J. Gottmann  
Fabrication of planar structures for optical waveguide applications by pulsed laser deposition and laser micro structuring  
E-MRS 2002, Strasbourg

25.06.2002 - A. Weisheit  
Surface Technology, Protection, Rapid Prototyping, Manufacturing  
1st. International Conference LASER, Barcelona

- 28.06.2002 - M. Dahmen  
Research and Development  
of Laser Materials Processing  
for the Automotive Industries  
Automotive Industries Development  
Centre, Pretoria
- 28.06.2002 - P. Abels  
Beleuchtungstechnik - von  
der Beratung zur Laseranlage  
Abschlussveranstaltung der Erpro-  
bungs- und Beratungszentren,  
Düsseldorf
- 23.08.2002 - E. W. Kreutz  
Electroceramics VIII, Rom
- 27.08.2002 - J. Gottmann  
PLD of Perovskite Coatings for  
Optoelectronics, Microelectronics  
and Microtechnology  
Electroceramics, Rom
- 09.09.2002 - G. Schlaghecken  
Absorption of plasma in the  
pulsed laser deposition process  
PSE 2002, Garmisch-Partenkirchen
- 09.09.2002 - S. Keutgen  
Mikrostruktur einer laser-  
behandelten AlSnZn-Legierung  
und deren Korrelation mit  
Verfahrensparametern und  
Simulationsrechnungen  
Abschlusskolloquium Kurzzeit-  
metallurgie, Bremen
- 17.09.2002 - M. Röhner  
Characterization device  
for diode-laser-stack beam  
propagation  
Laser Beam and Optics  
Characterization (LBOC), Colorado
- 18.09.2002 - E. W. Kreutz  
Arbeitssicherheit für Laser in  
der Materialbearbeitung  
Seminar SBG, Markt Triefenstein  
Lengfurt
- 19.09.2002 - S. Kaierle  
Innovative Entwicklungen  
in der Prozessüberwachung -  
ein Überblick  
AKL '02, Aachen
- 24.09.2002 - S. Kaierle  
Laseranwendungen  
im Automobilbau  
IIS Konferenz Stuttgart
- 24.09.2002 - R. Noll  
On-line detection of heavy  
metals and brominated flame  
retardants in technical polymers  
with laser-induced breakdown  
spectrometry  
LIBS 2002, Orlando
- 29.09.2002 - A. Horn  
Ultrafast pump & probe investi-  
gations on the interaction of  
femtosecond laser pulses with  
glass  
Konferenz HSPP, Beaune (F)
- 13.10.2002 - A. Horn  
Time resolved optomechanical  
investigations on the interaction  
of laser radiation with glass in  
the femto second regime  
ICALEO, Phoenix Scottsdale (USA)
- 13.10.2002 - K. Du  
Diode end-pumped high power  
Nd:YV04 slab laser; efficient  
second harmonic generation  
of diode end pumped electro-  
optically q-switched Nd:YV04  
slab laser; Renaissance of slab  
Photonics ASIA, Shanghai, Beijing  
(China)
- 23.10.2002 - R. Wagner  
Micro structuring of erbium  
doped waveguides by femto  
and pico second laser radiation  
FemtoMat, Visegrad
- 24.10.2002 - J. Willach  
Posterpräsentation »Shaping  
of zirconia by laser radiation  
for blow-out facilities of cooling  
holes in turbine blades«  
SHAPING II, Gent (Belgien)
- 25.10.2002 - M. Dahmen  
Trends and Limits in Laser Micro  
Processing  
KIST (Korea Institute of Science  
& Technology), Seoul, Kr
- 27.10.2002 - J. Gottmann  
Fabrication of erbium doped  
planar waveguides by pulsed  
laser deposition and laser  
micromachining  
Photonics Fabrication Europe,  
Brugge (Belgien)
- 14.11.2002 - M. Dahmen  
Innovations in Laser Technology  
for Small and Medium Sized  
Enterprises  
TWA Bijeerkonst »Modern  
Producers« Aluminium centrum,  
Houten (NL)
- 21.11.2002 - R. Noll  
Industrielle Anwendungen  
der Lasertechnik für Prozess-  
führung und Qualitätssicherung  
in der Produktion  
VDI-Wissensforum, Magdeburg
- 25.11.2002 - D. Petring  
CALCut: Making Laser Cutting  
Calculable  
TransLas-Workshop, CAMBRIDGE
- 25.11.2002 - M. Nießen  
Numerische Simulation freier  
Randwertaufgaben in der Laser-  
materialbearbeitung  
SIMPRO, IWM Freiburg
- 26.11.2002 - A. Bauer  
Von der Vision zum Produkt -  
Innovationsmanagement am  
Fraunhofer-Institut für Laser-  
technik ILT  
Seminar des Marketing-Club  
Aachen e. V., Aachen
- 27.02. - 01.03.2002  
Stuttgart  
Fachmesse für Verbindungs-  
und Schweißtechnik  
Teilnahme des Fraunhofer ILT am  
Gemeinschaftsstand »Fügetechnik«  
ILT-Thema: »Hybridschweißen«
- 15.04. - 20.04.2002  
Hannover  
HANNOVER MESSE 2002  
Internationale Industriemesse  
Teilnahme des Fraunhofer ILT  
am Gemeinschaftsstand »NRW  
Mikrotechnik«  
ILT-Thema: »Lasereinsatz in der  
Aufbau- und Verbindungstechnik«
- Teilnahme des Fraunhofer ILT  
am VDI-Gemeinschaftsstand  
»Optische Technologien«  
ILT-Thema: »Lasereinsatz in  
der Medizintechnik am Beispiel  
des Selective Laser Melting zur  
Herstellung von Implantaten«
- 04.12. - 07.12.2002  
Frankfurt  
EUROMOLD  
Messe für Werkzeug- und  
Formenbau  
Teilnahme der Abteilung Ober-  
flächentechnik des Fraunhofer ILT  
am Gemeinschaftsstand der Fraun-  
hofer Allianz »Rapid Prototyping«  
ILT-Thema: »Selective Laser Melting«

17.01.2002, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
**Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik**  
Dipl.-Ing. C. Schmid, Mobil Laser Tec GmbH, Wolfsburg  
»Handgeführte Lasersysteme für den industriellen Einsatz«

17.01.2002, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
**Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik**  
Dr. W. Barkhausen, CLEAN Lasersysteme, »Industrielle Anwendungsgebiete für handgeführte Laserstrahlreinigung«

31.01.2002, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
**Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik**  
Prof. Dr. R. Kassing, Universität Kassel, »Herstellung von Nanostrukturen - Lithographieverfahren«

14.02.2002, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
**Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik**  
Prof. Dr. K.-H. Zum Gahr, Universität Karlsruhe, »Lasergestützte Strukturierung und Modifizierung von Metallen, Polymeren und Keramiken«

21.02.2002, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
**Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik**  
Dipl.-Ing. T. Seefeld, BIAS Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik, »Direktes Laserstrahlfügen von Ti/Al- und Fe/Al-Mischverbindungen im Dünnblechbereich«

11.04.2002, Aachen  
**Workshop des Fraunhofer ILT**  
Vorträge und Diskussionen zum Thema: »Lasermesstechnik in Fertigung und Qualitätssicherung«

12.04.02, Aachen  
**7. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«**  
des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT mit Vorträgen von Oliver Steffens, Geschäftsführer der Firma S&F NC-Systemtechnik GbR und Dr. Jens Biesenbach, DILAS Diodenlaser GmbH, Mainz zum Thema: »Berufliche Herausforderungen in einem High-Tech Unternehmen am Beispiel DILAS«. Anschließend fand unter Leitung von Professor Heuken, Vice President Corporate Research & Development Corporate Technology Transfer eine Firmenbesichtigung bei der AIXTRON AG in Aachen statt.

18.04.2002, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
**Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik**  
Prof. Dr. M. Kohl-Bareis, Fachhochschule Koblenz »Anwendungen optischer Gewebespektroskopie in der Neurologie«

27.06.2002, Aachen  
Informationsveranstaltung des Fraunhofer ILT für das Seniorenstudium der RWTH Aachen mit Vorträgen und Führungen

28.06.2002, Handwerkskammer Düsseldorf  
Abschlussveranstaltung des VDI und des BMBF mit allen Erprobungs- und Beratungszentren Lasertechnik in NRW für Klein- und mittelständische Unternehmen. Den über 80 Teilnehmern wurde ein breit gefächertes Themenspektrum aus der Lasertechnik angeboten.

04.07.2002, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
**Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik**  
Dr. J. W. Tomm, Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (MBI), Berlin, »Optische Spektroskopie an Laserdioden«

11.07.2002, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen  
**Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik**  
Dr. T. Lippert, Paul Scherrer Institut, Villingen, Schweiz, »Laser Ablation Applied for Direct Structuring«, »Thin Film Deposition and Emission Spectroscopy«

18. - 20.09.2002, Aachen  
**Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'02**  
Das 4. Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'02 präsentierte sich auch in diesem Jahr als zentrales Forum für angewandte Lasertechnik. Über 400 Teilnehmer, hierbei Vertreter zahlreicher Laserhersteller und Laseranwender, diskutierten und potentielle Anwendungen sowie aktuelle Entwicklungen im Bereich der Lasertechnik. Anhand von Beispielen aus der industriellen Praxis und innovativer FuE-Ergebnisse wurden in insgesamt 36 technischen Vorträgen die Perspektiven der Lasertechnik branchenübergreifend für Anwendungen in der Automobilindustrie, dem Schiffbau, der metallverarbeitenden Industrie, dem Werkzeug- und Formenbau, der Elektrotechnik und der Elektronik, der optischen Industrie sowie der Kunststoff- und der Glasindustrie anschaulich dargestellt. Die Konferenz stand unter der ideellen Trägerschaft von VDI, VDA, VDMA und SPECTARIS.

Neben den Vorträgen der Laserexperten aus Industrie und Wissenschaft wurden am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und bei den Firmen des Anwenderzentrums in über 60 Vorführungen neueste Systeme und Verfahren in zukunftsweisenden Anwendungsbeispielen vorgeführt. Die konferenzbegleitende Ausstellung mit Exponaten von 30 Ausstellern bot zudem ein ideales Umfeld für den fachlichen Informationsaustausch.

Alle Vorträge des AKL'02 wurden in einem 545-seitigem Tagungsband veröffentlicht. Der Tagungsband ist zu beziehen bei:

Verlagsgesellschaft Grütter GmbH&Co. KG  
Frau Julia Ibenenthal  
Lägenfeldstraße 8  
30952 Ronnenberg  
Telefon: 0511/4609 -322  
Fax: 0511/4609 -320

Das nächste AKL findet vom 28. bis zum 30.04.2004 im Eurogress Aachen statt.

18.09.2002, Aachen  
**Laser-Business-Tag 2002**  
Mit mehr als 100 Teilnehmern erwies sich der erste »Laser-Business-Tag« als sinnvolle Ergänzung zum diesjährigen AKL. In drei Vortragsreihen verschafften 11 Referenten einerseits einen Überblick über die Lasermärkte in der Materialbearbeitung, der Kommunikationstechnik und der Medizintechnik. Andererseits wurden aktuelle Informationen zu Finanzdienstleistungen, Patentrechtsfragen und Technologiemarketing geboten. Weiterhin konnten Unternehmensgründer und expandierende Unternehmen ein Beratungsangebot erfahrener Experten vor Ort in Anspruch nehmen. Der Tagungsband des Laser-Business-Tages beinhaltet auf 241 Seiten alle Vorträge des Laser-Business-Tages und ist unter folgender Adresse zu beziehen:

Wirtschaftswoche Leserservice  
Postfach 3752  
90018 Nürnberg  
Telefon: 0911/2748 -100  
Fax: 0911/2748 -222  
www.leserservice@vhb.de

Der nächste Laser-Business-Tag findet am 28. April 2004 in Aachen statt.

**19.09.2002, Aachen**  
**Verleihung der Innovationspreise Lasertechnik 2002**  
 Im Rahmen des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'02 vom 18. - 20. September 2002 wurden zwei herausragende Wissenschaftler mit den Innovationspreisen Lasertechnik ausgezeichnet. Die Preisverleihung an Dr. Guido Hennig, Leiter der Abteilung Lasertechnologie bei der MDC Max Daetwyler AG (CH), und Dr. Gisbert Staupendahl, Leiter der Arbeitsgruppe »Lasertechnik« am Technischen Institut der Universität Jena, fand im Rahmen einer Festveranstaltung am 19. September 2002 in Aachen statt. Prof. Dr. Reinhard Poprawe M.A. sowie Dr. Dirk Basting, Vorstandsvorsitzender der Lambda Physik AG und Vorstandsmitglied im BDI-Ausschuss für Forschungs- und Technologiepolitik, überreichten die Preise.

Die Innovationspreise Lasertechnik werden vom Arbeitskreis Lasertechnik e.V. vergeben und würdigen zwei Einzelpersonen, deren Fähigkeiten und Engagement zum Erfolg der Innovation Lasertechnik geführt haben. Ein besonderes Augenmerk wird hierbei auf die Schnittstelle zwischen anwendungsnaher Wissenschaft und betrieblicher Praxis gerichtet. Ausgeschrieben werden die mit jeweils 2.500 Euro dotierten Innovationspreise für die beiden Felder »Betriebliche Praxis« und »Anwendungsnahe Wissenschaft«. Die Auswahl preiswürdiger Kandidaten erfolgt im Rahmen eines ausgeschriebenen Wettbewerbs durch den Vorstand des Arbeitskreises Lasertechnik e.V. Die endgültige Festlegung der Preisträger beschließt die Mitgliederversammlung des Arbeitskreises Lasertechnik e.V..

**20.09.02, Aachen**  
**8. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«**  
 des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT im Rahmen des 4. Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'02

**17.10.2002, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen**  
**Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik**  
 Dr. M. Schellhorn, Deutsch-Französisches Forschungsinstitut, Saint-Louis, Frankreich, »2 µm Laserquellen: Numerische Simulation von 3-Niveau Lasersystemen«

**21.11.2002, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen**  
**Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik**  
 Prof. Dr. R. Birngruber, Medizinisches Laserzentrum Lübeck, »Zelluläre Selektivität der Laserbehandlung bei Netzhauterkrankungen: Von der Laser-Mikrochirurgie zur Laser-Nano-Technologie«

**26.11.2002, Aachen**  
**Seminar des Marketing-Clubs Aachen e.V.**  
 im Fraunhofer ILT mit Vortrag von Axel Bauer zum Thema: »Von der Vision zum Produkt - Innovationsmanagement am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT«

**28.11.2002, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen**  
**Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik**  
 Prof. Dr. O. Hess, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR, Stuttgart, »Computational Nano-Photonics«

**12.12.2002, Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen**  
**Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik**  
 Prof. Dr. A. Tünnermann, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, »Photonik in Mikro- und Nanostrukturen«

**13.12.2002, Aachen**  
**Seminar »Lasertechnik - Technologie für den Arbeitsalltag«**  
 im Fraunhofer ILT für junge angehende Ingenieure

**19.12.2002, Aachen**  
**9. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«**  
 des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT mit Vorträgen von Dr. Reinhard Noll zum Thema »Neue Entwicklungen der Lasertechnik für Prozessführung und Qualitätssicherung in der Produktion« und Dr. Ulf Westheide, Accenture GmbH, Düsseldorf zum Thema »Erfahrungen eines Consultants bei einer technischen Unternehmensberatung«

## Publikationen

### »Partner der Innovatoren« (deutsch/englisch)

Diese Broschüre vermittelt einen prägnanten Überblick über das Fraunhofer ILT. Die zusammenfassende Darstellung der am ILT durchgeführten FuE-Projekte ist ebenso Bestandteil wie ein Kurzprofil des Institutes und eine Kundenreferenzliste.

### »Angebot und Ansprechpartner 2002/3« (deutsch/englisch)

Diese Broschüre vermittelt einen Überblick über das aktuelle Dienstleistungsangebot sowie die Ansprechpartner des Institutes. Die einzelnen Abteilungen des Fraunhofer ILT werden mit ihren Arbeitsschwerpunkten vorgestellt.

### Jahresbericht 2002 (deutsch/englisch)

Der Jahresbericht stellt umfassend die FuE-Aktivitäten des Fraunhofer ILT für das jeweilige Geschäftsjahr dar. Listen wissenschaftlicher Publikationen und Vorträge sind ebenso enthalten wie die Aufstellungen von Patenten, Dissertationen, Tagungen und Messebeteiligungen. Die englische Version kann nur im Internet unter [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de) abgerufen werden.

### Pressespiegel 2002

Im Pressespiegel werden die Institutsaktivitäten aus Sicht der Print-Medien dargestellt.

### Tagungsband des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'02

Im technischen Tagungsband des Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'02 (18.09. bis 20.09.2002) berichten 36 Laserhersteller und Anwender über neuste Entwicklungen und technologische Trends aus den Branchen optische Industrie, Automobilindustrie, metallverarbeitende Industrie, Werkzeug- und Formenbau, Elektrotechnik und Elektronik sowie Kunststoff- und Glasindustrie. Die Fallbeispiele aus der Praxis beleuchten die unterschiedlichen Laserverfahren wie Lasermesstechnik, Lasermikrotechnik, Laserstrahlschweißen und -schneiden sowie Laseroberflächentechnik. Der Tagungsband des AKL'02 mit 545 Seiten kann gegen Gebühr bei der Verlagsgesellschaft Grütter bestellt werden. Die Kontaktadresse lautet:

Verlagsgesellschaft Grütter  
GmbH&Co. KG  
Frau Julia Ibenthal  
Lägenfeldstraße 8  
30952 Ronnenberg  
Telefon: 0511/4609 -322  
Fax: 0511/4609 -320

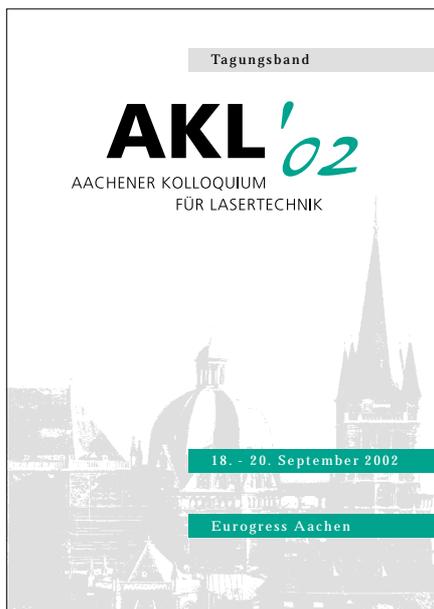
### Programm des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'04

28. - 30. April 2004. Das Programm zum AKL'04 kann unter 0241/ 8906 -109 bzw. Fax -121 oder per Internet unter [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de) angefordert werden.

### Fachprospekt

#### »Hochleistungsdiodenlaser«(deutsch)

Der Fachprospekt erläutert die unterschiedlichen Aktivitäten des Fraunhofer ILT in der Entwicklung von Hochleistungsdiodenlasern. Hierzu zählen die Auslegung spezieller Bauelemente zur Kühlung der Laser, die Konfektionierung der Diodenlaserbarren, die Charakterisierung in Burn-In-Plätzen, das optische Design und die Entwicklung kompletter Diodenlasermodule.



**Fachprospekt »LASIM® - Lasersimulator für die Ausbildung« (deutsch/englisch)**

Der Fachprospekt vermittelt einen Überblick über die Vorteile des Einsatzes von Multimedia-Software in der Ausbildung von Laserfachkräften und Studenten. Er stellt insbesondere den Einsatzbereich, die Programminhalte und die Systemanforderungen der Software LASIM® vor. Diese wurde am Fraunhofer ILT für die Ausbildung zum Laserstrahlschweißen und -schneiden entwickelt. LASIM® ist auf einer CD-Rom mit entsprechender Programmanleitung über das Fraunhofer ILT zu beziehen.

**Fachprospekt »Lasertechnik für die Oberflächenmodifikation und das Umformen« (deutsch)**

Der Fachprospekt vermittelt einen Überblick über den Einsatz des Lasers zum Umformen und zur Modifikation von Oberflächen. Hierzu zählen Verfahren wie das Entgraten und das formgebende Schmelzen, das Polieren, das Aufrauen, das Strukturieren und Aktivieren, das Rekristallisieren, das Glühen sowie das Feinperlitisieren.

**Fachprospekt »Lasertechnik für den Verschleiß- und Korrosionsschutz« (deutsch)**

Verschleiß- und Korrosionsschutz kann durch unterschiedliche Laserverfahren erzeugt werden. Der Fachprospekt gibt einen Einblick in Verfahren wie martensitisches Randschichthärten, Umschmelzen, Auftragschweißen, Legieren und Dispergieren.

**Fachprospekt »Laserstrahlauftragschweißen« (deutsch)**

Im Fachprospekt werden sowohl das Verfahren als auch die Systemtechnik zum Laserstrahlauftragschweißen vorgestellt. Auch die Unterschiede der hierzu einzusetzenden Pulverzufuhrdüsen werden erläutert.

**Fachprospekt »Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing für Metallbauteile«(deutsch)**

Der Fachprospekt erläutert das am Fraunhofer ILT entwickelte Verfahren des Selective Laser Melting, mit dem komplexe metallische Bauteile direkt aus 3D-CAD Daten hergestellt werden. Auch die Anwendungsfelder des Laserstrahlgenerierens werden vorgestellt.

**Fachprospekt »Reinigen mit Laserstrahlung« (deutsch/englisch)**

Der Fachprospekt erläutert die Anwendungsmöglichkeiten des Laserstrahlreinigens.

**Fachprospekt »Laser in der Mikrostrukturierungstechnik« (deutsch/englisch)**

Der Fachprospekt erläutert Verfahren wie das Laserabtragen, das Präzisions-schneiden, das Bohren und das laserunterstützte Mikroumformen.

**Fachprospekt »Laser in der Aufbau- und Verbindungstechnik« (deutsch/englisch)**

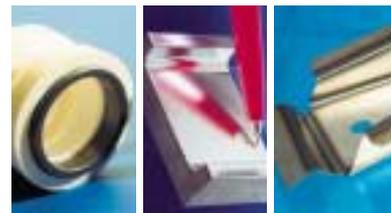
Der Fachprospekt gibt einen Überblick über den Einsatz der Lasertechnik in der Aufbau- und Verbindungstechnik. So werden beispielsweise Mikrofügeverfahren, wie das Laserstrahlbenden und das Laserstrahllöten, erläutert.

**Fachprospekt »Laser in der Kunststoff- und Papiertechnik« (deutsch/englisch)**

Der Fachprospekt erläutert den Einsatz des Lasers zur Bearbeitung von Kunststoffen, Verbundwerkstoffen sowie von Papier und Glas.

**Fachprospekt »Laser in Life Science« (deutsch/englisch)**

Der Fachprospekt verdeutlicht den Einsatz des Lasers in der Medizintechnik. Auch wird die Laserstrahlung als Werkzeug in der Mikroreaktionstechnik und der Biotechnologie vorgestellt.



Lasertechnik für die Oberflächenmodifikation und das Umformen

Fraunhofer  Institut Lasertechnik



Laser in der Kunststoff- und Papiertechnik

Fraunhofer  Institut Lasertechnik

**Fachprospekt »Werkstoffanalyse und Verwechslungsprüfung mit Laserstrahlung« (deutsch/englisch)**

Der Fachprospekt stellt die am Fraunhofer ILT entwickelten Verfahren und Systeme zur Analyse der Zusammensetzung von Werkstoffen mit Laserstrahlung vor. Die Eingangsprüfung von unterschiedlichen Materialien, die Verwechslungsprüfung, das Sortieren von Werkstoffen, sowie die Online-Analyse von Schmelzen sind Aufgaben, die mit dem Laser schnell und zuverlässig erledigt werden können.

**Informationsbroschüre »Virtual European Laser Institute Veli« (englisch)**

Die Informationsbroschüre stellt das vom Fraunhofer ILT koordinierte europäische Netzwerk anerkannter FuE Laserzentren vor. Diese haben sich zum Ziel gesetzt, das in Europa vorhandene Laser-Know-how Interessenten aus Industrie und Wissenschaft zur Verfügung zu stellen. Das Projekt wird von der Europäischen Kommission gefördert. Weitere Informationen hierzu sind auch unter [www.veli.net](http://www.veli.net) zu finden.

**Fachprospekt »Oberflächen- und Schichtanalyse« (deutsch)**

Der Fachprospekt vermittelt einen Überblick über die am Fraunhofer ILT und am Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen vorhandenen Messmethoden zur Oberflächenanalyse. Hierzu zählen verschiedene Spektroskopieverfahren, die Ellipsometrie und metallographische Messmethoden.

**Fraunhofer-Magazin 3.2001 »Licht für die nächsten Chipgenerationen« (deutsch/englisch)**

Im Fraunhofer-Magazin 3/2001 werden die im Fraunhofer ILT betriebenen Aktivitäten im Bereich der Lithographie für zukünftige Chipgenerationen vorgestellt. Die am Fraunhofer ILT entwickelte EUV-Strahlungsquelle gilt als aussichtsreicher Nachfolger der optischen Lithographie.

**Informationsbroschüre »Laser Region Aachen« (deutsch/englisch)**

Diese Broschüre wurde von der Aachener Gesellschaft für Innovation und Technologie mbH AGIT in enger Kooperation mit dem Fraunhofer ILT herausgegeben und vermittelt einen Überblick über die Laseraktivitäten in der Aachener Region sowie die zentralen Akteure in Industrie, Wissenschaft und Dienstleistungssektor.

**Sonderdruck »User profile CLT« aus der Zeitschrift »Industrial laser solutions« (10/2000)**

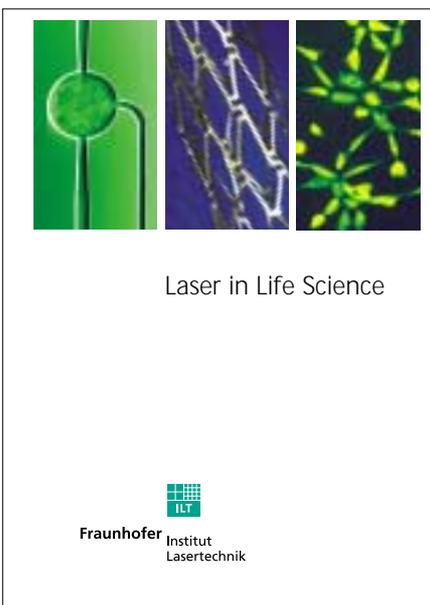
Dieser Artikel vermittelt einen Überblick über die Aktivitäten des Fraunhofer-Centers for Laser Technology CLT in Plymouth, Michigan.

**Informationsbroschüre »kompetenznetze.de« (deutsch/englisch)**

Kompetenznetze.de ist eine Initiative des BMBF und wird als Instrument für internationales Standortmarketing durch Präsentation der kompetentesten Technologie-Netze in Deutschland genutzt. Die Internet Plattform [www.kompetenznetze.de](http://www.kompetenznetze.de) bietet eine attraktive Recherchenquelle und Kommunikationsplattform für Informations- und Kooperationssuchende im In- und Ausland.

**Produkt- und Projekthandzettel**

Die Projektdarstellungen aus den Jahresberichten des Fraunhofer ILT sowie gesonderte Produktinformationen können über die Internet-Seiten [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de) heruntergeladen werden.



# Filme und Multimedia-Software

## Videofilm »Laser - das besondere Licht für die Materialbearbeitung« (deutsch/englisch)

Dieser Lehrfilm ist 1997 von der Bergischen Universität - Gesamthochschule Wuppertal in Zusammenarbeit mit dem VDI-Technologiezentrum Düsseldorf, dem Fraunhofer ILT und weiteren Laserzentren und -firmen produziert worden. Er liefert einen Überblick über alle wichtigen Laserbearbeitungsverfahren und ist speziell zur Intensivierung der Lehre an Hochschulen, Fachhochschulen, Berufsakademien und zur innerbetrieblichen Schulung konzipiert. Dies trifft insbesondere auf fertigungstechnische Studiengänge und Ausbildungsbereiche zu. Der Videofilm hat eine Dauer von 30 Minuten und ist in Deutsch und Englisch bei der Bergischen Universität - Gesamthochschule Wuppertal erhältlich.

Die Darstellungen können einzeln über das mitgelieferte Programm Acrobat Reader 3.01 auf handelsüblichen PCs aufgerufen werden. Systemvoraussetzungen sind Windows 3.1 und höhere Versionen, Unix oder MacOS.

Das Ausdrucken und Verwerten der unveränderten Grafiken und Bilder ist ausschließlich für Lehrzwecke 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: 0241 / 8906 -122  
Fax: 0241 / 8906 -112  
E-mail: heinrichs@ilt.fraunhofer.de

## CD-Rom »Lasertechnik« (deutsch)

Diese CD-Rom ist eine Sammlung von Grafiken und Bildern der Vorlesungen Lasertechnik I + II von Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe M.A.

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.

Inhalte 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.



### Multimedia-Software LASIM® (deutsch/englisch)

LASIM® ist ein Multimedia-Lernprogramm für die Ausbildung im Bereich des Laserstrahlschneidens und -schweißens. Die Kombination von Text, Bild, Ton und Animation in Form von Multimedia-Software eröffnet neue Horizonte in der Ausbildung von Laseranwendern. Im theoretischen Teil der Lehrgänge werden komplizierte Prozesse und Verfahrensmodelle anschaulich dargestellt. Dies trägt zu einem besseren Verständnis des Lehrstoffes bei. Im praktischen Teil der Ausbildung können zahlreiche Versuche durch Simulationen ersetzt werden. Der Anwender kann per Multimedia selbstständig die Verfahrensparameter einstellen, ohne Störungen am realen Lasersystem zu verursachen.

Durch das Einrichten mehrerer Computerarbeitsplätze kann der personelle Betreuungsaufwand auf ein wirtschaftlich vertretbares Maß reduziert werden. Darüber hinaus eignen sich Multimedia-Programme für das Selbststudium. Der Laseranwender kann jederzeit Versuche an einer virtuellen Anlage durchführen.

Die Multimedia-Technik ergänzt in idealer Weise die praktische Ausbildung am realen Lasersystem. In der Anfangsphase werden die Übungen zum Verständnis der grundlegenden Zusammenhänge am Computer durchgeführt. In der darauf folgenden Phase kann der Anwender seine erworbenen Kenntnisse zur Lösung konkreter Probleme am realen Lasersystem einsetzen.

Die Vorteile des Einsatzes von Multimedia-Software zur Ausbildung von Fachkräften und Studenten liegen auf der Hand:

- Visualisierung komplexer Zusammenhänge und Verfahrensabläufe
- Simulation eines realen Laserarbeitsplatzes
- Durchführung von Versuchen an virtuellen Anlagen mit Ergebnisauswertung
- unbegrenzte Verfügbarkeit und risikolose Fehlbedienung
- geringer Betreuungsaufwand und Eignung zum Selbststudium
- interaktive theoretische und praktische Übungen zur Festigung des Lehrstoffes

Die Software LASIM® ist in Deutsch und Englisch über das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT erhältlich. Aktuelle Informationen und Bestellzettel zu LASIM® können über die Internet-Seiten [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de) abgerufen werden.

Ansprechpartner für weitere Informationen zu LASIM®:  
Dr. Dirk Petring  
Telefon: 0241/8906 -210  
Fax: 0241/8906 -121  
E-mail: [petring@ilt.fraunhofer.de](mailto:petring@ilt.fraunhofer.de)



Wenn Sie mehr Informationen über die Forschungs- und Entwicklungsleistungen des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT wünschen, können Sie unseren Internet-Service unter [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de) nutzen. Sie können das Informationsmaterial ebenfalls mit Hilfe des vorliegenden ausgefüllten Abschnitts anfordern.

**Broschüre: »Partner der Innovatoren«**

- deutsch
- englisch

**Broschüre: »Angebot und Ansprechpartner 2002/3«**  
(deutsch/englisch)

**Jahresbericht 2002**  
deutsch  
(englische Version nur online unter [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de) verfügbar)

**Jahresbericht 2001**  
deutsch  
(englische Version nur online unter [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de) verfügbar)

**Jahresbericht 2000**  
deutsch  
(englische Version nur online unter [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de) verfügbar)

**Pressespiegel 2002**

**Pressespiegel 2001**

**Pressespiegel 2000**

**Bestellformular für den Tagungsband des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL 2000** (deutsch)

**Bestellformular für den Tagungsband des Laser-Business-Tages** (deutsch)

**Fachprospekt:**  
**»Hochleistungsdiodenlaser«**  
(deutsch)

**Fachprospekt:**  
**»LASIM® - Lasersimulator für die Ausbildung«**  
 deutsch  
 englisch

**Fachprospekt:**  
**»Lasertechnik für die Oberflächenmodifikation und das Umformen«**  
(deutsch)

**Fachprospekt:**  
**»Lasertechnik für den Verschleiß- und Korrosionsschutz«** (deutsch)

**Fachprospekt:**  
**»Laserstrahlaufragschweißen«**  
(deutsch)

**Fachprospekt:**  
**»Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing für Metallbauteile«**  
(deutsch)

**Fachprospekt:**  
**»Reinigen mit Laserstrahlung«**  
 deutsch  
 englisch

**Fachprospekt:**  
**»Laser in der Mikrostrukturierungstechnik«**  
 deutsch  
 englisch

**Fachprospekt:**  
**»Laser in der Aufbau- und Verbindungstechnik«**  
 deutsch  
 englisch

**Fachprospekt:**  
**»Laser in der Kunststoff- und Papierindustrie«**  
 deutsch  
 englisch

Absender

\_\_\_\_\_  
Name, Vorname

\_\_\_\_\_  
Firma

\_\_\_\_\_  
Abteilung

\_\_\_\_\_  
Straße

\_\_\_\_\_  
PLZ/Ort

\_\_\_\_\_  
Telefon

\_\_\_\_\_  
Fax

\_\_\_\_\_  
E-mail

Fraunhofer-Institut  
für Lasertechnik ILT

Steinbachstraße 15  
52074 Aachen  
Fax: +49 (0) 241 / 8906 -121

Fachprospekt:  
»Laser in Life Science«

- deutsch
- englisch

Fachprospekt:  
»Werkstoffanalyse und  
Verwechslungsprüfung mit  
Laserstrahlung«

- deutsch
- englisch

Fachprospekt:  
»Oberflächen- und Schicht-  
analyse« (deutsch)

Informationsbroschüre  
»Laser Region Aachen«  
(deutsch/englisch)

Informationsbroschüre  
»kompetenznetze.de«  
(deutsch/englisch)

Informationsbroschüre  
»Virtual European Laser Institute  
VELI« (englisch)

Bestellformular zur Multimedia-  
Software LASIM®

- deutsch (auch online verfügbar unter  
[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de))
- englisch (auch online verfügbar unter  
[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de))

Bestellformular zur CD-Rom  
»Lasertechnik« (deutsch)

Absender

---

Name, Vorname

---

Firma

---

Abteilung

---

Straße

---

PLZ/Ort

---

Telefon

---

Fax

---

E-mail

Fraunhofer-Institut  
für Lasertechnik ILT

Steinbachstraße 15  
52074 Aachen  
Fax: +49 (0) 241 / 8906 -121

# Impressum

## Redaktion

Dipl.-Phys. Axel Bauer (verantw.)  
Dr. Peter Loosen  
Stefanie Flock

## Gestaltung und Produktion

Dipl.-Des. Andrea Croll

## Lithographie

Graphodata GmbH, Text- und  
Bildverarbeitung Digital, Aachen

## Druck

Rhiem Druck GmbH, Voerde

## Papier

Dieser Jahresbericht wurde auf  
umweltfreundlichem, da chlor- und  
säurefrei gebleichtem Papier gedruckt.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Axel Bauer  
Telefon: +49 (0) 241 / 8906 -194  
Fax: +49 (0) 241 / 8906 -121  
E-Mail: bauer@ilt.fraunhofer.de

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck nur mit schriftlicher  
Genehmigung der Redaktion.

© Fraunhofer-Institut  
für Lasertechnik ILT, Aachen 2003

**Fraunhofer-Institut  
für Lasertechnik ILT**

Steinbachstraße 15  
52074 Aachen  
Telefon: +49 (0) 241 / 8906 -0  
Fax: +49 (0) 241 / 8906 -121

E-Mail: [info@ilt.fraunhofer.de](mailto:info@ilt.fraunhofer.de)  
[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)