



Fraunhofer Institut
Lasertechnik

Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2006



Jahresbericht
des Fraunhofer-Instituts
für Lasertechnik ILT
2006



»Deutschland - Land der Ideen« so der Titel einer Initiative unter der Schirmherrschaft von Bundespräsident Köhler, die der Welt im Umfeld der Fußball WM 2006 das Bild eines innovativen und kreativen Deutschlands vermitteln sollte. Auch das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik zählt zu den ausgezeichneten 365 Orten im Land der Ideen. Es ist nicht die erste PR-Maßnahme, die die Deutschen dazu veranlasst, sich ihrer Stärken bewusst zu werden und das gestalterische Zepter für die Zukunft selbst in die Hand zu nehmen. Mit dem Slogan »Du bist Deutschland« wurde das Land bereits im Jahr 2005 wachgerüttelt. Die entscheidende Frage stellt sich jedoch, wie wir angesichts des rasanten Tempos mit dem sich die Welt um uns herum weiterentwickelt mit hoher Effizienz unsere eigenen Potenziale nutzen, um unseren Lebensstandard zu halten und weiter auszubauen.

Ein zentraler Baustein im globalen Wettbewerb ist sicherlich die Stellung unserer produzierenden Industrie und der davon abhängigen Dienstleistungsunternehmen. Da wir zu den Hochlohnländern zählen, werden wir unsere Stärken einerseits bei hochwertigen Gütern und andererseits bei jenen Produkten konsequent einsetzen müssen, die mit hohem Automatisierungsgrad zu fertigen sind. Der Schlüssel hierzu heißt Innovation. Nur mit innovativen

Produkten und automatisierten Fertigungsverfahren werden wir unsere Premium-Position als Exportnation und unseren Anspruch als Land der Ideen wahren und gegebenenfalls ausbauen können. Nur so schaffen wir Wachstum und Arbeitsplätze der Zukunft. Das bedeutet auch, dass Staat und Wirtschaft sich noch stärker als bisher finanziell und ideell in Forschung und Lehre engagieren müssen.

Rund 15 Milliarden Euro investiert die Bundesregierung konsequenterweise im Rahmen ihrer Hightech-Strategie bis 2009. Für das Innovationsfeld der Optischen Technologien sind 310 Millionen Euro und für die Produktionstechnologien 250 Millionen Euro vorgesehen. Das ermutigt uns, mit unseren Partnern weiterhin aussichtsreiche Innovationen zu erzeugen. Im Bereich der Nano-Photonics zählt die EUV-Technologie zu den herausragenden Themen, die das Fraunhofer ILT seit vielen Jahren vorantreibt. Unser Industriepartner wird in den kommenden Monaten die ersten Alpha-Tools einer EUV-Lithographieanlage zur Herstellung von Halbleitern unter dem Gesichtspunkt einer anstehenden Serienproduktion testen. Auch bei den Laserstrahlquellen wird es zunehmend spannend. Fasertechnologie, abstimmbare Laser, fasergekoppelte Diodenlaser hoher Qualität, alles Themen, mit denen sich das Fraunhofer ILT intensiv befasst.

Die Europäische Kommission bietet nun mit ihrem 7. Rahmenprogramm geeignete Randbedingungen, um in Verbundprojekten auch dringend notwendige Vorlaufforschung im internationalen Kontext zu betreiben. Als Kommunikationsnetzwerk für interessierte Unternehmen und Institute bietet sich die Technologieplattform »Photonics 21« an, deren Realisierung das Fraunhofer ILT von Anfang an aktiv begleitet hat. Die ersten Erfolge

der Initiative sind bereits sichtbar: die Gewinnung von über 500 Mitgliedern, die Übergabe einer europäischen Agenda an die EU-Kommissarin Viviane Reding sowie die Einrichtung einer eigenen Unit zu den Optischen Technologien in der Kommission. Immerhin stehen für die Photonik im 7. Rahmenprogramm in 2007 und 2008 90 Millionen Euro zur Verfügung.

Das Fraunhofer ILT wird sich in den kommenden Jahren verstärkt der Nano-Photonik, der Mikrotechnik und der Oberflächentechnik widmen. In der Flugzeugbranche wurde das Institut für zahlreiche Anwendungen zum Instandsetzen von Triebwerkkomponenten zertifiziert. In den Bereichen Polieren, Strukturieren und Generieren steckt noch viel Potenzial. Die Medizintechnik, die Mechatronik, die Solartechnik sowie weitere innovative Branchen fördern die lasergestützten Mikrofertigungsverfahren. Einen ersten Vorschmack lieferte das Aachener Kolloquium für Lasertechnik 2006. Vom 03. bis 05. Mai informierten sich über 430 Teilnehmer über den neuesten Stand und die Perspektiven der Lasertechnik in der Produktion. Die Resonanz war äußerst positiv, so dass wir die Laser-Community vom 07. bis 09. Mai 2008 erneut nach Aachen einladen werden. Wir versprechen Ihnen ein interessantes Programm und eine effiziente Plattform, um Ihr Business-Netzwerk weiter auszubauen. In diesem Sinne wünsche ich Ihnen viele erfolgreiche neue Entwicklungen.

Ihr

Professor Reinhart Poprawe M.A.

Das Institut im Profil	6	Ausgewählte Forschungsergebnisse aus den Geschäftsfeldern des ILT	
Leitbild	7	Laserstrahlquellen und Plasmasysteme	33 - 58
Geschäftsfelder	8	Laserfertigungsverfahren	59 - 100
Gremien	10	Laseranlagen und Systemtechnik	101 - 110
Ansprechpartner	11	Lasermess- und Prüftechnik	111 - 132
Kernkompetenzen	12		
Dienstleistungsangebot	14	European Laser Institutes ELI	110
Das Institut in Zahlen	16	Patente	133
Kundenreferenzen	19	Dissertationen	134
Fraunhofer USA Center for Laser Technology CLT	20	Diplomarbeiten	134
Coopération Laser Franco-Allemande CLFA	22	Wissenschaftliche Veröffentlichungen	135
Fraunhofer-Verbund Oberflächen- technik und Photonik VOP	24	Vorträge	137
Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick	26	Kongresse und Seminare	141
Lasertechnik an der RWTH Aachen	28	Messebeteiligungen	145
Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«	30	Publikationen	146
PhotonAix e.V. - Kompetenznetz Optische Technologien	32	Fachbuch »Lasertechnik für die Fertigung«	149
		Filme und Multimedia-Software	150
		Informations-Service	152
		Impressum	153



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

Kurzportrait

ILT - dieses Kürzel steht seit über 20 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 250 Mitarbeitern und 10.000 m² 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 »Laserfertungsverfahren« 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. Rund 10 Firmen nutzen die Vorteile des Anwenderzentrums. Neben Laserherstellern und Laseranwendern finden hier auch Unternehmensgründer 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 Partnern aus Industrie, Wissenschaft und Politik Innovationen auf Basis neuer Strahlquellen und neuer Anwendungen.

Kunden

Wir arbeiten kundenorientiert.

Diskretion, Fairness und Partnerschaftlichkeit haben für uns im Umgang mit unseren Kunden oberste Priorität. Unsere Kunden können sich auf uns verlassen.

Entsprechend der Anforderung und Erwartung unserer Kunden erarbeiten wir Lösungen und deren wirtschaftliche Umsetzung. Ziel ist die Schaffung von Wettbewerbsvorteilen.

Wir fördern den Nachwuchs an Fach- und Führungskräften für die Industrie durch projektbezogene Partnerschaften mit unseren Kunden.

Wir wollen, dass unsere Kunden zufrieden sind und gerne wiederkommen.

Chancen

Wir erweitern unser Wissen strategisch im Netzwerk.



Faszination: Laser

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

Mitarbeiter

Das Zusammenwirken von Individuum und Team ist die Basis unseres 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 Engagements ist Basis unserer Führung. Wir binden unsere Mitarbeiter in die Erarbeitung von Zielen und in Entscheidungsprozesse ein. Wir legen Wert auf effektive Kommunikation, zielgerichtete und effiziente Arbeit und klare Entscheidungen.

Position

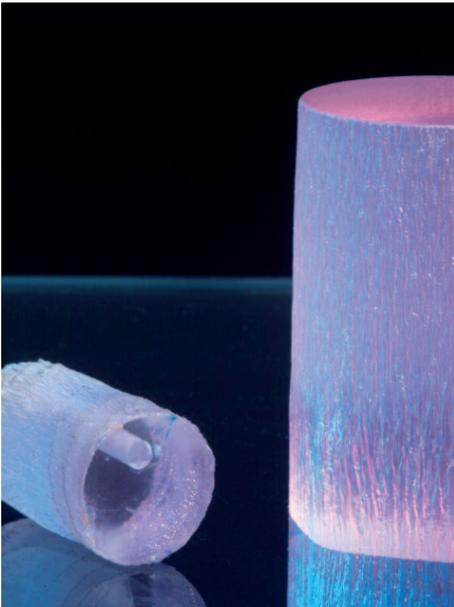
Wir arbeiten in vertikalen Strukturen von der Forschung bis zur Anwendung.

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

Laserstrahlquellen und Plasmasysteme

Das Geschäftsfeld umfasst die Entwicklung von Diodenlaser-Modulen und Systemen sowie diodengepumpter Festkörperlaser mit verschiedenen Resonatorstrukturen (Stab, Slab, Faser), das Design neuer Diodenlaserstrukturen, die Mikromontage von Diodenlasern und optischen Komponenten sowie die Entwicklung von Plasmasystemen.

Im Umfeld einiger Projekte werden seit über 10 Jahren Spin-offs des Fraunhofer ILT gegründet. 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 automatisierter Montage- und Testanlagen. 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.



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 Serienanlaufs. 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.

Lasieranlagen und Systemtechnik

Das Geschäftsfeld konzentriert sich einerseits auf die Entwicklung von Prototypanlagen für Laserapplikationen und plasmatechnische Anwendungen sowie 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.

Lasermess- und Prüftechnik

Das Angebotsspektrum des Geschäftsfeldes umfasst die Entwicklung von Mess- und Prüfverfahren sowie entsprechender Anlagen zur Stoffanalyse und zur Geometrie- und Oberflächenprüfung. 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 und oxidischer Werkstoffe, der Verwechslungsprüfung, der Schnellerkennung von Werkstoffen für Recyclingaufgaben sowie der Analyse von Gasen und Stäuben. Für die parallele Verarbeitung von Detektorsignalen hoher Bandbreite werden spezielle Elektronikkomponenten entwickelt.

In der Biophotonik werden Verbundprojekte im Bereich hochsensitiver Fluoreszenzdetektion für Proteinchips und Laser-Streulichtmessungen in Sub- μl Probenvolumina für die Proteinkristallisation durchgeführt. Im Bereich Geometrie- und Oberflächenprüfung werden Komponenten, Geräte und Anlagen, mit denen 1- bis 3-D-Informationen über die Geometrie- oder die Oberflächenbeschaffenheit von Werkstücken gewonnen werden können, entwickelt. Hierzu zählen beispielsweise Verfahren und Sonderanlagen für die Prüfung der Maßhaltigkeit von strang- und bandförmigen Produkten und Geräte für die 1-D- bis 3-D-Vermessung von Stückgut. Zielmärkte sind die produzierende Industrie und die Recyclingwirtschaft, die mess- oder prüftechnische Aufgaben prozessnah und schnell durchführen müssen.



Kuratorium

Das Kuratorium berät die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung und fördert die Verbindung zu den an Forschungsarbeiten des Instituts interessierten Kreisen. Mitglieder des Kuratoriums waren im Berichtszeitraum:

C. Baasel (Vorsitzender)
Carl Baasel Lasertechnik GmbH

Dr. R. G. Gossink
Philips Forschungslabor GmbH

H.-J. Haepf
DaimlerChrysler AG

Dr. Ulrich Hefter
Rofin-Sinar Laser GmbH

Dipl.-Ing. H. Hornig
BMW AG

Dr. U. Jaroni
ThyssenKrupp Stahl AG

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

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

Dr. Rüdiger Müller
Osram Opto Semiconductors
GmbH & Co. OHG

Dr. Joseph Pankert
Philips Lighting B.V.

Prof. R. Salathé
Ecole Polytechnique Fédérale
de Lausanne

MinR Dr. Frank Schlie-Roosen
Bundesministerium für Bildung
und Forschung BMBF

Dr. Ulrich Steger
Ministerium für Innovation,
Wissenschaft, Forschung
und Technologie des Landes NRW

Dr. Dieter Steegmüller
DaimlerChrysler AG

Dr. Klaus Wallmeroth
TRUMPF Laser GmbH & Co. KG

Die 22. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 20. September 2006 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: Vasvija Alagic, Dipl.-Phys. A. Bauer, Dr. K. Boucke, Dr. A. Gillner, Dr. J. Gottmann, Dipl.-Ing. H. D. Hoffmann, Dr. S. Kaierle, Dr. I. Kelbassa (ab Aug. 2006), Dr. E.-W. Kreutz, Prof. Dr. P. Loosen, Dr. W. Neff, Dr. R. Noll, Dr. D. Petring, Prof. Dr. R. Poprawe, Prof. Dr. W. Schulz, B. Theisen, Dr. B. Weigl, Dr. K. Wissenbach.

Arbeitsschutzausschuss ASA

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

Wissenschaftlich-Technischer Rat WTR

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

Mitglieder im Wissenschaftlich-Technischen Rat sind: Prof. Dr. R. Poprawe, B. Theisen, Dr. C. Janzen.

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. R. Poprawe. M. A., Akademischer Rat ist z. A. Dr. I. Kelbassa.

Betriebsrat

Der Betriebsrat wurde im März 2003 von den Mitarbeitern des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT gewählt. Mitglieder sind: Dipl.-Ing. P. Abels, Dipl.-Ing. G. Backes, M. Brankers, Dipl.-Phys. J. Geiger, M. Janßen, Dipl.-Phys. G. Otto, B. Theisen (Vorsitz), Dr. A. Weisheit, Dipl.-Ing. N. Wolf.



Prof. Dr. Reinhart Poprawe (-110)
Institutsleiter



Prof. 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



Vasvija Alagic (-181)
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 Kaielerle (-212)
Abt. Systemtechnik



Dr. Alexander Drenker (-223)
Qualitätsmanagement



Dr. Willi Neff (-142)
Abt. Plasmatechnologie



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

Laserkomponenten

Dr. Konstantin Boucke

- Aktive und passive Kühlung von Diodenlasern
- Ausdehnungsangepasste Kühler und Aufbautechniken für Diodenlaser
- Montage von Laserdiodenbarren mit Indium- und AuSn-Lot
- Charakterisierung und Test von Diodenlasern im Wellenlängenbereich von 630 nm bis 2,1 μm
- Auslegung und Montage mikrooptischer Systeme
- Faserkopplung für Singlemode- und Multimodefasern
- Automatisierung von Mikromontageprozessen für Laser- und Optiksyste

Festkörper- und Diodenlaser

Dipl.-Ing. Dieter Hoffmann

- Entwicklung von Festkörper- und Diodenlasern
- Entwicklung von Faserlasern
- Verfahren und Komponenten zur Frequenzkonversion
- Optik-Design für Laser, Strahlführung und -formung von Laserstrahlung
- Entwicklung von Diodenlasermodulen und -systemen
- Design und Charakterisierung von optischen Komponenten
- Entwicklung von Komponenten für Festkörper- und Diodenlaser

Lasermess- und Prüftechnik

Dr. Reinhard Noll

- Lasermessverfahren für online Prüfaufgaben
- Entwicklung, Bau, Integration und Erprobung von Lasermess- und Prüfsystemen
- Chemische Analyse von festen, flüssigen und gasförmigen Substanzen mit Laser-Spektroskopie
- Spektroskopische Überwachung von Schweißprozessen
- Fluoreszenz-Analytik
- Quantifizierung von Proteinwechselwirkungen durch markierungsfreie Laser-Streulichtverfahren
- In-vivo-Diagnostik zur online Überwachung minimal invasiver chirurgischer Eingriffe
- Messung von Abständen, Profilen und Formen mit Laser-Triangulation
- Echtzeitdatenverarbeitung und Automation

Plasmatechnologie

Dr. Willi Neff

- Entwicklung plasmabasierter EUV/XUV-Quellen
- Entwicklung, Bau und Integration von Komponenten für EUV/XUV-Messsysteme (Mikroskopie, Oberflächencharakterisierung, Reflektivitätsmessung ...)
- Leistungsgeneratoren zur gepulsten Plasmaerzeugung
- Prozessregelungs- und Steuerungssysteme für räumlich verteilte Anlagen auf Mikrosekundenbasis
- Atmosphärendruckplasmen zur Oberflächenmodifikation (Packstoffsterilisation, Funktionalisierung ...)

Trenn- und Fügeverfahren

Dr. Dirk Petring

- Schneiden, Perforieren, Bohren, Tiefengravur
- Schweißen, Löten
- Hochgeschwindigkeitsbearbeitung
- Dickblechbearbeitung
- Trennen und Fügen von Sonderwerkstoffen
- Fügen mit Zusatzwerkstoff
- Laser-Lichtbogen Hybridverfahren
- Produktorientierte Verfahrensoptimierung
- Multifunktionale Fertigungsprozesse
- Design und Implementierung von Bearbeitungsköpfen
- Sensorgestützte Prozessüberwachung und -regelung
- Rechnergestützte Prozesssimulation und -optimierung
- Multimediale Ausbildungs- und Informationssysteme

Oberflächentechnik

Dr. Konrad Wissenbach

- Umwandlungshärten, Umschmelzen, Beschichten, Legieren und Dispergieren zur Herstellung beanspruchungsgerechter Funktionsschichten
- Entwicklung von Pulverzufuhrsystemen
- Wärmebehandlung von beschichteten und unbeschichteten Oberflächen
- Funktionalisierung von nanoskaligen Schichten
- Reinigen und Modifikation von Oberflächen wie Entgraten, Aktivieren und Strukturieren
- Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing zur Herstellung metallischer Bauteile und Werkzeuge
- Polieren von Metallen und Glas

Mikrotechnik

Dr. Arnold Gillner

- Laserstrahlmikrolöten und -mikroschweißen
- Lasergestütztes Justieren
- Laserunterstütztes Tiefziehen und Stanzen
- Mikrowerkzeugtechnik
- Feinschneiden und Bohren von Metallen, Keramiken, Halbleitern und Diamanten
- Mikrostrukturierung mit Excimer-, Nd:YAG- und Kurzpulslasern
- Markieren und Beschriften
- Schneiden und Perforieren von Papier, Kunststoffen und Verbundwerkstoffen
- Schweißen von Thermoplasten und thermoplastischen Elastomeren
- Lasermedizin
- Biophotonik
- Photochemische Prozesse
- Nanostrukturierung mit Laserstrahlung
- Lasergestützte Biofunktionalisierung von Oberflächen
- Mikromanipulation von Zellen mit Laserstrahlung

Modellierung und Simulation

Prof. Dr. Wolfgang Schulz

- Erzeugung von EUV-Strahlung
- Auslegung von Resonatoren für Hochleistungslaser
- Strahlführung, Strahlformung
- Strömungen und Wärmetransport in Gasen und Schmelzen
- Schmelzen und Verdampfen
- Dynamische Modelle zum Abtragen, Schneiden, Schweißen und Bohren
- Auswertung und Visualisierung von Daten aus Messung und Simulation
- Computational Steering von Simulationen
- Numerische Methoden und Berechnungsverfahren, Finite Elemente und Finite Volumen in Gebieten mit freien Rändern, adaptive Vernetzung
- Diagnose von Laserstrahlung und Laser-Fertigungsverfahren

Systemtechnik

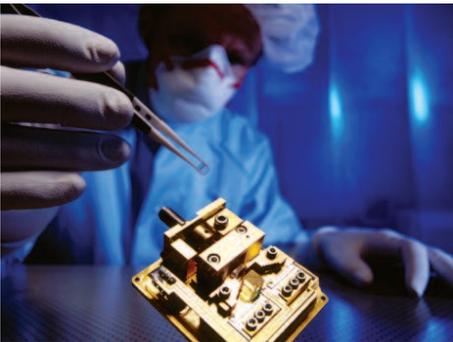
Dr. Stefan Kaierle

- Prozessüberwachung und -regelung zur Qualitätssicherung
- Prozessanalyse und Prozessentwicklungstools
- Entwicklung von online-Sensoren und Regelungssystemen (z. B. Nahtfolge, Geschwindigkeitsmessung, Positionierung, Abstandsmessung und -regelung, Multisensorik und Vernetzung)
- Automatisierte Prüfung von Bearbeitungsergebnissen (z. B. Systeme zur Nahtbewertung)
- Verfahrensprüfung und -erprobung
- Machbarkeitsstudien
- Nullserien-Applikation
- Integration von Lasertechnik in bestehende Fertigungseinrichtungen
- Remote- und Scannerapplikationen
- Integrierte Bearbeitungsköpfe
- CAD/CAM-unterstützte Laserbearbeitung
- Offline-Bahnplanung und -Simulation
- Anlagenkonzeptionierung
- Pilotanlagen
- Steuerungstechnik für Laseranlagen
- Beratung, Consulting, 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 m².

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:

- CO₂-Laser bis 20 kW
- Lampen- und diodengepumpte Festkörperlaser bis 8 kW
- Faserlaser bis 4 kW
- Diodenlasersysteme bis 3 kW
- SLAB-Laser
- Excimerlaser
- Ultrakurzpulslaser
- Breitbandig abstimmbare Laser
- Fünfsichtige Portalanlagen
- Dreiachsige Bearbeitungsstationen
- Strahlführungssysteme
- Robotersysteme

- Sensoren zur Prozessüberwachung für die Lasermaterialbearbeitung
- Direct-writing- und Laser-PVD-Stationen
- Reinräume zur Montage von Diodenlasern, Diodenlasersystemen und diodengepumpten Festkörperlasern
- Life Science Labor mit S1 und S2 Klassifizierung
- Geräte zur Verfahrens- und Prozessdiagnostik sowie zur Hochgeschwindigkeits-Prozessanalyse
- Laser-Spektroskopie-Systeme zur chemischen Analyse fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe
- Lasertriangulationssensoren zur Abstands- und Konturvermessung
- Laser-Koordinatenmessmaschine
- Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop

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 2006	Anzahl
Stammpersonal	137
- Wissenschaftler und Ingenieure	84
- Mitarbeiter der technischen Infrastruktur	33
- Verwaltungsangestellte	20
Weitere Mitarbeiter	128
- wissenschaftliche Hilfskräfte	119
- externe Mitarbeiter	7
- Auszubildende	2
Mitarbeiter am Fraunhofer ILT, gesamt	265

- 6 Mitarbeiter haben ihre Promotion abgeschlossen
- 26 Studenten haben ihre Diplomarbeit am Fraunhofer ILT durchgeführt

Mitarbeiter 2006

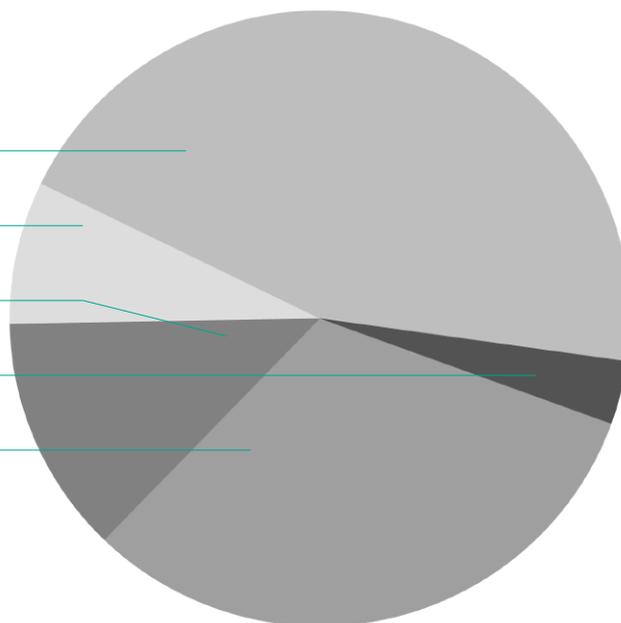
45 % wissenschaftliche Hilfskräfte

8 % Verwaltungsangestellte

12 % technische Infrastruktur

3 % Auszubildende / externe Mitarbeiter

32 % Wissenschaftler und Ingenieure



Aufwendungen und Erträge

Aufwendungen 2006 Mio EUR

- Personalaufwendungen	9,0
- Sachaufwendungen	9,0
Aufwendungen Betriebshaushalt	18,0

Investitionen	2,7
----------------------	------------

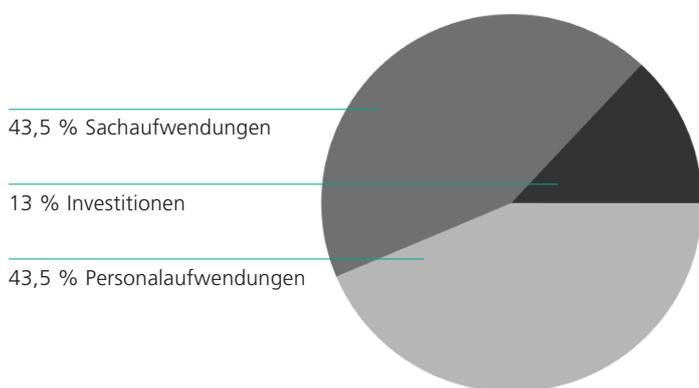
Erträge 2006 Mio EUR

- Erträge aus der Industrie	7,0
- Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	6,1
- Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	4,9
Erträge Betriebshaushalt	18,0
- davon entfallen auf Auslandsprojekte	3,3

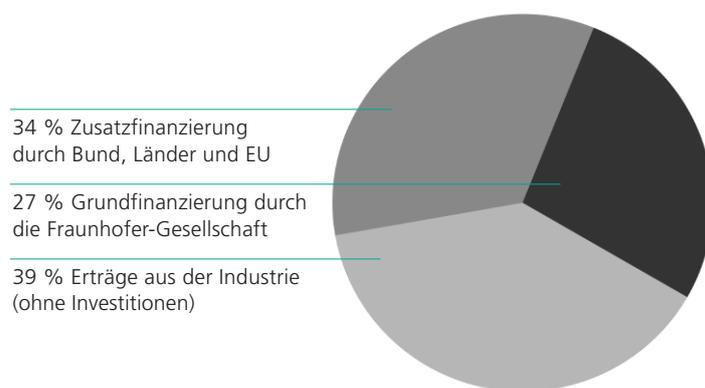
Investitionserträge aus der Industrie	0,3
--	------------

Fraunhofer Industrie p_{Ind}	41 %
--	-------------

Gesamtaufwendungen 2006 (100 %)

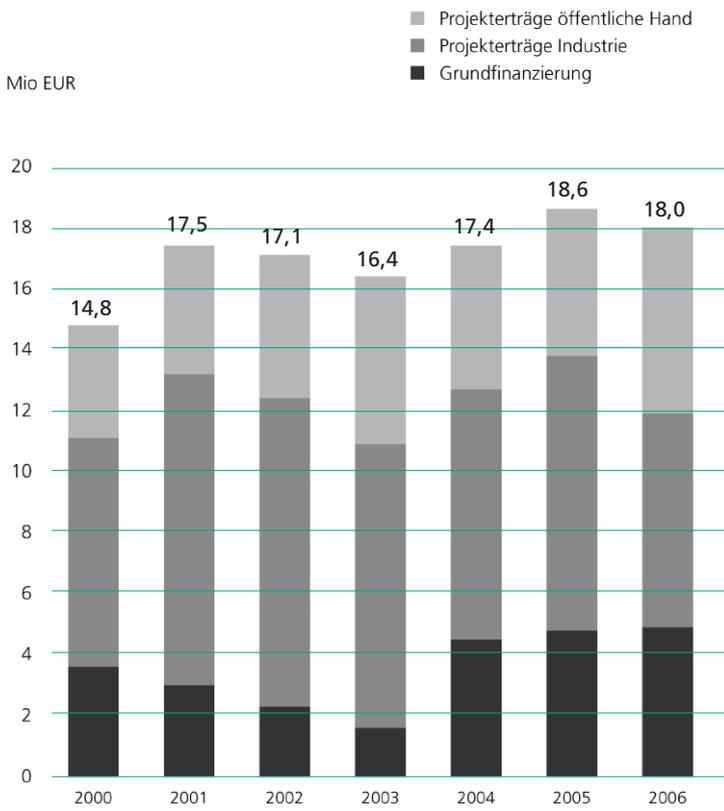


Betriebshaushalt 2006 (100 %)



Betriebshaushalt

Die Graphik verdeutlicht die Entwicklung des Betriebshaushaltes in den letzten 7 Jahren.



Kundenreferenzen



HEIDELBERG INSTRUMENTS

Heraeus



LEYER & KIWUS
ULTRASCHALL + LASERTECHNIK



PHILIPS



PROMETEC

Radium
Die Lichtmarke



Sempell



Stand März 2007
Mit freundlicher Genehmigung
der Kooperationspartner.



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

Kurzportrait

Das Fraunhofer Center for Laser Technology CLT hat seinen Sitz in Plymouth, Michigan. Diese Region hat sich zu einem Zentrum für Laserhersteller, Systemintegratoren und industrielle Anwender in den USA etabliert. Das Gebäude des CLT umfasst Räumlichkeiten mit einer Grundfläche von 1250 m². 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 des CLT 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 und der University of Michigan.
- 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.

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

In Zusammenarbeit mit der University of Michigan werden am Fraunhofer CLT Faserlaser entwickelt. Die Grundlagen und neuen Konzepte entstehen an der Universität. Fraunhofer übernimmt die Entwicklung geeigneter Pumpquellen sowie die Systemintegration und den Prototypenbau. Beugungsbegrenzte Strahlung, flexible Pulscharakteristik und monolithischer Aufbau stehen im Fokus der Entwicklung.

In Zusammenarbeit mit der Wayne State University werden langzeitstabile Implantate zur Neurostimulation des menschlichen Gehirns entwickelt. Weiterhin ist das CLT Träger der Organisation »Laserspot«, die 2000 gegründet wurde und zur Zeit mehr als 20 Mitglieder zählt. Ziel von Laserspot ist es, den Nutzen der Lasertechnik in der industriellen Anwendung in unterschiedlichen Branchen zu fördern.

Zur raschen Kommerzialisierung der Forschungsergebnisse und zur gemeinsamen Bearbeitung von Forschungsprojekten wurde 2001 die Firma Visotek aus dem CLT ausgegründet. Visotek fertigt intelligente Laserwerkzeuge und betreibt Lohnfertigung für die Automobilindustrie. Fasergekoppelte Diodenlasersysteme mit Kilowatt Ausgangsleistung wurden erfolgreich aus der Entwicklung in den Markt transferiert. Eine weitere gemeinsame Entwicklung ist eine Spezialoptik, die ein schnelles 2-D-Scannen mit Autofokus für Laser mit Leistungen bis 15 kW

ermöglicht. Die Optik wurde erfolgreich im Schiffbau zum Schweißen dicker Bleche mit variabler Schweißnahtbreite und im Automobilbau zum robotergeführten Remote-Schweißen eingesetzt. 250 Schweisspunkte pro Minute werden mit 6 kW Laserleistung erzielt.

Dienstleistungen

Das CLT bietet Dienstleistungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung, die Entwicklung von optischen Komponenten und speziellen Lasersystemen an. Diese umfassen das gesamte Spektrum von Machbarkeitsstudien über Prozessentwicklung bis hin zur Vorserienproduktion sowie Prototypenfertigung von Laserstrahlquellen und schlüsselfertigen Laseranlagen. 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 CO₂-Laser im Leistungsbereich bis zu 8 kW, Nd:YAG-Laser von 250 W bis 4,4 kW, Diodenlaser von 30 W bis 3 kW, frequenzverdreifachte Nd:YAG und Excimer Laser, eine Vielzahl von Spezial- und Hybridoptiken, 3-, 5- und 6-Achsen Anlagen sowie mehrere Roboter.

Kundenreferenzen

- US Air Force Research Laboratories
- Office of Naval Research
- Michigan Lifescience Corridor
- Alcan
- Borg Warner Automotive
- Dana Corporation
- DaimlerChrysler
- Ford Motor Company
- General Motors
- Hemlock Semiconductors
- Nuvonyx
- LASAG
- PRC
- Rofin Sinar
- Spectra Physics
- Siemens VDO
- Trumpf
- Visteon

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

sheinemann@clt.fraunhofer.com
www.clt.fraunhofer.com

Aufwendungen Betriebshaushalt 2006*

	Mio. US\$
Betriebshaushalt	2,35
- Personalaufwendungen	1,15
- Sachaufwendungen	1,20

*Nachkalkulation ist noch nicht erfolgt



Coopération Laser
Franco-Allemande
Deutsch-Französisches
Laserzentrum



Kurzportrait

In der CLFA in Paris kooperiert das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT seit 1997 erfolgreich mit führenden französischen Forschungseinrichtungen. Die wichtigsten Kooperationspartner sind ARMINES, die École Nationale Supérieure des Mines de Paris ENSMP, das Institut de Soudure, das Institut Universitaire de Technologie du Creusot, l'École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques ENSMM in Besançon sowie weitere namhafte Laseranwendungszentren in Frankreich. Interdisziplinäre Expertenteams aus Deutschland und Frankreich arbeiten gemeinsam am Transfer lasergestützter Fertigungsverfahren in die europäische Industrie. Die Coopération Laser Franco-Allemande ist Mitglied im Club Laser et Procédés, der französischen Vereinigung von Laserherstellern und -anwendern.

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



Besuch des französischen Forschungsministers François Goulard während des Wissenschaftsfestes »Fête de la Science« vom 09. bis 15. Oktober 2006 in Paris.

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

Die Kooperation des Fraunhofer ILT mit den französischen Partnern ist 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 durch praxisnahe Ausbildung über 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 sowie den beteiligten Projektpartnern in Frankreich gefördert. Hierdurch wird den Mitarbeitern die Möglichkeit geboten, ihre Kompetenz insbesondere im Hinblick auf Mobilität und internationales Projektmanagement zu vertiefen.

Ausstattung

Neben den am Fraunhofer ILT zur Verfügung stehenden Einrichtungen verfügt das CLFA über eine eigene Infrastruktur im Centre des Matériaux Pierre-Marie Fourt der Ecole des Mines de Paris in Evry im Süden von Paris. Hierbei besteht insbesondere auch Zugriff auf die Infrastruktur zur Materialanalyse des Instituts. Kunden- und projektorientiert kann auch die Infrastruktur der anderen französischen Partner mit genutzt werden.

Standorte

Paris - im Zentrum von Paris in der École Nationale Supérieure des Mines de Paris ENSMP.

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

Ihr Ansprechpartner



Dr. Wolfgang Knapp
Direktor

CLFA c/o Armines
60 Boulevard Saint Michel
75272 PARIS Cedex 6
Frankreich

Telefon: +33 1/4051-9476
Fax: +33 1/4634-2305
wolfgang.knapp@ilt.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de/clfa.html



Fraunhofer Verbund Oberflächentechnik und Photonik

Kompetenz und Vernetzung

Sechs Fraunhofer-Institute kooperieren im Verbund Oberflächentechnik und Photonik. Aufeinander abgestimmte Kompetenzen gewährleisten eine permanente, schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an den raschen technologischen Fortschritt in allen industriellen Anwendungsbereichen. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Marktes ausgerichtete Strategien führen zu Synergieeffekten. Es wird ein breiteres Leistungsangebot zum Nutzen des Kunden erzielt.

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

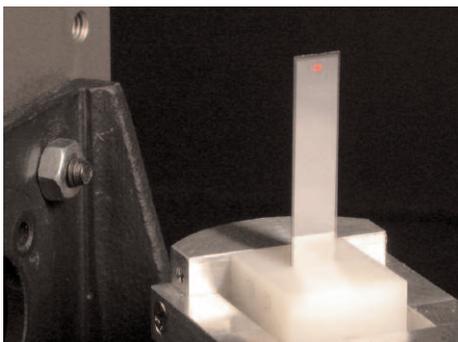
Das Fraunhofer IPM entwickelt optische Systeme für die Spektroskopie und Laserbelichtungstechnik. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Verwirklichung hochdynamischer Systeme. Neben der schnellen Laseransteuerung sind dafür besondere Kompetenzen bei der Signalverarbeitung gefragt. So wurden für die Infrastrukturüberwachung von Hochgeschwindigkeitsstrecken robuste, wartungsarme Messgeräte realisiert.

Fraunhofer-Institut für Elektronen- strahl- und Plasmatechnik FEP

Ziel des Fraunhofer FEP ist die Erforschung und Entwicklung innovativer Verfahren zur Nutzung von Elektronenstrahlen hoher Leistung und dichter Plasmen in Produktionsprozessen für die Oberflächentechnik. Dabei stehen praktische Fragestellungen wie Prozessmonitoring, Qualitätskontrolle, Reproduzierbarkeit, Aufskalierung und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund.

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Im Bereich der Lasertechnik ist das Zusammenspiel zwischen Laserentwicklung und Laseranwendung von herausragender Bedeutung. Neue Laser erlauben neue Anwendungen und neue Anwendungen geben Anregungen für neue Lasersysteme. Deshalb erweitert das Fraunhofer ILT durch die enge Kooperation mit führenden Laserherstellern und innovativen Laseranwendern ständig seine Kernkompetenzen.



Oben: Fraunhofer FEP
Mitte: Fraunhofer IPM
Unten: Fraunhofer ILT

Kernkompetenzen	FEP Dresden	ILT Aachen	IQF Jena	IPM Freiburg	IST Braunschweig	IWS Dresden
Schicht- und Oberflächentechnologie	●	●	●	●	●	●
Strahlquellen	●	●	●	●		
Mikro- und Nanotechnologie	●	●	●	●	●	●
Materialbearbeitung	●	●			●	●
Optische Messtechnik		●	●	●	●	●

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

Das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST bündelt als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum Kompetenzen auf den Gebieten Schichtherstellung, Schichtanwendung und Schichtcharakterisierung. Zurzeit ist das Institut in folgenden Geschäftsfeldern tätig: Maschinenbau und Fahrzeugtechnik, Werkzeuge, Energie, Glas und Fassade, Optik, Information und Kommunikation, Mensch und Umwelt.

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

Hauptgegenstand der Forschungstätigkeit des Fraunhofer IOF ist die optische Systemtechnik mit dem Ziel der immer besseren Kontrolle von Licht. Schwerpunkte sind multifunktionale optische Schichtsysteme, mikro-optische Systeme, optische Messsysteme und Systeme zur Optik-Charakterisierung, feinmechanische Präzisionssysteme sowie die Mikromontage.

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

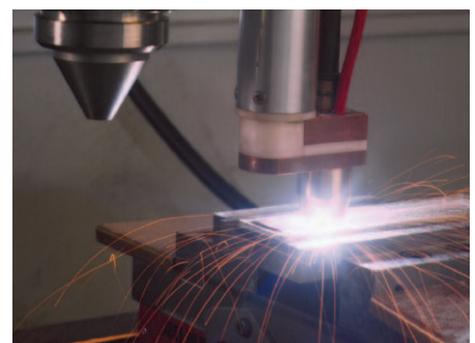
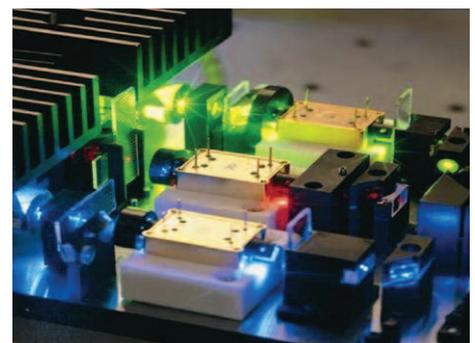
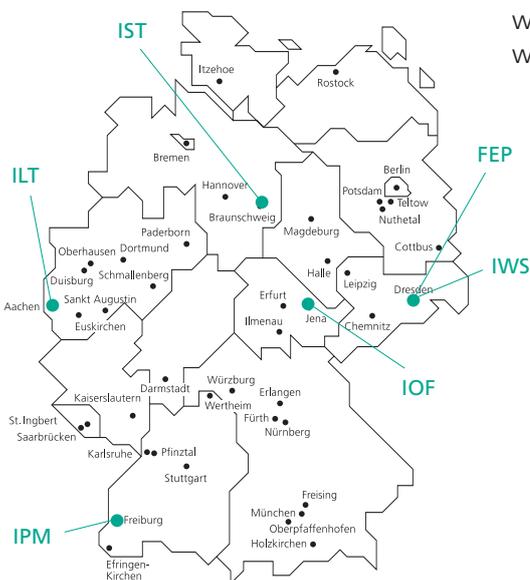
Das Fraunhofer IWS forscht auf den Gebieten der Lasertechnik (z. B. Laserschweißen, Laserschneiden, Laserhärten), der Oberflächentechnik (z. B. Auftragschweißen), der Mikrobearbeitung sowie der Dünnschicht- und Nanotechnologie. Die in die Forschung und Entwicklung integrierte Werkstoffprüfung und -charakterisierung fundiert und erweitert das Spektrum des Fraunhofer IWS.

Kontakt und Koordination

Sprecher des Verbundes
Prof. Dr. Eckhard Beyer

Koordination
Udo Klotzbach
Telefon: +49 (0)351/2583252
udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de
www.vop.fraunhofer.de

Die Institute
www.fep.fraunhofer.de
www.ipm.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de
www.ist.fraunhofer.de
www.iof.fraunhofer.de
www.iws.fraunhofer.de



Oben: Fraunhofer IST
Mitte: Fraunhofer IOF
Unten: Fraunhofer IWS

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Forschung für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung für die Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag von Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Weiterentwicklung, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen auch für Information und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, in anderen Bereichen der Wissenschaft, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studentinnen und Studenten an Fraunhofer-Instituten eröffnen sich wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 56 Institute, an 40 Standorten in ganz Deutschland.

12.500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,2 Milliarden Euro. Davon fallen mehr als 1 Milliarde Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

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

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

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

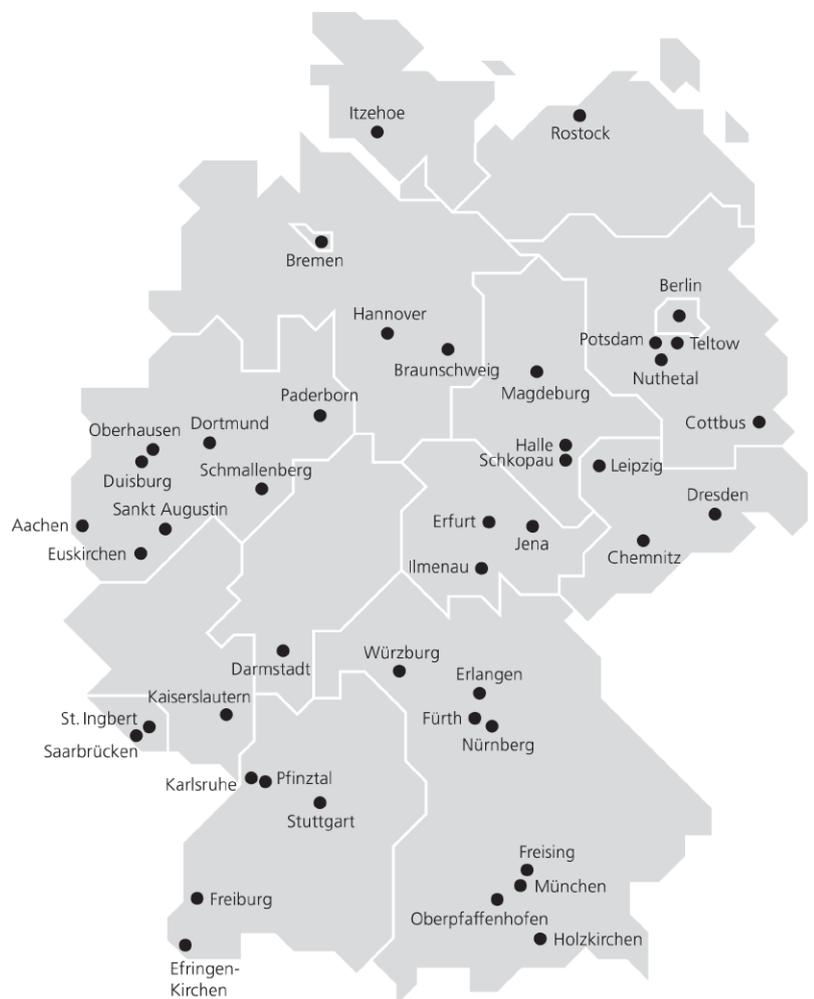
Die Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt Produkte und Verfahren bis zur Anwendungsreife. Dabei werden in direktem Kontakt mit dem Auftraggeber individuelle Lösungen erarbeitet. Je nach Bedarf arbeiten mehrere Fraunhofer-Institute zusammen, um auch komplexe Systemlösungen zu realisieren. Es werden folgende 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 Vorlauftforschung bringt die Fraunhofer-Gesellschaft bereits als Startkapital in die Partnerschaft ein.

Die Standorte der Forschungseinrichtungen



Gemeinsam Zukunft gestalten

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

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

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT

Der Lehrstuhl für Lasertechnik ist seit 1985 an der RWTH Aachen in der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung in Mikro-, Dünnschicht-, Oberflächen- und Röntgentechnik sowie in der integrierten Optik tätig. Bei der Mikrostrukturierung durch Abtragen und Modifizieren von Materialien werden Laserstrahlquellen mit kurzen Pulsdauern von 10^{-13} bis 10^{-3} Sekunden eingesetzt. Anwendungen finden sich beispielsweise bei Bohrungen in Metallen für die Luft- und Raumfahrttechnik und der Bearbeitung von Glas durch Brechungsindexänderung.

Durch Pulsed Laser Deposition werden dünne Schichten für Verschleißschutz, Elektronik, integrierte Optik und Medizintechnik hergestellt. Durch die Beschichtung mit Laserstrahlung können komplexe mehrkomponentige Materialien mit kontrollierten Schichtstrukturen realisiert werden.

Das Laserstrahl-Auftragschweißen wird für den Verschleiß- und Korrosionsschutz, das Instandsetzen und das Herstellen von 3-D-Bauteilen eingesetzt. Abnehmer sind insbesondere der Maschinen-, der Werkzeug-, der Triebwerks- und der Motorenbau.

Kontakt

Prof. Dr. Reinhart Poprawe M. A.
Telefon: +49 (0)241/8906-109
Fax: +49 (0)241/8906-121
reinhart.poprawe@ilt.fraunhofer.de



Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS

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

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

Kontakt

Prof. Dr. Peter Loosen
Telefon: + 49 (0)241/8906-162
Fax: +49 (0)241/8906-121
peter.loosen@ilt.fraunhofer.de

Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD

Das 2005 gegründete Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD ergänzt die systemorientierten FuE-Tätigkeiten der beiden Lehrstühle LLT und TOS.

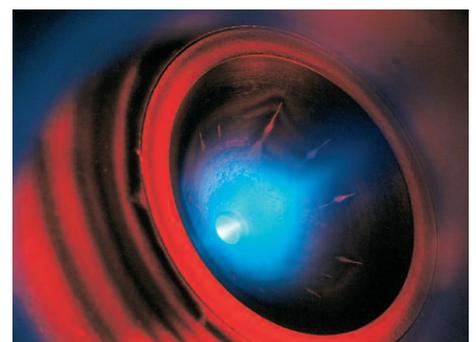
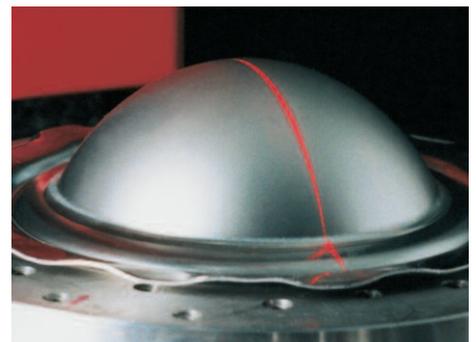
Ziel der nichtlinearen Dynamik ist es, technische Systeme mit mathematisch-physikalischen und experimentellen Methoden zu untersuchen und diese Ergebnisse für die industrielle Fertigung und die Lehre anwendbar zu machen.

Durch Lösung kontinuumphyikalischer Begrenzungsbedingungen können beispielsweise Strömungen in Prozessgasen und Schmelzen mit Grenzschichtcharakter analysiert werden. Auch die Diagnose von Wärmestrahlung beim Schweißen wird erst durch Simulation und Modellierung ermöglicht.

Der Einsatz mathematischer Modelle erlaubt nicht nur das Verständnis dynamischer Prozesse, sondern führt vielmehr zu neuen Konzepten der Verfahrensführung. Die enge Kooperation mit dem Fraunhofer ILT erlaubt die direkte Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in Aufgabenstellungen der industriellen Lasermaterialbearbeitung. So werden beispielsweise online Überwachungssysteme systematisch ausgebaut und an den Bedarf der Praxis angepasst.

Kontakt

Prof. Dr. Wolfgang Schulz
Telefon: +49 (0)241/8906-204
Fax: +49 (0)241/8906-121
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de





Exzellenzcluster

In dem im Oktober 2006 bewilligten Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« entwickeln Aachener Produktions- und Materialwissenschaftler Konzepte und Technologien für eine nachhaltige wirtschaftliche Produktion.

Insgesamt sind 18 Lehrstühle bzw. Institute der RWTH Aachen sowie das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik IPT an dem bis Ende 2011 angelegten Projekt beteiligt.

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

Produktion in Hochlohnländern

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

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

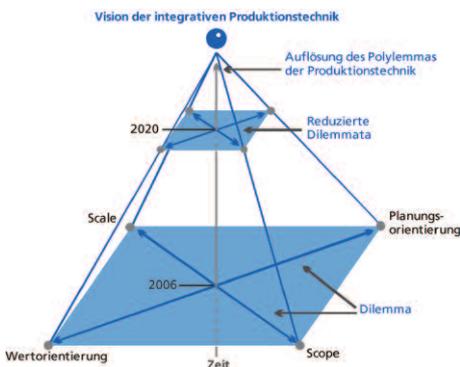
In der zweiten Dimension, der Planungs-wirtschaftlichkeit, bemühen sich die Hersteller in Hochlohnländern um eine immer weitergehende Optimierung der Prozesse mit entsprechend anspruchsvollen, kapitalintensiven Planungsmethoden und -instrumenten sowie technologisch überlegenen Produktionssystemen, während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

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

Die Produktionstechnik von morgen benötigt daher ein grundlegend neues Verständnis dieser elementaren Zusammenhänge.

Integrative Produktion

Der Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« verfolgt das langfristige Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Produktionstechnik zu steigern. Die übergeordnete Lösungshypothese liegt in der nächst höheren Stufe der Integrativität der Produktionstechnik.



Produktionstechnisches Dilemma:
Scale-Scope und Planungsorientierung-
Wertorientierung, Quelle: WZL Aachen.

Individualisierte Produktion

Die individualisierte Produktion erfordert einen hohen Grad an Produktvariabilität und -dynamik zu Kosten einer Massenproduktion. Hierzu werden Konzepte entwickelt, um die optimale Kombination und Konfiguration der Elemente eines Produktionssystems zu identifizieren. Daneben werden geeignete Fertigungstechnologien wie das Selective Laser Melting (SLM) weiterentwickelt, mit denen sich ein One-Piece-Flow zu Kosten einer Massenproduktion umsetzen lässt.

Virtuelle Produktion

Die Flexibilisierung der Produktion führt zu einer Steigerung der vorbereitenden, planenden Tätigkeiten. Im Bereich »Virtuelle Produktionssysteme« soll daher die Qualität der Planung erhöht werden bei gleichzeitiger Reduzierung des Planungsaufwands. Hierzu werden Einzelmodelle wie z. B. Prozess- und Materialmodelle zum Schweißen mit Laserstrahlung verknüpft und in virtuelle Prozessketten integriert.

Hybride Produktion

Durch die Integration von mehreren Einzelprozessen in einen einzigen hybriden Prozess können Prozessketten verkürzt und damit effizienter gestaltet werden. Im Bereich »Hybride Produktion« werden Methoden zur systematischen Hybridisierung von Prozessketten untersucht und hybride Technologien wie die laserunterstützte inkrementelle Blechumformung entwickelt.

Selbstoptimierende Produktion

Selbstoptimierung ermöglicht eine Optimierung von Produktionsprozessen, ohne gleichzeitig den vorgelagerten Planungsaufwand zu erhöhen. Im Bereich »Selbstoptimierende Produktion« werden Methoden und Technologien zur Steigerung der kognitiven Fähigkeiten von Produktionssystemen wie z. B. einer Laserstrahlschneidanlage oder eines Montagesystems für optische Komponenten entwickelt.

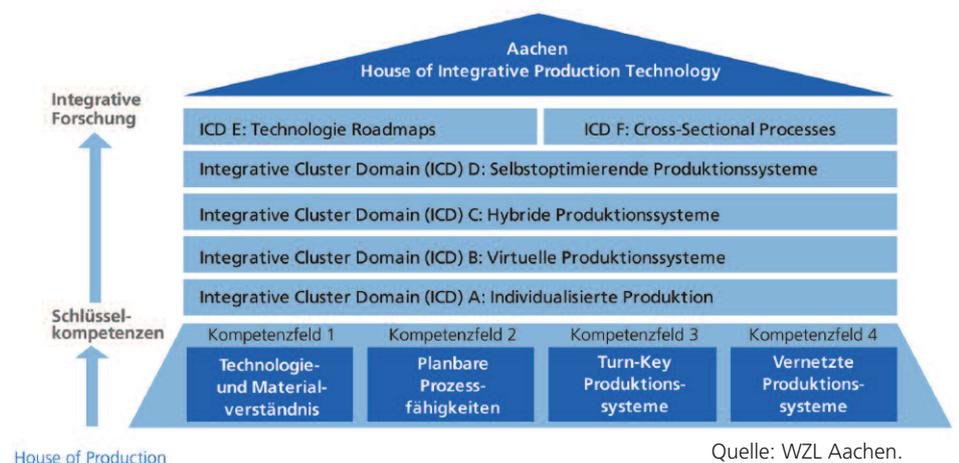
Ansprechpartner

Fraunhofer ILT
 Dipl.-Phys. Christian Hinke
 Telefon: +49 (0)241/8906-352
 christian.hinke@ilt.fraunhofer.de

Geschäftsstelle Exzellenzcluster
 Dr. Frank Possel-Dölken
 Telefon: +49 (0)241/80-27590
 f.possel-doelken@wzl.rwth-aachen.de



Auftaktveranstaltung des Exzellenzclusters im Oktober 2006, Quelle: WZL Aachen.



Quelle: WZL Aachen.



Kurzportrait

PhotonAix, das Kompetenznetz für Optische Technologien und Systeme, wurde im Jahr 2002 auf Initiative des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT, des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT und des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen gegründet. Das Aachener Kompetenznetzwerk PhotonAix und weitere acht regionale Kompetenznetze verknüpfen in ihren Regionen die Kompetenzen der über 400 Mitglieder aus Forschung und Industrie mit dem gemeinsamen Ziel, die Optischen Technologien zu fördern.

Von der Lasermaterialbearbeitung über die Biophotonik bis hin zu Anwendungen in Verkehr und Raumfahrt repräsentieren die Kompetenznetze die vollständige Bandbreite der Optischen Technologien »made in Germany«. Die Hauptaktivitäten und Dienstleistungsangebote der Netze umfassen Technologiemanagement, Beratung von Start-Up-Unternehmen, regionales Technologie- und Branchenmarketing, Aus- und Weiterbildungsinitiativen sowie die intensive Förderung der Kommunikation innerhalb der Netzwerke. Durch die enge Verzahnung des Know-hows in den Regionen gelingen praxis- und zeitnahe Problemlösungen und ein schnellerer Transfer von Forschungsergebnissen in marktreife Produkte.



Prof. R. Poprawe im Kreise des Board of Stakeholders der europäischen Technologieplattform Photonics21.

Highlights 2006

Neben den Gemeinschaftsständen der Kompetenznetze Optische Technologien auf der Photonics West 2006 in San Jose, USA und der Optatec 2006 in Frankfurt stand im vergangenen Jahr die Etablierung der europäischen Technologieplattform Photonics21 im Mittelpunkt. Nach der formellen Gründung der Technologieplattform im Dezember 2005 in Brüssel war PhotonAix intensiv in die Erarbeitung einer Strategic Research Agenda eingebunden.

Die Strategic Research Agenda »Towards a Bright Future for Europe« bildet die Basis für gemeinsame Forschungsaktivitäten im Bereich der Optischen Technologien in Europa und wurde im April 2006 an Frau Viviane Reding, Kommissarin für Informationsgesellschaft und Medien, übergeben.

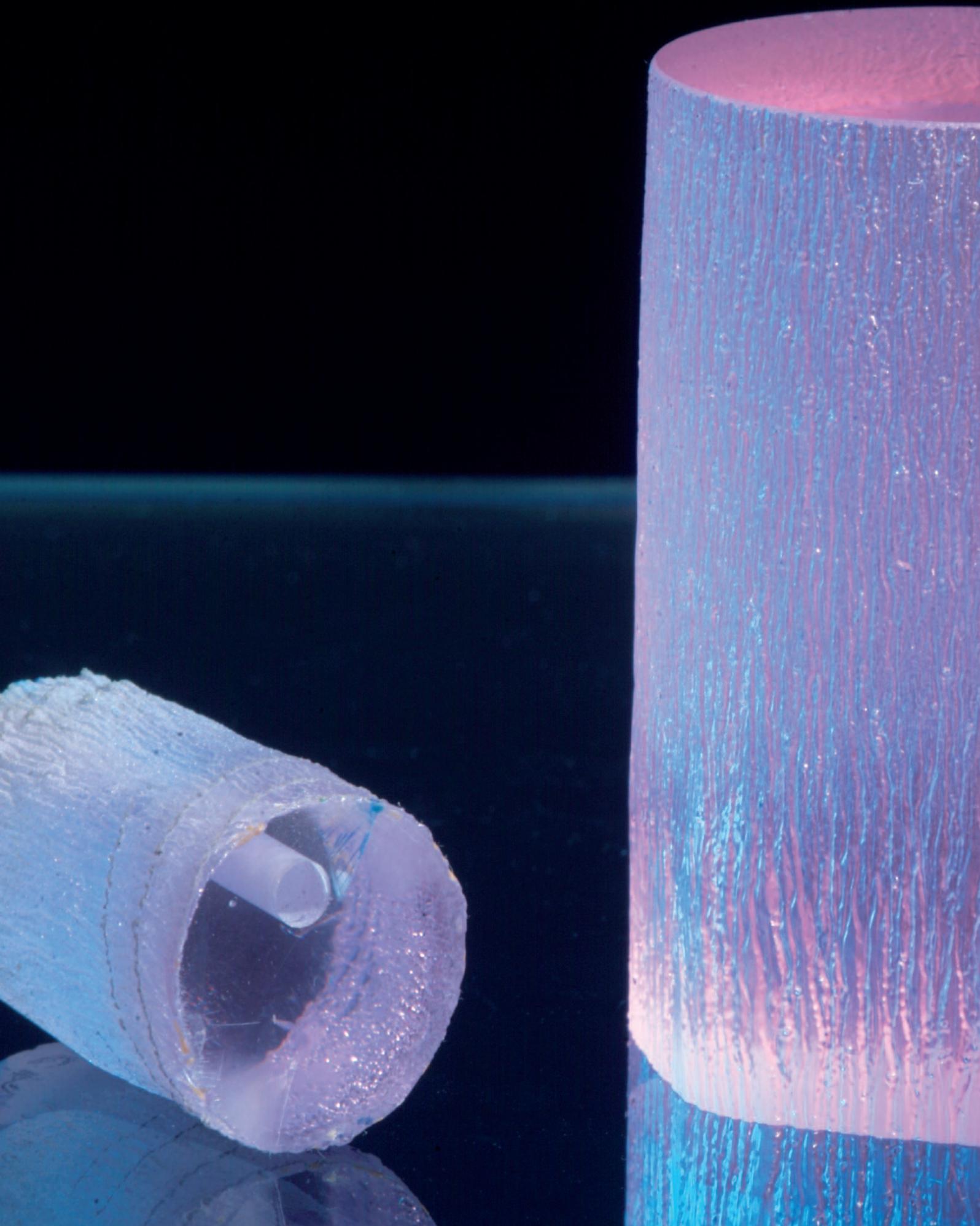
Im Dezember 2006 wurden in sieben thematischen Workshops (Information and Communication, Industrial Production/Manufacturing and Quality, Life Sciences and Health, Lighting and Displays, Metrology and Sensors, Design and Manufacturing of Components and Systems, Photonics Research and Education and Training) relevante Themen für zukünftige Forschungsprojekte identifiziert.

Kontakt

PhotonAix e. V.
Dipl.-Phys. Christian Hinke
Geschäftsführer
Steinbachstraße 15
52074 Aachen

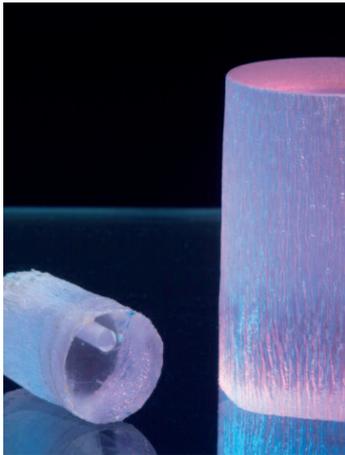
Telefon: +49 (0)241/8906-352
Fax: +49 (0)241/8906-121
hinke@photonaix.de
www.photonaix.de

Laserstrahlquellen und Plasmasysteme



Das Geschäftsfeld umfasst die Entwicklung von Diodenlaser-Modulen und Systemen sowie diodengepumpter Festkörperlaser mit verschiedenen Resonatorstrukturen (Stab, Slab, Faser), das Design neuer Diodenlaserstrukturen, die Mikromontage von Diodenlasern und optischen Komponenten sowie die Entwicklung von Plasmasystemen.

Im Umfeld einiger Projekte werden seit über 10 Jahren Spin-offs des Fraunhofer ILT gegründet. 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 automatisierter Montage- und Testanlagen. 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.



Direkte Erzeugung gepulster Laserstrahlung bei 935 nm mit Mixed-Garnet-Kristallen.

Visualisierung und Optimierung von Strömungen in Mikrokanal-Wärmesenken	36	Diodengeseedeter Faserverstärker für LIDAR-Anwendungen	48
Gold-Zinn-Bedampfung zur Montage von Diodenlaserbarren	37	Direkte Erzeugung gepulster Laserstrahlung bei 935 nm mit Mixed-Garnet-Kristallen	49
Emitteraufgelöste Charakterisierung von Diodenlaserbarren	38	Ultrastabile Single-Frequency Oszillator-Verstärkeranordnung hoher mittlerer Leistung	50
Charakterisierungsanlage für kollimierte und unkollimierte Diodenlaser	39	Numerische Modellierung ytterbiumdotierter Slabverstärker	51
Pumpmodul zur Frequenzverdopplung für 405 nm Wellenlänge	40	Berechnung instabiler Resonatoren für Laser-Entfernungsmesser	52
Ramanpumpquelle mit 4 Wellenlängen auf Basis von Hochleistungs-Diodenlasern	41	Faserintegriertes Basismodul für Multi-Kilowatt-Faserlaser	53
Fasergekoppelte Diodenlaserstrahlquelle hoher spektraler und räumlicher Brillanz	42	Numerische Simulation nichtlinearer Dreiwellenkopplung in Wellenleiterstrukturen	54
Fasergekoppeltes Diodenlaser-Pumpmodul für die BepiColombo-Raumsonde	43	Strahlquelle im Spektralbereich des Wasserfensters für die Röntgenmikroskopie	55
Entwicklung einer Homogenisierungsoptik für einen bichromatischen Diodenlaser	44	EUV-Mikroskopie für Defekt-erkennung auf Oberflächen und Dünnschichten	56
Gütegeschalteter Nd:YVO ₄ -Oszillator auf kundenspezifischer Plattform	45	Energiemonitor für extrem-ultraviolette Strahlung	57
Frequenzstabilisierte Puls laser für LIDAR-Anwendungen in Luft- und Raumfahrt	46	Simulation der laserinduzierten Vakuumentladung	58
Hocheffiziente Laserpulsquelle für ein satellitengestütztes LIDAR für die Atmosphärenforschung	47	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.	

Aufgabenstellung

Die Lebensdauer von Mikrokanal-Wärmesenken für Diodenlaser ist aufgrund verschiedener Verschleißerscheinungen limitiert. Erosion durch das Kühlmedium aufgrund von Turbulenzen und Abrisskanten in der Wärmesenke ist ein Grund für die Begrenzung. Auch lokale Temperaturmaxima durch ineffiziente Kühlleistung in den Mikrokanälen führen zu vorzeitigen Defekten der Diodenlaser. Die Visualisierung dieser Problemzonen unterstützt bei der Aufgabe, gefährdete Bereiche innerhalb einer Wärmesenke zu entdecken. Notwendige Änderungen im Design oder der Randbedingungen werden mittels FEM Berechnungen überprüft.

Vorgehensweise

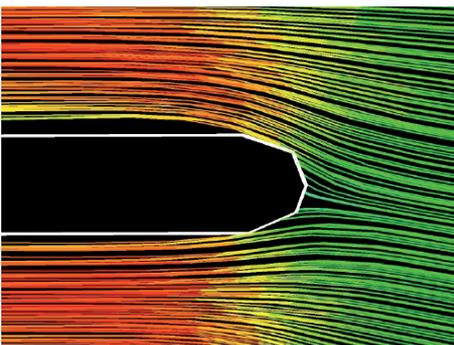
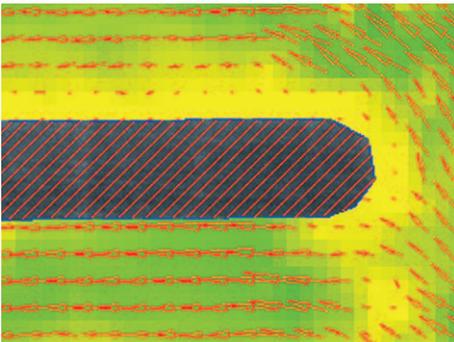
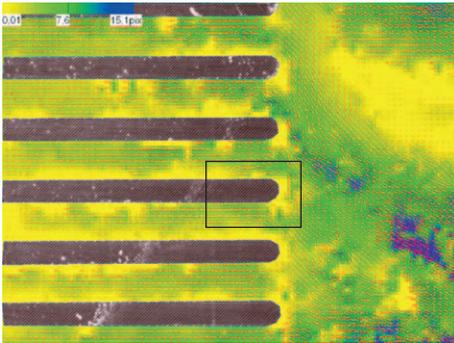
Particle Image Velocimetry (PIV) ist eine berührungslose, optische Messtechnik, mit der quantitative und qualitative Aussagen über das Strömungsbild in komplexen Geometrien gemacht werden können. Durch dem Wasser beigemischte Partikel kann mittels PIV die Strömung sichtbar gemacht werden. An kurz aufeinander folgenden Zeitpunkten werden digitale Aufnahmen der mittels eines Lasers in der Ebene beleuchteten Partikel gemacht. Eine Software wertet die Bilder aus und liefert eine vektorielle Strömungsdarstellung. Die so erhaltenen Ergebnisse werden mit Strömungssimulationen (CFD) verglichen. In den kritischen Bereichen werden konstruktive Verbesserungen vorgenommen und durch weitere Simulationen überprüft. Auch die Anpassung von Randbedingungen wie z. B. Strömungsgeschwindigkeiten kann zu einer effizienteren Kühlleistung führen.

Ergebnisse und Anwendungen

PIV-Untersuchungen an einem 2:1 Modell einer Wärmesenke veranschaulichen u. a. ausgeprägte Turbulenzfelder im Bereich des Einlaufes. Deutlich aufgezeigt wird bei den Messungen der Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit auf die Ausbildung der Grenzschichtströmungen in den Mikrokanälen. Auch der unterschiedliche Durchfluss in den einzelnen Kanälen ist erkennbar. Die Variation der Strömungsgeschwindigkeiten zeigt verschiedene ausgedehnte Grenzschichtströmungen in den Kanälen. Daraus resultiert eine nicht optimale Kühlleistung, da ein Teil der Kanalwände nicht angeströmt wird und somit über sie keine Verlustwärme abgeführt werden kann. Zur Verbesserung werden konstruktive Veränderungen an der Wärmesenke vorgenommen. CFD Simulationen helfen bei der Anpassung der Geometrie und zeigen direkt den Einfluss auf die Kühlleistung.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. M. Leers, Tel.: -343
michael.leers@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Boucke, Tel.: -132
konstantin.boucke@ilt.fraunhofer.de



Oben: Visualisierung der Strömungsgeschwindigkeiten mittels PIV.

Mitte: Vergrößerte Darstellung des Strömungsverhaltens zu Beginn der Mikrokanäle.

Unten: Ergebnis der Strömungssimulationen am Einlauf der Mikrokanäle.

Aufgabenstellung

Herkömmliche Wärmesenken für Diodenlaser werden aus Kupfer hergestellt. Die Montage der Laserbarren erfolgt mit einem Weichlot, in der Regel Indium. Dieses muss unter anderem die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Wärmesenke und des Laserbarrens kompensieren. Insbesondere im gepulsten Betrieb ist die Langzeitstabilität dieser Lötverbindungen nicht immer sichergestellt.

Die Kompensation durch ein Weichlot wird nicht benötigt, wenn an das thermische Ausdehnungsverhalten der Laserbarren angepasste Wärmesenken eingesetzt werden. In diesem Fall können langzeitstabile Hartlote, wie z. B. eutektisches Gold-Zinn-Lot (AuSn), genutzt werden. Das Lot wird entweder als Preform oder als auf die Wärmesenke aufgebrauchte Schicht bereitgestellt. Im Rahmen eines Projektes wurde am Fraunhofer ILT ein Prozess zum Aufdampfen eutektischer AuSn-Lotschichten entwickelt.

Vorgehensweise

Die Bedampfung der Wärmesenken erfolgt im Hochvakuum mittels zwei Verdampfern für die Grundmaterialien Gold und Zinn. Zur Erzeugung der nötigen Schichtdicken und der Gesamtzusammensetzung werden Parameter wie die zu verdampfende Stoffmenge, Aufdampfzeiten und Schichtreihenfolge variiert. Mittels Kalottenschliffen wird der Aufbau der einzelnen Schichten durch REM und EDX verifiziert. Im Anschluss folgen Aufschmelzversuche. Hierbei werden das Verhalten des Lotes während des Prozesses und die Liquidus-Temperatur bestimmt. Die Untersuchung der aufgeschmolzenen Proben ermöglicht eine Aussage über die Zusammensetzung des Lotes.

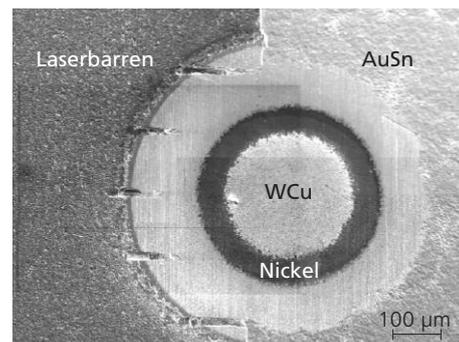
Ergebnisse und Anwendungen

Die Überprüfung der stöchiometrischen Zusammensetzung des Lotes durch EDX bestätigt das geforderte Massenverhältnis von 80 Prozent Gold und 20 Prozent Zinn. Gleichzeitig zeigen Lötversuche eine einwandfreie Benetzung des Lotes ohne Fehlstellen.

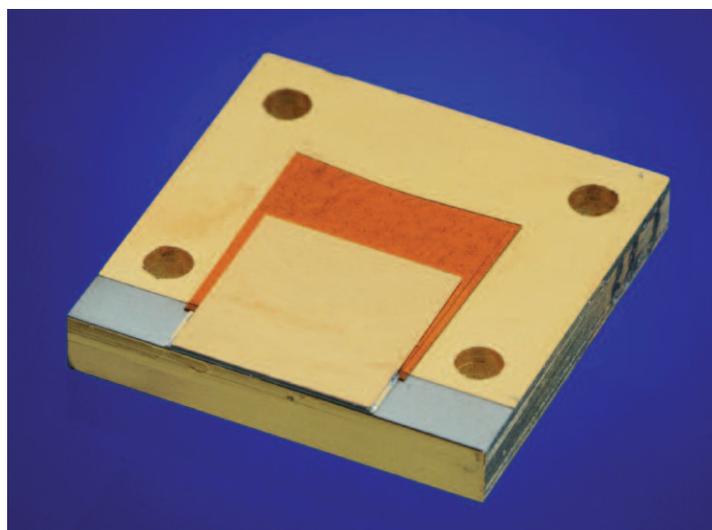
Mit AuSn-Lot auf ausdehnungsangepasste Wärmesenken montierte Laserbarren weisen keinen Unterschied in den optischen Leistungsdaten zu Indium-gelöteten Barren auf. Untersuchungen zeigen, dass die im Laserbarren induzierten Verspannungen minimal sind. Eine wesentliche Ursache der bisherigen Alterungsproblematik entfällt hierdurch. Die Kombination ausdehnungsangepasster Wärmesenken mit der AuSn-Lötung der Laserbarren lässt daher eine hohe Lebensdauer erwarten.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. M. Leers, Tel.: -343
michael.leers@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Boucke, Tel.: -132
konstantin.boucke@ilt.fraunhofer.de



Oben: Kalottenschliff durch einen mit AuSn montierten Laserbarren.
Unten: Mit AuSn montierter Laserbarren auf einer ausdehnungsangepassten Wärmesenke.



Aufgabenstellung

Um den Aufbau und die Alterung von Diodenlaserbarren genauer untersuchen zu können, wird ein Messplatz benötigt, der emitteraufgelöste Messungen ermöglicht. Mit diesem Messplatz sollen zuverlässig und ohne großen Justageaufwand lateral aufgelöste Intensitäts-, Wellenlängen- und Polarisationsverteilungen gemessen werden können. Mit diesen Informationen lassen sich die Aufbautechnik und auch die Alterung emitterbezogen analysieren und qualifizieren. Die Wellenlängenverteilung spiegelt dabei die Temperaturverteilung wieder. Die Polarisationsverteilung gibt Aufschluss über die interne mechanische Verspannung des Laserbarrens.

Vorgehensweise

Der Messstand bildet die Austrittsfläche des Laserbarrens auf eine CMOS Kamera ab. Die Optik ist so ausgelegt, dass sie einen großen Schärfentiefbereich besitzt, um den Justageaufwand für die einzelnen Messungen gering zu halten. Abschwächende Elemente sorgen dafür, dass der Laserbarren unterhalb aber auch oberhalb der Laserschwelle vermessen werden kann. Die Kamerabilder und der Messstand werden mittels einer Software ausgewertet bzw. gesteuert.

In der Grundkonfiguration lassen sich die relative Intensitätsverteilung, die Position der Emitter und damit der »Smile« bestimmen. Wird in den Strahlengang ein Polarisationsfilter eingeschoben, kann der Polarisationsgrad der Emitter bestimmt werden. Über ein Gitter, welches im Strahlengang positioniert wird, wird ein lateral aufgelöstes Wellenlängenspektrum auf der Kamera abgebildet.

Ergebnisse und Anwendungen

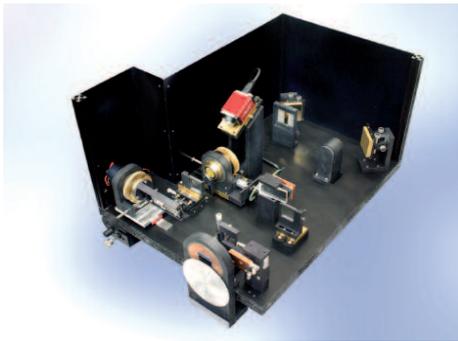
Der Messstand stellt eine Erweiterung der halbautomatischen elektro-optischen Charakterisierung dar. Hierdurch ist die emitteraufgelöste Intensitäts- und Polarisationsmessung Bestandteil der Standard-Charakterisierung geworden.

Die Auflösung der Positionsmessung der Emitterschwerpunkte in fast-axis (Smile) beträgt $0,4 \mu\text{m}$. Die Emitterspektren werden mit einer relativen Auflösung $< 0,2 \text{ nm}$ bestimmt, wodurch laterale Temperaturunterschiede $< 1 \text{ K}$ dargestellt werden können. Der Polarisationsgrad der Strahlung einzelner Emitter wird mit einem Fehler $< 1 \%$ bestimmt.

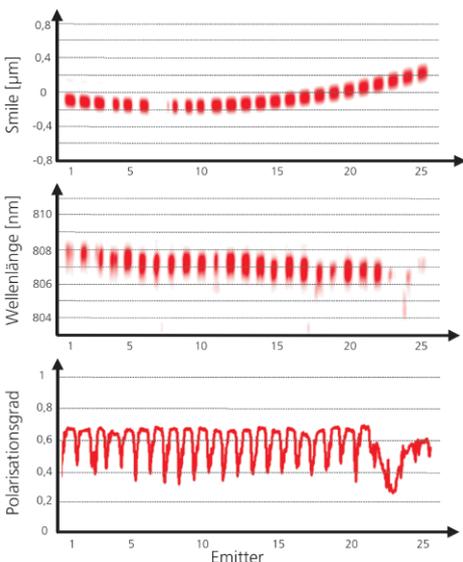
Da die Messung für alle Emitter simultan erfolgt, sind zeitaufgelöste Messungen, z. B. im Pulsbetrieb des Diodenlasers, möglich.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. T. Westphalen, Tel.: -423
thomas.westphalen@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Boucke, Tel.: -132
konstantin.boucke@ilt.fraunhofer.de



Oben: Aufbau des Messstandes.
Unten: Smile-, Wellenlängen- und Polarisationsmessung.



Aufgabenstellung

Für viele Anwendungen ist es wichtig, die Abstrahlcharakteristik der eingesetzten Diodenlaser zu kennen. Daher soll eine Anlage entwickelt werden, die zur vollständigen und automatisierten Charakterisierung von Hochleistungsdiodenlasern und -stacks genutzt werden kann. Folgende optische und elektrooptische Eigenschaften sollen dabei in einer einzigen Messreihe vermessen werden:

- Divergenzwinkel (in Fast und Slow Axis)
- Wellenlänge
- PUI-Kennlinie

Die zu vermessenden Diodenlaser können dabei sowohl aktiv als auch passiv gekühlt und entweder kollimiert oder unkollimiert sein.

Vorgehensweise

Zur Bestimmung des Divergenzwinkels in Richtung der Fast Axis wird der Diodenlaser mit Hilfe einer Rotationsachse gedreht, und zur Bestimmung des Divergenzwinkels in Richtung der Slow Axis wird der austretende Strahl mit Hilfe eines Scannerspiegels definiert abgelenkt. Die Aufnahme der winkelabhängigen Intensität erfolgt über eine Photodiode, deren Entfernung zum Diodenlaser variiert werden kann. Somit können sowohl kollimierte als auch unkollimierte Diodenlaser vermessen werden.

Für die barrenaufgelöste Wellenlängenmessung von Diodenlaserstacks wird der Stack an einer einstellbaren Schlitzeblende vorbeigefahren. Die Strahlung trifft auf einen Detektor, der über einen Lichtwellenleiter mit einem Spektrometer verbunden ist. Aufgrund der relativen Bewegung des Diodenlasers zu

der Schlitzeblende können eine Leistungs- und eine Wellenlängenverteilung über den Stack ermittelt werden.

Zur Messung der PUI-Kennlinie wird der Diodenlaser mittig vor einen thermischen Messkopf gefahren.

Ergebnisse und Anwendungen

In der Charakterisierungsanlage können sowohl Diodenlaserbarren als auch -stacks vermessen werden. Die Messungen können dabei entweder kontinuierlich oder gepulst durchgeführt werden. Der maximale Betriebsstrom beträgt 150 A für den cw- und 200 A für den qcw-Betrieb, die maximale Betriebsspannung 25 V. Im Pulsbetrieb können Pulslängen von 400 μ s bis 20 ms getestet werden. In der Fast Axis können Divergenzwinkel von bis zu $\pm 60^\circ$ mit einer Auflösung $< 0,2$ mrad, in der Slow Axis Divergenzwinkel von bis zu $\pm 15^\circ$ mit einer Auflösung < 5 mrad vermessen werden. Die Bestimmung des Divergenzwinkels erfolgt dabei nach der FWHM-, $1/e^2$ oder der 95 Prozent-Methode. Die barrenaufgelöste Wellenlängenmessung erfolgt mittels Spektrometer in einem Bereich von 780 bis 1000 nm mit einer Auflösung von 0,25 nm. Mit dem thermischen Messkopf können Gesamtleistungen bis zu 1 kW gemessen werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) K. Wieching, Tel.: -195
kristin.wieching@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Boucke, Tel.: -132
konstantin.boucke@ilt.fraunhofer.de



Oben: Ansicht der gesamten Anlage mit PC-Arbeitsplatz (links) und Optikbox (rechts).
Unten: Detailansicht des dreigeteilten Messaufbaus (Divergenzwinkel, Wellenlängen- und PUI-Messung).

Aufgabenstellung

Die ersten Diodenlaser bei 405 nm Wellenlänge sind am Markt erhältlich, ihre maximalen CW-Ausgangsleistungen mit ca. 50 mW sind allerdings noch relativ gering. Höhere Ausgangsleistungen werden nach dem Prinzip der Frequenzverdopplung erzielt, bei dem ein Kristall bei 810 nm Wellenlänge gepumpt wird, um nach einer Frequenzkonversion 405 nm zu emittieren. Auf Basis eines Trapezverstärkers ist hierfür ein frequenzstabilisiertes und möglichst schmalbandiges Pumpmodul mit annähernd beugungsbegrenzter Strahlqualität zu entwickeln, dessen Ausgangsleistung bei > 2 W liegt und dessen Wellenlänge in einem Bereich von ca. 10 nm frei einstellbar ist.

Vorgehensweise

Um den Trapezverstärker in seiner Frequenz zu stabilisieren, wird rückseitig die emittierte Strahlung durch eine asphärische Linse kollimiert. Diese fällt auf ein geblatztes Gitter, das in der Littrow-Konfiguration angeordnet ist. Abhängig von seiner Neigung wird eine bestimmte Wellenlänge in den Laser zurückgebeugt, so dass ein externer Resonator aufgebaut ist. Vorderseitig wird die Laserstrahlung durch eine rotationssymmetrische Asphäre in Fast Axis und zur Kompensation des Astigmatismus nachfolgend durch eine Zylinderlinse in Slow Axis kollimiert.

Um eine hohe longitudinale Modenstabilität zu gewährleisten, darf sich die Resonatorlänge aufgrund thermischer Einflüsse nur um weniger als $\lambda/2$ (400 nm) verändern. Um dies zu gewährleisten, ist der Laser temperaturgeregelt und sind alle für eine thermische Ausdehnung empfindlichen Resonatorbauelemente aus Quarzglas aufgebaut, das mit $\approx 0,5 \times 10^{-6}/\text{K}$ (bei 20 °C) einen sehr geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten besitzt.

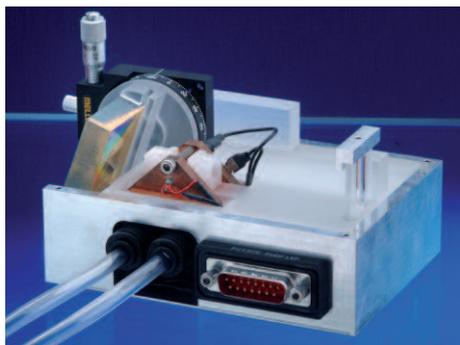
Ergebnisse und Anwendungen

Das Modul liefert bei 5 A Betriebsstrom eine optische Ausgangsleistung von mehr als 3 W, wobei die Wellenlänge bei 18 °C Kühltemperatur durch Verdrehen des Gitters zwischen 787 bis 803 nm variiert werden kann. Die spektrale Breite des emittierenden Lichts wurde mit $< 0,1$ nm (Intensität bei $1/e^2$) gemessen.

Der Durchstimmbereich kann durch geeignete Auswahl des Trapezverstärkers als auch durch Variation der Betriebstemperatur an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden.

Ansprechpartner

Dip.-Ing. M. Haverkamp, Tel.: -442
mark.haverkamp@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Boucke, Tel.: -132
konstantin.boucke@ilt.fraunhofer.de



Aufbau des Pumpmoduls.

Aufgabenstellung

Ramanverstärkung liefert im Gegensatz zur Verstärkung durch Doped-Fiber-Verstärker ein geringeres Rauschen, eine höhere Verstärkung und eröffnet neben dem C- und L-Band weitere Verstärkungsbänder. Somit sind Ramanverstärker für Signalübertragung über große Faserstrecken im Telekommunikationsmarkt von großem Interesse.

Zur Erzeugung eines ebenen und z. B. 100 nm breiten Verstärkungsspektrums sind Multiwellenlängen-Pumpquellen erforderlich. Diese sind entweder auf Basis von Faserlasern oder auf Basis von Hochleistungs-Diodenlasern aufgebaut. Multiwellenlängen-Ramanpumpquellen (MWRP) auf Basis von Faserlasern besitzen die Nachteile, dass die Leistungen einzelner Wellenlängen nicht unabhängig von den Leistungen anderer Wellenlängen eingestellt werden können und dass ihr relatives Intensitätsrauschen größer ist als bei Hochleistungs-Diodenlasern, wodurch nur die Möglichkeit besteht, gegen die Signalrichtung zu pumpen. Daher ist es das Ziel, eine leistungsstarke MWRP auf Basis von Hochleistungs-Diodenlasern zu entwickeln.

Vorgehensweise

Da die Ramanverstärkung exponentiell mit der Pumpleistung zunimmt und die Ausgangsleistung von Diodenlasern aufgrund ihrer Aufbautechnologie limitiert ist, ist eine hocheffiziente Kopplung der Pumplaser in Single-Mode-Fasern (SMF) erforderlich. Hierbei konnte der im Labor getestete optische Aufbau erfolgreich in einen Modulaufbau übertragen werden, so dass unter Verwendung von einmodigen Lasern in Verbindung mit kurzbreitbandigen asphärischen Linsen eine Koppel-effizienz von > 80 % im Modul

erreicht wird. Dies entspricht einer Leistung von 400 mW in der SMF bei 1426 - 1480 nm Wellenlänge. In einem Pumpquellenprototyp sind vier der Module unter Einsatz von Faser-Bragg-Gittern bei den Wellenlängen 1426 nm, 1435 nm, 1444 nm und 1480 nm frequenzstabilisiert integriert. Durch die Gitter ist das Verstärkungsspektrum unabhängig von der Temperatur bzw. vom Diodenbetriebsstrom. Die vier Wellenlängen werden mit Hilfe eines Schmelzkopplers in einer SMF zusammengeführt, so dass 1,1 W optische Pumpleistung bei 4 Wellenlängen erzeugt wird. Die gesamte Pumpquelle ist in einem 19"-Einschub untergebracht.

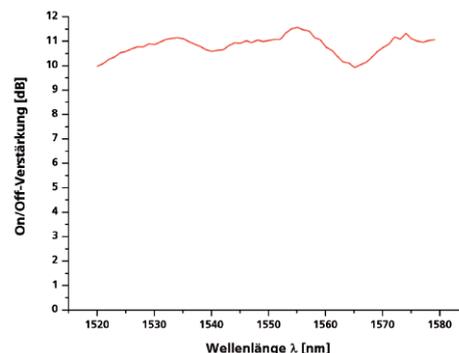
Ergebnisse und Anwendungen

Die entwickelte MWRP liefert bei einer CW-Signalleistung von -3 dBm, einer Faserstrecke von 52,8 km SMF und einer entgegen der Signalrichtung anliegenden Pumpleistung von 1,1 W ein 60 nm breites Verstärkungsspektrum im C-Band (1520 nm - 1580 nm) mit 12 dB On/Off-Verstärkung, einem optischen Signal-zu-Rausch-Verhältnis von 43 dB und einer Ebenheit von < 1,5 dB. Im Gegensatz zu Raman-Faserlasern ist die entwickelte MWRP auch dafür geeignet, in Signalrichtung zu pumpen.

Die gezeigten Ergebnisse wurden in einem Gemeinschaftsprojekt der Fraunhofer-Institute HHI, IAF und ILT erzielt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. M. Haverkamp, Tel.: -442
mark.haverkamp@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Boucke, Tel.: -132
konstantin.boucke@ilt.fraunhofer.de



Oben: On/Off-Verstärkung im C-Band für Signale mit -3 dBm Leistung.
Unten: Ramanpumpquelle.

Aufgabenstellung

Fasergekoppelte Diodenlaser mit optischen Ausgangsleistungen im Multi-Kilowatt-Bereich konkurrieren zunehmend mit Festkörperlasern als direkte Strahlquelle für die Materialbearbeitung. Durch eine neuartige spektrale Strahlüberlagerungstechnik soll die Brillanz lampengepumpter Festkörperlaser erreicht werden.

Vorgehensweise

Eine Steigerung der Brillanz von Diodenlasern wird durch die spektrale Überlagerung einzelner Strahlquellen erreicht. Stand der Technik ist die Strahlüberlagerung mit dielektrischen Filtern. Diese Methode erfordert einen Abstand der Diodenlaserwellenlängen von 20 nm bis 30 nm und lässt somit nur eine begrenzte Zahl von Überlagerungen im Wellenlängenbereich der Hochleistungsdiodenlaser zu.

Die aktuelle Entwicklung setzt bei der Erhöhung der Brillanz durch Wellenlängenstabilisierung und spektrale Überlagerung mit Volumenbeugungsgittern an. Die Emissionsbandbreite von Diodenlasern wird verkleinert und die Selektion und Überlagerung von Laserstrahlung erfolgt bei dicht benachbarten Zentralwellenlängen.

Die Diodenlaser werden jeweils bei 908 nm, 911 nm, 975 nm und 978 nm stabilisiert. Die vierfache spektrale Überlagerung wird bei einem Zentralwellenlängenabstand von 3 nm mit Volumenbeugungsgittern sowie mit dielektrischen Filtern bei einem Zentralwellenlängenabstand von 64 nm durchgeführt.

Ergebnisse und Anwendungen

Aus einer Faser mit 600 µm Durchmesser wird eine Laserstrahlleistung von 952 W innerhalb einer numerischen Apertur von 0,175 (95 % Leistungseinschluss) erzielt. Das Spektrum der wellenlängenstabilisierten Diodenlaser weist schmalbandige Emission der vier Zentralwellenlängen innerhalb einer spektralen Breite von unter 1 nm im gesamten Leistungsbereich auf. Der Diodenlaser ist durch seine räumliche Brillanz für direkte Anwendungen in der Materialbearbeitung, wie das Aluminiumschweißen von Dünnblechen geeignet. Aufgrund der großen spektralen Brillanz ist auch das effiziente optische Pumpen von Faserlasern und Festkörperlasern im Bereich vorteilhafter, aber schmalbandiger Pumpbänder möglich.

Ansprechpartner

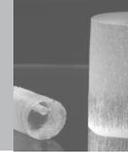
Dipl.-Ing. C. Wessling, Tel.: -467
christian.wessling@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: 1kW-Diodenlaser mit Faserkopplung (Faserdurchmesser 600 µm, Gehäuseabmessungen 700 x 550 x 220 mm³) und Bearbeitungsoptik (Abbildungsmaßstab 4:1).

Unten: Teilansicht von sechs wellenlängenstabilisierten Diodenlasermodulen mit Zweistrahlüberlagerung bei dichtem Wellenlängenabstand von 3 nm.





Aufgabenstellung

Die ESA plant für das Jahr 2012 den Start zweier Raumsonden, mit denen der Merkur erkundet werden soll. Um diesen Planeten kartieren zu können, wird bei der BepiColombo-Mission ein Laser-Altimeter eingesetzt. Mit dessen Hilfe wird die Oberfläche abgescannt und die Laufzeit der reflektierten Laserpulse gemessen, so dass ein orts aufgelöstes Höhenprofil des Merkurs erstellt werden kann. Für den hierbei eingesetzten Festkörperlaser soll im Auftrag von TESAT Spacecom GmbH & Co. KG in Backnang eine fasergekoppelte, gepulste Pumpquelle entwickelt werden. Bei dem Design müssen die besonderen Anforderungen dieser Applikation hinsichtlich der Größe, der Masse und der Robustheit berücksichtigt werden.

Vorgehensweise

Um die geforderte Ausgangsleistung zu erreichen, werden mehrere Diodenlaserbarren gemeinsam in eine Faser mit einem Kerndurchmesser von 800 μm gekoppelt. Abweichend von anderen Designs wird bei diesem Pumpmodul eine planare Anordnung der auf einzelne Wärmesenken montierten Barren verwendet. Hierdurch wird eine Einzelqualifikation der verwendeten Barren ermöglicht und eine bessere Wärmespreizung im Vergleich zu konventionellen vertikalen Stacks erreicht. Bei der Strahlformung zur effizienten Faserkopplung der Barren wird weitgehend auf Komponenten und Montageverfahren zurückgegriffen, die bei bereits qualifizierten und in Serie produzierten cw-Pumpmodulen eingesetzt werden. Hierdurch wird eine zukünftige Qualifikation des Pumpmoduls für den Weltraumeinsatz vereinfacht.

Ergebnisse und Anwendungen

Am Fraunhofer ILT wurde das optische und mechanische Design des Pumpmoduls entwickelt sowie ein Prototyp aufgebaut und erfolgreich getestet. Hierbei wurde eine Pulsspitzenleistung von 530 W am Faserausgang erreicht. Das Modul wiegt 650 g und misst 150 x 50 x 50 mm. Die flexible Beschaltung des Moduls erlaubt eine Erhöhung der Zuverlässigkeit bei reduzierter Ausgangsleistung durch kalte Redundanz. Ferner kann aufgrund des modularen Konzepts das Pumpmodul einfach an die Anforderungen anderer Missionen angepasst werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. M. Traub, Tel.: - 342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: - 206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

Prototyp des fasergekoppelten Diodenlaser-Pumpmoduls.



Aufgabenstellung

Zur Oberflächenbearbeitung von faserverstärkten Kunststoffbauteilen werden in einem speziellen Herstellungsprozess bei der niederländischen Firma AFPT bislang Hochleistungsdiodenlaser eingesetzt, bei denen keine prozessangepasste Strahlformung erfolgt. Die Leistungsdichteverteilung kommerzieller Diodenlasersysteme bewirkt unerwünschte Temperaturgradienten, die sich bei dieser Applikation wegen lokaler Aufschmelzungen durch schlechte Ergebnisse bemerkbar machen. In einem innovativen Verfahren soll ein rechteckförmiger Diodenlaserstrahl mit homogener Leistungsdichteverteilung eingesetzt werden. Hierdurch kann der Produktionsprozess wirtschaftlicher und reproduzierbarer gestaltet werden.

Vorgehensweise

Als Strahlquelle wird ein bichromatischer Diodenlaser von Rofin Sinar eingesetzt, der eine maximale Leistung von 2,1 kW aufweist. Am Fraunhofer ILT wurde hierfür eine flexible Strahlformungsoptik entwickelt, die eine maßgeschneiderte prozessoptimierte

Leistungsdichteverteilung bietet. So ist das Objektiv an verschiedene Strahlgeometrien adaptierbar, um einen jeweils optimalen Heizprozess für verschiedene Bauteilgeometrien zu erreichen. Außerdem soll eine äußerst homogene Verteilung erzeugt werden. Da die Homogenisierungsoptik zusammen mit dem Laserkopf auf einem Roboterarm befestigt werden soll, ist zusätzlich auf eine möglichst kompakte und leichte Bauweise zu achten. Um den besonderen Anforderungen der industriellen Serienfertigung gerecht zu werden, muss die Optik hermetisch dicht und wassergekühlt sein.

Ergebnisse und Anwendungen

Eine Strahlformungsoptik für den vorgegebenen Diodenlaser wurde am Fraunhofer ILT aufgebaut und in Kooperation mit dem Fraunhofer IPT und AFPT erfolgreich qualifiziert. Mit dieser Optik können in der Bearbeitungsebene homogene Leistungsdichteverteilungen der Größen 20 mm x 40 mm, 40 mm x 40 mm und 11 mm x 40 mm bereitgestellt werden. Dank der bauraum- und gewichtsoptimierten Konstruktion betragen die Abmessungen der Optik lediglich ca. 200 mm x 60 mm x 60 mm und die Masse 1450 g. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IPT wurde die industrietaugliche Strahlformungsoptik in die bestehende Anlage integriert. Mit der Optik wurde eine Transfereffizienz von 90 % und eine Homogenität besser 90 % erreicht.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. M. Traub, Tel.: - 342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: - 206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

Strahlformungsoptik.



Aufgabenstellung

In eine bestehende Laserschweißanlage sollte im Auftrag eines Kunden ein zusätzlicher Markierungslaser integriert werden. Um teure Umrüstarbeiten an der bestehenden Anlage zu vermeiden, musste der Markierungslaser auf einer Plattform aufgebaut werden, deren mechanische, optische und elektrische Schnittstellen exakt an die vorhandene Anlage angepasst sind.

Vorgehensweise

Eine am Fraunhofer ILT entwickelte Plattform wurde bezüglich der mechanischen Schnittstellen gemäß Kundenwunsch an die vorhandene Anlage angepasst.

Um die Anforderungen an die elektrischen Schnittstellen wie separate Shutterkontrolle und zusätzliche Interlockkreise zu erfüllen, wurde ein kommerziell erhältliches Diodenlasernetzgerät hinsichtlich der Kundenwünsche modifiziert. Zusätzlich wurde in das Netzgerät ein AOM-Treiber integriert. Der Markierungslaser wird mit einer Hochleistungslaserdiode gepumpt und leistet je nach gewähltem Arbeitspunkt im güteschalteten Betrieb bis zu 6 W mittlere Laserleistung bei guter Strahlqualität. Der Ausgangsstrahl des Oszillators wurde an die Bearbeitungsoptik des Kunden angepasst.

Ergebnisse und Anwendungen

Der Laser wurde gemäß der Kundenspezifikation realisiert. Das Ergebnis ist ein robuster, industrienaher Prototyp. Die Gesamthöhe der Steuereinheiten inklusive Wasser-Luft-Kühler beträgt 6 HE. Der Einbau in die vorhandene Anlage erfolgte problemlos.

Die vorhandene Plattform kann variabel genutzt werden. Derzeit wird auf ihr eine UV-Quelle aufgebaut.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. D. Esser, Tel.: -437
dominik.esser@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Industrienaher Prototyp eines Nd:YVO₄-Oszillators.

Aufgabenstellung

Die hoch aufgelöste Messung von Stoffkonzentrationen (wie z. B. Wasserdampf, Methan, CO₂) oder Windgeschwindigkeiten in der Atmosphäre mittels LIDAR (Light Detection And Ranging) erfordert hochstabile, schmalbandige Laserpulse bei Pulsenergien im Bereich von 10 - 100 mJ und bandbreitebegrenzten Pulsdauern im Bereich von 10 - 100 ns. Die Erzeugung erfolgt meist durch Seeden eines gütegeschalteten Lasers mit einer schmalbandigen Laserquelle kleiner Leistung und hoher Stabilität in Verbindung mit einer aktiven Regelung der Resonatorlänge.

In Labor-Systemen mit geringen mechanischen Störungen kommt häufig das so genannte Puls-build-up Regelverfahren zum Einsatz, welches ausschließlich Störschwingungen unterhalb der Pulswiederholrate ausregeln kann.

Die benötigten Systeme für die Luft- und Raumfahrt weisen eine Pulswiederholrate von 100 Hz auf und müssen einen frequenzstabilen Betrieb auch bei Störschwingungen bis in den kHz-Bereich mit Amplituden der Resonatorlängenänderung von einigen 10 nm sicherstellen

Vorgehensweise

Es werden vollständig passiv gekühlte, gütegeschaltete Grundmodeoszillatoren entwickelt, die eine hohe Effizienz sowie eine geringe Empfindlichkeit gegen Dejustage und Temperaturschwankungen aufweisen. Diese Eigenschaften sollen mittels eines kompakten Aufbaus in Verbindung mit einem fehlertoleranten Resonator-design erreicht werden.

Als Regelverfahren der Resonatorlänge werden Verfahren entwickelt, die auf der Messung des Seedsignals beruhen und eine Unterdrückung von Störschwingungen bis in den Multi-kHz-Bereich ermöglichen.

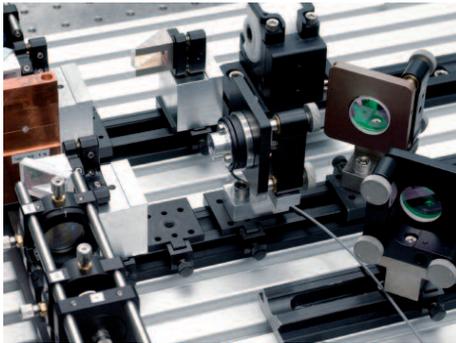
Ergebnisse und Anwendungen

Die entwickelten Oszillatoren erreichen im geseedeten und frequenzstabilisierten Betrieb bei einer Pulswiederholrate von 100 Hz und einer Pulsdauer von 30 ns Pulsenergien von 12 mJ und $M^2 < 1,1$. Sie weisen über einen Temperaturbereich von 12 °C weniger als zwei Prozent Schwankung der Pulsenergie auf.

Durch das entwickelte Ramp-Delay-Fire Regelverfahren wird eine Frequenzstabilität von < 1 MHz (rms), eine Pulsbandbreite von unter 8 MHz (FWHM) und eine außerordentlich hohe Frequenzstabilität auch unter dem Einfluss großer Störungen der Resonatorlänge erreicht. So werden z. B. bei einer Störfrequenz von 1,05 kHz und einer Amplitude von 160 bzw. 320 nm Frequenzstabilitäten von 3 bzw. 8 MHz (rms) gemessen. Im Unterschied zu bisher bekannten Verfahren ist dabei weiterhin eine auf wenige ns genaue Vorhersage der Pulsausendung möglich.

Ansprechpartner

Dipl. Phys. K. Nicklaus, Tel.: -224
kolja.Nicklaus@ilt.fraunhofer.de
Dipl. Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Laboraufbau des passiv gekühlten frequenzstabilisierten Oszillators mit Piezoaktor zur aktiven Längenregelung.

Aufgabenstellung

Die orts aufgelöste Messung von Molekül- (wie z. B. Wasserdampf, Kohlendioxid) oder Aerosol-Konzentrationen in der Atmosphäre mittels LIDAR (Light Detection And Ranging) erfordert hochstabile, schmalbandige, kurze Laserpulse hoher Energie. Entscheidende Kriterien bei der Auswahl einer geeigneten Laserquelle für den Betrieb auf einem Satelliten sind die Zuverlässigkeit und Effizienz des Systems bei gleichzeitig kompakter und leichter Bauform.

Im Rahmen eines Projektes zur Entwicklung eines »Pre Development Models« mit der Firma EADS ASTRIUM wird eine Laserquelle entwickelt, die bei 100 Hz Wiederholrate Laserpulse mit mindestens 70 mJ Energie und 1064 nm Wellenlänge erzeugt, die anschließend mittels nichtlinearer Kristalle in ihrer Frequenz verdreifacht werden. Das System soll über mindestens 3 Jahre im All betrieben werden.

Vorgehensweise

Als Laseroszillator dient ein gütegeschalteter, stabiler Resonator mit einem diodengepumpten Nd:YAG Stab. Die Pulserzeugung wird mit Hilfe eines Seed-Lasers frequenzstabilisiert. Auf diese Weise werden Laserpulse mit 8 mJ Energie von exzellenter räumlicher und zeitlicher Qualität generiert.

Nachgeschaltet ist ein diodenendgepumpter Nd:YAG Verstärker nach dem InnoSlab-Prinzip, der die Laserpulse ohne Qualitätseinbuße zu 70 mJ Energie verstärkt. Da der Slabverstärker maßgeblich die Effizienz des Gesamtsystems bestimmt, wurde in ausführlichen Simulationen die optimale Geometrie von Laserkristall und Strahlen-

gang gefunden. Parasitäre Effekte, die mit der Verstärkung der Laserpulse konkurrieren, werden minimiert. Die besondere Geometrie eines InnoSlab-Lasers bietet hierfür ideale Voraussetzungen und ermöglicht zusätzlich Unempfindlichkeit gegenüber Alterung der Pumpdioden und Temperaturschwankungen.

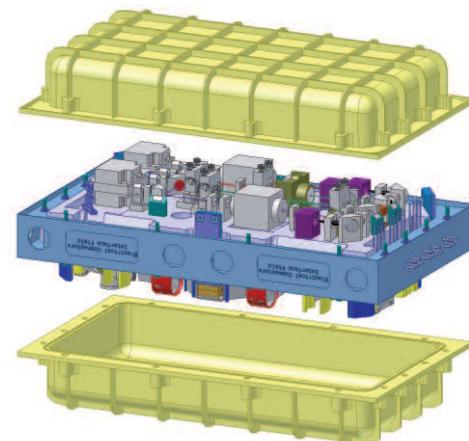
Ergebnisse und Anwendungen

Den erfolgreichen Tests des Laseroszillators folgen die Experimente zur Optimierung des Verstärkers. Diese Untersuchungen wurden mit einem flexiblen Laboraufbau durchgeführt, der anschließend in ein kompaktes Design überführt wird, das den tatsächlichen Dimensionen eines finalen Lasersystems sehr nahe kommt. Insbesondere sind in diesem Design redundante Pumpdioden vorgesehen, mit denen Diodenausfälle bei gleichbleibender Gesamtleistung kompensiert werden können.

Durch die serielle Schaltung mehrerer Verstärkerstufen bietet dieses Design exzellente Möglichkeiten der Skalierung zu höheren Pulsenergien, die z. B. für LIDAR-Systeme zur Molekül-Detektion benötigt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. J. Luttmann, Tel.: -128
joerg.luttmann@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

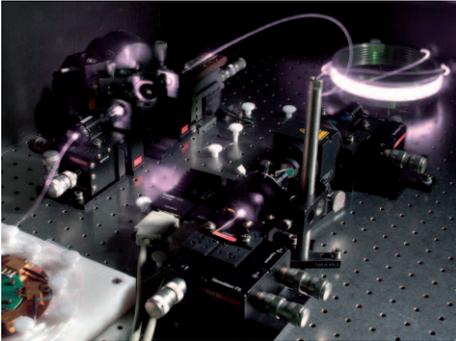


Vorläufiges Design der satellitengestützten Laserquelle (Explosionsdarstellung).

Aufgabenstellung

Puls-LIDAR-Systeme senden kurze Laserpulse aus und bestimmen aus der Laufzeit die Entfernung diffus streuender Objekte. Die erreichbare Performance hängt dabei direkt vom Lasersystem ab. Die Repetitionsrate (ca. 0,5 bis 2 MHz) wird vorgegeben durch die Anzahl der geforderten Messpunkte in einer gegebenen Zeit. Die Pulsspitzenleistung (größer 1 kW) in Verbindung mit der Strahlqualität ($M^2 < 1,5$) bestimmt die maximale Reichweite des Messgeräts. Die zeitlichen Eigenschaften wie Pulsdauer und Jitter legen die erreichbare Genauigkeit fest.

Am Fraunhofer ILT wird derzeit im Rahmen eines Fraunhofer-internen Programms ein Faserlasersystem für die scannende Entfernungsmessung in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IPM entwickelt.



Oben: Laboraufbau des Faserverstärkers.
Unten: CAD-Zeichnung des Lasermoduls.

Vorgehensweise

Hohe Anforderungen an das Timing des Lasers, d. h. Pulsdauern im subns-Bereich bei geringen Puls-Jitter in Verbindung mit den benötigten Pulsspitzenleistungen im Kilowatt-Bereich, und mittlere Leistungen von einigen Watt, erfordern einen Aufbau des Lasers als Oszillator-Verstärker-Anordnung. Dabei werden die zeitlichen und spektralen Eigenschaften des Laserpulses von einer gepulsten Laserdiode festgelegt, deren Signal dann eine zweistufige Faserverstärkeranordnung durchläuft. Faserverstärker weisen gegenüber Laserstab-Verstärkern folgende Vorteile auf:

- Sie sind justagefrei.
- Die Strahlparameter sind unabhängig von der eingestellten Leistung.
- Eine hohe Verstärkung und gute Effizienz werden erreicht.

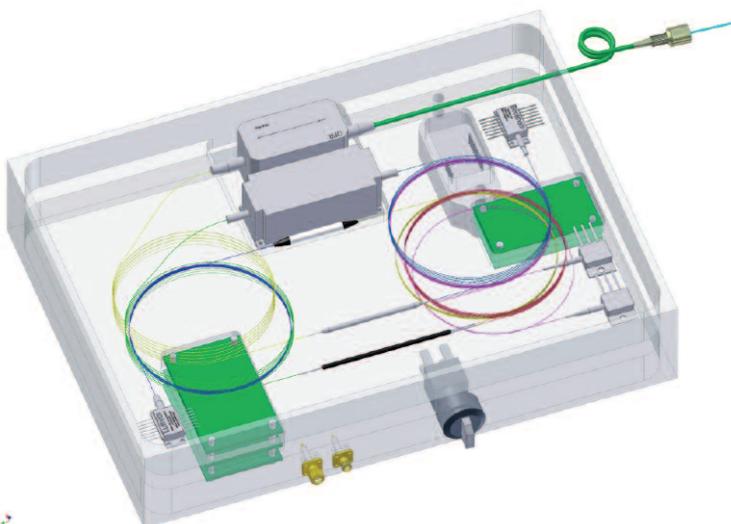
Ergebnisse und Anwendungen

Die von der Anwendung geforderten Lasereigenschaften konnten im Labor gezeigt werden. Im nächsten Schritt wird die Faseroptik in ein Gehäuse integriert und mit der notwendigen Steuerungselektronik versehen.

Weitere mögliche Einsatzgebiete für dieses Lasersystem sind z. B. Messtechnik mit zeitlich geformten Laserpulsen, Mikromaterialbearbeitung oder das Bohren mit Laserstrahlung.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys J. Geiger, Tel.: -123
jens.geiger@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D.Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Zur satellitengestützten Vermessung klimarelevanter Wasserdampfverteilungen mit LIDAR/DILAR-Systemen wird die laufzeitabhängige Absorption von Single-Frequency-Pulsen gemessen. Im Bereich von 935 - 936 nm liegen für diese Messungen günstige Wellenlängen, die bislang mit Titan-Saphir Lasern oder optisch-parametrischen Oszillatoren erzeugt werden. Diese zeichnen sich durch niedrige Effizienzen und hohe Komplexität aus. Alternativ kann dieser Wellenlängenbereich direkt in neuartigen Mixed-Garnet-Kristallen erzeugt werden. Die Energieniveaus des Nd-Ions können gezielt durch unterschiedliche Granat-Zusammensetzungen des Kristallmediums auf die geforderten Wellenlängen angepasst werden. Die Universität Hamburg hat erstmals erfolgreich Nd:YGG-Kristalle gezüchtet und Laseremission im cw-Betrieb mit hoher Effizienz bei 935 nm nachgewiesen. Kristalle auf Grundlage dieser Entwicklung sollen im gütegeschalteten Betrieb untersucht werden.

Vorgehensweise

Zylindrische Nd:YGG-Laserstäbe werden in einem gefalteten stabilen Resonatoraufbau beidseitig mit einer Pulsrepetitionsrate von 100 Hz endgepumpt. Die Güteschaltung erfolgt mittels einer Pockelszelle.

Ergebnisse und Anwendungen

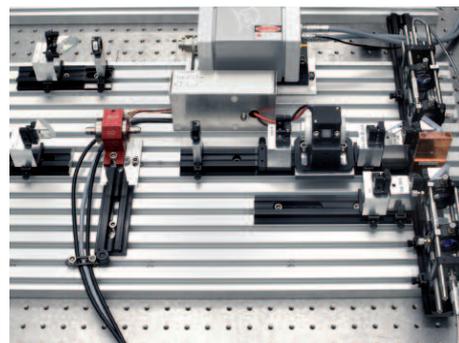
Bei den Experimenten im qcw-Modus wurden bis zu 16 mJ bei 63 mJ optischer Pumpenergie erzeugt. Dies entspricht einer Effizienz von 25 %. Mit einer Effizienz von 9 % konnte erstmalig im gütegeschalteten Betrieb eine Pulsenergie von 4 mJ erzeugt werden. Höhere Energien sollen in Zukunft durch geeignete InnoSlab-Verstärker realisiert werden.

Da Wasserdampf wesentlich den Energiehaushalt der Atmosphäre bestimmt, ist der Einsatz robuster LIDAR Systeme mit Emission bei 935 nm Wellenlänge auf mobilen Plattformen wie Flugzeugen, Satelliten aber auch bodengestützter LIDAR Systeme zu erwarten.

Grundsätzlich wird gezeigt, dass die direkte und effiziente Erzeugung applikationsspezifischer Wellenlängen für die Messtechnik aber auch für die Materialbearbeitung durch den Einsatz maßgeschneiderter Laserkristalle und angepasster Laserdesigns machbar ist.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys J. Löhring, Tel.: -128
jens.loehring@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D.Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Links: Nd:YGG-Boule des ILP. Material zur Stäbchenherstellung wurde entfernt. Rechts: Nd:YGG-Boule von FFE.
Unten: Gefalteter Resonator mit beidseitig endgepumptem Nd:YGG-Kristall.

Aufgabenstellung

Im Bereich der Messtechnik und der wissenschaftlichen Anwendung werden langzeitstabile, äußerst schmalbandige und rauscharme Single-Frequency Laserquellen mit hoher Leistung und Strahlqualität benötigt. Zu den Anwendungsgebieten zählen LIDAR (Light Detection And Ranging) Anwendungen, die Präzisionsinterferometrie oder auch die Kühlung von Atomen in Atomfallen. Im Bereich der nichtlinearen Optik können solche Quellen zusammen mit externen Resonatoren außerdem für SHG, DFG und OPO Prozesse verwendet werden. Zusammen mit der INNOLIGHT GmbH werden daher kompakte Single-Frequency-Laserquellen mit einer mittleren Laserleistung im Bereich von 10 - 40 Watt entwickelt.

Vorgehensweise

Ein beugungsbegrenzter, ultrastabiler, nicht-planarer Ringoszillator der Firma INNOLIGHT GmbH wird in einer Mehrfachaltung durch eine INNOSLAB-Verstärkerstufe von 1 - 2 W auf 40 - 45 W verstärkt. Dabei können die exzellenten Strahleigenschaften des Oszillators wie Strahlqualität, Polarisation, spektrale Bandbreite und niedriges Intensitätsrauschen weitgehend erhalten werden.

Ergebnisse und Anwendungen

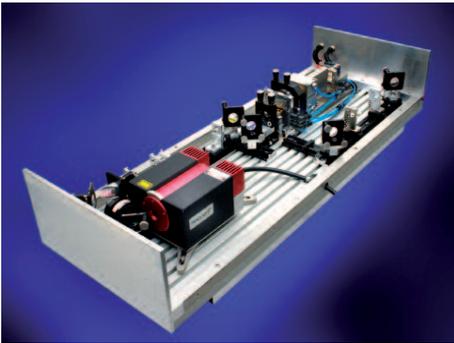
Nach der Verstärkerstufe konnten folgende Werte erzielt werden:

- Mittlere Leistung: 45 W
- M^2 : < 1.2
- Wellenlänge: 1064 nm
- Emissionsspektrum: single frequency
- Linienbreite: 1 kHz / 100 ms
- Abstimmbereich: 30 GHz
- Relatives Intensitätsrauschen (RIN): $5 \cdot 10^{-7} \text{ Hz}^{-1/2}$ (> 10 kHz)

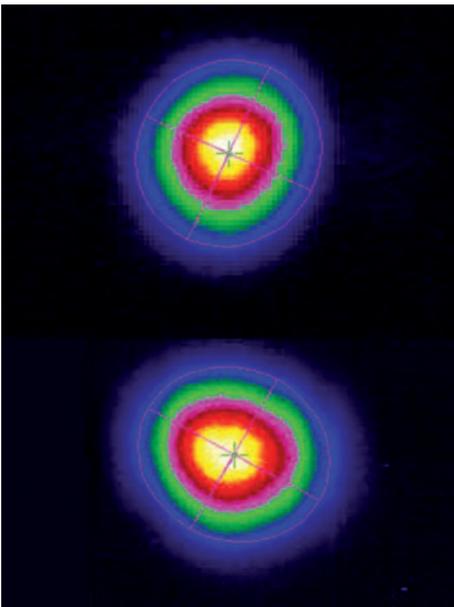
Durch den modularen Aufbau der Verstärkerstufe können sowohl aktiv als auch passiv gekühlte Laserdioden als Pumpquelle verwendet werden. Eine Skalierung der Verstärkerstufe auf höhere Leistungen ist möglich.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. M. Höfer, Tel.: -128
marco.hoefer@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Labormuster Oszillator-Verstärkereinheit
Unten: Strahlprofile nach Verstärker. Oben: Skaliertes Strahlprofil im Fokus. Unten: Strahlprofil im Fernfeld.





Aufgabenstellung

Die Eignung von ytterbiumdotierten Laserkristallen als Lasermedium für den effizienten Betrieb endgepumpter Slab Laser (InnoSlab) soll untersucht werden. Ytterbium findet als laseraktives Ion in einer ganzen Reihe von Hostmaterialien Anwendung. Im Gegensatz zu verbreiteten 4-Niveau-Systemen (z. B. Neodym) muss bei Ytterbium, als Quasi-3-Niveau-System, die Wechselwirkung zwischen Pump- und Laserstrahlung in diodengepumpten Festkörperlaser-Systemen berücksichtigt werden, da z. B. Bereiche ohne Pumpstrahlung absorbierend für die Laserstrahlung sind und die lokale Absorption der Pumpstrahlung und Laserstrahlung voneinander abhängen. Zudem ist die Inversion und damit die Verstärkung von ytterbiumdotierten Hostmaterialien temperaturabhängig.

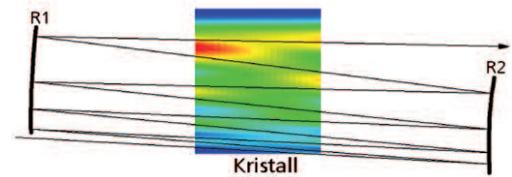
Vorgehensweise

Unter der Annahme von thermisch relaxierter Besetzung der Stark-Niveaus von oberem und unterem Laserniveau werden die Ratengleichungen für den cw-Fall numerisch gelöst. Dieses Modul ist sowohl in einer Software integriert, die die rigorose Propagation von komplexen elektromagnetischen Feldern erlaubt (OPT), als auch in einem weiteren Code, der eine Propagation nahezu beugungsbegrenzter Strahlung durch eine Entwicklung nach höheren Moden realisiert. Dabei wird auch die Propagation der Pumpstrahlung berücksichtigt, um die Verstärkung im Laserkristall zu bestimmen. Dazu wird durch Rekursion die selbstkonsistente räumliche Verteilung der Inversion und der Laser- bzw. Pumpstrahlung bestimmt.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit diesen Modellen ist es möglich, den Überlapp von Verstärkung und Lasermode im Laserkristall und den Dotierungsgrad der Kristalle zu optimieren. Im Experiment erhält man dadurch ein besseres Verständnis der Auswirkungen von Seed- und Pumpleistung und der Temperatur im Laserkristall auf die Verstärkung. Zum Beispiel erhöht eine geeignete Divergenz der Pumpstrahlung bei 3-Niveau-Systemen erheblich die Lasereffizienz durch eine Umverteilung der Pumpleistung im Laserkristall aus ungenutzten Bereichen in Bereiche mit hoher Laserstrahlintensität.

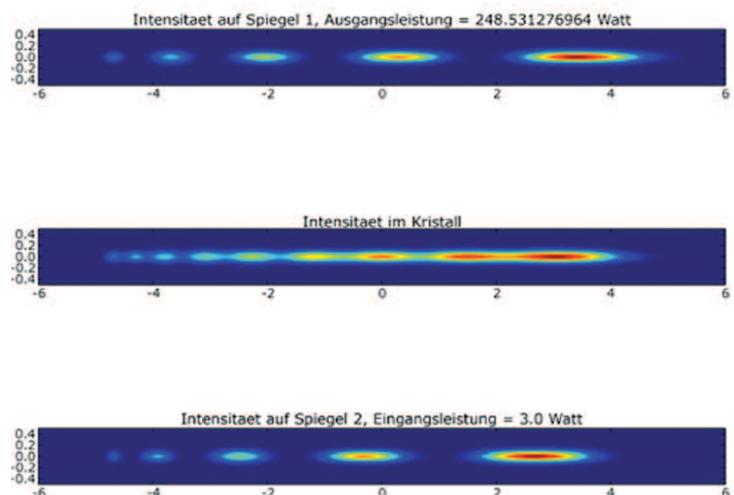
Im Ergebnis existieren nun Software-Werkzeuge, die durch einfache Änderung der Geometriedaten bzw. Randbedingungen die numerische Optimierung ytterbiumdotierter Laserverstärker ermöglichen.



Oben: Lokale Intensitäten in ytterbiumdotiertem Slab-Kristall.
Unten: Intensitätsverteilungen auf Laserspiegel (oben und unten) und Laserkristall (Mitte).

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. T. Mans, Tel.: -379
torsten.mans@ilt.fraunhofer.de
Dr. P. Rußbüldt, Tel.: -303
peter.russbueldt@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

In laserbasierten satellitengestützten Altimetern werden neben hohen Pulsenergien (50 - 100 mJ) und hohen Strahlqualitäten ($M^2 < 1,5$) vor allem Robustheit und geringe Komplexität gefordert. In stabilen Resonatoren ist die Pulsenergie bei hoher Strahlqualität auf wenige mJ beschränkt, so dass aufwändige MOPA-Anordnungen nötig werden. In instabilen Resonatoren können bei hoher Strahlqualität gleichzeitig hohe Modenvolumina und somit hohe Pulsenergien erreicht werden. Während sich die Auslegung von stabilen Resonatoren meist auf einfache ABCD-Matrix-Berechnungen beschränkt, werden bei instabilen Resonatoren aufgrund fehlender analytischer Eigenlösungen beugungstheoretische numerische Berechnungen notwendig. Diese dienen vor allem der Dimensionierung der gaußförmig beschichteten Auskoppler (VRM) und der Magnification.

Vorgehensweise

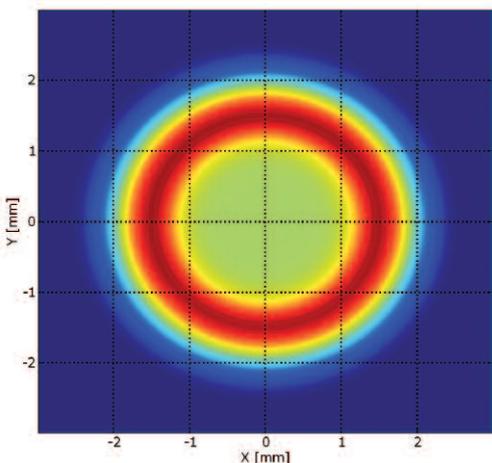
Die am Fraunhofer ILT entwickelte Simulationssoftware OPT bietet eine leistungsstarke Umgebung zur Berechnung beugungstheoretischer Probleme. Laserstrahlen werden in zweidimensionalen komplexen Matrizen mit Intensität und Phase dargestellt. Propagationen und optische Elemente wie Spiegel, Lasermedien bis hin zu nicht-linearen Kristallen werden durch Operatoren auf diese Matrizen realisiert. Durch den Fox- und Li-Algorithmus lässt sich die stabile Intensitäts- und Phasenverteilung in einem instabilen Resonator berechnen.

Ergebnisse und Anwendungen

Durch umfangreiche Parameterstudien konnten mögliche Resonatorkonfigurationen identifiziert werden, die bezüglich Strahlqualität, Effizienz und Empfindlichkeit den Anforderungen genügen.

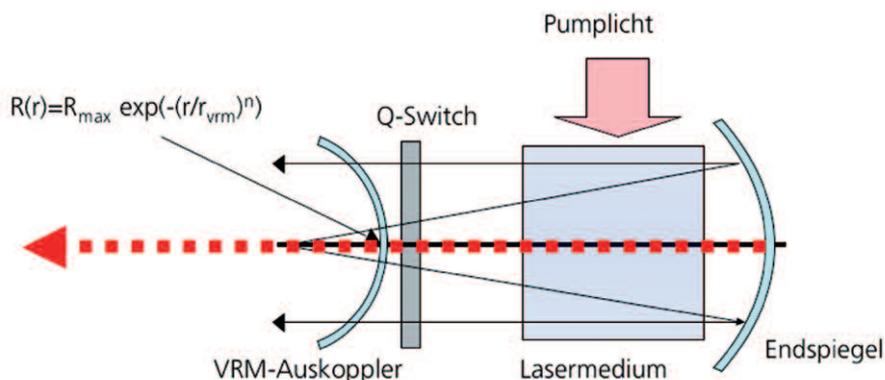
Ansprechpartner

Dipl.-Phys J. Löhring, Tel.: -128
 jens.loehring@ilt.fraunhofer.de
 Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
 hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de



Oben: Berechnetes Strahlprofil nach Fox und Li.

Unten: Prinzipieller Aufbau des instabilen Resonators.



Aufgabenstellung

Faserlaser zeichnen sich durch die Erreichbarkeit beugungsbegrenzter Strahlqualität bei mittleren Laserleistungen im kW-Bereich aus. Durch den Einsatz faserintegrierter Laserkomponenten ist ein kompakter und robuster Aufbau möglich, der den Faserlaser zu einem attraktiven Werkzeug für die Lasermaterialbearbeitung macht.

Das Fraunhofer ILT entwickelt in Zusammenarbeit mit Industriepartnern ein langzeitstabiles Basismodul mit einer Kilowatt Leistung und beugungsbegrenzter Strahlqualität für den industriellen Einsatz.

Vorgehensweise

Die am Markt erhältlichen aktiven Fasern und faserintegrierten Komponenten wie z. B. Faser-Bragg-Gitter und Faserkoppler werden bezüglich ihrer Eignung für den kW-Bereich untersucht. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Physikalische Hochtechnologie in Jena werden optimierte aktive Laserfasern entwickelt und getestet.

Pumpkonzepte werden in Bezug auf relevante Eigenschaften wie Brillanz-erhaltung, Effizienz, Zuverlässigkeit und Kosten untersucht.

Ein weiterer Arbeitspunkt ist das thermische Management der aktiven und passiven Komponenten wie zum Beispiel Laserfaser und Faserkoppler sowie Spleißverbindungen. Hierzu werden Messungen durchgeführt, die die Basis für die Berechnung der entstehenden Wärmemengen bilden. Darauf aufbauend wird mittels FEM-Simulation die Kühlung für die Komponenten optimiert.

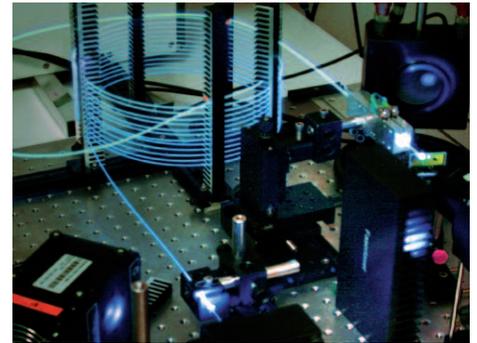
Ergebnisse und Anwendungen

Verschiedene Fasertypen wurden bei Laserleistungen bis 910 W und einer gemessenen Strahlqualität im Bereich $M^2 = 1,04$ bis 1,3 im Nennleistungsbereich untersucht.

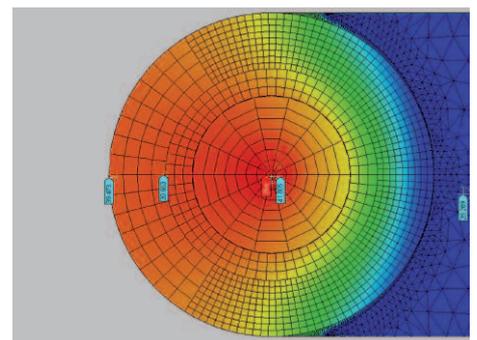
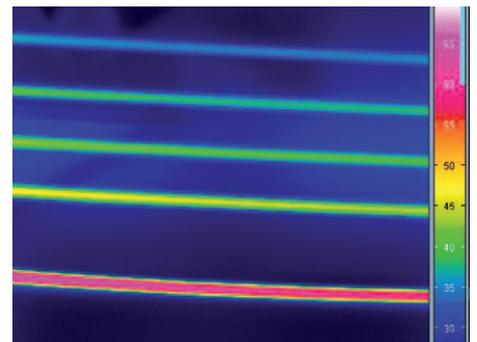
Prinzipielle Pumpkonzepte wurden analysiert, zwei ausgewählte Anordnungen werden zurzeit umgesetzt. Auf Grundlage der Ergebnisse der thermischen Untersuchungen konnte ein Kühlkonzept entwickelt werden, welches bei relativ einfacher technischer Umsetzbarkeit eine ausreichende Kühlung für den langzeitstabilen Betrieb der relevanten Komponenten eines Faserlasers mit bis zu 2 kW Laserleistung gewährleistet.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. J. Geiger, Tel.: -123
jens.geiger@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. B. Zintzen, Tel.: -123
bernhard.zintzen@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, Tel.: -206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

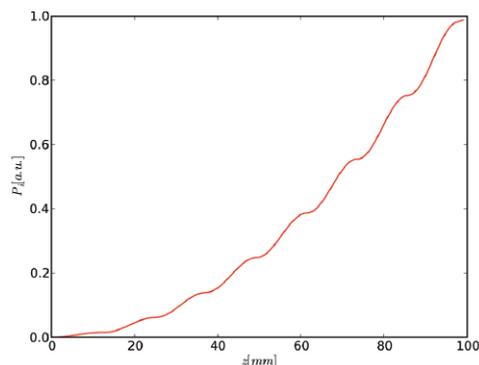


Oben: Faserlaseraufbau.
Mitte: Temperaturmessung an der aktiven Faser.
Unten: Temperaturprofil im Querschnitt der Faser bei einseitiger Kühlung.



Aufgabenstellung

Ein Trend in der derzeitigen Laserentwicklung geht hin zu kleinen Systemen, die nicht mehr auf Freiraumpropagation der Strahlungsfelder beruhen, sondern auf der in Wellenleiterstrukturen geführten Propagation. Hierdurch sind deutlich kleinere Querabmessungen möglich. Die kleinen Querabmessungen haben insbesondere für nichtlineare Kopplungsprozesse den Vorteil, bei kleinen Leistungen dennoch hohe Intensitäten zu ermöglichen. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für eine effiziente Leistungskonversion. Im vorliegenden Fall wird durch die Erzeugung einer Differenzfrequenz Strahlung mit einer Wellenlänge um $2,83 \mu\text{m}$ aus zwei Strahlungsfeldern mit Wellenlängen von $1,5 \mu\text{m}$ und $0,98 \mu\text{m}$ erzeugt. Die Optimierung solcher Systeme erfolgt durch Analyse von Experiment und Simulation.



Leistung der frequenzkonvertierten Idler-Welle. Die Perioden im Leistungsanstieg entsprechen der Periodenlänge des periodisch gepolten Kristalls.

Vorgehensweise

Zur numerischen Simulation der Differenzfrequenzerzeugung in periodisch gepolten nichtlinearen Kristallen wurde eine Software entwickelt, in der die Propagation der drei beteiligten Wellen in der Wellenleiterstruktur und die nichtlineare Kopplung der drei Wellen mit einem »Split Step« Verfahren behandelt werden. Die Wellenpropagation wird mit Hilfe eines »Wide Angle Beam Propagation« Verfahrens in semivektorieller Näherung und die nichtlineare Kopplung der drei Wellen durch

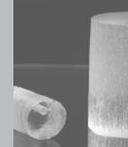
numerische Integration der Kopplungsgleichungen gelöst (Runge-Kutta vierter Ordnung). Implementiert wurden die Algorithmen in der interpretierten Programmiersprache Python mit eingebettetem C-Code für die rechenintensiven Teile. Diese Mischung kombiniert die Geschwindigkeit des nativ kompilierten C mit der Flexibilität von Python.

Ergebnisse und Anwendungen

Eingestrahlt werden die sogenannte Signalwelle bei einer Wellenlänge von $1,5 \mu\text{m}$ und einer Leistung von $0,4 \text{ W}$ und die Pumpwelle bei $0,98 \mu\text{m}$ und $0,5 \text{ W}$. Die Phasematchingbedingung, der Phasengleichlauf der drei Wellen, wird durch die periodische Polung des Kristalls erreicht. Das Bild zeigt die Leistung über der Länge der resultierenden Welle, der sogenannten Idlerwelle.

Ansprechpartner

Dr. R. Wester, Tel.: -401
rolf.wester@ilt.fraunhofer.de
Prof. Dr. W. Schulz, Tel.: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Die Mikroskopie mit weicher Röntgenstrahlung eröffnet vielfältige Möglichkeiten in Bio- und Materialwissenschaft. Leistungsfähige Geräte stellen Anforderungen an die Brillanz der Strahlquellen, die bis dato nur von Elektronenspeicherringen erfüllt werden. Die Entwicklung kompakter Plasmastrahlquellen hoher Leistung ermöglicht den Bau von Röntgenmikroskopen im Labormaßstab.

Vorgehensweise

Ausgehend von den Erfahrungen mit Pinchplasmen zur Erzeugung von EUV-Strahlung bei 13,5 Nanometern wurde eine Quelle entwickelt, deren Stickstoffplasma effizient Linienstrahlung bei 2,88 Nanometern emittiert. Das Gas wird hierbei durch einen Strompuls ionisiert und kurzzeitig stark aufgeheizt. Ein Teil der so eingekoppelten Energie wird in Form charakteristischer weicher Röntgenstrahlung emittiert.

Ergebnisse und Anwendungen

Es wurde eine Emission von $1 \cdot 10^{14}$ Photonen pro Puls in den Halbraum für den $1s^2-1s2p$ Übergang von heliumähnlichem Stickstoff bei 2,88 nm gezeigt. Dies entspricht einer Energie von etwa 7 mJ. Die laterale Halbwertsbreite des Plasmas liegt im Bereich von 300 μm . Bei einer Frequenz der Entladung von 1 bis 2 kHz ist die Quelle somit hinreichend brillant, um Photonenflüsse auf mikroskopische Proben zu erzielen, wie sie bei an Beamlines installierten Geräten auftreten.

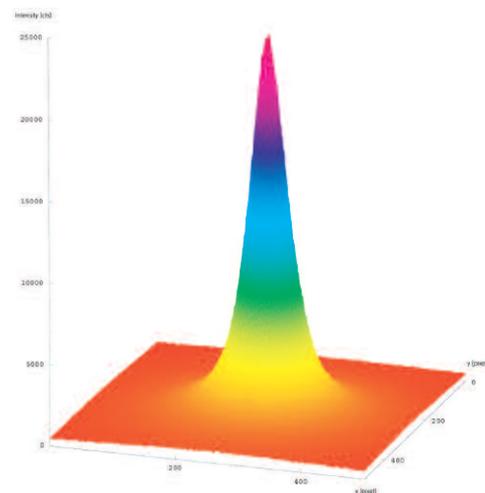
Kompakte erschwingliche Strahlquellen für den weichen Röntgenbereich ermöglichen neben dem Einsatz in Labor-Röntgenmikroskopen die Entwicklung einer neuen Generation kompakter Geräte zur hochauflösenden Strukturierung und Analyse von Oberflächen.

Eigenschaften

- Spektralbereich: 1 - 10 nm je nach Arbeitsgas
- Frequenz: 1 - 2 kHz
- Brillanz (Stickstoff): $1 \cdot 10^{17}$ Ph/(mm^2 sr Linie)
- Leistungsaufnahme: 10 kW

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) M. Benk, Tel.: -137
markus.benk@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Bergmann, Tel.: -302
klaus.bergmann@ilt.fraunhofer.de
Dr. W. Neff, Tel.: -142
willi.neff@ilt.fraunhofer.de



Dreidimensionale Darstellung der Intensität der Quelle (1 Pixel entspricht etwa 3,7 μm).

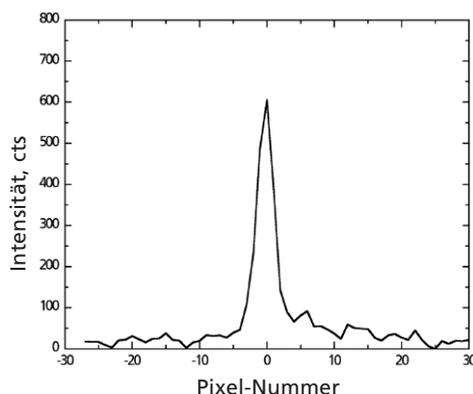
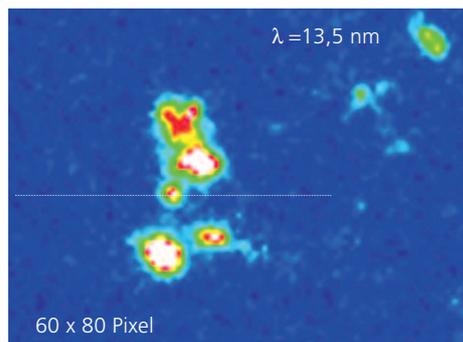
Aufgabenstellung

Mikroskopie mit extrem ultravioletter Strahlung ermöglicht aufgrund der kurzen Wellenlänge und der sehr effektiven Wechselwirkung mit Materie die Detektion aller Arten von Defekten auf der Größenskala von bis zu einigen 10 nm. Viele Anwendungen wie z. B. das Vermessen der EUV-Masken für EUV-Lithographie erfordern ein möglichst schnelles Abscannen großer Flächen auf das Vorhandensein kleiner abdruckbarer Defekte. Für diesen Zweck eignen sich insbesondere die Streulichtmessungen im EUV, die durch den Einsatz einer sowohl einsammelnden als auch abbildenden Optik, wie z. B. des Schwarzschild-Objektivs im Dunkelfeldmodus, und eines EUV-empfindlichen Detektors zusätzlich Informationen über die Lage und Größe der Defekte liefern. Die Machbarkeit des Verfahrens wird am vorhandenen Labor-EUV-Mikroskop in Demonstrationsexperimenten im Hell- und Dunkelfeld mit Teststrukturen gezeigt. Die Anlage wird in Hinblick auf die Auslegung und die Schlüsseigenschaften des Systems für kommerzielle Geräte charakterisiert.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Abbildung oben zeigt das mit dem EUV-Mikroskop am Fraunhofer ILT in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS der RWTH Aachen in Transmission aufgenommene Dunkelfeld-Bild eines Clusters von Nanokügelchen aus Polystyrol-Latex mit einem Durchmesser von 112 nm auf einer 150 nm dünnen Siliziumnitrid-Folie. Eine Defektprüfung mit 0.1 mJ/cm² auf der Oberfläche (einzelner Pulsbetrieb) ist erfolgreich demonstriert worden. Die Scan-Geschwindigkeit ist durch die Auslesezeit und die Größe der CCD begrenzt. Für die Anwendungen wie Maskenblank- oder Waferinspektion bedeutet das eine Scan-Geschwindigkeit von bis zu 3 cm²/Stunde.

In der Partikelmesstechnik kann bei der bekannten Detektor-Empfindlichkeit, der Intensität der einfallenden Strahlung und Transmission des optischen Systems auf die gestreute Intensität zurückgeschlossen werden. Aus dem Vergleich mit den Berechnungen der Mie-Theorie, die eine exakte Beschreibung der Lichtstreuung an einer Sphäre liefert, ist zusätzlich zu der Größe auch die Bestimmung des Brechungsindex (und somit des Materials) der streuenden Kugel möglich.



Oben: Dunkelfeldaufnahme eines Nanokügelchen-Clusters bei 13,5 nm.

Mitte: Line-Scan entlang der weißen Linie im oberen Bild.

Unten: EUV-Transmissionsmikroskop am Fraunhofer ILT.

Vorgehensweise

Das am Fraunhofer ILT entwickelte EUV-Mikroskop bestehend aus Xenon-Gasentladungsquelle, Grazing-Incidence-Kollektor, Probenpositionierung, multilayerbeschichtetem Schwarzschildobjektiv und EUV-CCD, ist für den Betrieb im Dunkelfeld-Modus aufgerüstet worden. Eine 0te-Ordnung-Blende vor dem Objektiv schattet das direkte Licht im Strahlengang ab und gewährleistet, dass nur das an Oberflächendefekten (z. B. Partikel auf einer dünnen Folie) gestreute Licht eingesammelt und abgebildet wird, was bei kleinen Defekten den Kontrast und die Empfindlichkeit des Systems erhöht.

Ansprechpartner

Dr. L. Juschkin, Tel.: -313
larissa.juschkin@ilt.fraunhofer.de
Dr. W. Neff, Tel.: -142
willi.neff@ilt.fraunhofer.de
Prof. Dr. P. Loosen, Tel.: -162
peter.loosen@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Kompakte und einfach zu handhabende Monitore für extrem-ultraviolette Strahlung sind unverzichtbare Werkzeuge bei der Entwicklung von Strahlungsquellen in diesem Spektralbereich. Bei der derzeit wichtigsten Aktivität, der Entwicklung von Strahlungsquellen für die extrem ultraviolett Lithographie, sind Energiemonitore notwendig, die in einer begrenzten spektralen Bandbreite von 2 % bzw. 0,27 nm und einer Zentralwellenlänge von 13,5 nm den Photonenfluss anzeigen.

Vorgehensweise

Im Umfeld der Aktivitäten am Fraunhofer ILT zur Entwicklung von Hochleistungsquellen für die EUV Lithographie mit dem Projektpartner Philips wurde ein solcher Energiemonitor aufgebaut und eingesetzt. Dieser besteht aus einer kommerziellen Photodiode mit einer Beschichtung, die Wellenlängen oberhalb des extremen Ultravioletts herausfiltert. Die Diode ist mit einem Spektralfilter aus zwei Multilayerspiegeln verbunden, die genau eine Bandbreite von 2 % aufweisen und damit die spektrale Transmissionscharakteristik eines optischen Systems in einem EUV Lithographiesystem gut simulieren. Das Diodensignal kann direkt über ein BNC-Kabel mit einem Oszilloskop ausgelesen werden.

Die Energiemonitore werden am Fraunhofer ILT gegen einen bekannten Standard kalibriert, der von einer Einrichtung wie z. B. der Physikalisch Technischen Bundesanstalt in Berlin charakterisiert wurde. Die Kalibrierung erfolgt an einer kompakten gepulsten

Strahlungsquelle, an der beide Energiemonitore simultan unter gleichen Winkeln zur Strahlungsquelle montiert sind. Die Reproduzierbarkeit für diese Messung ist dabei besser als 1 %.

Aufgrund des winkelabhängigen Reflexionsvermögens der Multilayerspiegel muss auf eine gute Ausrichtung der optischen Achse des Energiemonitors zur Strahlungsquelle geachtet werden. Für die häufig untersuchten Emissionsspektren von Zinn und Xenon zeigt sich, dass ein Winkelfehler von etwa 1° noch tolerierbar ist, um eine Genauigkeit von besser als 2 % zu gewährleisten, was in der Regel allein durch den mechanischen Aufbau des Vakuumsystems gegeben ist.

Ergebnisse und Anwendungen

Der Energiemonitor hat eine Länge von 22 cm und wird über einen CF40 Flansch an das Vakuumsystem für die Quelle angeschlossen. Die Zentralwellenlänge ist 13,5 nm bei einer spektralen Bandbreite von 0,27 nm. Die Signale werden über den 50 Ω Eingang eines Oszilloskops ausgelesen. Die Pulsdauer wird durch die Diode bestimmt und liegt bei etwa 2 μ s. Die typische Signalhöhe liegt bei 30 mV/(mJ sr) für eine Position in 70 cm Abstand zur Quelle.

Ansprechpartner

Dr. K. Bergmann, Tel.: -302
klaus.bergmann@ilt.fraunhofer.de
Dr. W. Neff, Tel.: -142
willi.neff@ilt.fraunhofer.de



Energiemonitor für Strahlung um 13,5 nm.

Aufgabenstellung

Extrem-ultraviolette (EUV) Strahlung wird mit einem Vakuumbogen erzeugt. Gezündet wird dieser durch laserinduzierten Materialabtrag an der Kathodenoberfläche. Der Strahlungsfluss des Lasers erzeugt ein Plasma, das sich zur Anode ausbreitet. Erreicht das Plasma die Oberfläche der Anode, beginnt die elektrische Entladung. Diese heizt das Plasma auf, so dass EUV-Strahlung emittiert wird. Neben den Laserparametern hängt die Strahlungscharakteristik von der Stromverteilung im Plasma ab. Die Plasmagrößen und die Stromdichte werden berechnet.

Vorgehensweise

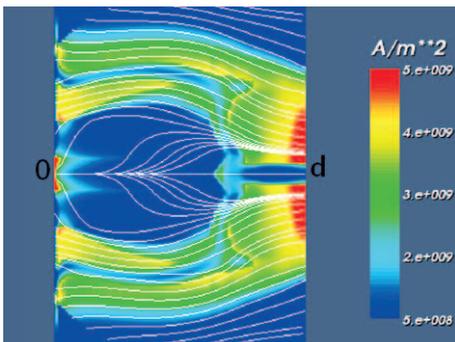
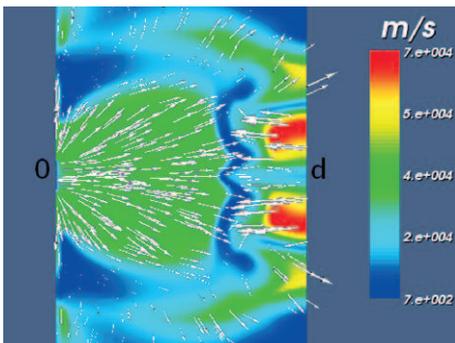
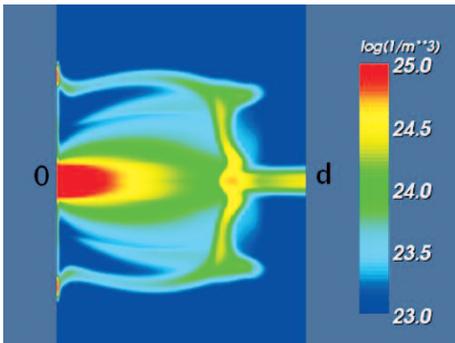
Zu dem im vorigen Jahr entwickelten zweidimensionalen Plasmamodell werden die Maxwell-Gleichungen implementiert. Für den Übergang zwischen Plasma und Kathode wird ein Kathodenfall-Modell erstellt und in das Plasmamodell integriert. Mit dem neuen Modell werden neben den Plasmagrößen auch die elektromagnetischen Größen als Funktion der Zeit und des Ortes berechnet.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Elektronen- und die Stromdichte sowie das Geschwindigkeitsfeld sind zum Zeitpunkt des Strommaximums (ca. 12 kA) berechnet worden. Die größte Elektronendichte liegt an der Kathodenoberfläche (0) vor (Bild oben). Das Plasma wird aufgrund des Druckgradienten zur Anode hin beschleunigt. Die Lorentz-Kraft behindert die radiale Expansion, so dass die Ausbreitung vorzugsweise entlang der Symmetrieachse (0-d) erfolgt. An der Anode (d) beschleunigt die Lorentz-Kraft das Plasma zur Symmetrieachse und zur Kathode (Bild Mitte). Die beiden Gegenströmungen bilden ein Staugebiet auf der Symmetrieachse mit einem Dichtemaximum (Bild oben). Die Stromverteilung hat ihre größten Werte auf der Kathoden- bzw. Anodenoberfläche (Bild unten). Das Gebiet der höchsten EUV-Emission korrespondiert mit dem Gebiet hoher Elektronendichte und liegt somit in Kathodennähe. Dieses Ergebnis wird durch experimentelle Untersuchungen bestätigt.

Ansprechpartner

Dr. M. Aden, Tel.: -469
 mirko.aden@ilt.fraunhofer.de
 Prof. Dr. W. Schulz, Tel.: -204
 wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Oben: Elektronendichte zum Zeitpunkt des Strommaximums zwischen Kathode (0) und Anode (d).

Mitte: Geschwindigkeitsfeld zum Zeitpunkt des Strommaximums.

Unten: Stromdichte zum Zeitpunkt des Strommaximums.

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.



Formkerne eines Spritzgießwerkzeuges. Links: Rohling, rechts: fertig bearbeitetes Teil.



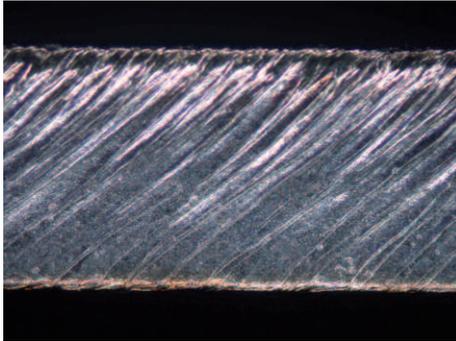
Highspeed-Schneiden mit dem Faserlaser	62	Generative Fertigung von Mikrokühlern	76	Sub-Wellenlängen-Riffel: Periodische Nanostrukturen durch fs- Laserstrahlung	89
Remote-Schneiden von Feinblech	63	Herstellung von keramischen Bauteilen mit dem Selektiven Laserschmelzen	77	Laserstrahlunterstütztes Stanzen	90
Schweißen von elektrischen Kontakten für hohe Impulsstoßströme	64	Computational Steering System für parallelisierte Simulationsrechnungen	78	Laserstrahlbasierte Solarzellentechnologie	91
CO ₂ -Laser-MAG-Hybridschweißen bis 30 mm Wandstärke	65	Prozesskontrolle beim Mikroschweißen	79	Bohrungen mit großem Aspektverhältnis	92
Hochgeschwindigkeitsschweißen von Stahlwerkstoffen mit dem Faserlaser	66	Detektion von Prozessfehlern beim Mikropunktschweißen	80	Herstellen von Formbohrungen	93
Integrierte Tailored Blank Fertigung mit dem Kombikopf	67	Entwicklung einer miniaturisierten Scanner-Bearbeitungsoptik für das Laserstrahlmikrofügen	81	Offline-Bestimmen des Durchbohrzeitpunktes beim Perkussionsbohren	94
Kombibearbeitung mit Faserdurchmesser 50 und 600 µm	68	Mikroschweißen von Kunststoffen mit Faserlaser	82	Perkussionsbohren mit effizientem Austrieb von Schmelze	95
Nachbehandlung von Keramikschichten mit Laserstrahlung	69	Laserdurchstrahlschweißen von Thermoplasten ohne Zusatz von Absorbern	83	Effizientes Raytracing für Mehrfachreflexionen beim Schneiden und Bohren	96
Randschichtumschmelzen einer einkristallin erstarrten Nickelbasislegierung für Gasturbinenkomponenten	70	Strahlaufweitung beim Laser-Kunststoffschweißen: Bestimmung des Streukoeffizienten von PA 66	84	Transparente Metall-Mikrobohrungen mit hoher Bohrrate	97
Polieren von Titan mit gepulster Laserstrahlung	71	Laserstrahlunterstütztes selektives Bonden artgleicher und artungleicher sprödharter Werkstoffe	85	Mikrobohrungen in Medizinprodukten für die Validierung von Prüfanlagen	98
Analyse des Abströmverhaltens beim Laserstrahlreinigen	72	Farbmarkierungen in Glas	86	Transformation von Pflanzenzellen mit Laserdioden	99
Prozesssimulation zum Laserstrahlstrukturieren	73	Produktkennzeichnung durch Nanostrukturen	87	Zeitaufgelöste quantitative Phasenmikroskopie	100
Verbesserte Werkzeugeigenschaften durch gradierte Werkstoffe	74	Herstellung eines Wellenleiterlasers durch Pulsed Laser Deposition und fs-Laser-Mikrostrukturierung	88		

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.



Aufgabenstellung

Bis in die Leistungsklasse von 4 kW-Lasern (Stand Ende 2006) liegt die Strahlqualität von Faserlasern signifikant über der theoretisch bestmöglichen Strahlqualität von CO₂-Lasern. In Verbindung mit der in weiten Parameterbereichen besseren Absorption von Festkörperlasern können damit deutlich bessere Prozesswirkungsgrade erreicht werden als mit CO₂-Lasern. Beim Schneiden profitiert davon besonders die Bearbeitung dünner Blechdicken (Feinbleche). Am Beispiel von 1 mm dickem Baustahl sollen leistungsabhängig die Maximalgeschwindigkeiten bestimmt werden.



Schnittkante 1 mm Baustahl, geschnitten mit 135 m/min ($R_z = 6,6 \mu\text{m}$, bartfrei).

Vorgehensweise

Die Schneidversuche werden mit einem Faserlaser mit 4 kW Laserstrahlleistung und einem Faserdurchmesser von 50 μm durchgeführt. Das Strahlparameterprodukt beträgt dabei 1,8 mm mrad.

Die Dimensionierung der Fokussierung und die Einstellung der übrigen Verfahrensparameter werden an die geringe Blechdicke angepasst.

Zur Einordnung der experimentellen Ergebnisse werden parallel Simulationsrechnungen mit dem Programm CAL-Cut durchgeführt, in denen die zu erwartende Maximalgeschwindigkeit berechnet wird.

Ergebnisse und Anwendungen

Es konnten Schnitte mit extremen Schnittgeschwindigkeiten und gleichzeitig hervorragender Kantenqualität erzeugt werden ($v = 135 \text{ m/min @ 4 kW}$, $R_z = 6,6 \mu\text{m}$). Simulationsrechnungen und experimentelle Ergebnisse stimmen sehr gut überein. Die Simulation zeigt zudem, dass die erreichten Maximalgeschwindigkeiten nicht weit vom theoretischen Limit entfernt liegen, das mit beugungsbegrenzten Lasern entsprechender Leistung erreicht werden könnte.

Derart hohe Geschwindigkeiten sind insbesondere für lineare Anwendungen wie das Besäumen oder das Längs- und Querteilen von Bandmaterial interessant. Im Konturbetrieb können selbst Anlagen mit sehr hohen Beschleunigungen diese Geschwindigkeiten nur noch in entsprechend großen Konturen umsetzen. Bei 2-D- und 3-D-Anwendungen kann mit niedrigeren Geschwindigkeiten entsprechend die zu installierende Laserleistung reduziert werden. Das Zuschneiden und Besäumen von Tiefziehteilen insbesondere aus hochfesten Werkstoffen, die beim mechanischen Schnitt Probleme bereiten, ist eine der Applikationen, die von diesen Entwicklungen profitiert. Zusammen mit dem hervorragenden Wirkungsgrad von Faserlasern (ca. 25 %) bietet sich damit Einsparpotenzial sowohl bei den Invest- wie auch den Betriebskosten.

Ansprechpartner

Dr. F. Schneider, Tel.: -426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Die hervorragende Brillanz moderner Faser- oder Scheibenlaser bietet das Potenzial, auch bislang nicht realisierbare Prozesse zu entwickeln. Hier soll untersucht werden, ob die Vorteile der Remote-Bearbeitung mit Scannern auch zum Schneiden metallischer Werkstoffe genutzt werden können.

Vorgehensweise

Für die Untersuchungen wurde ein Faserlaser mit einem Scanner eingesetzt. Die nutzbare Leistung war auf Grund der Belastbarkeitsgrenze des Scanners auf 1,5 kW beschränkt. Die Versuche wurden an dünnen Edelstahlblechen, Dicke $\leq 0,5$ mm, durchgeführt.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit der gewählten Systemkonfiguration konnte die grundsätzliche Machbarkeit des Remote-Schneidens von Metallen gezeigt werden.

Wie beim konventionellen Schneiden wird bei den vorliegenden Bedingungen auch hier der überwiegende Teil des Schnittfugenmaterials schmelzförmig abgetragen. Der physikalische Prozess, der genutzt wird, um die Schmelze auch ohne die antreibenden Kräfte eines Gasstrahls aus der Schnittfuge auszutreiben, ist der Dampfdruckgradient in der Wechselwirkungszone. Da dieser Effekt mit steigender Intensität zunimmt, ist eine gute Fokussierbarkeit der verwendeten Laserstrahlung von besonderer Bedeutung. Die aktuellen Weiterentwicklungen der Festkörperlaser hinsichtlich Leistung und Strahlqualität bieten damit aussichtsreiche Perspektiven für die Remote-Technik.

Wenn dieses Verfahren mit der weiteren Optimierung zur Einsatzreife entwickelt wird, ergeben sich durch die Nutzung des Scanners und den Verzicht auf den Schneidkopf Anwendungsvorteile durch eine Vereinfachung des Maschinenaufbaus und kürzere Bearbeitungszeiten auf Grund der hohen erreichbaren Dynamik. Hohe Geschwindigkeiten auch in kleinen Radien und nahezu vernachlässigbare Zeiten für die Zustellung lassen sich damit realisieren.

Ansprechpartner

Dr. F. Schneider, Tel.: -426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Oben: Remote-Schneiden von Stahlwerkstoffen.
Unten: Mit Remote-Schneiden erzeugte Schnittkante.



Aufgabenstellung

In der Industrieelektronik werden neue Möglichkeiten erforscht, um elektrische Kontakte wirtschaftlicher und effizienter zu verschweißen.

Zum Fügen der verzinnnten Stromträger soll statt dem Widerstandsschweißen in Zukunft das Laserstrahlschweißen eingesetzt werden. Im Vergleich zum Widerstandsschweißverfahren ist das Laserschweißverfahren verzugsfrei und hat eine niedrigere Taktzeit. Die Fügepartner müssen nicht beidseitig zusammen gedrückt werden, damit eine Schweißung zustande kommt. Vielmehr ist eine einseitige Zugänglichkeit ausreichend.

Die Schweißnaht muss hohen Impulsstoßströmen von mehreren 10 kA und einer mechanischen Scherkraft von mindestens 400 N standhalten.

Vorgehensweise

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurden die Prozessparameter so eingestellt, dass mit einer Laserleistung von ca. 3 kW eine Durchschweißung der Naht mit einer Anbindungsbreite $\geq 0,8$ mm erreicht wurde.

Die Schweißungen wurden mit einem Faserlaser hoher Strahlqualität (1,8 mm mrad, Maximalleistung 4 kW, Faserdurchmesser 50 μm) durchgeführt. Verschweißt wurden Cu-Legierungen mit einer Materialstärke von 1,5 mm und 0,8 mm im Überlappstoß.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit einer Schweißzeit von 0,045 sek pro Kontakt, einer Anbindungsbreite von über 0,8 mm am tragenden Querschnitt und vollständiger Durchschweißung der Naht wurden die vorgegebenen Anforderungen an das Schweißverfahren erfüllt.

Das Laserschweißen von Kupferwerkstoffen bietet ein interessantes Entwicklungspotenzial für anspruchsvolle Verbindungen z. B. in der Hochleistungselektronik, der Kühltechnik und bei solarthermischen Anwendungen.

Ansprechpartner

V. Nazery Goneghany, Tel.: -159
vahid.nazery@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.Petring@ilt.fraunhofer.de



Nahtquerschnitt:
Schweißen von verzinn-
tem Kupfer im Überlappstoß.



Aufgabenstellung

Während das CO₂-Laser-MAG-Hybridschweißen im Schiffsbau im Dickblechbereich bis 15 mm bereits etabliert ist, besteht für den Dickenbereich bis 30 mm noch erheblicher Entwicklungsbedarf. Ziel des laufenden europäischen RFCS-Vorhabens HYBLAS ist es, für Bau- und Feinkornbaustähle mit Streckgrenzen bis zu 690 MPa und Wandstärken bis zu 30 mm Verfahrensprozesse für das Laserhybridschweißen zu entwickeln.

Vorgehensweise

Für die Versuche wurden ein CO₂-Laser der Firma Trumpf (TLF 20000t) sowie eine programmierbare Schweißstromquelle der Firma Fronius (TPS450) verwendet. Die Versuchsschweißungen wurden in den Schweißpositionen PA, PB und PC durchgeführt. Zur Optimierung wurden neben Laserparametern und Drahtvorschub auch unterschiedliche Nahtvorbereitungen wie V-, Y-, HY- und DY-Naht bei unterschiedlichen Öffnungswinkeln untersucht. Die Schweißungen fanden an I-, T- und Eckstößen statt.

Ergebnisse und Anwendungen

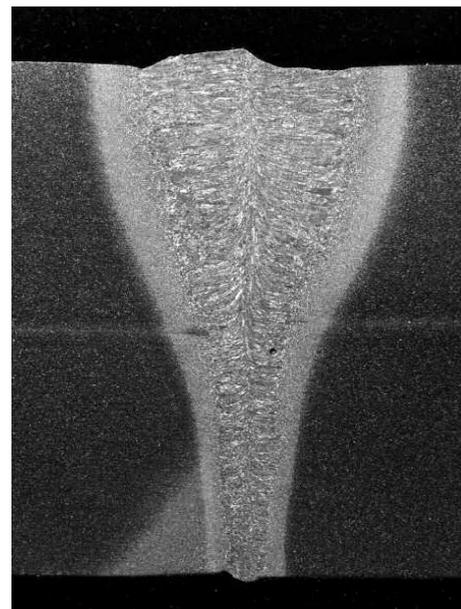
Für den Materialdickenbereich von 15 - 25 mm wurden breite Prozessfenster bezüglich Laserleistung und Spalt für Anordnungen mit stechend oder schleppend geführtem MAG-Prozess entwickelt, in denen qualitativ hochwertige Schweißungen möglich sind. Mit optimierten Parametern gelang es z. B. bei der Wandstärke 15 mm, eine Spaltüberbrückbarkeit bis

3 mm zu erzielen. Neben den üblichen Proben für mechanisch-technologische Untersuchungen wurden Großproben der Abmessung 2.000 mm x 500 mm erstellt. Neben Plattenmaterial wurden Demonstratoren wie z. B. die Kombination Rohr auf Platte produziert. Feinkornbaustahl in der Dicke 30 mm wurde simultan mit 2 MAG-Stromquellen in Lage - Gegenlage mit gutem Ergebnis laserhybridgeschweißt. Im Dickenbereich bis 25 mm konnten heißrissefreie Schweißungen entsprechend der höchsten Bewertungsgruppe B der EN ISO 13919-1 erreicht werden.

Vorteile des Laser-MAG-Hybridverfahrens sind die hohe Schweißgeschwindigkeit, der geringe Verzug, die Spaltüberbrückbarkeit sowie die Möglichkeit des einlagigen Schweißens. Anwendungsbedarf für diesen Wandstärkenbereich besteht im Rohrleitungsbau, im Schiffbau, bei Tragwerkkonstruktionen, in der Off-Shore-Technik, bei Sonderkonstruktionen sowie im Schwermaschinenfahrzeugbau. Die Arbeiten werden im Rahmen des EU Projektes »Economical and safe laser hybrid welding of structural steel - HYBLAS« durchgeführt, welches vom Research Fund for Coal and Steel gefördert wird.

Ansprechpartner

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



Oben: 25 mm Laser-MAG-Hybridschweißung, Stumpfstoß, $v_s = 0,6$ m/min, $P_L = 14,1$ kW, Position PC.
Unten: Demonstratorbauteil.



Aufgabenstellung

Für einen Stahlwerkstoff im Blechdickenbereich bis 3 mm sollen die maximalen Vorschubgeschwindigkeiten ermittelt werden, mit denen humpingfrei geschweißt werden kann. Das sogenannte »Humping« bezeichnet eine insbesondere bei hohen Schweißgeschwindigkeiten auftretende Schmelzbaddynamik, die zu unerwünschten periodischen Nahtüberhöhungen und Nahtfehlstellen führt. Durch Parametervariationen soll die Humpinggrenze zu möglichst hohen Geschwindigkeiten verschoben werden.

Vorgehensweise

Für die Untersuchung wird ein 4 kW Faserlaser mit einem Faserdurchmesser von 50 µm eingesetzt. Innerhalb einer Versuchsmatrix werden Blechdicke, Laserleistung und Schweißgeschwindigkeit variiert, um die Durchschweißgrenzen und die Grenzen für den humpingfreien Prozess zu bestimmen.

Die hohe Strahlqualität kommt der Anforderung nach schlanken Schweißnähten entgegen.

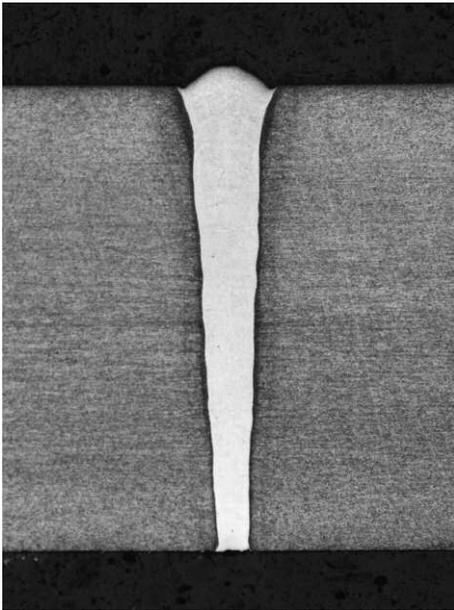
Ergebnisse und Anwendungen

Wie auch bei anderen Prozessen der Materialbearbeitung zeigt sich auch beim Schweißen dünner Bleche, dass mit der hohen Strahlqualität des Faserlasers eine deutliche Steigerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit möglich ist. Die Geschwindigkeit der Durchschweißgrenze liegt hier erheblich über entsprechenden Ergebnissen mit einem CO₂-Laser. Die für den Kunden wichtige Grenze für den humpingfreien Prozess mit sehr guten Schweißergebnissen konnte durch Anpassung der Laserstrahlleistung auf Geschwindigkeiten bis 40 m/min (0,6 mm Blechdicke) gesteigert werden.

Optimierungsschritte beispielsweise durch spezielle Strahlformung oder Orientierung kamen hierbei noch gar nicht zum Einsatz und werden zukünftig zu noch höheren Grenzgeschwindigkeiten führen, die insbesondere für lange, lineare Schweißnähte von erheblichem wirtschaftlichem Interesse sind.

Ansprechpartner

Dr. F. Schneider, Tel.: -426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Nahtquerschnitt bei einer Schweißgeschwindigkeit von 18 m/min unterhalb der Humpinggrenze (Blechdicke 1,6 mm, Laserstrahlleistung 2 kW).



Aufgabenstellung

Bei der Herstellung insbesondere nicht-linearer Tailored Blanks führt unzureichende Genauigkeit zu Spaltbildung bei der Passung der zu fügenden Kanten. So entstehen erhöhte Anforderungen an eine exakte Nahtverfolgung. Vor diesem Hintergrund bietet das integrierte Schneiden und Schweißen mit dem Kombikopf neue Perspektiven.

Der Kombikopf ermöglicht den schnellen Prozesswechsel zwischen Laserstrahlschneiden- und -schweißen softwaregesteuert und ohne Eingriff am Werkzeug.

Vorgehensweise

Zur Fertigung von Demonstrationsmustern in kleinen Abmessungen wird ein kommerziell verfügbarer Kombikopf eingesetzt, der auf dem Fraunhofer ILT-Demonstrator beruht. Mit einer integrierten Fokussieroptik und einer z-Achse zur Abstandsregelung wird er den Anforderungen des industriellen Einsatzes gerecht. Als Strahlquelle wird ein Faserlaser mit einem Prozessfaserdurchmesser von 100 µm genutzt.

Zunächst werden mit zwei Laserschnitten die Fügekanten der beiden Platinen vorbereitet und unmittelbar anschließend erfolgt auf identischer Bahn und in einer Aufspannung das Verschweißen. Abschließend werden zwei exakt zueinander positionierte Langlöcher geschnitten.

Die Musterteile werden aus zwei unterschiedlichen verzinkten Karosseriewerkstoffen in 1,0 und 1,2 mm Dicke erstellt.

Ergebnisse und Anwendungen

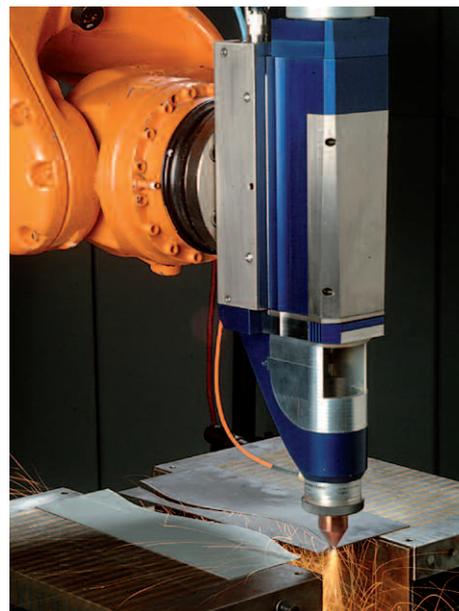
In nichtlinearen Schnitten und Nahtverläufen konnte der integrierte Fertigungsablauf mit einer sehr guten Schnitt- und Nahtqualität demonstriert werden. Besonders zu erwähnen ist, dass die Schweißbahn ohne Nahtfolge gefunden wird, weil die Lage der Naht durch den vorangegangenen Laserschnitt präzise im Maschinenkoordinatensystem bekannt ist.

Nach dem Schweißen können in der gleichen Aufspannung noch optionale Bohrungen, konturierte Ausschnitte oder Kantenschnitte in die Bleche eingebracht werden. Dies steigert zusätzlich die Flexibilität der Fertigung und die wirtschaftlich herstellbare Variantenvielfalt. Diese nachfolgenden Ausschnitte können auch über die Schweißnaht hinweg ausgeführt werden und ergeben eine hochpräzise Komponente.

Für die Fertigung kleiner und mittlerer Losgrößen stellt die integrierte Fertigung von Tailored Blanks eine attraktive Alternative dar, zumal bei den Bearbeitungsgeschwindigkeiten insbesondere für den Zuschnitt auch aufgrund der inzwischen hervorragenden Strahlqualität von CO₂- und Festkörperlasern signifikante Fortschritte für Feibleche erzielt wurden.

Ansprechpartner

Dr. F. Schneider, Tel.: -426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de

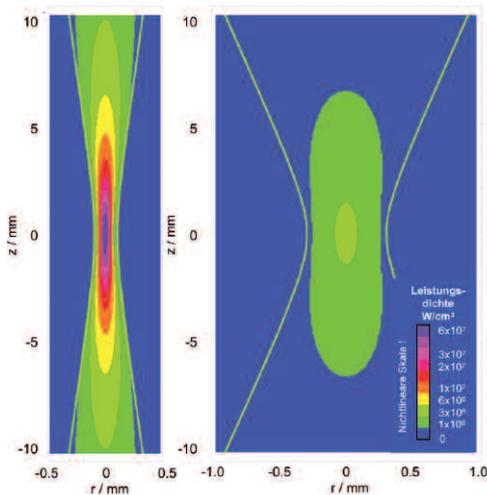


Zuschneiden der Fügekanten und Verschweißen in unmittelbarer Folge.



Aufgabenstellung

Bei der Materialbearbeitung mit Festkörperlasern liegen abhängig von der eingesetzten Strahlquelle deutlich unterschiedliche Fokussierbedingungen vor. So ist die Strahlqualität der noch weit verbreiteten lampengepumpten Stablaser mit 600 μm Faserdurchmesser um mehr als den Faktor 10 schlechter als die von Faserlasern nach neuestem Stand der Technik mit einem Faserdurchmesser von 50 μm . Eine vergleichende Untersuchung soll klären, welchen Einfluss der Einsatz derart unterschiedlich großer Faserdurchmesser speziell auf die Kombibearbeitung hat.



Isophotenverlauf im Fokus von Faserlaser (links) und konventionellem Nd:YAG-Laser (rechts) bei prozesstechnisch vorgegebenen Randbedingungen an die Fokussierung.

Vorgehensweise

Für den Vergleich werden system- und prozesstechnisch sinnvolle Randbedingungen definiert, die in allen Versuchen mit den beiden Faserdurchmessern 50 und 600 μm einzuhalten sind (u. a. Rayleighlänge ≥ 2 mm, F-Zahl ≥ 5 , Laserstrahlleistung 4 kW, Düsenabstand Schneiden 1 mm, Düsenabstand Schweißen ≥ 6 mm, Arbeitsabstand Optik ≥ 200 mm, Bearbeitungsgeschwindigkeit 5 m/min).

Fokusslage und Düsenabstand beim Schneiden weisen im Vergleich zum Schweißen kleinere Prozessfenster auf. Daher wird ausgehend von den Einstellungen beim Schneiden der Spielraum für das Schweißen hinsichtlich Einschweißtiefe und Nahtformung bei Variation des Düsenabstandes ermittelt.

Ergebnisse und Anwendungen

Wie bei den spezialisierten Anwendungen zum Schneiden und Schweißen zeigt sich auch bei der Kombibearbeitung bei Verwendung des kleinen Faserdurchmessers von 50 μm und der damit verknüpften guten Strahlqualität, dass hohe Schweiß- und Schneidgeschwindigkeiten, teilweise bis zum Faktor 2 über dem bisherigen Stand, möglich sind, bzw. schlanke Nähte mit großen Einschweißtiefen erzeugt werden können.

Speziell die Kombibearbeitung aber profitiert von der schlanken Kaustik, die sich mit der 50 μm Faser erzeugen lässt, weil die Einstellung der gewünschten Nahtform und -tiefe durch Defokussierung in einem deutlich größeren Fenster möglich ist als bei geringerer Strahlqualität. Der Düsenabstand beim Schweißen, der damit in einem entsprechend großen Bereich variiert, hat nur einen geringen Einfluss auf den Prozess.

Die Versuche weisen nutzbare Parameterfenster für die Kombibearbeitung aber auch mit lampengepumpten Lasern auf. Größere Flexibilität und ein breiteres Einsatzspektrum im Hinblick auf Geschwindigkeit, Qualität, Möglichkeiten der Nahtformung etc. werden aber mit moderneren Strahlquellen wie Faser- oder Scheibenlasern erreicht.

Ansprechpartner

Dr. F. Schneider, Tel.: -426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de
Dr. D. Petring, Tel.: -210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Thermisch gespritzte Keramiksichten zeichnen sich durch hohe Verschleißfestigkeiten aus. Aufgrund der Restporosität (Bild oben) ist der Einsatz thermisch gespritzter Keramiksichten in korrosiven Umgebungen begrenzt. Durch Aufschmelzen der Oberfläche einer Cr₃C₂-NiCr-Schicht mit Laserstrahlung soll die Korrosionsbeständigkeit der keramischen Schichten erhöht werden. Problematisch bei der Laserbehandlung der Cr₃C₂-NiCr-Schicht ist die Entstehung von Rissen aufgrund der hohen Sprödigkeit keramischer Werkstoffe.

Vorgehensweise

Die Verfahrensparameter werden an Flachproben aus einem Duplexstahl ermittelt. Die Dicke des Grundwerkstoffs aus Duplexstahl beträgt 5 mm und die Dicke der Cr₃C₂-NiCr-Schicht 70 µm bis 90 µm. Verwendet wird Nd:YAG-Laserstrahlung mit einem Strahldurchmesser von 400 µm. Angepasst werden die Vorwärmtemperatur, die Laserleistung, die Vorschubgeschwindigkeit und der Spurversatz.

Ergebnisse und Anwendungen

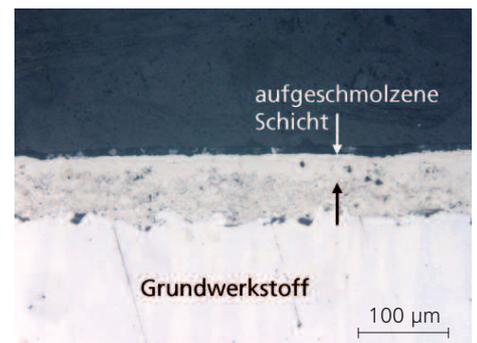
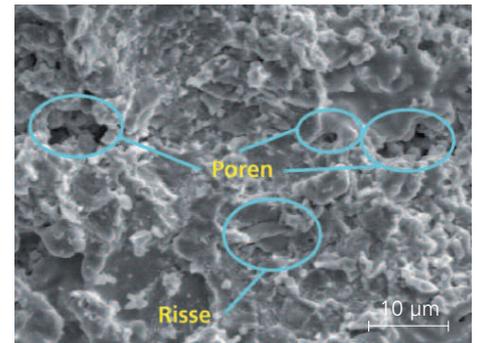
Für die Bearbeitung bei Raumtemperatur wird eine Aufschmelzung der Cr₃C₂-NiCr-Schicht mit einer Schmelztiefe bis zu 20 µm erreicht. Bei allen Parametern kann jedoch eine Rissbildung in der aufgeschmolzenen Schicht nicht vermieden werden.

Das Bild unten zeigt einen Querschnitt einer laserstrahlbehandelten Cr₃C₂-NiCr-Schicht. Durch geeignete Wahl der Verfahrensparameter wird durch Verringerung der thermischen Spannungen eine rissfreie Aufschmelzung der Schicht erzielt. Die Einschmelztiefe beträgt 25 µm.

Wirtschaftlich interessant ist der Einsatz von thermisch gespritzten Cr₃C₂-NiCr-Schichten z. B. für Funktionsflächen in Hochdruckpumpen zur Meerwasseraufbereitung.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. D. Maischner, Tel.: -361
dora.maischner@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de

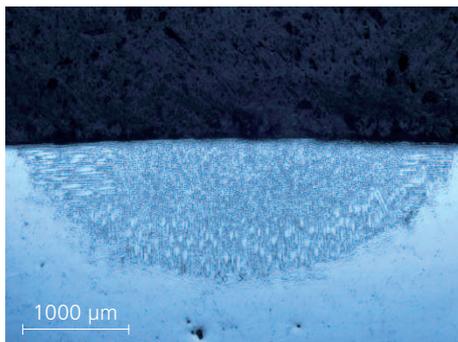


Oben: REM-Aufnahme der Oberfläche einer unbehandelten Cr₃C₂-NiCr-Schicht.
Unten: OM-Aufnahme des Querschliffs einer laserstrahlbehandelten Cr₃C₂-NiCr-Schicht.



Aufgabenstellung

Zur Instandsetzung beschädigter Bereiche einkristallin erstarrter Turbinenschaufeln soll ein Reparaturverfahren entwickelt werden, mit dem eine einkristallin erstarrte Reparaturumschmelzung ermöglicht wird. Bei dem Verfahren sollen Risse in der Schaufelplattform, dem Schaufelübergangsradius oder dem Schaufelblatt durch Umschmelzen beseitigt werden unter Beibehaltung der einkristallinen Struktur. Die umgeschmolzenen Bereiche müssen poren- und rissfrei sein und über die gesamte Länge ein gleichmäßiges, einkristallines Dendritenwachstum aufweisen.



Oben: Querschnitt einer umgeschmolzenen Spur mit einkristalliner Struktur.

Unten: Querschnitt zweier überlappender Spuren mit einkristalliner Struktur.

Vorgehensweise

Zunächst wird eine geeignete Anlagentechnik mit Laserstrahlquelle, Optik und Handhabungssystem bereitgestellt. Besondere Herausforderung ist die anlagentechnische Schutzgasführung zur Vermeidung von Oxidation. Um die Oberfläche vor Oxidation zu schützen, werden die Flachproben in einer mit dem Schutzgas Argon gefluteten Prozesskammer umgeschmolzen. Im ersten Schritt werden die Umschmelzeigenschaften Umschmelztiefe, Umschmelzbreite und Dendritenwachstum in Abhängigkeit der Verfahrensparameter, z. B. Laserleistung, Strahlgeometrie und Vorschubgeschwindigkeit, zur Ermittlung geeigneter Parameter untersucht. Das Laserstrahlumschmelzen erfolgt dabei an Flachproben.

Ergebnisse und Anwendungen

Durch die Wahl geeigneter Verfahrensparameter konnte erfolgreich eine Umschmelzzone mit einkristalliner Struktur realisiert werden. Anschließend wurde eine Fläche mit einer Überlappstrategie umgeschmolzen. Ein weiteres Ergebnis des Projekts war die Umsetzung einer speziellen Prozessregelung. Dadurch konnte eine für die Schaufelreparatur relevante Umschmelztiefe realisiert werden.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen soll das Randschichtumschmelzen mit Laserstrahlung an weiteren Probengeometrien und an ganzen Turbinenschaufeln untersucht werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Bernd Burbaum, Tel.: -535
bernd.burbaum@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. Torsten Jambor, Tel.: -193
torsten.jambor@ilt.fraunhofer.de
Dr. Konrad Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Titan und Titanlegierungen wie z. B. TiAl6V4 lassen sich mit konventionellen spanenden Verfahren nur mit großem Aufwand polieren, da der Werkstoff bei der mechanischen Bearbeitung »schmiert«. Im Rahmen des Projektes »LaserFinish« wird u. a. die Politur von Titanbauteilen mit gepulster Laserstrahlung untersucht. Die Bauteile sollen insbesondere in blutführenden Implantaten für die Humanmedizin Verwendung finden. Die wesentlichen Anforderungen an die Oberfläche sind:

- Reduzierung der Reibung der Blutbestandteile an der Oberfläche zur Reduzierung bzw. Vermeidung von Blutschädigungen.
- Vermeidung des Anhaftens von Blutbestandteilen an der Oberfläche zur Vermeidung von Thrombosenbildung.

Vorgehensweise

Anhand von Flachproben wurden geeignete Verfahrensparameter für das Laserstrahlpolieren des Titanwerkstoffes TiAl6V4 bestimmt. Zur Politur kompletter dreidimensionaler Bauteile sind Bearbeitungsstrategien für das Polieren entwickelt und deren Geometrie programmiert worden. Das Bewerten der Oberflächen erfolgt mittels Weißlichtinterferometrie, Lichtmikroskopie und Rasterelektronenmikroskopie. Die Funktionsprüfung der Bauteile erfolgt durch den Projektpartner.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Rauheit der gefrästen Titanoberflächen lässt sich derzeit von $Ra = 0,25 \mu\text{m}$ auf $Ra = 0,08 \mu\text{m}$ reduzieren. Die Bearbeitungsdauer beträgt dabei $3,3 \text{ s/cm}^2$.

Bei konventionellen Schleif- und Polierverfahren können Riefen und durch nachfolgende Schleifschritte »zugeschmierte« Oberflächendefekte entstehen. Hier können sich Reste des Schleifmittels, Bakterien und sonstige Verunreinigungen festsetzen. Beim Laserstrahlpolieren erstarrt die Oberfläche aus der Schmelze. Kratzer mit scharfen Kanten, zugeschmierte Schleifriefen und Hinterschneidungen treten nicht auf. Mikroskopisch betrachtet ist die Oberfläche daher »defektfrei« und bietet eine besonders gute Biokompatibilität.

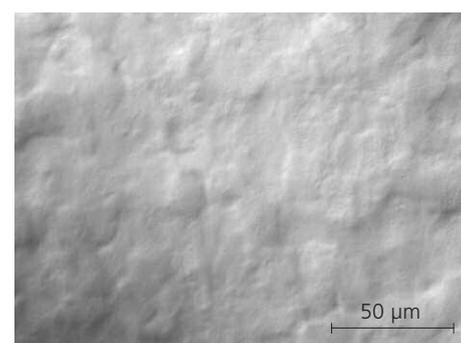
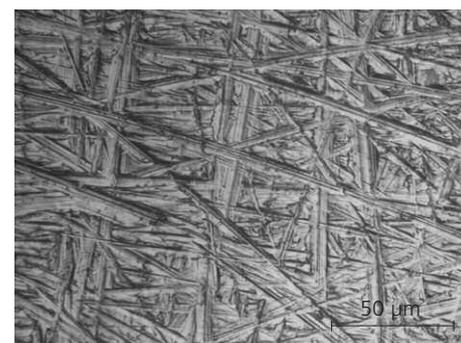
Die Geometrie eines Titanbauteils konnte in 11 Teilflächen komplett poliert werden. Die Bearbeitungsdauer beträgt 2 min. Ansätze zwischen den nacheinander polierten Teilflächen, z. B. zwischen Flügel und Zylinder, sind nicht sichtbar. Im weiteren Projektverlauf werden die Eigenschaften der laserstrahlpolierten Oberflächen und Bauteile durch den Projektpartner näher charakterisiert.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. S. Hack, Tel.: -299
sebastian.hack@ilt.fraunhofer.de
Dr. E. Willenborg, Tel.: -213
edgar.willenborg@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Implantate aus Titan, rechts: Ausgangszustand, links: poliert mit Laserstrahlung.
Mitte: Ausgangszustand, gefräst.
Unten: Poliert mit Laserstrahlung.



Aufgabenstellung

Das Laserstrahlreinigen ist ein abtragendes Verfahren, bei dem Abtragprodukte in Form von Gasen und Partikeln anfallen. Die gezielte und vollständige Erfassung der Abtragprodukte mit angepasster Absaugtechnik ist eine wichtige Voraussetzung für eine hohe Effizienz des Prozesses, hohe Oberflächenreinheit sowie die Arbeitsplatzhygiene und den Schutz der Optiken vor Verschmutzung. Zur Realisierung hoher Flächenraten geht die Tendenz insbesondere beim Reinigen mit gütegeschalteten Nd:YAG-Lasern zu größeren Laserleistungen (> 500 W). Dadurch verschärft sich das Problem der Erfassung der Abtragprodukte, da pro Zeit immer größere Mengen an Abtragprodukten entstehen. Das Ziel ist daher, geeignete Methoden zu entwickeln, mit denen das Abströmverhalten beim Laserstrahlreinigen analysiert werden kann, um so den Erfassungsgrad der Abtragprodukte mit geeigneter Absaugtechnik, insbesondere die Düsengeometrie und -anordnung zu erhöhen.

Vorgehensweise

Zur Analyse der hochdynamischen Abströmprozesse wurde ein System zur Visualisierung mittels Hochgeschwindigkeitsvideographie (4.500 Bilder/s) aufgebaut. Um das Prozessleuchten auszublenken, werden besondere Anforderungen an die Beleuchtungs- und Filtertechnik gestellt. Als geeignet hat sich die Beleuchtung mit einem Diodenlaser in Kombination mit einem Bandpassfilter erwiesen. Die Strahlung wird so geformt, dass in der Beobachtungsebene eine Art »Lichtschnitt« entsteht, so dass das Abströmverhalten in einer Ebene mit einer Tiefe von ca.

1 mm beobachtet wird. Durch die Auswertung von Einzelbildern und Bildsequenzen werden quantitative Aussagen zur Hauptabströmrichtung sowie Geschwindigkeit und Richtung einzelner Partikel unter verschiedenen Versuchsbedingungen gewonnen.

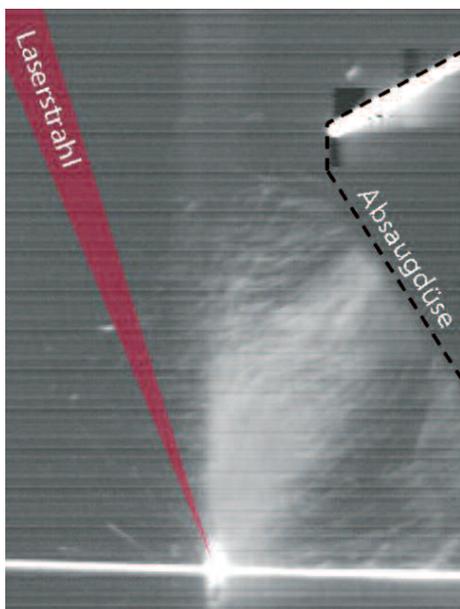
Ergebnisse und Anwendungen

Ohne Absaugung (Bild oben) ist die dominante Abströmrichtung nahezu senkrecht zur Oberfläche. Über eine lange Strecke findet eine Wechselwirkung der Laserstrahlung mit den Abtragprodukten statt, daraus resultiert eine schlechte Prozesseffizienz. Die Geschwindigkeit der Partikel reicht bis zu 90 m/s. Durch eine geeignete Anordnung der einfallenden Laserstrahlung und der Absaugdüse (Bild unten) wird die Wechselwirkung reduziert und eine nahezu vollständige Erfassung der Abtragprodukte erreicht. Dadurch wird sowohl die Prozesseffizienz verbessert, als auch die Verschmutzung des Schutzglases wirksam verhindert.

In weiteren Arbeiten soll die sehr zeitaufwendige manuelle Auswertung der Bildsequenzen automatisiert werden.

Ansprechpartner

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



Oben: Freies Abströmen ohne Absaugung.
Unten: Abtragprozess mit geeigneter Absaugung.



Aufgabenstellung

Neben dem Gefüge und der chemischen Zusammensetzung hat die Topographie entscheidenden Einfluss auf die Funktionseigenschaften der Oberfläche.

Das Strukturieren durch Umschmelzen mit Laserstrahlung ist ein vollständig neues Verfahren. Insbesondere in Kombination mit dem am Fraunhofer ILT entwickelten Laserstrahlpolieren, welches ebenfalls ein umschmelzendes Verfahren ist, können sich erhebliche Synergieeffekte ergeben, da in einem einzigen Prozessschritt gleichzeitig poliert und strukturiert werden kann (Bild oben).

Die Strukturierung der Oberfläche wird durch eine Materialumverteilung in der schmelzflüssigen Phase realisiert. Die resultierende Topographie ergibt sich aus der Kinematik der Dreiphasenlinie, die sich beispielsweise durch eine Modulation der Laserleistung beeinflussen lässt. Das Randschichtumschmelzen mit Laserstrahlung stellt mathematisch ein freies Randwertproblem dar. Auf der Basis einer selbstkonsistenten, numerischen Lösung soll ein vertieftes Prozessverständnis erarbeitet werden, um damit Hinweise für eine verbesserte Prozessführung abzuleiten.

Vorgehensweise

Die Lösung für das freie Randwertproblem beinhaltet die selbstkonsistente miteinander gekoppelte Berechnung der Temperaturverteilung und der Marangoni-Strömung und der für die Oberflächenstrukturbildung wichtigen Dynamik der freien Phasenumwandlungsfreund Schmelzbadoberfläche.

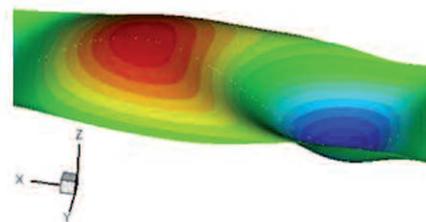
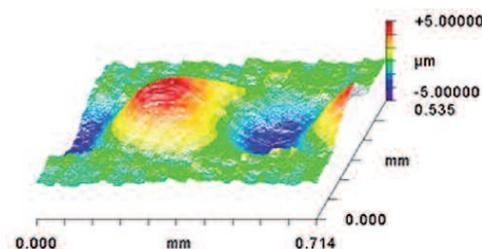
Dazu wurde ein Modell erstellt, das die Druckbilanzgleichung für die Berechnung der Geometrie der Schmelzbadoberfläche, eine Bilanzgleichung für das Schmelzvolumen und eine Kopplung zwischen der Deformation der Schmelzbadoberfläche und der Kinematik der Dreiphasenlinie entlang der Erstarrungsfront berücksichtigt.

Ergebnisse und Anwendungen

Der Vergleich mit experimentellen Ergebnissen an Einzelspuren zeigt eine gute Übereinstimmung hinsichtlich der resultierenden Oberflächentopographie (Bild unten). Die Oberflächenstrukturierung wurde durch eine harmonische Modulation der Laserleistung erzeugt. Mit dem Modell sollen der Einfluss-Wirk-Zusammenhang zwischen den Verfahrensparametern und der resultierenden Oberflächentopographie und damit die Prozessgrenzen zunächst für Einzelspuren ermittelt werden. Darüber hinaus sollen in einer Modellerweiterung die möglichen Oberflächenstrukturen rechnerisch bestimmt werden, die durch Überlappbearbeitung von Einzelspuren generiert werden können.

Ansprechpartner

Dr. N. Pirch, Tel.: -403
 norbert.pirch@ilt.fraunhofer.de
 Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
 konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Oberflächentopographie einer mit Laserstrahlung strukturierten und polierten Stahloberfläche (15 * 15 mm²).
Unten: Vergleich Oberflächentopographie einer Einzelspur, experimentell (oben), berechnet (unten) in einer 3-D-Isoplethendarstellung.

Aufgabenstellung

Ein vorrangiges Ziel der Werkzeugbauindustrie für den Spritz- und Druckguss ist die Entwicklung von Werkzeugen mit immer komplexeren Anforderungsprofilen und verbesserten Funktionseigenschaften. In vielen Fällen kann dies nicht mehr mit einem homogenen Werkstoff realisiert werden. Ein Lösungsansatz sind Gradientenwerkstoffe, bei denen durch Variation der chemischen Zusammensetzung verschiedene Eigenschaften, wie z. B. Korrosions- und Verschleißbeständigkeit oder Zähigkeit und Festigkeit, miteinander kombiniert werden.

Ziel ist, die Eigenschaften so aufeinander abzustimmen, dass die Standzeiten der Werkzeuge erhöht und die Zykluszeit für die Herstellung von Kunststoff- oder Aluminium-Bauteilen reduziert werden.

Vorgehensweise

Zwei verschiedene Ansätze zur Herstellung der Gradientenschichten werden verfolgt:

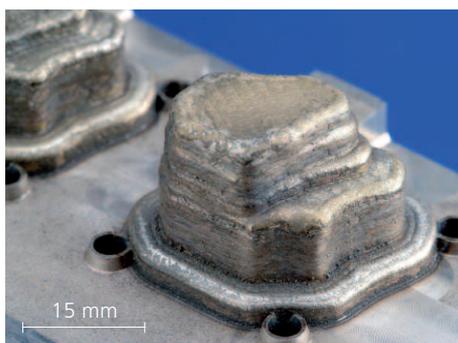
- Laserstrahl-Auftragschweißen von Gradientenschichten auf einem Rohling.
- Laserstrahl-Generieren von kompletten Werkzeugeinsätzen mit gradiertem Aufbau.

Ergebnisse und Anwendungen

Formkerne in Spritzgießwerkzeugen müssen die Wärme aus dem Kunststoff rasch abführen, um die Zykluszeit klein zu halten und eine gute Entformbarkeit zu gewährleisten. Ein geeigneter Werkstoff hierfür ist Kupfer, dessen Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit ist jedoch für die meisten Anwendungen ungenügend. Das Bild oben zeigt den Rohling und einen fertig bearbeiteten Formkern, der mit einer gradierten Schicht auf Stahlbasis beschichtet wurde. Feldversuche zeigen, dass dieser Formkern im Vergleich zu Formkernen aus Werkzeugstahl nach dem Spritzvorgang rascher abkühlt, wodurch die Entformbarkeit verbessert wird. Die Gradientenbeschichtung sorgt für eine dem Werkzeugstahl vergleichbare Verschleißbeständigkeit. Das Bild unten zeigt gradierte Werkzeugeinsätze für ein Druckgießwerkzeug, hergestellt durch Laserstrahlgenerieren. Der Kern wurde aus einem zähen Edelstahl aufgebaut, die Hülle besteht aus einer verschleiß- und korrosionsbeständigen Stahllegierung. Ziel ist, die Brandrissgefahr durch Kombination von Zähigkeit und Festigkeit im Volumen zu vermindern. Die Werkzeugeinsätze befinden sich derzeit im Test.

Ansprechpartner

Dr. A. Weisheit, Tel.: -403
andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Formkerne eines Spritzgießwerkzeuges. Links: Rohling, rechts: fertig bearbeitetes Teil.
Unten: Laserstrahlgenerierter Werkzeugeinsatz.



Aufgabenstellung

Für das Laserstrahl-Auftragschweißen mit pulverförmigem Zusatzwerkstoff sollen verfahrenstechnische Grundlagen entwickelt werden, um die Herstellung von Strukturgrößen $< 100 \mu\text{m}$ zu ermöglichen. Durch den präzisen Werkstoffauftrag sollen Bauteiloberflächen von Mikrobautteilen durch artgleichen Materialauftrag repariert oder durch artfremden Materialauftrag selektiv modifiziert werden (Beschichtung, Dispersion). Mit ausgewählten Parametern werden 2-D- und 3-D-Funktionsflächen auf Bauteilen aus den Bereichen Werkzeug- und Formenbau, Elektro- und Medizintechnik hergestellt. Die reparierten oder modifizierten Flächen werden durch die Projektpartner bezüglich ihrer Weiterarbeitbarkeit und Funktionseigenschaften untersucht und bewertet.

Vorgehensweise

Um die geforderten Strukturgrößen zu erreichen, werden »continuous wave« Faserlaser und gepulste Nd:YAG-Laser eingesetzt. Die Pulvergasführung wird für die Förderung von pulverförmigen Zusatzwerkstoffen mit Kornfraktionen $< 20 \mu\text{m}$ weiterentwickelt. Durch Anpassung bestehender Koaxialdüsen soll der Pulverwirkungsgrad erhöht werden. Bei den experimentellen Untersuchungen werden die Zusammenhänge zwischen den Verfahrensparametern Laserleistung, Strahldurchmesser, Vorschubgeschwindigkeit, Pulvermassenstrom und Pulverpartikelgröße und dem Bearbeitungsergebnis untersucht.

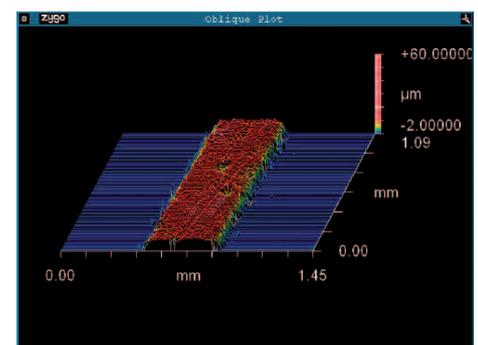
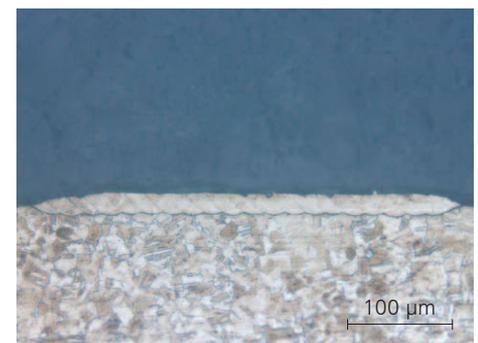
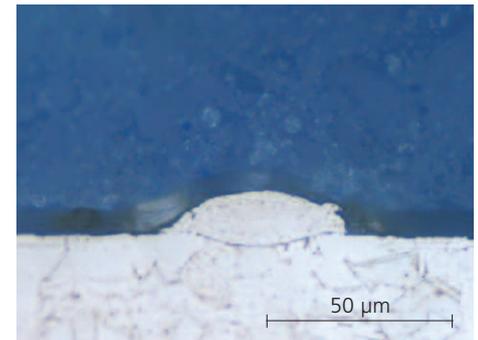
Grundlegende Untersuchungen werden mit den Zusatzwerkstoffen 1.2343 und 316L auf Stahl durchgeführt. Parallel werden Parameterfenster für Nickelbasis- und Kobaltbasislegierungen, Titan sowie für die Edelmetalle Gold und Silber ermittelt.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit der angepassten Koaxialdüse lassen sich Pulverfokussdurchmesser $< 200 \mu\text{m}$ realisieren, wodurch der Pulverwirkungsgrad gegenüber herkömmlichen Pulverzufuhrdüsen um den Faktor 2 verbessert wird. Durch die Verwendung von Metallpulvern mit Partikeldurchmessern $< 20 \mu\text{m}$ kann die Auflösung der Strukturen um den Faktor 3 bis 5 gegenüber dem Stand der Technik verkleinert werden. Im oberen Bild ist beispielhaft eine Einzelspur aus 316L mit einer Spurbreite von etwa $45 \mu\text{m}$ und einer Spurbhöhe von $10 \mu\text{m}$ dargestellt. Durch das Nebeneinanderlegen von Einzelspuren lassen sich flächige Beschichtungen herstellen (Bild Mitte und unten). Die Schicht besteht aus 20 Einzelspuren und weist eine Schichthöhe von $10 \mu\text{m}$ auf.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. T. Jambor, Tel.: -193
torsten.jambor@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: Querschliff Einzelspur aus 316L auf Edelstahl.
Mitte: Querschliff einer Fläche aus 316L auf Edelstahl bestehend aus 20 Einzelspuren.
Unten: Oberflächentopographie einer Fläche aus 316L auf Edelstahl bestehend aus 20 Einzelspuren.



Aufgabenstellung

Diodenlaserbarren werden zur Abfuhr der im Laserbetrieb entstehenden Wärme durch Mikrokanalwärmesenken (MKWS) aktiv gekühlt. Die MKWS bestehen derzeit aus Kupfer mit einer inneren wasserführenden Mikrostruktur. Die Lebensdauer der Diodenlaserbarren wird häufig durch Korrosion der MKWS begrenzt. Deshalb wird die Herstellung der MKWS aus einem korrosionsbeständigen Werkstoff gefordert. Ein Lösungsansatz ist die generative Fertigung der MKWS aus einer korrosionsbeständigen Nickel-Legierung mit dem Selective Laser Melting (SLM). Die gegenüber Kupfer geringere Wärmeleitfähigkeit des Ni-Werkstoffs soll durch eine bezüglich des Wärmeübergangs effektivere innere Mikrostruktur ausgeglichen werden. Dazu ist die Entwicklung der SLM-Prozessführung zur Herstellung von Strukturgrößen von ca. 100 μm erforderlich.

Vorgehensweise

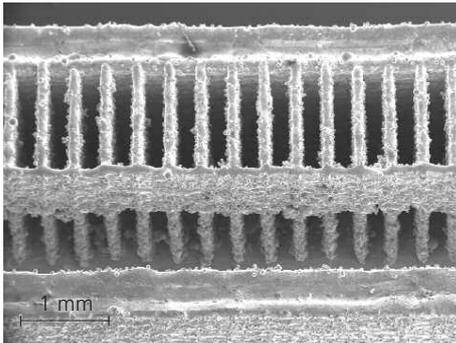
Beim SLM wird die Größe der herstellbaren Struktur durch den Durchmesser der fokussierten Laserstrahlung bestimmt. Für den SLM Prozess wird bisher ein diodengepumpter Festkörperlaser mit einem Strahldurchmesser im Fokus von 200 μm eingesetzt. Für den Aufbau von Mikrostrukturen wird ein Faserlaser verwendet. Aufgrund der höheren Strahlqualität wird damit bei sonst gleichen optischen Randbedingungen ein Strahldurchmesser im Fokus von 70 μm erreicht. Die SLM-Verfahrensparameter werden an den verkleinerten Strahldurchmesser so angepasst, dass die hergestellten Bauteile eine Dichte von ca. 100 % aufweisen. Zusätzlich wird eine geeignete Prozessführung und Scanstrategie für die Herstellung der Mikrostrukturen erarbeitet.

Ergebnisse und Anwendungen

Durch die Verkleinerung des Strahldurchmessers und die daran angepasste Prozessführung kann die mit dem SLM Verfahren kleinste herstellbare Strukturgröße (Stegbreite) von ca. 300 μm auf ca. 100 μm reduziert werden, was für die Realisierung der inneren Mikrostruktur von MKWS ausreichend ist. MKWS mit den äußeren Abmessungen von 1,2 mm x 12 mm x 26 mm und einer inneren Mikrostruktur, bestehend aus wasserführenden Kanälen der Breite von 250 μm bzw. 150 μm und Stegen zwischen den Kanälen von 100 μm , können mit dem SLM Verfahren aufgebaut werden. Das innerhalb der Mikrostruktur während des Aufbaus verbleibende Pulver kann problemlos mit Pressluft entfernt werden. Der Wasserdurchfluss beträgt je nach Geometrie der inneren Mikrostruktur bis zu 1,2 l/min bei einem Druck von 1,5 bar. Mit der SLM Anlage können ca. 50 MKWS der oben genannten Abmessungen gleichzeitig aufgebaut werden.

Ansprechpartner

Dr. W. Meiners, Tel.: -301
wilhelm.meiners@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



REM Aufnahme der mit SLM hergestellten Mikrostruktur einer Mikrokanalwärmesenke.



Aufgabenstellung

Das generative Fertigungsverfahren »Selektives Laserschmelzen« bietet die Möglichkeit, komplexe dreidimensionale Bauteile in sehr kurzer Zeit schichtweise aus einem pulverförmigen Ausgangswerkstoff herzustellen. Für viele metallische Serienwerkstoffe ist dieses Verfahren bereits im industriellen Einsatz.

Zurzeit wird am Fraunhofer ILT das Selektive Laserschmelzen für die Verarbeitung keramischer Werkstoffe weiterentwickelt. Ziel ist die Erarbeitung eines Verfahrens, mit dem Bauteile aus hochfester Oxidkeramik mit großer Genauigkeit generativ gefertigt werden können.

Vorgehensweise

Verschiedene Verfahrensansätze werden verfolgt, darunter das direkte Schmelzen von Keramikpulver, ein Reaktionsinterverfahren sowie ein Verfahren, bei dem ein Verbundwerkstoff aus Keramik und Glas mit dem Laserschmelzen verarbeitet wird. Vielversprechende Ergebnisse liefert der erstgenannte Ansatz, der auf vollständigem Schmelzen rein keramischen Pulvers basiert. Durch die Verwendung flexibel modifizierbarer Versuchsanlagen in Verbindung mit unterschiedlichen Laserstrahlquellen wird die Technologie an die speziellen Anforderungen der keramischen Materialien angepasst.

Ergebnisse und Anwendungen

Unter Verwendung eines Zirkonoxid (ZrO_2)-basierten Materials wird eine sehr hohe Bauteildichte von über 98 %, d. h. ein annähernd porenfreies Gefüge erreicht. Die auf den Bildern gezeigten Demonstrationsbauteile weisen eine Genauigkeit von besser als $\pm 0,2$ mm und eine gute Oberflächenqualität ($R_z < 60 \mu m$) auf. Auch Spinelkeramik ($MgAl_2O_4$) und Aluminiumoxid (Al_2O_3) lassen sich prinzipiell durch Laserschmelzen verarbeiten. Bei bisher allen verwendeten Materialien sind jedoch feine Risse im Gefüge zu beobachten, die die Festigkeit limitieren. Ein Ansatz zur Beseitigung dieser Rissproblematik ist die Vorwärmung der Bauplattform und die Erwärmung des Bauteils während des gesamten Aufbauprozesses zur Reduzierung der thermisch induzierten Spannungen. Vorwärmtemperaturen bis $900^\circ C$ sind bereits realisiert worden, eine Anlage für noch deutlich höhere Temperaturen wird zurzeit entwickelt. Auch die nachträgliche Glasinfiltration hergestellter Keramikkörper wird als Alternative untersucht.

Eine potenzielle Anwendung ist z. B. die Herstellung von Formschalen für den Feinguss. Sobald eine ausreichende Festigkeit erreicht werden kann, ist die Fertigung von vollkeramischem Zahnersatz, z. B. aus Zirkonoxid-Keramik, eine interessante Anwendung.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. J. Wilkes, Tel.: -361
jan.wilkes@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de

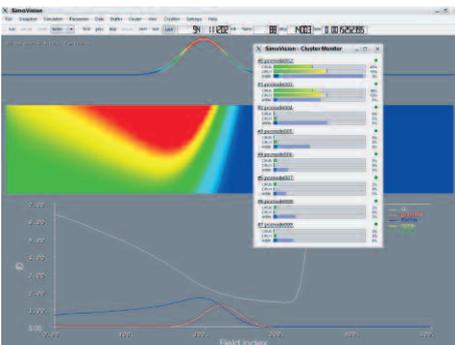


Oben: Mit dem Selektiven Laserschmelzen hergestelltes Demonstrationsbauteil aus ZrO_2 -basierter Keramik.
Unten: Demonstratoren für eine vollkeramische Dentalrestauration aus ZrO_2 -basierter Keramik.



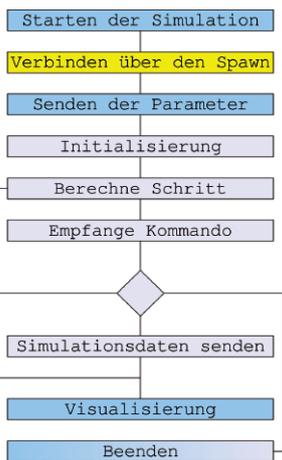
Aufgabenstellung

Komplexe Simulationsrechnungen werden auf mehrere leistungsstarke Computer verteilt. Die Steuerung der Berechnung sowie die Visualisierung der Ergebnisse in Echtzeit werden mit einem »Computational Steering Systems (CSS)« durchgeführt. Die internen Schnittstellen zur Kommunikation mit der Benutzeroberfläche (GUI) sind mit kleinem Wartungsaufwand in bestehende Simulationen integrierbar. Das CSS-System wird so gestaltet, dass die Entwicklungszeit von Simulationen mit unterschiedlichen Modellstrukturen verkleinert wird.



Oben: GUI des Computational Steering Systems zur Visualisierung der Temperatur.

Unten: Flussdiagramm des Computational Steering System (CSS). CSS hellblau, Simulation blaugrau, Spawn hellgelb.



Vorgehensweise

Das CSS-System nutzt eine »Client-Server-Spawn« Architektur, wobei die Kommunikation mit Hilfe des »Message Passing Interface (MPI)« erfolgt. Hierdurch werden von der GUI (Client) Simulationen (Server) gestartet und über einen Hilfsprozess (Spawn) mit bereits laufenden Simulationen verbunden. Steuerkommandos, wie das Anhalten oder Beenden der Simulation sowie der Austausch von Parameter- und Berechnungsdaten, werden durch ein geeignetes Protokoll implementiert. Das Protokoll ist in einer eigenständigen Bibliothek gekapselt, womit das Einbinden in bestehende sowie das Erstellen neuer Programme vereinfacht wird. Der Datenaustausch mit der GUI erfolgt mit Hilfe von assoziativen Arrays und funktioniert für unterschiedliche Programme nach dergleichen Vorgehensweise. Daten zur Programmsteuerung und Eingabemasken für die Parameter

werden im XML-Format angelegt. Da für unterschiedliche Simulationen verschiedene Visualisierungen benötigt werden, basieren diese auf Plugins, die das auf OpenGL aufbauende »Visualization Toolkit (VTK)« anwenden.

Ergebnisse und Anwendungen

Das CSS-System wird zur Berechnung der Schmelzströmung und des Wärmetransports angewendet. Komplexe Simulationsaufgaben werden aus vorhandenen und erprobten Modulen zusammengesetzt. Mit dem entwickelten »Computational Steering System« steht ein Werkzeug bereit, um neue parallelisierte Simulationsprogramme inklusive Visualisierung nach dem Baukastenprinzip anzufertigen. Dieses Vorgehen verkürzt die Entwicklungszeiten von neuen Simulationsprogrammen und unterstützt die Analyse von Varianten der Modellstruktur.

Ansprechpartner

U. Jansen, Tel.: -163
ulrich.jansen@ilt.fraunhofer.de
Dr. M. Nießen, Tel.: -307
markus.niessen@ilt.fraunhofer.de
Prof. W. Schulz, Tel.: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Durch die zunehmende Miniaturisierung ist die Lasertechnik heute aus der Fertigung mikrotechnischer Bauteile und Baugruppen nicht mehr wegzudenken. Steigende Qualitätsvorgaben stellen nicht nur immer höhere Anforderungen an die Prozesstechnik, sondern erfordern auch qualitätssichernde Maßnahmen, die die zuverlässige Erkennung von Prozessfehlern ermöglichen. Deshalb werden häufig dem eigentlichen Prozess nachgelagerte Prüfungen der Schweißqualität («Post-Process») durchgeführt. Eine nachgelagerte hundertprozentige Prüfung ist jedoch in der Regel mit erheblichem Aufwand verbunden und beschränkt sich oft auf Oberflächenfehler. Daher besteht die Forderung nach einer zuverlässigen Möglichkeit zur online Detektion von Schweißfehlern durch sogenannte »In-Process«-Kontrolle.

Vorgehensweise

Das vom Fraunhofer ILT entwickelte, kamerabasierte System zur koaxialen Prozesskontrolle (CPC) bietet die Möglichkeit, Mikroschweißprozesse ortsaufgelöst mit einer zeitlichen Auflösung von bis zu 10 kHz zu beobachten. Kernstück des Systems ist eine CMOS-Kamera, mit welcher der Schweißprozess koaxial zum Laserstrahl durch die Bearbeitungsoptik beobachtet wird. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, durch eine ebenfalls koaxiale Beleuchtung der Werkstückoberfläche mit einem Diodenlaser die Phasengrenze zwischen festem und aufgeschmolzenem Material zu detektieren. Dies erlaubt die Erkennung bestimmter physikalischer Zustände z. B. in Punktschweißprozessen, die sich mit Prozessfehlern korrelieren lassen.

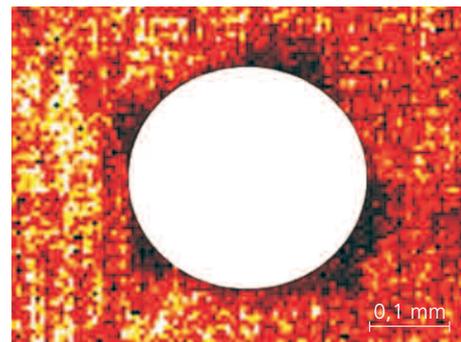
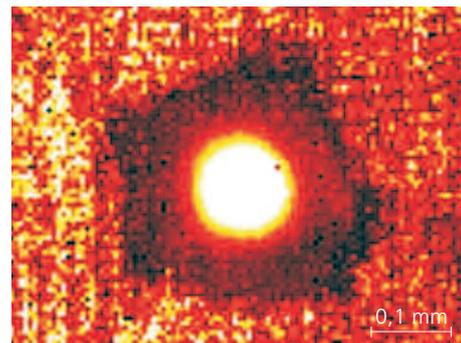
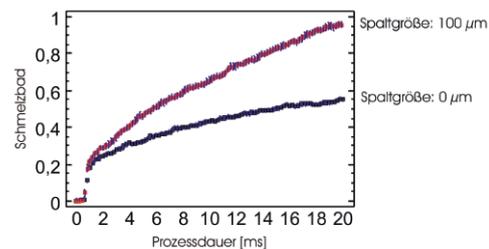
Ergebnisse und Anwendungen

Mit dieser Technik konnte gezeigt werden, dass Anbindungsfehler durch verdeckte Spalte beim Schweißen im Überlappstoß detektiert werden können. Dazu wird die Schmelzbadgröße während des Schweißprozesses kontinuierlich vermessen. Ein speziell entwickelter Algorithmus ermöglicht durch Abgleich der realen Schmelzbadkontur mit einer idealisierten, kreisförmigen Kontur eine robuste, echtzeitfähige Schmelzbadvermessung auch beim Auftreten von z. B. Spritzern.

Da durch einen Fügespalt sowohl die Druckverhältnisse im Keyhole als auch die Wärmeleitungsverhältnisse beeinflusst werden, können beim Auftreten eines solchen Spalts Unstetigkeiten in der Schmelzbadentwicklung detektiert werden. Die Methode bietet gegenüber konventionellen Verfahren den Vorteil, dass die Fehlererkennung anhand physikalischer Effekte und nicht durch Abgleich aufgenommener Signale mit Referenzen geschieht. Dadurch wird eine große Flexibilität und vielfältige Einsetzbarkeit gewährleistet.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. J. Gedicke, Tel.: -145
 jens.gedicke@ilt.fraunhofer.de
 Dipl.-Ing. B. Regaard, Tel.: -320
 boris.regaard@ilt.fraunhofer.de
 Dr. A. Gillner, Tel.: -148
 arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Schmelzbadentwicklung beim Schweißen von Edelstahlblechen im Überlappstoß mit und ohne Fügespalt.
Unten: Schmelzbadvermessung durch einpassen einer Kreiskontur in die erkannte Schmelzbadgeometrie.



Aufgabenstellung

Das Punkt- oder Punktnahtschweißen mit gepulster Laserstrahlung ist ein insbesondere in der Elektronikfertigung etabliertes Verfahren zum Fügen von Überlappverbindungen in der Serienproduktion. Die hohen Stückzahlen in dieser Branche (bis zu 10^8 p.a.) und die hohen Anforderungen an die Prozessfähigkeit ($Cpk \geq 1,67$) erfordern effiziente und zuverlässige Methoden der Prozessüberwachung. Die folgenden wichtigen Fehlergrößen wurden hierbei identifiziert:

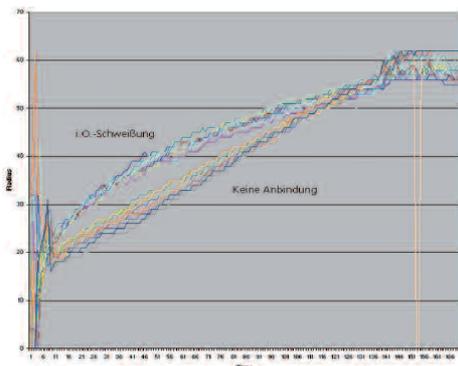
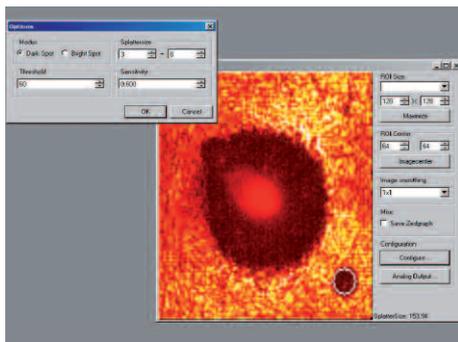
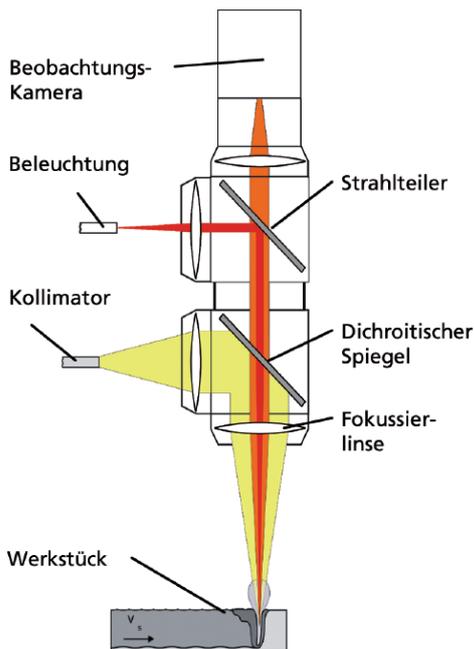
- Bindefehler, die zu einer Nichtkontaktierung elektrischer Bauteile führen.
- Spritzer, die zu einer Fehlkontaktierung führen können.

Ziel ist, Überwachungssysteme zur Detektion dieser Fehlergrößen bereitzustellen.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wurde ein Verfahren zur Prozessbeobachtung entwickelt, welches die fremdbeleuchtete Werkstückoberfläche koaxial zum Bearbeitungslaser mit einer Kamera beobachtet. Mit Frameraten von bis zu 7.000 Bildern pro Sekunde lassen sich damit das Schmelzbad sowie Spritzer außerhalb der Schmelzzone erfassen (s. Bild Mitte).

Oben: Optischer Aufbau für die zur Bearbeitungslaserstrahlung koaxiale Beleuchtung und Beobachtung der Werkstückoberfläche.
Mitte: Aufnahme eines Punktschweißprozesses mit koaxialer Fremdbeleuchtung. Ein Spritzer wird mit Hilfe von Bildverarbeitungsalgorithmen detektiert.
Unten: Entwicklung der Schmelzbadgröße eines Punktschweißprozesses. Bei fehlender Anbindung der Fügepartner verläuft die Aufschmelzung langsamer.



Zur Detektion von Spritzern wurde ein Algorithmus entwickelt, welcher »dunkle« runde Objekte auf der Oberflächenstruktur erkennt. Durch die Analyse aufeinanderfolgender Bilder können liegende und fliegende Spritzer unterschieden werden. Die Einschränkung der möglichen maximalen bzw. minimalen Spritzergröße und des Messbereichs reduziert die Pseudofehlerrate.

Die Detektion von Bindefehlern erfolgt durch die Analyse des Schmelzbades. Dessen Größe variiert im zeitlichen Verlauf einer Schweißung in Abhängigkeit von dem Spalt zwischen den Fügepartnern, so dass eine fehlende Anbindung durch Analyse des Schmelzbadgrößenverlaufs detektiert werden kann (s. Bild unten).

Ergebnisse und Anwendungen

Die Verfahren zur Erkennung von Bindefehlern und Spritzern können für Punktschweißanwendungen mit senkrechter Strahleinkopplung eingesetzt werden. Untersuchungen wurden bislang für Kupfer- und Stahlwerkstoffe bis 0,5 mm Dicke durchgeführt. Momentan wird das Verfahren für Anwendungen mit bewegter Optik (Scanner) weiterentwickelt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. B. Regaard, Tel.: -320
 boris.regaard@ilt.fraunhofer.de
 Dipl.-Ing. J. Gedicke, Tel.: -145
 jens.gedicke@ilt.fraunhofer.de
 Dr. S. Kaierle, Tel.: -212
 stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Der Einsatz fasergeführter Laserstrahlquellen höchster optischer Qualität in Kombination mit miniaturisierten Strahlführungs- und Strahlformungssystemen und visuellen Überwachungssystemen kleinster Bauform ermöglicht erstmals die Realisierung laserstrahlbasierter Greif- und Fügesysteme integriert in konventionelle Hochleistungsbestückungsanlagen der Aufbau- und Verbindungstechnik.

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 440 »Montage hybrider Mikrosysteme« wird eine miniaturisierte Scanner-Bearbeitungsoptik in den Dimensionen einer Streichholzschachtel mittels innovativer Scannerspiegel realisiert. Aufgrund der zu kommerziell erhältlichen Systemen deutlich reduzierten Dimensionen kann dieses System in hochdynamische Bestückungsanlagen integriert werden.

Vorgehensweise

Bei der Auslegung des Strahlengangs werden einerseits Randbedingungen berücksichtigt, die aus der Miniaturisierung des Gesamtsystems resultieren, wie z. B. Verfügbarkeit miniaturisierter Optiken, Intensitäten auf den Scannerspiegeln oder die Strahlführung und -formung verschiedener Wellenlängen (VIS, NIR, IR). Andererseits stellen die Laserstrahlprozesse Schweißen von Metallen und Schweißen von Kunststoffen zum Teil konträre Anforderungen an das Gesamtsystem, wie z. B. Abbildungsqualität, Intensitäten oder erforderliche Fokusgeometrien. Die Miniaturisierung von Scanneroptiken für die Mikromaterialbearbeitung wird

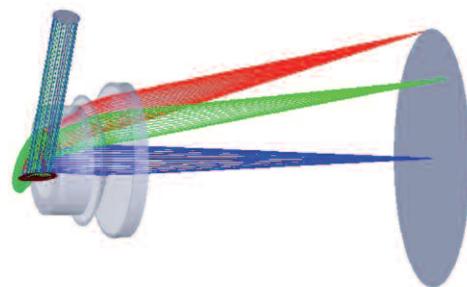
durch verfügbare optische Beschichtungen der eingesetzten Elemente sowie die Abmessungen der optischen Komponenten begrenzt. Daraus resultieren minimale Abmessungen für nutzbare Rohstrahldurchmesser.

Ergebnisse und Anwendungen

In einem ersten Schritt wurde das optische Gesamtsystem mittels Raytracing ausgelegt. Im Vergleich zu bereits entwickelten miniaturisierten Projektions-scannern stellen die für die Materialbearbeitung erforderliche Laserleistung sowie die hohe Auflösung im Bereich 1 μm bei gleichzeitig hoher numerischer Apertur eine besondere Herausforderung dar. Die Integration einer Fremdbeleuchtungsquelle zur kamerabasierten Prozessüberwachung mit kleinerer Wellenlänge als die Laserwellenlänge erfordert eine chromatische Korrektur des optischen Gesamtsystems. Die Reduzierung des Rohstrahldurchmessers bei minimalem Fokusdurchmesser bis 20 μm und einem für die Materialbearbeitung relevanten Arbeitsbereich von 30 x 30 mm^2 sowie einem Arbeitsabstand von 50 mm ist für die Auslegung des optischen Systems eine entscheidende Größe.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. F. Schmitt, Tel.: -322
felix.schmitt@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Raytracing der f-Theta-Fokussieroptik.
Unten: Kommerziell verfügbare Scanner im Vergleich zu den Dimensionen des Entwicklungsziels.



Aufgabenstellung

In den letzten Jahren hat sich das Laserstrahlschweißen von Kunststoffen für viele industrielle Anwendungen etabliert. Allerdings ist das Verfahren hinsichtlich Schweißnahtbreite und Bearbeitungsgeschwindigkeit begrenzt. Neue Entwicklungen der medizinischen und biotechnologischen Mikrosysteme haben die Anforderungen an das Laserstrahlschweißen von Kunststoffen weiterhin erhöht. Die Erweiterung des Materialspektrums in der Mikrosystemtechnik hin zu Kunststoff hat gleichzeitig neue Perspektiven und Anforderungen für innovative Konzepte und Methoden für das Laserstrahlschweißen von Kunststoffen gebracht.

Gefordert werden hier Fertigungsverfahren, die das sichere Fügen von Kunststoffen bei Geometrien von 100 µm ermöglichen. Auf der Basis eines Faserlasers und einer innovativen Bestrahlungsstrategie wurde hierfür ein neues Verfahren für das Laserstrahlschweißen von Kunststoffen entwickelt.

Vorgehensweise

Für die Versuche wird als Strahlquelle ein Faserlaser mit einer Wellenlänge von 1112 nm und einer maximalen Leistung von 9 W genutzt. Aufgrund ihrer hervorragenden Strahlqualität $M^2 < 1,1$ lässt sich ein Fokussdurchmesser von 30 µm für einen Arbeitsabstand von 100 mm realisieren.

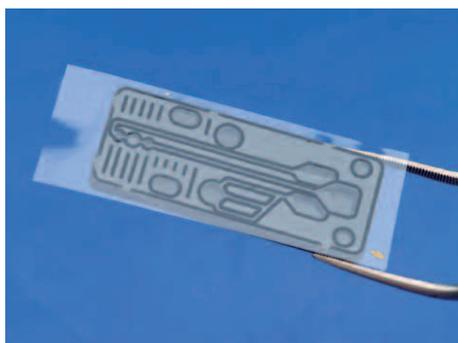
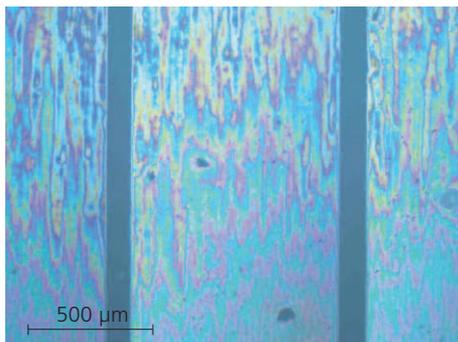
Die Anwendung einer innovativen Bestrahlungsstrategie für die Energieeintragsleistung ist erforderlich, da die Intensität des fokussierten Faserlaserstrahls (10^6 W/cm^2) im Vergleich zu den gewöhnlichen Werten für das Kunststoffschweißen (300 W/cm^2) deutlich höher ist. Durch Verwendung einer hochdynamischen schnellen Kreisbewegung entlang der Vorschubrichtung können Schweißnähte ohne Zersetzung des Materials auch bei großen Intensitäten erreicht werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Durch die neue Bestrahlungsstrategie und den Einsatz des Faserlasers können die Mikrofluidikbauteile aus PMMA und PC schon ab einer Laserleistung von 3,5 W und einer Bearbeitungsgeschwindigkeit von 2 m/min entlang der komplexen Schweißkontur versiegelt werden. Die Schweißnahtbreite ist kleiner 500 µm, und eine Taktzeit unter 6 s ist bei einer entsprechenden Skalierung der Prozessparameter zu erreichen. Bei den Polycarbonat-Proben sind Schweißnähte mit einem guten optischen Erscheinungsbild bei einer Leistung von 8 W und einer Vorschubgeschwindigkeit von 18 m/min zu realisieren. Die Schweißnahtbreite lässt sich bis zu 100 µm reduzieren. Das entwickelte Verfahren hat ein großes Potenzial für die Serienfertigung von Mikrofluidikbauteilen.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. A. L. Boglea, Tel.: -217
andrei.boglea@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Lichtmikroskopaufnahme zweier 120 µm breiter Schweißnähte einer Probe aus Polycarbonat.
Unten: Verschweißtes Mikrofluidikbauteil aus PMMA mit komplexer Kanalstruktur.



Aufgabenstellung

Thermoplastische Kunststoffe weisen in der Regel im sichtbaren und nahinfraroten Spektralbereich eine geringe Absorption auf. Dabei sind die Kunststoffe im unmodifizierten Zustand optisch transparent oder transluzent. Beim Laserstrahltransmissionsschweißen dieser Bauteile liegt eine Herausforderung darin, über eine geeignete Pigmentierung zu gewährleisten, dass die Strahlung durch einen der beiden Fügepartner transmittiert und im zweiten Fügepartner absorbiert wird.

Vorgehensweise

Im einfachsten Fall erfolgt dies in einer transparent-schwarz Kombination durch die Zumischung von Ruß im absorbierenden Fügepartner. Bei durch Farbmittel (Farbstoffe, Pigmente) eingefärbten oder beiderseits transparenten Kunststoffen ist dies nicht möglich, da Ruß die Farbwirkung bzw. die Transparenz stark beeinflusst. In diesen Fällen können zur Erzeugung einer ausreichenden Absorption entweder absorbierende Zwischenschichten oder organische Absorber zum Einsatz kommen, die dem absorbierenden Fügepartner zugemischt werden. Die Absorber müssen mit einem zusätzlichen Prozessschritt auf das Bauteil aufgebracht werden und können die Farbwirkung der Fügepartner beeinflussen.

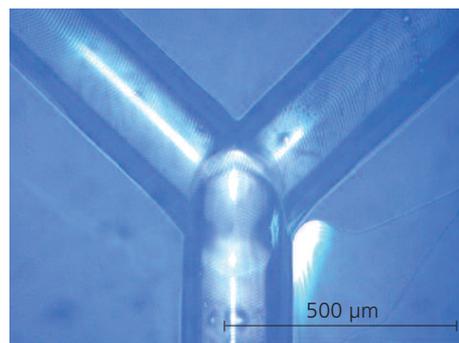
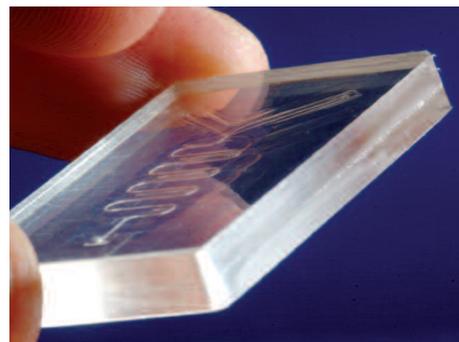
Rechts: Transparentes Kleingehäuse. Vorne: ohne Verwendung von IR-Absorbern verschweißt, hinten: Standardkombination transparent/schwarz.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit neuartigen Hochleistungslaserstrahlquellen kann erstmalig auf zusätzliche Pigmente verzichtet werden, indem die Strahlungseigenschaften an die intrinsischen Absorptionseigenschaften der Kunststoffe angepasst werden. Mit einer geeigneten Verfahrensführung können die Vorteile des Transmissionsfügens beibehalten werden, ohne die dem Laserstrahl zugewandte Oberfläche der Kunststoffbauteile zu beeinflussen. Auf diese Weise lassen sich auch transparente Kunststoffe ohne die Verwendung von Infrarot-Absorbern verschweißen. Dabei muss jedoch gewährleistet werden, dass die Energie im Wesentlichen an der Verbindungsstelle der Kunststoffteile in Wärme umgesetzt wird.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. M. Poggel, Tel.: -158
matthias.poggel@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



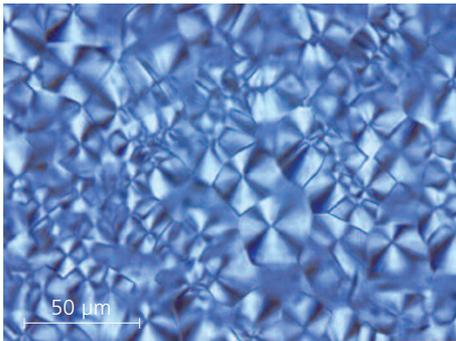
Oben: Mikrofluidisches Bauteil aus TROGAMID (PA PACM 12) mit mäanderförmiger Kanalstruktur.
Mitte: Detail der Kanalverzweigung.





Aufgabenstellung

Beim Laser-Durchstrahlschweißen von Kunststoffen wird der Laserstrahl durch den oberen Fügepartner aufgeweitet, falls dieser aus einem teilkristallinen Polymer (Bild oben) besteht. Als Folge verringert sich die Intensität in der Fügezone und die Schweißnaht wird breiter. Dieser Effekt ist bekannt, aber bisher nicht erfasst worden.



Oben: Durchlicht-Mikroskopaufnahme einer 10 µm dicken Probe aus teilkristallinem Polyamid 66.
Mitte: Leistungsdichteverteilung eines 803 nm Diodenlaserstrahls nach Durchstrahlung einer 0,2 mm dicken PA 66-Probe. Gemessener Strahldurchmesser: 0,68 mm.
Unten: Wie Bild Mitte aber mit 1,8 mm Probendicke und 1,82 mm gemessenem Strahldurchmesser.

Vorgehensweise

In guter Übereinstimmung mit der Praxis nimmt die Intensität I (= Leistung/Fläche) eines Laserstrahls bei Durchgang durch ein Polymer der Dicke x nach einer Exponentialfunktion ab:

$$I = I_0 \exp\left[-(\mu_a + \mu_s)x\right]$$

Dabei kennzeichnet μ_a die Intensitätsabnahme infolge Absorption, μ_s die Intensitätsverringernge infolge einer Zunahme des Strahldurchmessers d . Zur Bestimmung von μ_s für den Werkstoff PA 66 wurden verschieden dicke Proben hergestellt und die Intensitätsverteilung eines Diodenlaserstrahls der Wellenlänge 803 nm nach Durchstrahlung des Kunststoffes mit einer CCD-Kamera aufgenommen (die Laserleistung auf der direkt vor dem CCD-Chip positionierten Probe beträgt nach 1:100-Abschwächung ca. 40 mW). Für jede Intensitätsverteilung wird der Strahldurchmesser d nach der Methode der 2. Momente bestimmt und der zur Intensität proportionale Wert $1/d^2$ als Funktion der Materialdicke aufgetragen. An die Messwerte wird eine

Exponentialfunktion angepasst, die unmittelbar den Streukoeffizienten μ_s liefert. Der auf diese Art bestimmte Streukoeffizient ist unabhängig vom Transmissionsgrad des Kunststoffes, da die gemessenen Strahldurchmesser nicht von der Leistung abhängen.

Ergebnisse und Anwendungen

Der für PA 66 ermittelte Streukoeffizient bei einer Wellenlänge von 803 nm beträgt $1,18 \text{ mm}^{-1}$. Dies bedeutet, dass sich gemäß

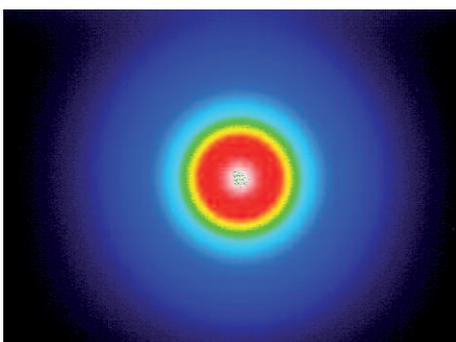
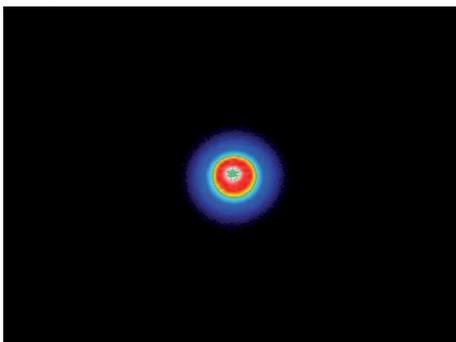
$$\frac{I}{I_0} = \frac{d_0^2}{d^2} = \exp(-1,18 \text{ mm}^{-1} \cdot x)$$

der Strahldurchmesser d nach Durchtritt durch $x = 1,17 \text{ mm}$ dickes PA 66 verdoppelt.

Mit den beschriebenen Komponenten und Verfahren steht damit am Fraunhofer ILT ein Messsystem zur Werkstoffqualifizierung beim Laser-Kunststoffschweißen zur Verfügung.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. G. Otto, Tel.: -165
gerhard.otto@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de





Aufgabenstellung

In hybriden Mikrosystemen bestehen Einzelkomponenten häufig aus Materialien wie Glas, technischen Keramiken oder Einkristallen wie Saphir. Häufig ist der Grundkörper dieser Mikrosysteme aus Silizium und enthält ebenso elektronische Schaltungskomponenten. Die Verbindung erfolgt in der Regel über flächige Fügeverfahren wie das »Silizium Direkt Bonden« und das »Anodische Bonden«. Diese Verfahren weisen eine hohe thermische Belastung und eine geringe Flexibilität hinsichtlich der Fügegeometrie auf. Als Alternative zu den eingesetzten flächigen Verfahren bietet der Laser durch die exakte Kontrolle der Energie-deposition eine Minimierung der Wärmeeinflusszone und des damit verbundenen Verzugs.

Neben dem Bonden von artungleichen Werkstoffkombinationen wie Silizium und Glas kann das Laserstrahlbonds ebenso zum Fügen von artgleichen Werkstoffen eingesetzt werden. Dabei wird durch den Einsatz von absorbierenden Zwischenschichten die Laserstrahlung an der Fügegrenzfläche in Wärme umgesetzt.

Vorgehensweise

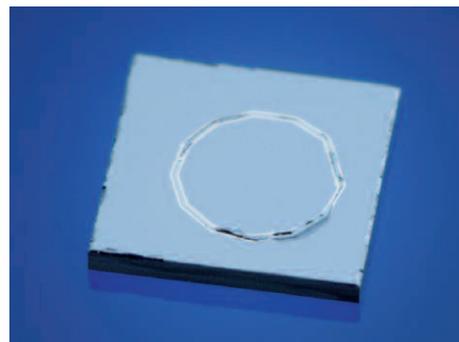
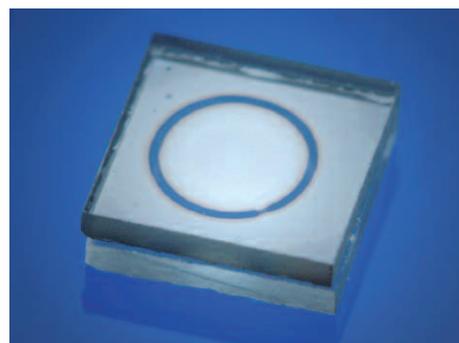
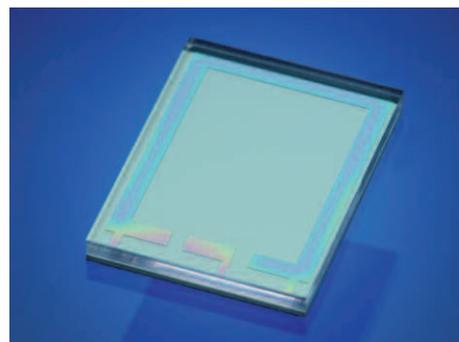
Das Prinzip des Laserstrahlbondverfahrens beruht auf dem sogenannten Transmissionsfügen, wobei eines der Füge-teile für die eingesetzte Laserstrahlung transparent und das andere absorbierend ist. Der Hauptteil der Energie des Laserstrahls wird in der Grenzfläche der Füge-teile in Wärme umgesetzt und die Kontaktstelle gezielt erwärmt.

Ergebnisse und Anwendungen

Das Laserstrahlbondverfahren verspricht ein hohes Potenzial hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten im Packaging mikrosystemtechnischer Baugruppen. Durch die Übertragung des Verfahrens auf Waferlevel für das Bonden von Silizium und Silizium z. B. in mechanisch-elektrischen Mikrosystemen (MEMS) oder von Silizium und Glas z. B. in SOI (Silicon on Insulator) und Integration in einen konventionellen Bondprozess kann es zum Fixieren und zum selektiven Fügen eingesetzt werden. Das Bonden von artgleichen Werkstoffen unter Einsatz von absorbierenden Zwischenschichten kann für das Packaging in der Displaytechnik eingesetzt werden, wobei durch die minimale Wärmeeinflusszone die funktionalen metallischen und organischen Schichten und elektronischen Komponenten in unmittelbarer Nähe der Fügezone geschützt sind. Für das Bonden von Silizium und Silizium konnten erste vielversprechende Ergebnisse erzielt werden. Ebenso konnte durch den Einsatz von nicht ausdehnungsangepassten Gläsern wie Quarzglas und Kalk-Natron-Gläsern Bondergebnisse mit Silizium erzielt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. F. Sari, Tel.: -358
fahri.sari@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Packaging-Siliziumchip mit Quarzglas.
Mitte: Bondverbindung zwischen Glas und Glas.
Unten: Bruchfläche einer Siliziumprobe, Bonden von Silizium und Silizium.



Aufgabenstellung

Die Markierung von Glas wird für unterschiedliche Einsatzzwecke, wie z. B. zur Dekoration, Produktmarkierungen auf Flaschen, Messwerkzeugen und medizinischen Geräten oder auch für Sicherheitskennzeichnungen, verwendet. Eine bereits verfügbare Technik ist das Laser-Mikromarkieren von Glas. Hiermit hergestellte Markierungen sind dauerhaft, fälschungssicher und kostengünstig, jedoch farblos (weiß). Ein Verfahren zur Herstellung von Farbigmarkierungen in Glas ist die Bildung von Nano-Metallteilchen (vorzugsweise Silber). Ausschließlich gelbe, rote und braune Farbtöne können erzielt werden. Darüber hinaus bilden sich bei beiden Verfahren (Laser-Mikromarkieren und Nano-Metallteilchenbestrahlung) große Spannungen im Glas. Festigkeit und Haltbarkeit der markierten Gläser werden so negativ beeinflusst.

Vorgehensweise

Zur Herstellung von Farbigmarkierungen ohne messbare mechanische Schädigung durch induzierte Spannungen werden Gläser mit speziellen fotochemisch aktiven Ionen dotiert. Die eingebrachte Laserstrahlung wird von diesen Ionen absorbiert und führt zur lokalen Färbung (Ionenfärbung). Bei geeigneter Fokussierung der Laserstrahlung können so Farbigmarkierungen in Glas eingebracht werden, ohne wie bei den bisherigen Laserverfahren Spannungen im Glas zu induzieren. Entsprechende Gläser und Technologien zur Bestrahlung mit Laserstrahlung werden derzeit entwickelt und untersucht.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Gläser werden mit gepulster UV-ns Laserstrahlung eines gütegeschalteten und frequenzverdreifachten Nd:YAG Lasers (Wellenlänge 355 nm, Pulsdauer 10 bis 80 ns) und mit IR-fs Laserstrahlung eines modengekoppelten Ti:Saphir Lasers (Wellenlänge 800 nm, Pulsdauer 100 fs) mit unterschiedlichen Pulswiederholungsfrequenzen, Pulsenergien und Überlappungen zwischen aufeinander folgenden Pulsen modifiziert.

Die mit seltenen Erden und Übergangsmetallionen dotierten Kalknatronsilicat- und Bor-Kron-Gläser färben sich durch die Wechselwirkung mit Laserstrahlung. Die Laserstrahlung wird durch optisch und fotochemisch aktive polyvalente Ionen absorbiert, wobei die optische Energie zur Fluoreszenz, Ionisation und Bildung von Farbzentren führt. Je nach gewählten Parametern der Laserstrahlung, wie z.B. Wellenlänge und Pulsdauer, wird das Glas durchgefärbt (lineare Absorption, Bild oben) oder im Volumen (Multi-Photonen-Absorption, Bild unten) 3-dimensional farbig markiert. In Abhängigkeit der chemischen Zusammensetzung der Gläser, der Laser- und Verfahrensparameter können Farbigmarkierungen in transparentem und getöntem Glas eingebracht werden. Dabei lassen sich monochrom violette, gelbe und rotbraune Farbtöne erzeugen. Die laserinduzierten Farbigmarkierungen im Glas sind reproduzierbar, thermisch und UV-stabil und rissfrei.

Ansprechpartner

Dr. A. Horn, Tel.: -205
alexander.horn@ilt.fraunhofer.de
Dr. I. Kelbassa, Tel.: -356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



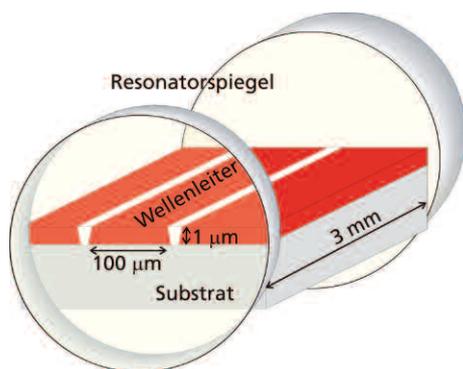
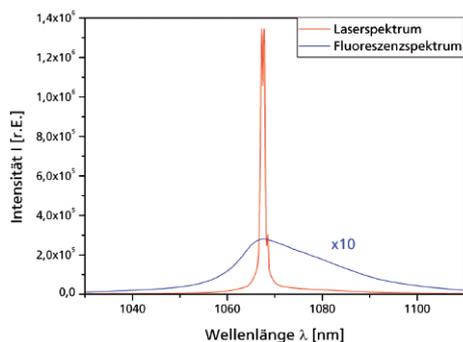
Oben: Violette Farbmarkierung in Kalk-Natron-Silicatglas ($3 \times 3 \times 1 \text{ cm}^3$) mit V_2O_5 - und Ce_2O_3 -Dotierungen durch lineare Absorption von ns-UV-Laserstrahlung eingebracht.

Unten: Gelbe 3-D-Farbmarkierung in Kalk-Natron-Silicatglas ($3 \times 2 \times 1 \text{ cm}^3$) mit AgO_3 -Dotierungen durch Multi-Photonen-Absorption von IR-fs Laserbestrahlung eingebracht.



Aufgabenstellung

Am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik werden strukturierte planare Wellenleiterlaser entwickelt. Erstmals konnte Lasertätigkeit in strukturierten Wellenleitern aus $\text{Nd:Ga}_5\text{Gd}_3\text{O}_{12}$ nachgewiesen werden. Planare strukturierte Wellenleiterlaser ermöglichen durch die angepasste Geometrie und numerische Apertur ein direktes Pumpen mit Hochleistungsdiodenlasern.



Oben: Emissionsspektrum eines amorphen Wellenleiters bei Pumplichtintensitäten unterhalb bzw. oberhalb der Laserschwelle des Wellenleiterlasers.

Unten: Wellenleiterlaser bestehend aus einem strukturierten Schichtwellenleiter zwischen Resonatorspiegeln.

Vorgehensweise

Basierend auf den optischen, thermischen und geometrischen Spezifikationen des Kunden werden von der Verfahrensentwicklung bis zur Herstellung folgende Schritte durchgeführt:

1. Das laseraktive Material wird mittels Pulsed Laser Deposition (PLD) als ca. 1 - 5 μm dicke Schicht auf gitterangepassten kristallinen Substraten abgeschieden. In Abhängigkeit der Verfahrensparameter Temperatur und Prozessgasdruck werden wahlweise sowohl kristalline als auch amorphe, glasartige Schichten hergestellt.

2. Mittels fs-Laserstrahlung werden die Schichten lokal abgetragen, so dass parallele Gräben entstehen, welche die seitliche Begrenzung der resultierenden planaren Wellenleiter bilden. Die Wellenleiter mit einem rechteckigen Querschnitt werden an den Strahlquerschnitt der als Pumpquellen dienenden Breitstreifen-Diodenlaser angepasst.

3. Die Wellenleiter werden mit einer Wafersäge und durch Lappen auf eine Länge von einigen mm gekürzt und die Endflächen auf optische Qualität poliert, um Koppelverluste gering zu halten.

4. Dielektrische Spiegel werden auf die Endflächen des Wellenleiters aufgebracht und bilden den Resonator.

5. Über eine Abbildung wird die Diodenlaserstrahlung in den Resonator eingekoppelt. Der Resonatorspiegel auf der gegenüberliegenden Seite ist teilreflektiv und dient zur Auskopplung der Laserstrahlung.

Ergebnisse und Anwendungen

Abscheidung und Strukturierung der aktiven Schicht direkt vor der Pumpdiode ermöglichen hochintegrierte Laserstrahlquellen in kostengünstiger Massenproduktion.

Mit Industriepartnern werden verschiedene laseraktive Materialien zur Erzeugung definierter Wellenlängen, insbesondere im sichtbaren Spektralbereich getestet.

Die Materialunabhängigkeit der beiden Verfahren Pulsed Laser Deposition und Strukturierung mittels fs-Laserstrahlung ist dabei von besonderem Vorteil.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. D. Wortmann, Tel.: -406
dirk.wortmann@ilt.fraunhofer.de
Dr. J. Gottmann, Tel.: -406
jens.gottmann@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Mit Femtosekunden-Laserstrahlung können kohärente periodische Strukturen (Riffel, englisch: ripples) mit Abständen deutlich kleiner als die Wellenlänge der verwendeten Laserstrahlung auf Oberflächen von verschiedenen Materialien hergestellt werden.

Potenzielle Anwendungen sind z. B. Gitter in der integrierten Optik und strukturierte Oberflächen für den Einsatz in Biologie und Maschinenbau.

Ergebnisse

Auf den untersuchten Materialien Dielektrika, Kunststoffe, Halbleiter und Metalle werden Riffel mit einem Abstand gefertigt, der 25 - 75 % der Wellenlänge der verwendeten Laserstrahlung entspricht.

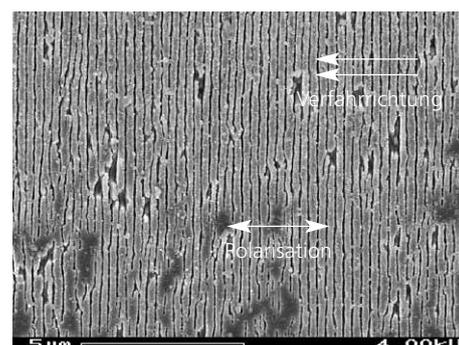
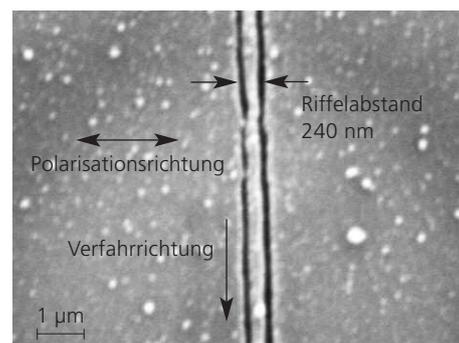
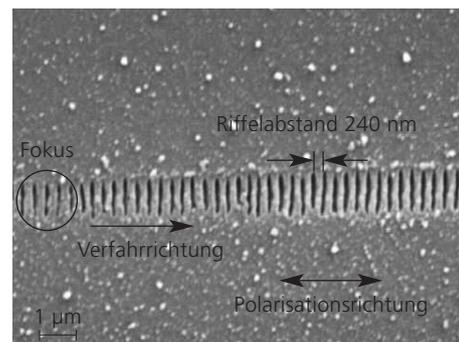
Die Orientierung der Riffel ist immer senkrecht zur Polarisierung der verwendeten Laserstrahlung ausgerichtet. Eine Änderung der Verfahrrichtung beeinflusst die Orientierung der Riffel nicht.

Die Riffel sind über viele überlappende Pulse kohärent fortgesetzt. Durch einmaliges Verfahren des Fokus senkrecht zur Polarisierung resultieren 2 parallele Riffel mit einer Breite von ca. 125 nm und einer typischen Tiefe von 100 nm bei einem Abstand von ca. 240 nm.

Periodische Riffel können kohärent auch in zwei Dimensionen fortgesetzt werden, indem Überlappfahrten mit konstantem Versatz durchgeführt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. D. Wortmann, Tel.: -406
dirk.wortmann@ilt.fraunhofer.de
Dr. J. Gottmann, Tel.: -406
jens.gottmann@ilt.fraunhofer.de



Oben und Mitte: Riffel in Quarzglas. Einfache Überfahrt mit Polarisierung parallel zur Verfahrrichtung (oben) und senkrecht zur Verfahrrichtung (Mitte); Wellenlänge $\lambda = 800$ nm.
Unten: Kohärente Fortsetzung von Riffeln in 2 Dimensionen auf Quarzglas durch Überlappfahrten mit konstantem Versatz von 400 nm.



Aufgabenstellung

Als spanloses Fertigungsverfahren ermöglicht das Stanzen die kurzzyklische Fertigung von komplizierten Werkstücken in Serienfertigung bei nahezu optimaler Werkstoffausnutzung. Bei Raumtemperatur besteht die Schnittfläche aus einer Glattschnittzone und einer Bruchzone. Letztere ist vor allem durch eine raue Oberfläche gekennzeichnet, die eine Nutzung als Funktionsfläche beschränkt. Durch eine Erwärmung des Blechmaterials kann werkstoff- und prozessabhängig der Glattschnittanteil auf bis zu 100 % vergrößert werden.

Vorgehensweise

Der Einsatz von Laserstrahlung ermöglicht eine gut kontrollierbare und schnelle Erwärmung des Blechs. Die Laserstrahlung wird ausgehend von der Faser eines Diodenlasers über eine Anordnung optischer Elemente durch die Werkzeugmatrize auf die Blechunterseite geführt. Gleichzeitig wird die vom Blech ausgehende thermische Strahlung gemessen und zur Prozessregelung verwendet.

Die Versuche werden auf einer hydraulischen Einständerpresse mit pneumatischem Vorschub durchgeführt. Das verwendete Werkzeug besteht neben den Komponenten Stempel, Matrize und Niederhalter zudem aus Elementen zur Integration der Laserstrahlung, Sensoren sowie zum Handling der ausgestanzten Teile.

Ziel der Entwicklung ist neben einer angepassten Anlagen- und Werkzeugtechnik vor allem der bisher unzureichend erforschte Prozess der Halbwarmumformung sowie der umformtechnischen Fertigung von Bauteilen mit Strukturgrößen im μm -Bereich in Kleinserienfertigung.

Ergebnisse und Anwendungen

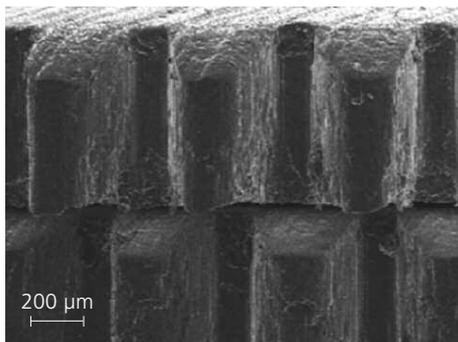
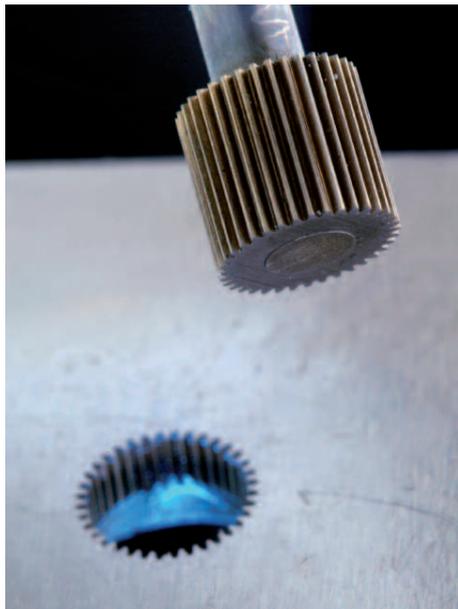
Die neu entwickelte Technik des laserunterstützten Mikrostanzens wurde prototypisch an der Magnesiumlegierung AZ31 erprobt. Die schlechte Schneid- und Umformbarkeit von Magnesiumblechen führt bei Raumtemperatur zu häufigen Ausbrüchen auf der Schnittfläche. Diese können durch eine Erwärmung des Werkstoffs vermieden werden.

Beispielhaft werden Zahnräder, die unter anderem in Mikrogetrieben und -motoren oder auch in mechanischen Uhrwerken eingesetzt werden, hergestellt. Die gewählte Zahnradgeometrie hat 36 Zähne bei einem Durchmesser von 5 mm. Die Blechdicke beträgt 0,5 mm. Bei Stanzversuchen in Magnesium konnte ein kompletter Glattschnitt erzielt werden.

Weitere Anwendungen sind in Bereichen zu sehen, in denen hohe Bauteilqualitäten bei kleinen Strukturgrößen gefordert sind. Durch die Absenkung der Fließspannung und die Aktivierung zusätzlicher Gleitebenen können hochfeste sowie spröde Materialien bearbeitet werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. J. Holtkamp, Tel.: -273
jens.holtkamp@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Stanzwerkzeug.
Unten: REM-Aufnahme von 2 Zahnrädern, Warm- (oben) und kaltgestanzt (unten).



Aufgabenstellung

Die Photovoltaik zählt zu einer Schlüsseltechnologie, die nicht nur in Deutschland sondern auch in vielen anderen Ländern einen wichtigen Beitrag zur zukünftigen Stromversorgung leisten kann.

Eine wichtige Aufgabe ist die Steigerung des Wirkungsgrades von Solarzellen und Solarmodulen sowie die Reduzierung von Ausschussraten bei der Produktion. Gepaart mit einer dramatisch steigenden Produktionsnachfrage erfordert dies Technologien, mit denen effizienzoptimierte Solarzellen bei Produktionsraten von über 1.000 Si-Wafern/Std. bei gleichzeitig minimalem Ausschuss erzielt werden können. Zur Lösung dieser Aufgabe sollen im Rahmen einer Fraunhofer-internen Entwicklungsmaßnahme neue Technologien entwickelt und bereits fertigungsnah der Industrie präsentiert werden, die einerseits eine Erhöhung des Wirkungsgrades für die Solarzelle bewirken, verfahrenstechnisch bedingte Reduktionen des Wirkungsgrades durch klassische Fertigungstechniken beseitigen und andererseits eine Verbesserung des Fertigungswirkungsgrades und somit eine Verringerung des Ausschusses bewirken.

Ergebnisse und Anwendungen

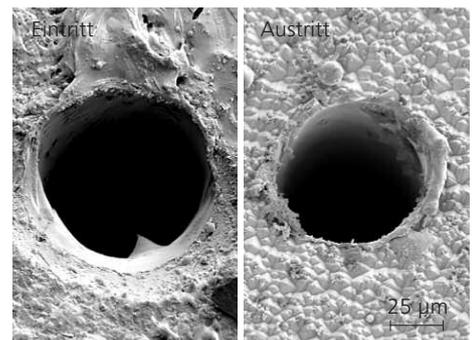
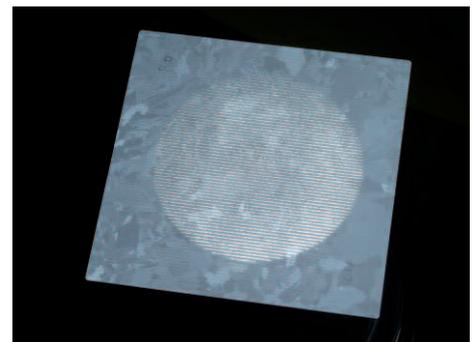
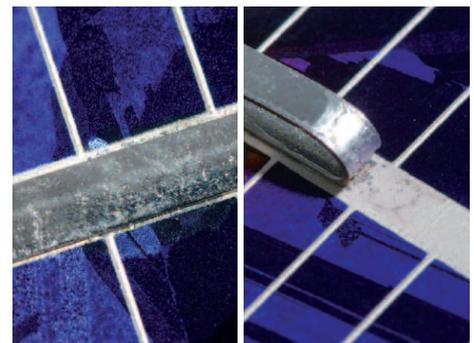
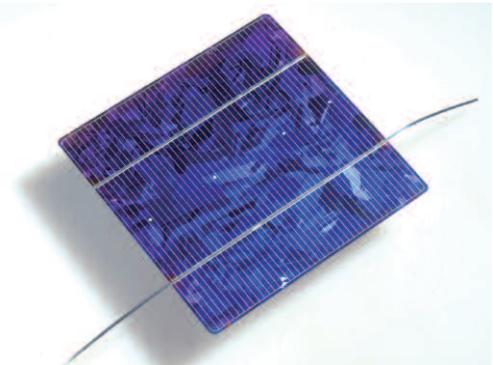
Im Rahmen der Prozesskette vom Ausgangsmaterial Silizium hin zu kompletten Solarmodulen ist der Einsatz des Lasers als berührungsloses und selektives Werkzeug für verschiedene Fertigungsschritte, wie z. B. Vereinzeln, Bohren, Strukturieren und Lötten, prädestiniert. Im Rahmen des Vorhabens werden am Fraunhofer ILT zwei Verfahren in der Prozesskette untersucht und

optimiert. Für das Laserstrahlbohren wird das Ziel verfolgt, mehr als 10.000 Bohrungen pro Sekunde mittels hochrepetierender Laserstrahlquellen und hochdynamischer Strahlbewegungseinheiten zu realisieren. Zu diesem Zweck wird im Rahmen des Projekts eine schnelle Strahlführung in Kombination mit einer geeigneten Strahlquelle realisiert. Derzeit sind mit einem Einzelpulsbohrverfahren bis zu 500 Bohrungen pro Sekunde möglich. Durch die geringe und lokal begrenzte Energieeinbringung bietet sich zur elektrischen Kontaktierung von Solarzellen das Laserstrahl-löten an. Durch Wahl geeigneter Lote lässt sich die Fügetemperatur auf ein Minimum reduzieren und durch den im Vergleich zu konventionell eingesetzten Bügelelektroden berührungsfreien Prozess werden die Solarzellen darüber hinaus mechanisch nicht belastet. Ein weiterer Vorteil des Laserstrahl-lötens besteht in der Möglichkeit zur Automatisierbarkeit. Statt des derzeit verwendeten linienförmigen Kontaktes werden die Zellverbinder an 20 Kontaktstellen mit der Solarzelle verbunden. Durch geeignete Wahl der Lotmenge und der bestrahlten Fläche lässt sich der elektrische Übergangswiderstand reproduzierbar einstellen.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. F. Schmitt, Tel.: -322
felix.schmitt@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. A. Dohrn, Tel.: -220
andreas.dohrn@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

Oben: Laserstrahlgelötete Zellverbinder auf Solarzelle.
Unten: Bohrraster in Siliziumwafer.





Aufgabenstellung

Die Herstellung von Bohrungen mit kleinem Durchmesser bei großer Bohrtiefe ist mit Laserstrahlung nur bedingt möglich und wird mit alternativen Verfahren wie Electro Discharge Machining (EDM) und Electro Chemical Machining (ECM) durchgeführt, die zeit- und somit kostenintensiv sind. Der Bohrfortschritt beim Perkussionsbohren mit Laserstrahlung wird durch verbleibende Schmelze in der Bohrung limitiert, die nicht über die gesamte Tiefe der Bohrung ausgetrieben werden kann. Verschlüsse in der Bohrung werden durch Erstarrung der Schmelzreste gebildet (Abbildung oben). Ziel ist, diese Beschränkungen, die durch systemspezifische Grenzen der eingesetzten Lasersysteme bedingt sind, durch zeitliche Modulation der Laserstrahlung aufzuheben. Die Bohrgeschwindigkeit und somit der Bohrfortschritt soll durch die Reduzierung von Störgrößen, wie z. B. die Verschlussbildung, vergrößert werden.

Vorgehensweise

Durch räumliche und zeitliche Überlagerung der Laserstrahlung zweier Laser kann die Bohrgeschwindigkeit in Edelstahl und Aluminium um bis zu einem Faktor 4 vergrößert werden. Dazu wird die Laserstrahlung eines lampengepumpten Nd:YAG Slab-Lasers mit der eines diodengepumpten Nd:YAG-Festkörperlasers überlagert. Beim Perkussionsbohren in unterschiedlichen Materialdicken (5,8 und 10 mm) wurde die Durchbohrzeit gemessen.

Ergebnisse und Anwendungen

Bei konventionellen Perkussionsbohrungen (nicht überlagert) mit dem Slab-Laser führen die Verschlüsse in der Bohrung zeitweise zu einem Stoppen des Bohrfortschritts und zu großen zeitlichen Schwankungen der Durchbohrzeit.

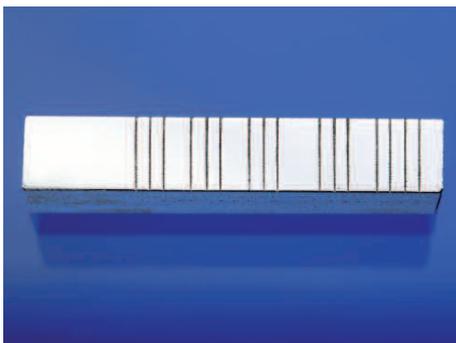
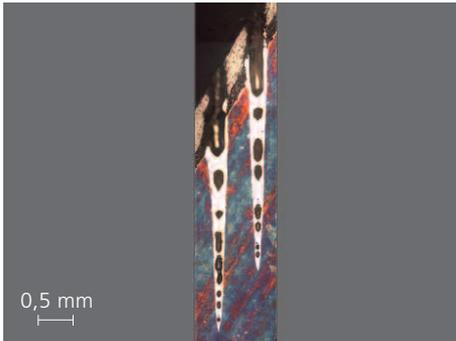
Durch die zusätzliche Überlagerung mit der Laserstrahlung des DPSS-Lasers wird eine Verkleinerung der Durchbohrzeit für alle Materialdicken mit zunehmender DPSS-Laserleistung festgestellt. Die in der Bohrung entstehenden Verschlüsse werden bzgl. Anzahl und Größe reduziert. Daraus resultiert eine größere Bohrgeschwindigkeit bei gleich bleibendem Durchmesser der Bohrung.

Die Ergebnisse geben Aufschluss über einen zum Bohren möglichst effizienten zeitlichen Intensitätsverlauf und können somit für die Entwicklung von Lasersystemen mit einer aktiven Pulsformung verwendet werden.

Durch die überlagerte Laserstrahlung wird eine größere Produktivität erzielt und eine höhere Prozesssicherheit durch eine kleinere Schwankung der Durchbohrzeit garantiert. Materialdicken bis zu 10 mm können durchbohrt werden bei einem minimalen Durchmesser von 150 μm (Abbildung unten).

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. M. Brajdic, Tel.: -205
mihael.brajdic@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. K. Walther, Tel.: -409
kurt.walther@ilt.fraunhofer.de
Dr. I. Kelbassa, Tel.: -356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



Oben: Perkussionsbohrung im Mehrschichtsystem mit Schmelzverschlüssen.
Unten: Längsschliff von Bohrungen mit überlagelter DPSS-Laserstrahlung in 5 mm Edelstahl. Bohrungsdurchmesser ca. 130 μm .



Aufgabenstellung

Turbinenkomponenten werden durch heiße Gase im Betrieb thermomechanisch stark beansprucht. Um die Turbine bei großen Temperaturen langfristig zuverlässig zu betreiben und große Wirkungsgrade zu erzielen, werden beschichtete Nickel-Basis Superlegierungen eingesetzt. Zusätzlich müssen die Turbinen effektiv gekühlt werden. Bei der so genannten Effusionskühlung wird durch Erhöhung der Kühlbohrungsdichte (bis zu 100 Bohrungen pro cm^2) auf der Bauteiloberfläche eine homogene Verteilung des Kühlfluids auf dem Bauteil gewährleistet. Die verlustbehaftete Interaktion mit der Heißgasströmung wird vermieden. Um die Kühleffizienz durch einen dicht an der Oberfläche liegenden homogenen Kühlfilm zu vergrößern, wird die Bohrung aerodynamisch konturiert.

Vorgehensweise

Mittels Strömungssimulation werden die herzustellenden Freiformflächen der Formbohrung berechnet. Über eine geschlossene CAD/CAM/CNC-Kette werden die Daten an das Positioniersystem übertragen. Nach Ermittlung der geeigneten Prozessführung und der Verfahrensparameter in Voruntersuchungen erfolgt das Herstellen der Formbohrungen in zwei Prozessschritten:

1. Herstellen einer Durchgangsbohrung in der Mitte der Endkontur durch Perkussionsbohren.
2. Erzeugen der Endkontur durch 5-Achs-Trepanieren (Schneidprozess).

Das Verfahren wurde bereits an Bohrlochfeldern demonstriert und wird bezüglich Bearbeitungsdauer, erzielbarer Geometrie und Reproduzierbarkeit kontinuierlich weiterentwickelt.

Entsprechend der Spezifikationen können unterschiedliche Bohrungsgeometrien (z. B. konisch zulaufend oder elliptisch) in verschiedenen Werkstoffen und Werkstoffkombinationen (Metalle, Keramiken, Mehrschichtsysteme und Verbundwerkstoffe) eingebracht werden.

Ergebnisse und Anwendungen

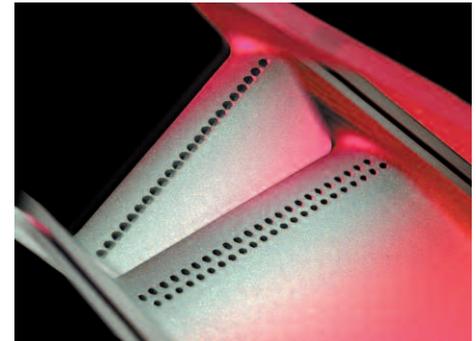
- Das Herstellen von Formbohrungen durch 5-Achs-Trepanieren ist nicht auf die Konturierung des Bohrungsaustritts beschränkt, sondern über die gesamte Länge der Bohrung im Werkstück möglich.
- Die Bohrungen weisen typischerweise Durchmesser $\geq 0,2 \text{ mm}$ bei einer Tiefe von bis zu 5 mm auf.
- Die Dicke des Recast an der Bohrungswand ist $\leq 20 \mu\text{m}$.
- Zum Herstellen der Formbohrungen in Originalbauteilen steht eine geschlossene Prozesskette inkl. CAD/CAM/CNC-Kopplung zur Verfügung, durch die variable Bohrungsgeometrien realisiert werden können.

Ansprechpartner

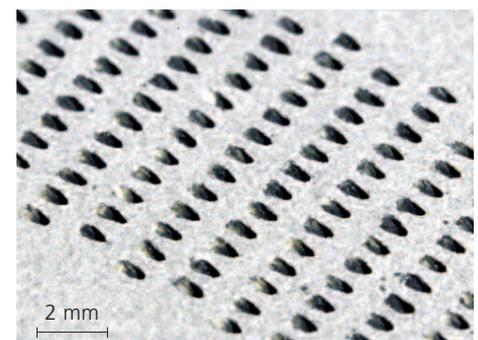
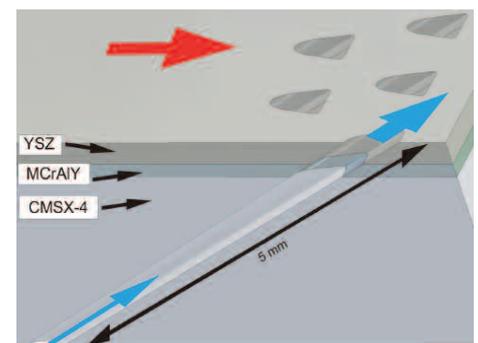
Dipl.-Ing. K. Walther, Tel.: -409
kurt.walther@ilt.fraunhofer.de
Dr. I. Kelbassa, Tel.: -356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de

Mitte: Schnitt einer Bohrung durch Mehrschichtsystem (Wärmedämmschicht Yttrium Stabilized Zirconium, Korrosionsschutzschicht MCrAlY, Nickel Superlegierung CMSX-4) mit eingezeichneten Strömungsvektoren des Heißgases (rot) und der Kühlluft (blau).

Unten: Austritte von Formbohrungen im Mehrschichtsystem.



Oben: Laserformbohrungen an Hochdruckturbinenschaufeln, Quelle: MTU Aero Engines.





Aufgabenstellung

Beim Perkussionsbohren mit Nd:YAG-Laserstrahlung kann die genaue Zahl der Pulse bis zum Durchbohren von Werkstücken mit der Dicke von einigen Millimetern bis Zentimetern aufgrund von Instabilitäten im Prozess, z. B. durch Puls-zu-Puls-Schwankungen, nicht bestimmt werden. Die Anzahl der Pulse wird deshalb so eingestellt, dass das Werkstück sicher durchbohrt wird und nach dem Durchbohren das Werkstück mit einigen Sicherheitspulsen bearbeitet wird. Das Bestimmen des Durchbohrzeitpunktes mittels koaxialer Hochgeschwindigkeitsfotografie ist der erste Schritt der Regelung der Pulsanzahl, um Prozesszeiten zu reduzieren und Rückwandschäden beim Bohren von Hohlkörpern zu vermeiden.

Vorgehensweise

Die Untersuchungen zum Bestimmen des Durchbohrzeitpunktes sind für Werkstückdicken von 2 - 8 mm in Fe- und Ni-Basislegierungen durchgeführt worden. Der Neigungswinkel der Bohrungen beträgt 0 ° und 45 °. Die Bohrungen sind mit einem Nd:YAG-Lasersystem mit Pulsdauern von 0,5 - 2 ms, Pulsenergien < 12 J und einer Bearbeitungsoptik mit einer Brennweite von 150 mm hergestellt worden. Für die koaxiale Hochgeschwindigkeitsfotografie ist ein CMOS-Kamerasystem mit 50 kHz Repetitionsrate bei einer Auflösung von 96 x 96 Pixel und einer Farbauflösung von 3 x 8 bit eingesetzt worden.

Die Prozessemissionen von Schmelze, Dampf und Plasma werden während des Bohrens aufgenommen und nach der Fertigstellung der Bohrung ausgewertet. Die Grundfarben der Farbbilder werden separiert und einzeln ausgewertet.

Ergebnisse und Anwendungen

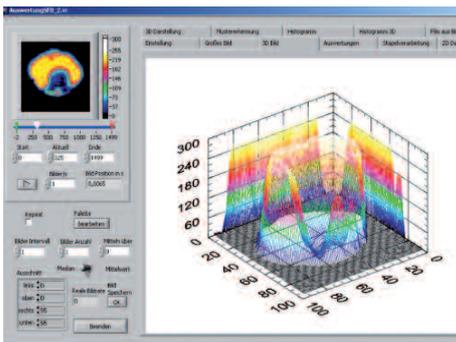
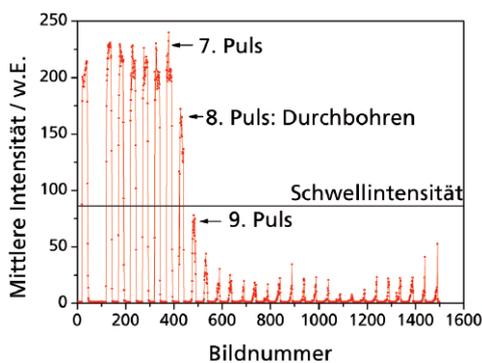
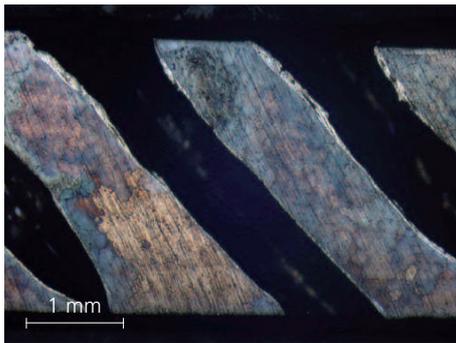
Die mittlere Intensität der Prozessemission fällt während des Pulses ab, mit dem das Werkstück durchbohrt wird. Nach dem Durchbohren steigt die mittlere Intensität nicht mehr über die Schwellintensität an (Bild Mitte, 8 und 9 Puls). Ziel der zukünftigen Arbeiten ist eine online Bestimmung des Durchbohrzeitpunktes beim Perkussionsbohren.

Das Signal-Rauschverhalten vor und nach dem Durchbohren ist im roten Bereich (Wellenlängen 600 - 850 nm) am deutlichsten. Im Zentrum der Intensitätsverteilung der Prozessemission bildet sich nach dem Durchbohren ein Minimum aus (Bild unten). Weitere Untersuchungen werden mit dem Ziel durchgeführt, den Bohrungsdurchmesser anhand des Musters der Intensitätsverteilung zu bestimmen.

Anwendungen ergeben sich in allen Bereichen, in denen das Perkussionsbohren zur Herstellung einer großen Stückzahl von Bohrungen erforderlich ist, wie z. B. bei der Herstellung von Kühlbohrungen in Gasturbinenkomponenten und von Filterbohrungen.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. K. Walther, Tel.: -409
kurt.walther@ilt.fraunhofer.de
Dr. I. Kelbassa, Tel.: -356
ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de



Oben: Längsschliff einer Perkussionsbohrung, 8 Pulse, Werkstoff René 80.

Mitte: Mittlere Intensität des Sensorsignals.

Unten: Falschfarbendarstellung der Intensitätsverteilung des Sensorsignals.



Aufgabenstellung

Das Perkussionsbohren mit Laserstrahlung ist ein wirtschaftlich attraktives Hochrateverfahren, dessen industrielle Anwendbarkeit jedoch durch die Erstarrung von Schmelze, den Recast an der Bohrungswand, behindert wird. Die Anforderungen an die Qualität der Bohrung werden nicht erreicht, da bei wachsender Dicke der Schicht aus Schmelze und Recast an der Bohrungswand die Laserstrahlung vom Bohrungsgrund abgeschirmt wird. Die Anforderung stellt sich darauf, Möglichkeiten zum Vermeiden der Bildung von Recast an der Bohrungswand aufzufinden.

Vorgehensweise

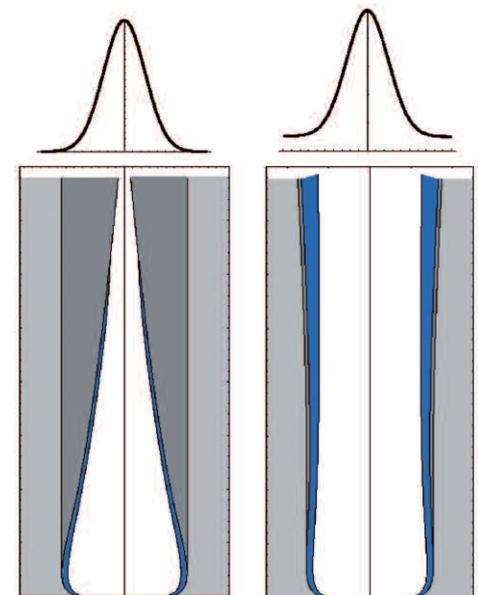
Durch Analyse des Bohrmodells zur Verfahrensvariante des Perkussionsbohrens wird das Abkühlen der ausströmenden Schmelze während des Bohrens untersucht. Varianten des Heizens der Bohrungswand werden untersucht und deren Wirkung auf die Bildung von Recast wird analysiert.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Ausbildung der Bohrung durch Austrieb einer schmelzflüssigen Phase erfolgt durch die Beschleunigung von Schmelze, die am Bohrungsgrund entsteht und deren Verzögerung entlang der Bohrungswand. Die Bildung von Recast an der Bohrungswand ist die Folge des Fließgleichgewichts, das von dem Heizen an der Oberfläche der Schmelze, dem Wärmetransport in der strömenden Schmelze und dem Abkühlen in dem umgebenden Werkstoff abhängt. Die Dicke des Schmelzfilms entlang der Bohrung, der Anteil an erstarrter Schmelze und die Ablösung der Schmelze am Eintritt der Bohrung werden in Abhängigkeit globaler Parameter der Laserstrahlung am Bohrlochgrund berechnet. Als Ergebnis der Analyse des Bohrmodells wird durch räumliche und zeitliche Pulsformung zusätzlich zum Bohrungsgrund auch die Bohrungswand geheizt und die entstehende Schmelze nahezu vollständig ausgetrieben (Bild rechts).

Ansprechpartner

Dipl. Phys. U. Eppelt, Tel.: -163
urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de
Prof. W. Schulz, Tel.: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Links: Abschirmung der Laserstrahlung vom Bohrungsgrund durch den Recast (grau) und die Schmelze (blau).

Rechts: Nahezu vollständiger Schmelzaustrieb durch Heizen der Bohrungswand.



Aufgabenstellung

Eine Aufgabe bei der Simulation von Laser-Fertigungsverfahren ist die Berechnung der Propagation, Reflexion und Absorption der Laserstrahlung an der Oberfläche einer Schnittfuge oder Bohrung. Die Wirkung der wiederholten Abbildung der vom Bauteil reflektierten und erneut absorbierten Strahlung (Mehrfachreflexionen) auf die Qualität des Produktes wird untersucht. Die Anwenderfragestellung erfordert zusätzlich die detaillierte Analyse der Wirkung von Ausbreitungsrichtung und Polarisation der Strahlung. Die geometrisch-optische Berechnung wird mit einem Raytracing-Verfahren durchgeführt. Mit der Analyse der Ergebnisse wird die Berücksichtigung wellenoptischer Phänomene vorbereitet.

Vorgehensweise

Ein Raytracing-Algorithmus für räumlich zwei- und dreidimensionale Oberflächen wird erstellt. Die Verteilung und Ausbreitungsrichtung der Strahlung sowie die Oberfläche des Bauteils werden durch stückweise lineare Funktionen approximiert. Die Teilstrahlen (Beamlets) werden durch eine geometrisch-optische Aufteilung (Slicing) erzeugt und mit dem Raytracing-Algorithmus auf die Oberfläche abgebildet. Die Teilstrahlen werden durch Randstrahlen und die transportierte Leistung charakterisiert. Trifft ein Beamlet auf die Oberfläche, so wird dessen Leistung sowohl in die Teilstücke der Oberfläche als auch in absorbierte und reflektierte Anteile zerlegt.

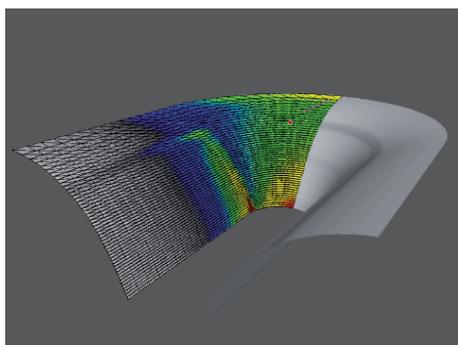
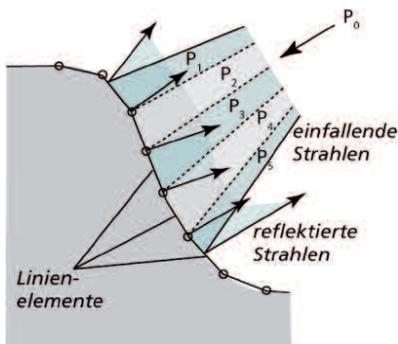
Das Raytracing in drei Raumdimensionen ist im Vergleich zum 2-D-Fall weitaus komplizierter. Die Oberfläche und jeder Teilstrahl werden durch Dreiecke diskretisiert. Der Aufwand zur Zerlegung der mit dem Beamlet transportierten Leistung in die angrenzenden Dreiecke der Oberfläche ist wesentlich größer. Für die Berechnung von Absorption und Reflexion ist die lokale Ausbreitungsrichtung (Poynting-Vektor) der Strahlung von wesentlicher Bedeutung.

Ergebnisse und Anwendungen

Mit dem entwickelten 2-D- bzw. 3-D-Raytracing-Programm wird der Zusammenhang von Reflexionen mit der Ausbildung von Qualitätsmerkmalen bei beliebigen Laser-Fertigungsverfahren untersucht. Für das Schneiden mit Laserstrahlung ist die Wirkung der Mehrfachreflexion auf die Bildung von Riefen und Bart wesentlich.

Ansprechpartner

Dipl. Phys. U. Eppelt, Tel.: -163
urs.eppelt@ilt.fraunhofer.de
Prof. W. Schulz, Tel.: -204
wolfgang.schulz@ilt.fraunhofer.de



Oben: Raytracing eines divergenten Strahlenbündels der Leistung P_0 . Zerlegung in 5 Teilstrahlen (Leistung $P_1 - P_5$) und Richtungen an der Oberfläche.

Unten: 3-D-Raytracing beim Schneiden.



Aufgabenstellung

In Medizin und Technik werden verstärkt Mikrobohrungen z. B. als Entlüftungs- oder Dosierbohrungen benötigt. Der Durchmesser dieser Löcher liegt häufig im Bereich $< 20 \mu\text{m}$ bei einer Materialstärke von typischerweise 50 bis $100 \mu\text{m}$. Die Anzahl der Bohrungen kann mehrere Tausend betragen. Die geforderten Taktraten liegen bei > 100 Löcher/Sekunde. Anordnung, Zahl und Durchmesser der Löcher sind je nach Kundenwunsch unterschiedlich und sollten leicht anpassbar sein.

Vorgehensweise

Um die kleinen Lochdurchmesser erreichen zu können, wird ein frequenzverdreifachter Nd:YAG Laser eingesetzt, der mittels einer Linse kleiner Brennweite fokussiert wird. Zur flexiblen und schnellen Positionierung des Laserstrahls wird ein Galvanometerscanner verwendet. Die Probe wird mittels eines 3-Achs-Systems positioniert.

Die Anordnung der Bohrungen innerhalb des Scanfeldes wird mittels CAD/CAM-Kopplung an die Software übergeben. Da das Lochmuster über eine CAD/CAM-Kopplung vorgegeben wird, ist dies eine sehr flexible Lösung, mit der schnell unterschiedliche Bohrungsraster erstellt werden können. Ebenso können mittels Software die Bohrparameter an das Material sowie an die Genauigkeitsanforderungen angepasst werden.

Ergebnisse und Anwendungen

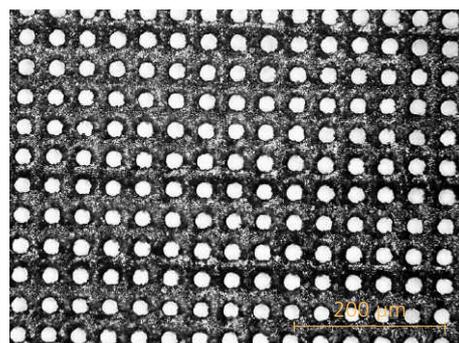
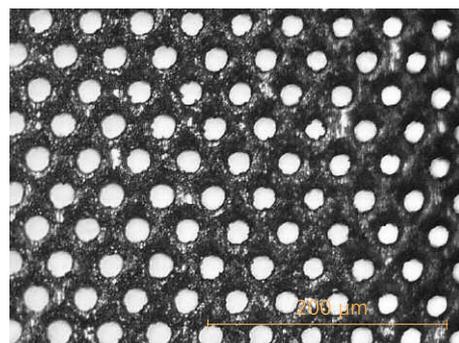
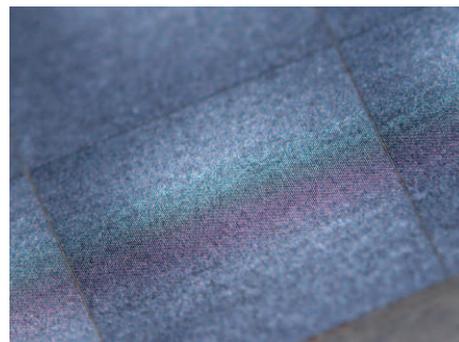
Mit diesem Bohrkonzert konnten verschiedene Materialien mit Bohrraten zwischen 150 bis 300 Löchern/Sekunde gebohrt werden. Die maximale Feldgröße der Bearbeitung, die auf einmal gebohrt werden kann, liegt bei $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$. Für größere Lochfelder kann die Probe mittels präziser Lineartische positioniert werden.

Die erreichbaren kleinsten Durchmesser der Bohrungen liegen hierbei zwischen 10 und $20 \mu\text{m}$. Der minimale Mittenabstand zwischen zwei Löchern, bei dem die Stege zwischen den Löchern nicht aufgeschmolzen sind, ist materialspezifisch. Die erreichbare kleinste Stegbreite liegt zwischen $8 \mu\text{m}$ (für z. B. Titan oder Wolfram) und $30 \mu\text{m}$ (für Stahl).

Hierdurch kann bei kleinsten Durchmessern von $10 \mu\text{m}$ eine Transparenz von über 20 % der Folie erreicht werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) C. Hartmann, Tel.: -207 claudia.hartmann@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148 arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

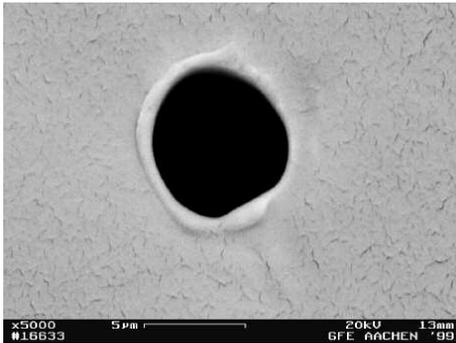


Oben: Mikroperforierte Folie in Schrägansicht. Größe des perforierten Feldes: $7 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$.
Mitte: Perforierte Titan-Folie mit dreieckig angeordneten Bohrungen. Foliendicke $50 \mu\text{m}$, Lochdurchmesser $20 \mu\text{m}$.
Unten: Perforierte Titan-Folie mit quadratisch angeordneten Bohrungen. Foliendicke $50 \mu\text{m}$, Lochdurchmesser $20 \mu\text{m}$.



Aufgabenstellung

Bei der Qualitätssicherung von Verpackungen für Medizinprodukte stellen Dichtigkeitsprüfungen ein wesentliches Kriterium dar. Zur Validierung und Kalibrierung von Prüfanlagen benötigen die Hersteller Testmuster mit Probebohrungen, deren Durchmesser typischerweise in der Größenordnung von 5 - 100 μm liegen. Die Bohrungen sollen dabei keinen Grat aufweisen, damit sich die gebohrten Löcher bei Einsatz in der Prüfanlage nicht zusetzen. Je nach Produkteigenschaften und Fehlermodus sind präzise Bohrungen an unterschiedlichen Stellen und Wandstärken erforderlich.



Oben: Beispiel einer Prüfbohrung in PE.
Unten: Muster von Prüfprodukten.



Vorgehensweise

Für die Herstellung der Prüfbohrungen in Einwegverpackungen (s. Bild unten) wird typischerweise ein ArF-Excimerlaser eingesetzt. Zuerst werden Testbohrungen zum Kalibrieren der Laseranlage angebracht und die Größe und Form der Bohrungen lichtmikroskopisch und mit dem Elektronenraster-Mikroskop überprüft. Anschließend werden die Prüfmuster hergestellt. Da es sich bei dem Abtrag mittels Laserstrahlung um einen berührungslosen Prozess handelt, können die Proben sogar steril gehandhabt werden.

Ergebnisse und Anwendungen

Die Testmuster für die Validierung und Kalibrierung von Prüfanlagen werden kundenspezifisch in den gewünschten Durchmessern gefertigt. In Verpackungen aus Werkstoffen wie PE, PP, PEEK und COC können Bohrungen bis zu kleinsten Durchmessern von einigen Mikrometern in gleichbleibend guter Qualität realisiert werden (s. Bild oben). Die Toleranzen solcher Bohrungen liegen üblicher Weise im Bereich von $\pm 1 \mu\text{m}$. Der Rand der Bohrungen ist leicht verrundet, offene Poren, Gratbildung und lose Partikel können sicher vermieden werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Chem. P. Jacobs, Tel.: -135
philipp.jacobs@ilt.fraunhofer.de
Dr. M. Wehner, Tel.: -202
martin.wehner@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Die agronomischen Eigenschaften von Pflanzenzellen lassen sich durch gezielten Gentransfer (Transformation) deutlich verbessern. Die aus solchen Zellen gewonnenen transgenen Pflanzen weisen z. B. eine erhöhte Resistenz gegen Pflanzenpathogene oder Herbizide, einen gesteigerten Vitamin A- und C-Gehalt oder eine Verzögerung der Fruchtreife auf. Etablierte Verfahren weisen je nach Pflanzenzelle spezifische Nachteile auf und besitzen typischerweise Transformationseffizienzen von weniger als 1 %. Durch Bestrahlung mit Laserdioden bei 405 nm soll die Transformationseffizienz auf 10 % gesteigert werden.

Vorgehensweise

Zur Optoporation der Zellen wird eine violette Laserdiode verwendet, die an ein inverses Mikroskop mit Durchlichtbeleuchtung und Fluoreszenzdiagnostik adaptiert ist. Die Zellen werden tangential am Rand für eine bestimmte Zeitdauer bestrahlt. Eine erfolgte Permeabilisierung (Optoporation) wird durch das Eindringen eines Fluoreszenzfarbstoffes aus dem umgebenden Medium überprüft. Durch die Fluoreszenzmarkierung können nicht optoporierte Zellen aussortiert werden, so dass bei den verbleibenden Zellen eine Expression des Zielgens mit hoher Effizienz zu erwarten ist. Die Arbeiten wurden in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie (IME) durchgeführt.

Ergebnisse und Anwendungen

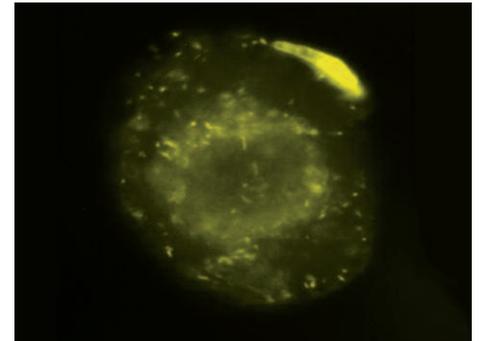
Durch die Bestrahlung der Zellmembran wird eine vorübergehende Permeabilisierung der Membran erreicht. Während dieser Zeitspanne können Fremdstoffe aus dem umgebenden Medium in die Zelle eindringen. Mit Hilfe eines Reportergens (EYFP) konnte die transiente Transformation einzelner Protoplasten nachgewiesen werden (s. Bild). Bei zu hohen Bestrahlungsdosen treten Schäden an der Zellmembran auf, die zum Tod der Zellen führen. Daher muss bei der Bestrahlung ein enges Prozessfenster in Bezug auf Laserleistung und Zeitdauer eingehalten werden.

Die wesentlichen Vorteile einer Laserdiode gegenüber Ultrakurzpuls-Lasern sind der kompakte Aufbau, die niedrigen Investitionskosten und ein deutlich reduzierter Aufwand zur Installation und zum Betrieb des Lasers.

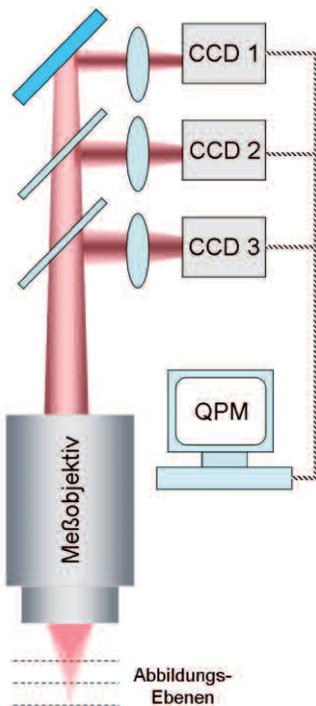
Mit Hilfe dieses Transformationsverfahrens können gezielt einzelne Zellen aus größeren Zellverbänden transformiert und nicht benötigte Zellen direkt eliminiert werden. Durch die Implementierung einer Bildauswertesoftware zur Bestimmung von Lage, Form und Orientierung der einzelnen Zellen kann ein Automatisierungsgrad erreicht werden, bei dem die Ansteuerung einzelner Zellen und deren Bestrahlung automatisch erfolgen.

Ansprechpartner

Dipl.-Chem. P. Jacobs, Tel.: -135
philipp.jacobs@ilt.fraunhofer.de
Dr. M. Wehner, Tel.: -202
martin.wehner@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Erfolgreiche Transformation eines BY2-Protoplasten mit Expression des gelb leuchtenden Reportergens.

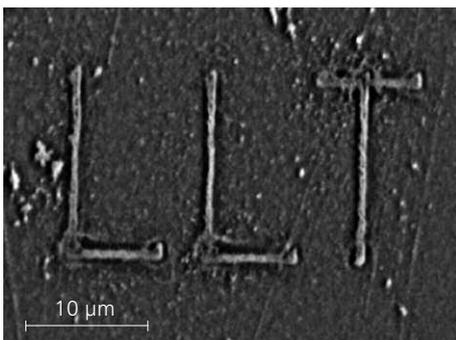
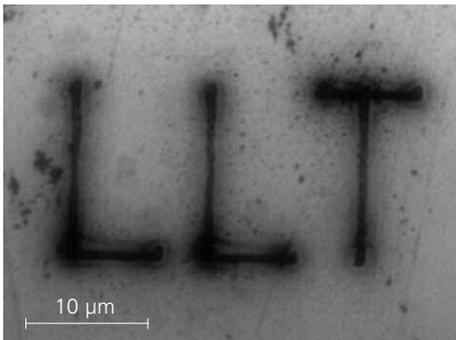


Aufgabenstellung

Die klassische Interferometrie eignet sich nur bedingt für die dynamische Prozessbeobachtung, da meist nur Phasenänderungen in der Größenordnung von π quantitativ bestimmt werden können. Zur Visualisierung transientser Prozesse auf Zeitskalen zwischen 100 fs und 1,5 μ s, wie z. B. bei der Materialbearbeitung mit Laserstrahlung, wird ein neuartiges rechnergestütztes Verfahren zur quantitativen Phasenmikroskopie eingesetzt. Aus quantitativen Phaseninformationen lassen sich z. B. Geometrieänderungen von Mikrostrukturen in drei Dimensionen und Unterschiede der Brechungsindizes ableiten. Das Verfahren ist unabhängig von den räumlichen und zeitlichen Kohärenzeigenschaften der Strahlungsquelle.

Vorgehensweise

Einen Zugang zur quantitativen Phasenmikroskopie bietet die numerische Lösung der Intensitätstransport-Gleichung. Der darauf basierende Algorithmus ermöglicht eine Rekonstruktion der Phaseninformationen aus drei konventionellen Hellfeld-Aufnahmen, die ein Objekt oder einen Prozess in drei Abbildungsebenen (fokussiert und 2 x defokussiert mit einem Versatz von z. B. $\Delta z = \pm 0,5 - 10 \mu$ m) abbilden.



Oben: Schematischer Aufbau des Phasenmikroskops.
Mitte/Unten: Laserinduzierte Modifikation einer Kupfer-Oberfläche. Mitte: Aufnahme mit Auflichtmikroskopie.
 Unten: Mit QPm® berechnetes Zernike-Phasenkontrastbild.

Hierzu werden diese Abbildungsebenen synchron mit drei CCD-Kameras aufgenommen. Die Auswertung mit der Software IATIA® Qpm® simuliert unterschiedliche Messverfahren und Werkzeuge der Phasenmikroskopie, z. B. differentiellen Interferenzkontrast, Hoffmann-Modulationskontrast, Zernike-Phasenkontrast (Bild unten). Um zeitliche Auflösung von ≥ 100 fs und Detektionszeiten bis zu 1,6 μ s zu ermöglichen, werden zum einen ultrakurz gepulste Laserstrahlung (fs-Laserstrahlung) und zum anderen Multireflex-Verzögerungsstrecken verwendet. Die Funktionalität des Verfahrens beinhaltet rechnergestützte Synchronisation und Parametersteuerung der Belichtungsquelle, wie z. B. Intensität, Delay, Belichtungszeit, das synchrone Auslösen der CCD-Kameras und die Auswertung der Aufnahmen mit der Software QPm® (Bild oben).

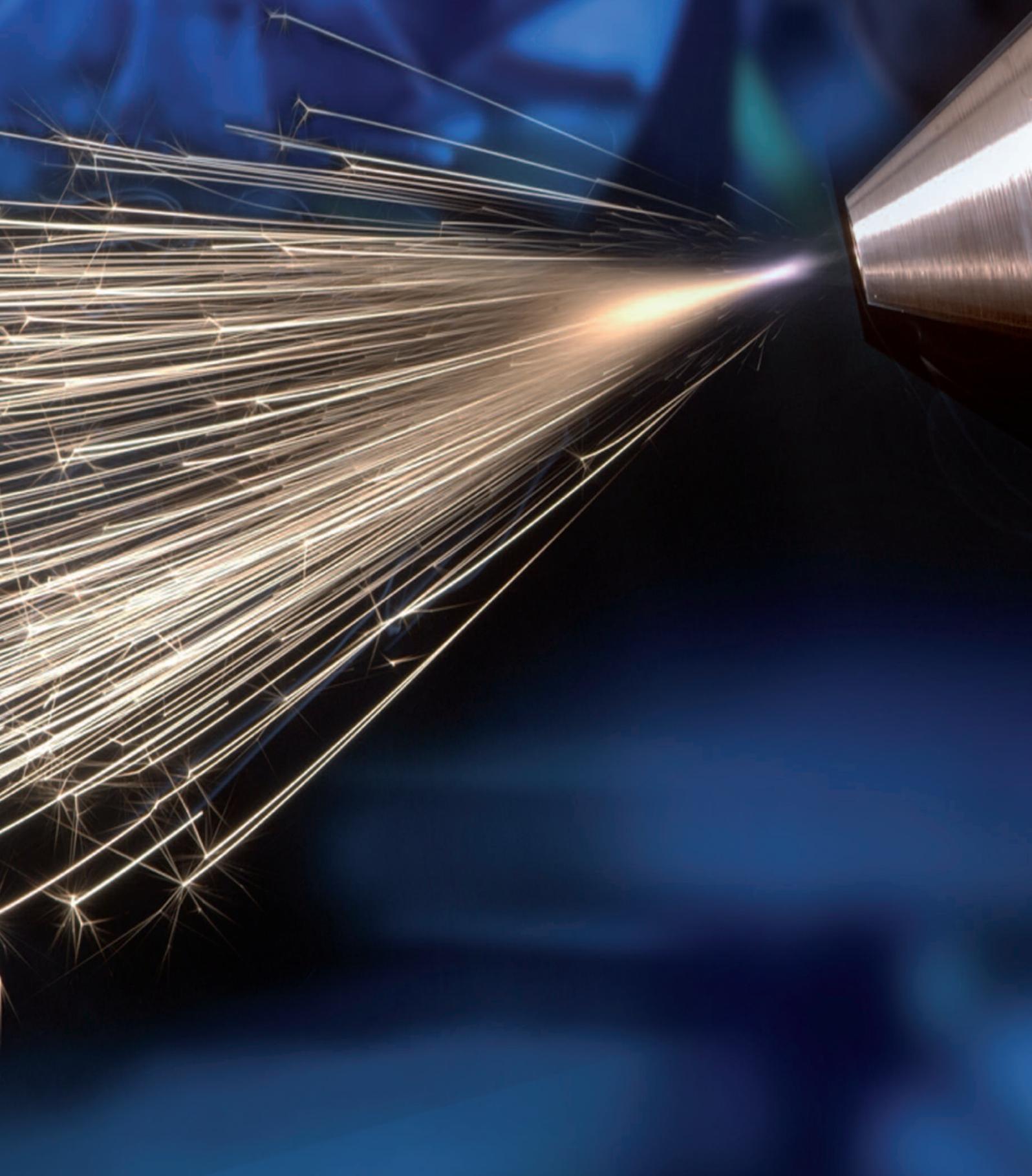
Ergebnisse und Anwendungen

Das entwickelte nichtdestruktive Verfahren kann einerseits zur Prozessvisualisierung bei der Materialbearbeitung, z. B. Schweißen, Bohren oder Abtragen mit Laserstrahlung, eingesetzt werden. Andererseits ist es insbesondere für Anwendungen der Life-Science, z. B. zur Beobachtung von lebenden Zellen ohne Zusatz von toxischen kontrastgebenden Farbstoffen, geeignet.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. I. Mingareev, Tel.: -535
 ilja.mingareev@ilt.fraunhofer.de
 Dr. A. Horn, Tel.: -205
 alexander.horn@ilt.fraunhofer.de
 Dr. I. Kelbassa, Tel.: -356
 ingomar.kelbassa@ilt.fraunhofer.de

Lasieranlagen und Systemtechnik





Entwicklung von Beschichtungsköpfen zum Laserstrahl-Auftragschweißen.

Das Geschäftsfeld konzentriert sich einerseits auf die Entwicklung von Prototypanlagen für Laserapplikationen und plasmatechnische Anwendungen sowie 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.



Laser-Schneidanlage für Karton- Kunststoff-Verbundmaterial	104
Instandsetzung von Getriebekomponenten durch Laserstrahl-Auftragschweißen	105
Autonome Nahtfolge für das Laserstrahlschweißen	106
Prozessüberwachung beim Großserienschweißen von Nocken- wellen mit dem CPC-System	107
Kontinuierliche Prozesskontrolle beim Laserstrahlschweißen von Aluminium-Dünnscheiben	108
Prozessüberwachung beim Kunststoffdurchlichtschweißen	109
European Laser Institute ELI	110

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.

Aufgabenstellung

Innerhalb einer bestehenden Verpackungsmaschine werden technische Zubehörteile in Blistern verpackt, die aus einem Kunststoff-Karton-Verbund bestehen (Bild oben). Gegenwärtig werden 16 parallel zur Förderrichtung angeordnete Blister durch Rollenmesser in Längsrichtung vereinzelt. Zur Verbesserung des Schnittergebnisses soll dies zukünftig mittels Laserstrahlung durchgeführt werden.

Vorgehensweise

Wegen des hohen Absorptionsgrades von Karton und Kunststoff im infraroten Spektralbereich wird für diese Anwendung ein CO₂-Laser (Wellenlänge 10,6 µm) mit hoher Strahlqualitätskennzahl ($K = 0,92$) ausgewählt, der sich mit einer Linse der Brennweite 63 mm auf einen Strahldurchmesser von ca. 100 µm fokussieren lässt. Damit ergeben sich die zum Schneiden derartiger Materialien erforderlichen Intensitäten von typisch 10^6 W/cm². Aus der vorgegebenen Taktzeit von drei Sekunden, der Schnittlänge eines Einzelblisters sowie den Zustellwegen ergibt sich die erforderliche Schnittgeschwindigkeit. Durch Verwendung mehrerer parallel angeordneter Schneidköpfe kann diese soweit verringert werden, dass keine hochpreisigen Verfahrsachsen eingesetzt werden müssen. Ausgehend von dieser Geschwindigkeit wurden im Rahmen der Vorversuche zunächst die erforderliche Laserleistung sowie der zur Erzielung einer gratfreien Schnittkante erforderliche Schneidgasdruck und die Fokusslage ermittelt.

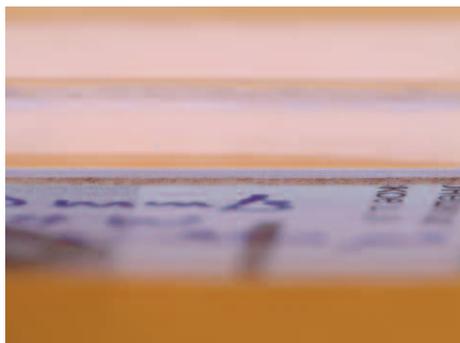
Ergebnisse und Anwendungen

Auf Basis der Vorversuche wurde für den Kunden ein Anlagenkonzept erstellt, um die Umbaukosten für den Ersatz der Rollenmesser durch Laserschnitt zu ermitteln. Dies betraf vor allem die Auswahl der Laserquelle, der Verfahrsachsen und der Steuerung sowie des mechanischen Konzepts zur Anordnung von Laserquelle, Umlenkspiegel und Schneidkopfeinheit.

Für eine 4-Kopf-Schneideinheit ergibt sich eine Schnittgeschwindigkeit von 320 mm/s und damit eine erforderliche Laserleistung von 110 W pro Einzelstrahl. Als Laserquelle wurde ein System mit 500 W maximaler Ausgangsleistung ausgewählt. Die Schnittkanten sind glatt und gratfrei (Bild unten), geringe typische Karton-Schmauchspuren sind akzeptabel und können durch eine geeignete Bedruckung kaschiert werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. G. Otto, Tel.: -165
gerhard.otto@ilt.fraunhofer.de
Dr. A. Gillner, Tel.: -148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de



Oben: Blisterverpackung, bestehend aus einem Verbund aus tiefgezogenem Polymer (Dicke 0,35 mm) und bedrucktem Karton (Dicke 0,35 mm).

Unten: Schnittkante des lasergeschnittenen Kunststoff-Karton-Verbundes (Dicke 0,7 mm). Der Laserstrahl wird von der oberen Kunststoffseite eingestrahlt.



Aufgabenstellung

Für die Instandsetzung von Komponenten aus dem Maschinenbau werden unterschiedlichste Beschichtungsverfahren eingesetzt, wie beispielsweise die Galvanik, das thermische Spritzen oder das konventionelle Auftragschweißen (Plasma-Pulver, Wolfram-Inertgas). Gegenüber diesen Beschichtungsverfahren bietet das Laserstrahl-Auftragschweißen jeweils Vorteile wie metallurgische Verbindung der Schicht mit dem Grundwerkstoff, geringe Wärmebeeinflussung des Bauteils und erzielbare Schichtdicken von 1/10 mm bis mehrere mm durch Mehrlagentechnik.

Ziel ist es, das Laserstrahl-Auftragschweißen für die Instandsetzung von Getriebeteilen zu qualifizieren und eine Komponenten- und Prozessintegration beim Kunden durchzuführen, um damit die Galvanik (Hartverchromen) zu ersetzen.

Vorgehensweise

In einem ersten Schritt werden diverse Getriebeteile am Fraunhofer ILT durch Laserstrahl-Auftragschweißen repariert und durch den Kunden validiert. Anhand der Voruntersuchungen wird ein Pflichtenheft für die erforderliche Anlagentechnik erstellt, wobei für die Manipulation der Bauteile eine Drehmaschine des Kunden verwendet wird. Es sollen nur rotationssymmetrische Bauteile bearbeitet werden.

Die wesentlichen Komponenten sind:

- Modifizierte Drehmaschine mit zusätzlicher Linearachse für den Spurversatz.
- 2 kW fasergekoppelter Diodenlaser und zugehörige Optikkomponenten.
- Fraunhofer ILT Beschichtungskopf mit integrierter Dreistrahl-Düse und der Möglichkeit der Bearbeitung in Zwangslagen.

Ergebnisse und Anwendungen

Diverse Komponenten aus dem Getriebebau wurden instand gesetzt. Dabei wurden kundenspezifisch Schichthärten von 36 bis 60 HRC realisiert bei geforderten Schichtdicken von 0,3 mm bis 0,7 mm.

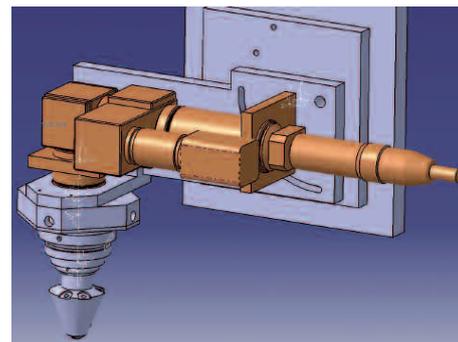
Die erforderliche Anlagentechnik wurde beim Kunden integriert. Seit Mitte 2006 werden dort Komponenten aus dem Getriebebau instand gesetzt.

Die entwickelte Prozessführung sowie die realisierten Komponenten lassen sich auch für das Laserstrahl-Auftragschweißen anderer Komponenten wie Maschinenteile, Turbinenteile sowie Formen und Werkzeuge einsetzen.

Die Arbeiten wurden in Zusammenarbeit mit der Firma Stork Gears & Services in Rotterdam durchgeführt.

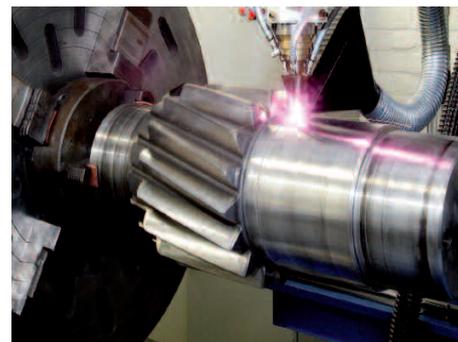
Ansprechpartner

Dr. A. Gasser, Tel.: -209
andres.gasser@ilt.fraunhofer.de
Dr. K. Wissenbach, Tel.: -147
konrad.wissenbach@ilt.fraunhofer.de



Oben: 3-D-Zeichnung der Optik mit Kollimation, Fokussieroptik, CCD-Kamera und angeflanschter Pulverzufuhrdüse.

Unten: Instandsetzung von Getriebeteilen durch Laserstrahl-Auftragschweißen.



Aufgabenstellung

Kommerzielle Systeme zur Nahtfolge messen die Position der Werkstückfuge vorlaufend zur Prozesszone. Eine Abweichung der Fugenposition wird durch eine online Korrektur der Bahntrajektorie oder eine Zusatzachse (Linear- oder Kippachse) ausgeglichen, wobei der Vorlauf des Sensors als Totzeit für die Korrektur berücksichtigt werden muss. Diese Systeme sind sehr empfindlich gegenüber Abweichungen der Vorschubbewegung. Ursache hierfür ist, dass der Nahtfolgealgorithmus keine Information über die tatsächliche Bewegung der Roboterhand nach der Messung der Nahtposition hat. Für eine fehlerfreie Nahtfolge muss deshalb sichergestellt sein, dass

- die Bahnwiederholgenauigkeit des Roboters innerhalb der erforderlichen Stellgenauigkeit liegt,
- keine Verschiebung oder Verformung des Werkstücks auftritt,
- keine Verdrehung des Bearbeitungskopfes auftritt.

Weiterhin muss jede Schweißapplikation an einem »goldenen Bauteil« kalibriert werden, um Querbewegungen des Roboters zu kompensieren. Dies erfordert aufwändige Integrationsarbeiten mit der Robotersteuerung. Ziel der autonomen Nahtfolge ist ein Bearbeitungskopf, welcher Abweichungen zwischen Roboter- und Nahttrajektorie ausschließlich mit integrierter Sensorik und Aktorik, d. h. unabhängig von der Robotersteuerung und ohne vorherige Kalibrierung, korrigiert.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wurde ein optisches Messsystem entwickelt, welches die Werkstückoberfläche beobachtet und die Relativgeschwindigkeit zwischen

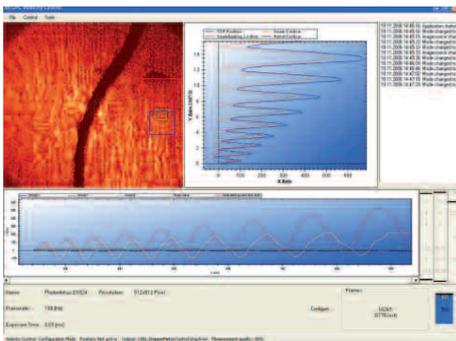
Sensor und Werkstück in zwei Achsen ermittelt. Weiterhin erfasst dieses Messsystem die Nahtposition mittels Graubildanalyse. Anhand dieser Informationen werden für jeden Zeitpunkt die Trajektorie des Roboters und der Naht und damit der Korrekturvektor berechnet. Ein zum Bearbeitungsstrahl koaxialer Aufbau des Sensors ermöglicht eine Messung der Nahtposition in 360° um den Bearbeitungspunkt und damit eine Nahtfolge in 2 Achsen ohne zusätzliche Drehachse. Die Positionskorrektur erfolgt in diesem Fall durch einen im Strahlengang angeordneten Scannerspiegel (Bild oben).

Ergebnisse und Anwendungen

Durch die gleichzeitige Messung von Relativbewegung und Nahtposition kann ein Stumpfstoß autonom verfolgt werden. Hierdurch kann eine präzise Bearbeitung auf einfachen und kostengünstigen Robotern, die eine geringe Bahngenauigkeit oder eingeschränkte Schnittstellen aufweisen, oder mit manueller Führung (Handbearbeitung) erfolgen. Das Handhabungssystem führt hierbei die Grobpositionierung durch; die Feinpositionierung erfolgt durch eine schnelle, im Bearbeitungskopf integrierte Aktorik. Fehler durch zu geringe Bahngenauigkeit des Roboters, eine Verformung des Werkstücks während der Bearbeitung oder eine Verdrehung des Roboterkopfes, wie sie bei konventioneller Nahtfolge auftreten, werden vermieden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. B. Regaard, Tel.: -320
boris.regaard@ilt.fraunhofer.de
Dr. S. Kaieler, Tel.: -212
stefan.kaieler@ilt.fraunhofer.de



Oben: Laserschweißsystem mit autonomer Nahtfolge.
Unten: Benutzeroberfläche, autonome Nahtfolge einer sinusförmigen Fuge. Livebild der Werkstückbeobachtung (links), gemessener Verlauf der Naht auf dem Werkstück (rechts), Messsignal der Relativverschiebung und der Nahtposition sowie Korrekturvektor (unten).



Aufgabenstellung

Das Unternehmen LBBZ schweißt in der Großserie für die Automobilindustrie Nockenwellen. Der Aufbau der PKW-Nockenwelle ist im oberen Bild dargestellt. Die im Detailbereich abgebildete Schweißnaht der Nockenwellenachse verbindet die beiden Stahlhalbzeuge. Das Bauteil wird mit einem CO₂-Laser im I-Stoß verschweißt. Die Qualitätskontrolle erfolgt im Schwerpunkt durch den Anlagenbediener. Er prüft visuell alle geschweißten Bauteile auf Defekte. Da fehlerhaft geschweißte und verbaute Nockenwellen, die im Betrieb versagen, erhebliche Folgekosten verursachen, kommt dem Erkennen fehlerhafter Schweißungen ein hoher Stellenwert zu. Ziel des Projektes war die 100%ige online Überwachung des Schweißprozesses beim Nockenwellenschweißen mit dem CPC-Prozessüberwachungssystem.

Vorgehensweise

Die vom Laserstrahlschweißprozess emittierte Prozessstrahlung gelangt in rückwärtiger Richtung in den Strahlengang der Bearbeitungsanlage zurück. Durch einen seitlich zum Laserstrahl angebrachten kleinen Spiegel wird ein Teil dieser Strahlung aus dem Strahlengang ausgekoppelt und über ein optisches System auf die Hochgeschwindigkeitskamera des CPC-Systems abgebildet. Die Optik wurde so ausgelegt, dass sich eine möglichst gute Abbildungsqualität ergibt. Mit dem CPC-System und dessen Auswertesoftware werden die Prozessbilder aufgezeichnet und simultan ausgewertet.

Im Rahmen des Vorhabens wurden verschiedene Auswertestrategien getestet. Kriterien für die Auswahl des Auswerteverfahrens waren die Messsicherheit und Onlinefähigkeit. Insbesondere müssen der Schlupf (nicht erkannte Fehler) gleich null und die Pseudofehlerrate möglichst gering sein.

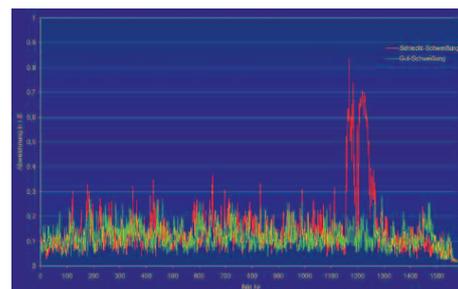
Ergebnisse und Anwendungen

Mit dem Auswerteverfahren »Referenzfilmvergleich« konnten die gestellten Anforderungen an die Prozessüberwachung erfüllt werden. Das untere Bild zeigt das Ergebnis der Auswertung für eine Gut-Schweißung und eine Schlecht-Schweißung. Typisch für einen Schweißfehler ist eine hohe Amplitude des Auswertesignals. Wie im Bild zu sehen, lässt sich mit diesem Verfahren der Zeitpunkt der Abweichung bestimmen. Daraus ergibt sich direkt auch der genaue Ort des Prozessfehlers auf der Schweißnahtkontur. Die Auswertung konnte so eingestellt werden, dass bei einer Serie von mehreren hundert Bauteilen nur eine geringe Pseudofehlerrate auftrat und keine fehlerhaften Bauteile übersehen wurden.

Die Ergebnisse bei dieser Applikation zeigen eine 100%ige Erfolgsquote bei der Detektion der Schweißfehler. Darüber hinaus ist dieses Verfahren auch auf andere Anwendungsbereiche übertragbar.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. J. Kittel, Tel.: -136
jochen.kittel@ilt.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. P. Abels, Tel.: -428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de
Dr. S. Kaierle, Tel.: -212
stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de



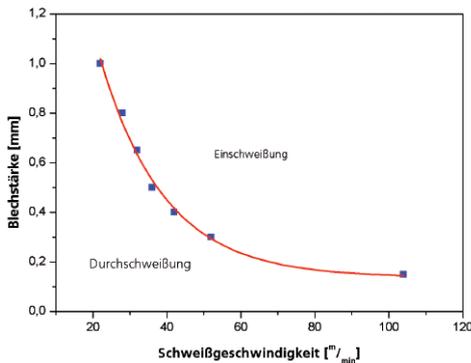
Oben: Nockenwelle mit Laserschweißnaht.

Unten: Ergebnis der Prozessauswertung für eine Gut- und eine Schlecht-Schweißung.



Aufgabenstellung

Für die Anwendung des Laserstrahlschweißens von Aluminium-Polymer-Verbundrohren wird eine Methode für die Prozessüberwachung erprobt. Ziel der Untersuchung ist es, die Reichweite eines kamerabasierten Sensorsystems zur Erfassung von Schweißfehlern zu ermitteln sowie die Anwendbarkeit der Ergebnisse hinsichtlich einer kontinuierlichen Qualitätskontrolle zu bewerten.



Oben: Durchschweißgrenze bei $P_L = 1 \text{ kW}$, $r_F = 184 \text{ }\mu\text{m}$, 1050 A (Al 99,5).

Mitte: Spritzerbildung bei $v_s = 28 \text{ m/min}$, $s = 0,4 \text{ mm}$.

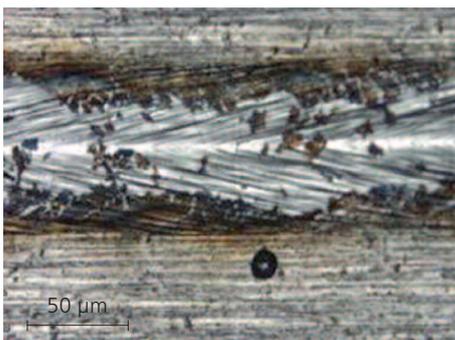
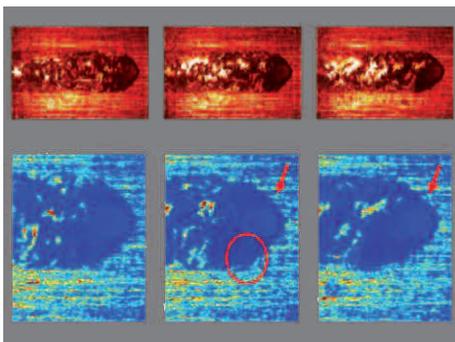
Unten: Aufsicht auf die Ober-
raupe.

Vorgehensweise

Durch eine Analyse der dynamischen Vorgänge in der Prozesszone werden aus den in EN 13919-2 erfassten Fehlern diejenigen selektiert, die einer bildgestützten Erfassung zugänglich sind. Dabei wurden Schweißspritzer, Schweißgutüberlauf, Lochbildung und Bindefehler als visualisierbar eingestuft.

Als bildgebendes System wird die Koaxiale Prozesskontrolle (CPC) mit Fremdbeleuchtung eingesetzt. Da zur Sicherstellung von Produktivität und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens hohe Schweißgeschwindigkeiten angestrebt werden, wurden zunächst die Grenzen des Aufnahmeverfahrens festgestellt.

Für die Beobachtung der Schweißfehler wurden die Parameter von Beleuchtung und Detektor optimiert. Die Fehler wurden durch die Einstellung des Prozesses bewusst provoziert.



Ergebnisse und Anwendungen

Die isolierten Fehler sind mit Hilfe der kamerabasierten Überwachungseinheit erkennbar. Dabei ist die Visualisierung von Schweißspritzern (s. Bilder Mitte/ unten) und Schweißgutüberlauf bei Schweißgeschwindigkeiten von 50 m/min möglich. Bei höheren Geschwindigkeiten führt die Bewegungsunschärfe zu einer Begrenzung der auflösbaren Fehlergröße. Lochbildung ist dann detektierbar, wenn durch eine Unterlage Strahlung des Beleuchtungslasers rückreflektiert wird. Durch Unterschiede der Oberflächentextur werden Fehlstellen erkennbar. Poren können nur dann erkannt werden, wenn ihr Durchmesser der Blechstärke entspricht.

Bindefehler im Stumpfstoß lassen sich dann detektieren, wenn die Oberraupe nicht unterwölbt ist. Die Strahlung des Beleuchtungslasers wird an der gekrümmten Fläche in den Raum reflektiert. Vorgänge, die im Nachlauf der Kapillaren zu Fehlern führen, sind nur begrenzt erkennbar. Diese Einschränkungen erfordern alternative Beleuchtungskonzepte.

Mit einer Steigerung der Bildfrequenz und einer Verkürzung der Belichtungszeit kann die Bildqualität verbessert und die Beobachtung bei höheren Schweißgeschwindigkeiten realisiert werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. M. Dahmen, Tel.: -307
 martin.dahmen@ilt.fraunhofer.de
 Dr. S. Kaierle, Tel.: -212
 stefan.kaierle@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Das Durchlichtschweißen von Kunststoffen mittels Laserstrahlung hat sich in der industriellen Produktion etabliert. Bauteil-, werkstoff- und umgebungsbedingte Störungen, die sich einer Kontrolle entziehen, können jedoch zu einer Abweichung vom »optimalen Bearbeitungspunkt« und in der Folge zu Bearbeitungsfehlern führen. Aufgabe ist daher, die Möglichkeiten der optischen Prozesskontrolle beim Kunststoffschweißen mit Laserstrahlung zu untersuchen und industriell nutzbar zu machen.

Vorgehensweise

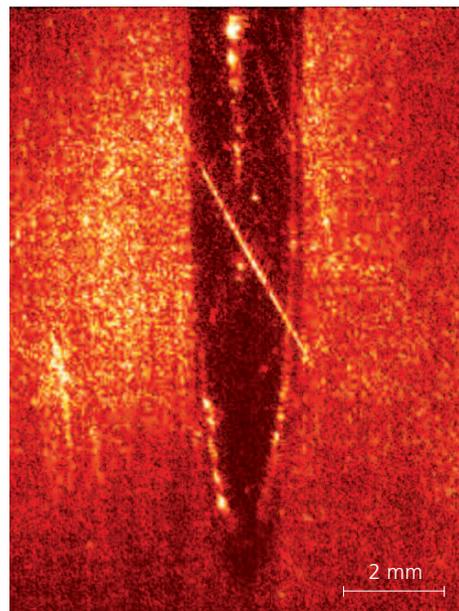
Die Arbeiten werden gemeinsam mit den Industriepartnern Amtron GmbH, Huf Tools GmbH Velbert und LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH im Rahmen eines von der »Stiftung Industrieforschung« geförderten Projekts durchgeführt. Hierbei werden die spezifischen Aussagefähigkeiten der koaxialen ortsintegrierten und der orts aufgelösten koaxialen Prozessbeobachtung sowie die Messung von Sekundärstrahlung und der Beobachtung mit Fremdbeleuchtung gegenübergestellt.

Ergebnisse und Anwendungen

Auf Basis des am Fraunhofer ILT entwickelten modularen Optiksystems wurde ein Bearbeitungskopf für das Kunststoffschweißen mit integrierter Sensorik ausgelegt und aufgebaut. Der Bearbeitungskopf erlaubt die Überwachung der vom Prozess emittierten Wärmestrahlung bei gleichzeitiger Beobachtung des fremdbeleuchteten Prozesses. Hierdurch wird die Bewertung der verschiedenen Überwachungsstrategien sowie die Korrelation von Sensorsignalen ermöglicht. Es werden Schweißversuche für die Materialien Polycarbonat, Polypropylen und Polyamid durchgeführt. Weitere Ziele sind die Bereitstellung von Strategien zur Prozessüberwachung sowie eine prototypische Umsetzung in einem industriell nutzbaren Bearbeitungskopf, um dem Bedarf an qualitätssichernden und -verbessernden Maßnahmen im Bereich des Kunststoffschweißens mit Laserstrahlung gerecht zu werden.

Ansprechpartner

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



Fremdbeleuchteter Kunststoffschweißprozess.



Kurzportrait

Das European Laser Institute wurde 2003 auf Initiative und mit Förderung der Europäischen Union gegründet. Ziel von ELI ist es, die Position Europas in der Lasertechnik zu stärken und weiter auszubauen. Darüber hinaus will ELI den Stellenwert und die Perspektiven der europäischen Lasertechnik für eine breitere Öffentlichkeit sichtbar machen. Gemeinsam mit über 20 führenden Forschungseinrichtungen sowie kleinen und mittelständischen Unternehmen hat sich das Fraunhofer ILT zu einem europäischen Netzwerk zusammengeschlossen. Neben der Integration in regionale und nationale Netzwerke ist das Fraunhofer ILT damit auch auf europäischer Ebene in ein schlag-

kräftiges Netzwerk im Bereich der Lasertechnik eingebunden. Des Weiteren wird die internationale Kooperation von Industrie und Forschung, insbesondere im Bereich der EU-Forschungsförderung, durch ELI forciert. Durch die Organisation von Konferenzen, Workshops, Summerschools etc. schafft ELI unter anderem entsprechende Plattformen. Nicht zuletzt wird dies auch zukünftig durch die Zusammenarbeit mit den jeweiligen Interessensvertretungen (z. B. EPIC, AILU, WLT) gefördert. Eine enge Kooperation mit dem Laser Institute of America (LIA) besteht bereits unter anderem bei der Ausrichtung von internationalen Konferenzen (ICALEO, PICALO, ALAW) sowie dem Journal of Laser Applications (JLA).

Executive Committee

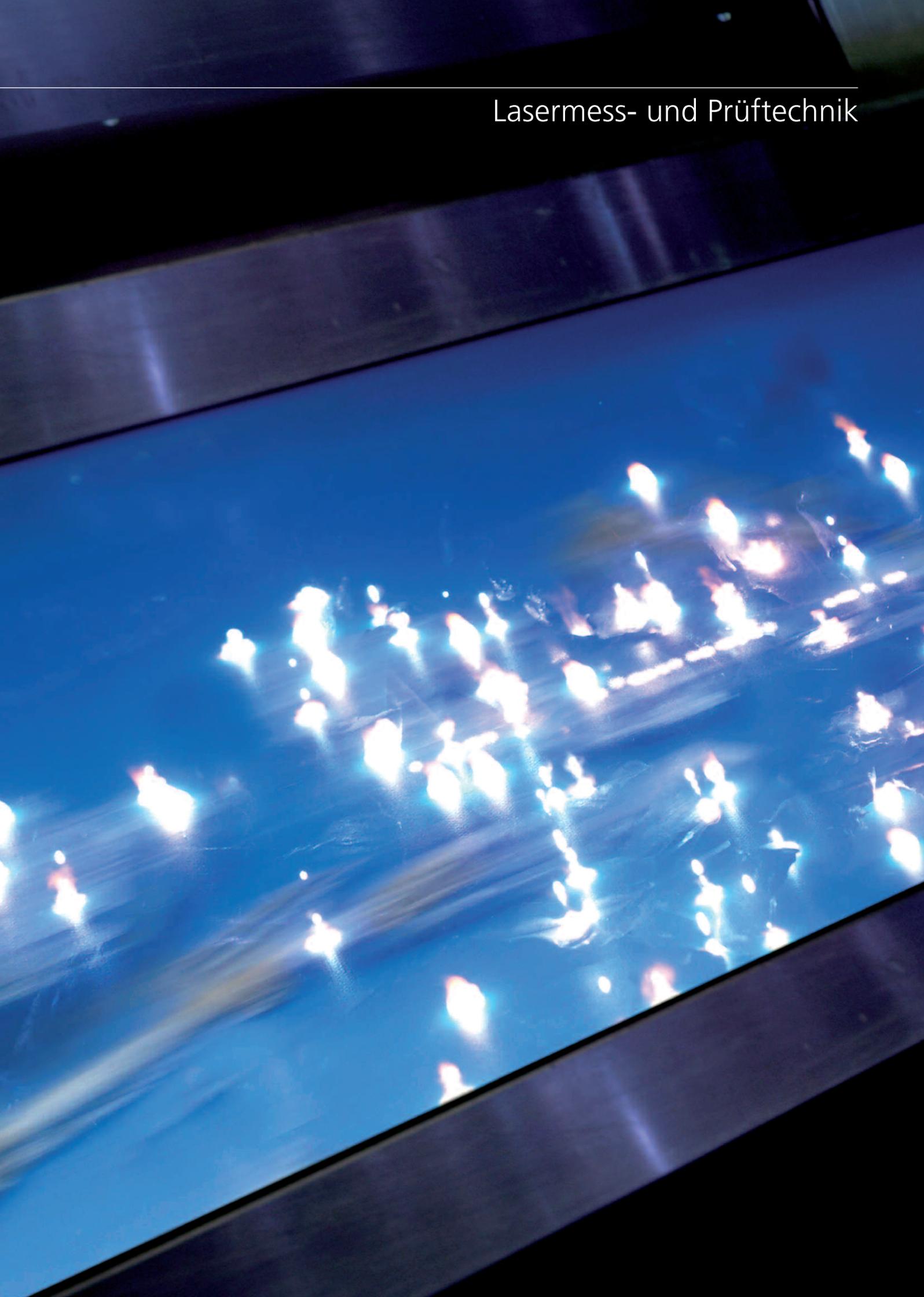
Das European Laser Institute wird durch das Executive Committee vertreten. Mitglieder im Executive Committee sind:

- Dr. Stefan Kaieler (Vorsitzender), Fraunhofer ILT, Deutschland
- Abdelkrim Chehaibou, Institut de Soudure, Frankreich
- Dr. François De Schutter, Lasercentrum Vlaanderen, Belgien
- Dr. Paul Hilton, TWI, Großbritannien
- Dr. Wolfgang Knapp, CLFA, Frankreich
- Prof. Dr. Veli Kujanpää, Lappeenranta University of Technology, Finnland
- Prof. Dr. José Luis Ocaña, Centro Láser U.P.M., Spain

Kontakt

Dr. Stefan Kaieler
Telefon: +49 (0) 241 8906-212
Fax: +49 (0) 241 8906-212
kaieler@europeanlaserinstitute.org

Lasermess- und Prüftechnik



Das Angebotsspektrum des Geschäftsfeldes umfasst die Entwicklung von Mess- und Prüfverfahren sowie entsprechender Anlagen zur Stoffanalyse und zur Geometrie- und Oberflächenprüfung. 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 und oxidischer Werkstoffe, der Verwechslungsprüfung, der Schnellerkennung von Werkstoffen für Recyclingaufgaben sowie der Analyse von Gasen und Stäuben. Für die parallele Verarbeitung von Detektorsignalen hoher Bandbreite werden spezielle Elektronikkomponenten entwickelt.

In der Biophotonik werden Verbundprojekte im Bereich hochsensitiver Fluoreszenzdetektion für Proteinchips und Laser-Streulichtmessungen in Sub- μ l Probenvolumina für die Proteinkristallisation durchgeführt. Im Bereich Geometrie- und Oberflächenprüfung werden Komponenten, Geräte und Anlagen, mit denen 1- bis 3-D-Informationen über die Geometrie- oder die Oberflächenbeschaffenheit von Werkstücken gewonnen werden können, entwickelt. Hierzu zählen beispielsweise Verfahren und Sonderanlagen für die Prüfung der Maßhaltigkeit von strang- und bandförmigen Produkten und Geräte für die 1-D- bis 3-D-Vermessung von Stückgut. Zielmärkte sind die produzierende Industrie und die Recyclingwirtschaft, die mess- oder prüftechnische Aufgaben prozessnah und schnell durchführen müssen.



SILAS - Schnelle Identifikation von Leichtmetall-Legierungen zur automatischen Sortierung.



Blaue Laser für die Ultra- präzisions-Triangulation - BLU	114	Fernanalyse mit Laser- Emissionsspektrometrie - TeleLis	124
Scannendes System für die Laser- emissionsspektrometrie - ScanLis	115	Optische Ferndetektion von Gefahr- und Explosivstoffen - OFDEX	125
Schnelle lasergestützte Element- analyse von Schlackeproben	116	Konfokale Laserscanning Mikroskopie mit Multiphotonen- anregung	126
Schnelle Identifikation von Leichtmetall-Legierungen zur automatischen Sortierung - SILAS	117	Optische Kohärenz-Tomographie (OCT) in der intraoperativen Gewebediagnostik	127
Schnelle lasergestützte Analyse von metallischen und nicht- metallischen Einschlüssen in Stahl - REAL	118	Integrierte mikrofluidische Diagnostiksysteme - IMIKRID	128
Laseranalyse korrosiver Veränderungen von Baustoffen	119	Laserendoskop für die multimodale Tumorthherapie im Gehirn - MultiLas	129
Schnelle Präparation und Analyse von Prozessproben mit Laserverfahren	120	Endoskopisches Laserkoagula- tionssystem für den intraoperativen Verschluss von Blutgefäßen	130
Effizienzsteigerung beim Mikroabtrag mit Festkörperlasern durch Tailored Pulse Trains	121	Applikationssystem für die intrakranielle photodynamische Therapie - PDT	131
Einzelkornanalyse zur Mineralien- trennung bei der Gewinnung von Primärrohstoffen - EIGER	122	Rationale Proteinkristallisation mit optischen Messverfahren	132
Charakterisierung ultrafeiner Staubpartikel in Emissionen von Industrieprozessen	123		

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.

Aufgabenstellung

Wachsende Anforderungen an Maßhaltigkeit und Oberflächenqualität, wie beispielsweise in der stahlverarbeitenden Industrie und Automobilindustrie, erfordern berührungsfreie Sensorkonzepte mit Messgenauigkeiten im Mikrometerbereich und darunter. Derartige Systeme müssen in Geschwindigkeit, Zuverlässigkeit und Benutzerfreundlichkeit den Bedingungen einer modernen flexiblen Serienproduktion mit automatisierter Prozess- und Qualitätskontrolle genügen. Berührungslos arbeitende, kompakte Abstandssensoren auf Basis der Lasertriangulation sind für solche Zwecke hervorragend geeignet.

Vorgehensweise

Ziel des Vorhabens ist es, Triangulationsensoren zu entwickeln, die eine höhere Ortsauflösung und Genauigkeit aufweisen, als derzeit kommerziell erhältliche. Unter anderem soll die Ortsauflösung, der Signal-zu-Rausch Abstand und die Genauigkeit durch den Einsatz blauer Laserdioden verbessert werden.

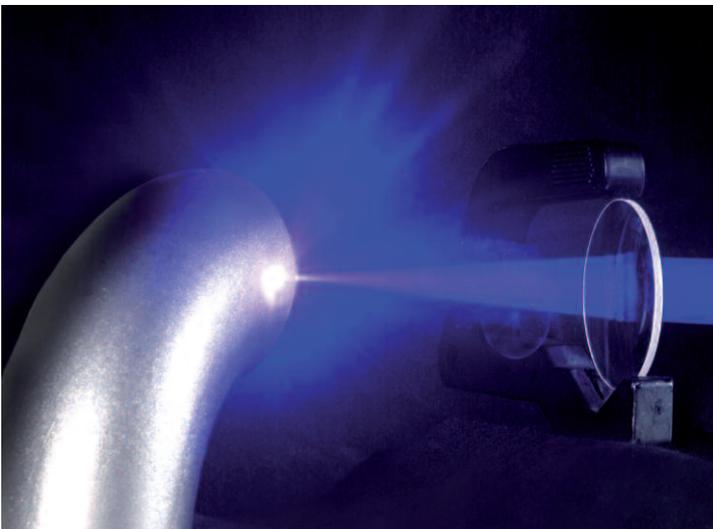
Durch eine Integration einer räumlichen Modulation sollen geometrisch abgestimmte Bestrahlungsmuster auf dem Messobjekt erzeugt werden. Ein zeitlicher Modulator soll ein zeitliches Multiplexen erlauben und den Dynamikbereich erweitern. Der Sensor soll auf einer stabilen und leichten Optikplattform aufgebaut werden. Zum Ende des Vorhabens sollen die neu entwickelten Sensoren für verschiedene industrielle Applikationen getestet werden.

Das Projekt wird mit finanzieller Unterstützung des Bundeswirtschaftsministeriums, von Industriepartnern und der Fraunhofer-Gesellschaft durchgeführt.

Ergebnisse und Anwendungen

Zur späteren Erprobung der Sensoren wurde ein Laboraufbau realisiert und erste Vergleichsmessungen zwischen roten und blauen Laserdioden für Triangulationssensoren durchgeführt. Gleichzeitig wurden verschiedene Anordnungskonfigurationen und Detektoren erprobt, wobei insbesondere CCD und CMOS Detektoren für die Einsetzbarkeit im blau-violetten Wellenlängenbereich getestet wurden.

Blaue Laserstrahlung wird für die Triangulation eingesetzt.



Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) A. Lamott, Tel.: -133,
andre.lamott@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138,
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Sowohl im Hüttenwesen wie auch in der metallverarbeitenden Industrie besteht ein immer größerer Bedarf an schnellen Verfahren für die Legierungsanalytik. Dies betrifft nicht nur die Entwicklung neuer Materialien und Verfahren, sondern auch die Prozess- und Qualitätskontrolle. Hierbei bietet sich die laserinduzierte Emissionsspektrometrie als eine interessante Alternative gegenüber konventionellen spektroskopischen Verfahren an. Die wichtigsten Vorteile sind: keine Probenvorbereitung, kein physischer Kontakt zwischen Probe und Messgerät.

Vorgehensweise

ScanLis wurde für die Analyse sowohl von niedrig legierten Stählen als auch Beschichtungen von Blechen konzipiert. Für diese unterschiedlichen Anwendungen ist ein Modulsystem entwickelt worden. Das Probenstandmodul dient zur Analyse von Prozesskontrollproben und Referenzproben in den üblichen Größen. Mit Hilfe des Auslegers und eines UV-Moduls lassen sich bandförmige Erzeugnisse analysieren, die z. B. mit einem Transportband unterhalb des Auslegers entlanggeführt werden. Die UV-Module sind mit Arbeitsabständen zwischen 100 mm und 1000 mm verfügbar. In einer späteren Ausbaustufe ist ein Scan-Modul vorgesehen, mit dem sich eine Fläche unterhalb des Auslegers rasternd analysieren lässt.

Ergebnisse und Anwendungen

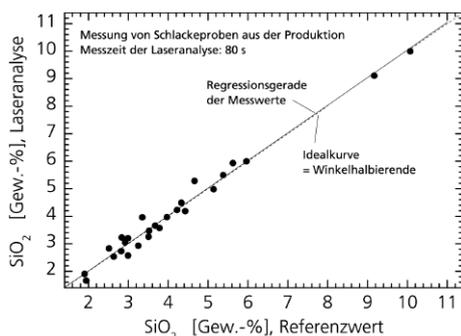
Das System ist in der Lage, Spektren mit einer Wiederholrate von 20 Hz aufzunehmen. Der eingesetzte Laser erlaubt Analysen mit Einzel- und Doppelpulsen. Das Spektrometer besitzt 30 Kanäle im Wellenlängenbereich von 130 nm bis 589 nm. Mit dem integrierten Softwarepaket lassen sich Kalibrationen für verschiedene Matrizes anlegen und anwenden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) R. Fleige, Tel.: -133
ruediger.fleige@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: ScanLis mit montiertem Probenstandmodul.
Unten: ScanLis mit montiertem Ausleger.



Oben: Schlackeprobe, die mit einer Tauchsonde aus der flüssigen Schlackeschicht entnommen wurde. Der Probendurchmesser liegt im Bereich 20 - 40 mm.

Unten: Der Vergleich der Laseranalyse zeigt eine gute Übereinstimmung mit den SiO₂-Referenzwerten aus der zeitaufwändigeren Laboranalyse mittels Borataufschluss.

Aufgabenstellung

Bei der Stahlherstellung bildet sich auf dem flüssigen Stahl eine Schlackeschicht. Die Kenntnis der Zusammensetzung der Schlacke ist eine wichtige Kontrollmöglichkeit für den Stahlherstellungsprozess. Kontrollproben (Bild oben), die mit einer Sonde aus der flüssigen Schlacke genommen werden, sollen schnell und vor Ort im Stahlwerk analysiert werden. Die Elementverteilung innerhalb der Proben ist stark inhomogen, so dass Verfahren zur verbesserten örtlichen Mittelung untersucht und umgesetzt werden sollen.

Vorgehensweise

Zur Elementanalyse wird die Laser-Emissionsspektrometrie eingesetzt. Ein gepulster Festkörperlaser erzeugt ein leuchtendes Materialdampfplasma auf der Probenoberfläche, dessen Strahlungsemission zur spektrochemischen Analyse genutzt wird. Zunächst werden grundlegende Untersuchungen zur Spektrallinienauswahl und zur Elementverteilung durchgeführt und verbesserte Kalibrationsmethoden für einen speziellen Probentyp entwickelt. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde ein Demonstrator für den Vor-Ort-Einsatz im Stahlwerk aufgebaut. Damit wird die Transportzeit für die Probe minimiert. Anhand von Betriebskontrollproben werden die Ergebnisse der Laseranalyse mit den Referenzwerten verglichen (Bild unten).

Ergebnisse und Anwendungen

Die Algorithmen zur Messwertverarbeitung und zur Bediensteuerung wurden im Demonstrator implementiert und getestet. Danach wurde der Demonstrator im Stahlwerk der Dillinger Hüttenwerke aufgebaut und in Betrieb genommen. Die routinemässige Messung erfolgt über das Bedienfeld durch den Stahlwerker, der die Probe aus der Tauchsonde entnimmt und auf den Probentisch legt. Mit dem Schließen der Abdeckung startet die Messung, und das Ergebnis wird automatisch zum Leitreechner gesandt und im Leitstand angezeigt. Die Analysenzeit ist mit 1 min 20 s deutlich geringer als die bisherige Analysenzeit von etwa 4 - 5 min an Presslingen inklusive erforderlicher Präparationszeit.

Die Arbeiten werden vom Research Fund for Coal and Steel of the European Community und der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

Ansprechpartner

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



Aufgabenstellung

Das Recycling von Aluminium stellt eine wichtige Sekundärrohstoffquelle dar. Neben dem Aspekt der Ressourcenschonung ermöglicht die Rückführung von Altaluminium in den Materialkreislauf erhebliche Energieeinsparungen. So erfordert das Recycling von Aluminium nur ca. 5 % des Energieeinsatzes der Primärherstellung. Die Verarbeitung von Aluminiumschrotten in Sekundärschmelzwerken zu hochwertigem Aluminium ist allerdings nur möglich, wenn der Schrott in Form von sortenreinen Guss- oder Knetlegierungen vorliegt.

Automatisch arbeitende Sortiergeräte zur Trennung in Guss- und Knetlegierungen sowie in unterschiedliche Legierungsgruppen als Voraussetzung für ein werkstoffliches Recycling auf hohem Qualitätsniveau sind nicht verfügbar.

Im Rahmen des Verbundprojektes SILAS wird ein neues, lasergestütztes Identifikationsverfahren entwickelt, mit dem ein hoher Materialdurchsatz bei gleichzeitig hohem Reinheitsgrad der sortierten Fraktionen erreichbar ist. Ziel des Projektes ist der Aufbau eines Demonstrators, mit dem die Funktionsfähigkeit des Verfahrens unter praxisrelevanten Betriebsbedingungen nachgewiesen werden kann.

Vorgehensweise

Der Verfahrensansatz beruht auf einer Kombination aus Bildverarbeitung, lasergestützter Geometrieerfassung und Laser-Emissionsspektrometrie. Neben geometrischen und optischen Merkmalen des Sortiergutes wird die chemische Zusammensetzung

der Einzelkörner laserspektroskopisch bestimmt und das Sortiergut anschließend entsprechend der auf den Messgrößen basierenden Sortierentscheidung automatisch in zwei oder mehr Fraktionen getrennt.

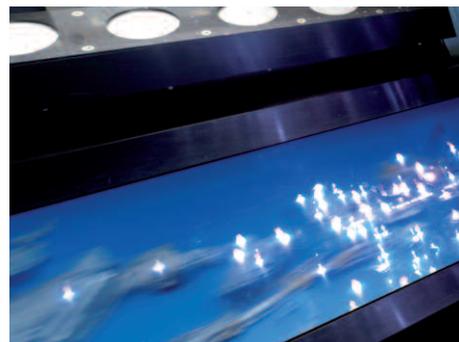
Ergebnisse und Anwendungen

Nach der Integration und Synchronisation aller Teilmodule wird im Rahmen der Testphase des SILAS-Demonstrators die Sortierichtigkeit der Multi-Element-Analyse bewertet und optimiert. Ein Kernaspekt bei diesem Optimierungsprozess stellt die Beseitigung von Oberflächenkontaminationen bei realen Schrottproben dar. Durch eine räumlich-zeitliche Anpassung der Laserstrahlleistung wird die Oberfläche vor jeder einzelnen LIBS-Messung präpariert. Anschließend wird die Materialzusammensetzung eines repräsentativen Teilmolumens des Objekts spektroskopisch analysiert.

Die Aufrüstung des Sortier-Demonstrators auf weitere Matrices wie Eisen, Magnesium und Mineralien ist in Planung.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Ü. Aydin, Tel.: -431
uemit.aydin@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de
Dr. J. Makowe, Tel.: -327
joachim.makowe@lsa-systems.de



Momentaufnahme der online Analyse mit Laser-Emissionsspektrometrie von Al-Schrottproben bei einer Bandgeschwindigkeit von 3 m/s. Die Belichtungszeit dieser Aufnahme beträgt 1 s.

Aufgabenstellung

Metallische und nicht-metallische Einschlüsse in Stahl sind ein wichtiges Qualitätskriterium. Eine schnelle Detektion dieser Einschlüsse mit typischen Größen zwischen $0,1 \mu\text{m}$ bis zu $100 \mu\text{m}$ ist nötig, um die Stahlreinheit zu prüfen. Dabei sollen auch die sogenannten leichten Elemente wie C, N, O, P und S nachgewiesen werden, die mit dem Verfahren der Röntgenfluoreszenz teilweise nicht detektiert werden können. Die Analyse soll dabei möglichst ohne eine aufwendige Probenpräparation auskommen.

Vorgehensweise

Für das Verfahren der Laser-Emissionsspektrometrie reicht eine geschliffene oder gefräste Oberfläche aus. Ein fokussierter Strahl eines diodengepumpten Festkörperlaser rastert die Probenoberfläche ab. Eine geringe Materialmenge wird im Fokus des Laserstrahls verdampft und ein Plasma erzeugt. Die emittierte Strahlung des Plasmas wird spektral zerlegt und per Software ausgewertet.

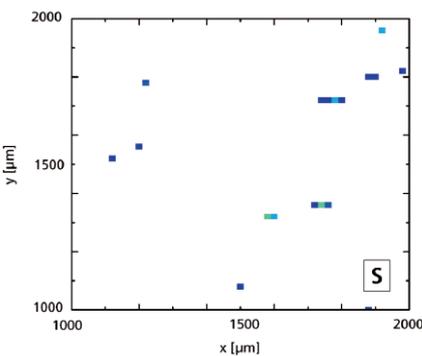
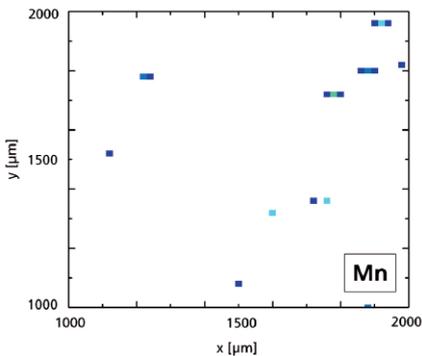
Ergebnisse und Anwendungen

Verschiedene Stahlproben wurden hinsichtlich der Verteilung von metallischen und nicht-metallischen Einschlüssen untersucht. Die analytische Eignung verschiedener Spektrallinien für die verschiedenen Einschlüsse wurde bewertet. So können Elementlandkarten erstellt werden, mit denen Einschlüsse wie z. B. MnS identifiziert werden.

Die Arbeiten werden von dem Research Fund for Coal and Steel (RFCS) und der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) M. Höhne, Tel.: -160
manuela.hoehne@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Ausschnitt einer Elementlandkarte des Elements Mn.
Unten: Ausschnitt einer Elementlandkarte des Elements S.



Aufgabenstellung

Durch Umwelteinflüsse, insbesondere Streusalz und Abgase, kommt es an Betonbauten, wie z. B. Brücken oder Parkhäusern, zu korrosiven Veränderungen, die bis zum Einsturz des Bauwerks führen können, siehe Bild unten. Der Schaden entsteht hauptsächlich durch die Elemente Chlor, Schwefel und Stickstoff. In einem gemeinsamen FuE-Projekt mit Industriepartnern und anderen öffentlichen Forschungseinrichtungen wird ein Verfahren für die Bestimmung der Eindringtiefe dieser Elemente entwickelt und anschließend ein transportables Messgerät für die schnelle Vor-Ort-Analyse gebaut.

Vorgehensweise

Mit Laser-Emissionsspektrometrie können praktisch alle Materialien analysiert werden, u. a. auch schwer nachweisbare Elemente wie Chlor und Schwefel. Dazu wird mit einem gepulsten fokussierten Nd:YAG-Laserstrahl auf der Oberfläche eines Betonbohrkerns ein Plasma erzeugt und die elementspezifische Linienstrahlung gemessen. Durch Optimierung der Laserparameter und der Messatmosphäre (Druck, Schutzgas) soll die für die Gebäudesanierung benötigte Nachweisgrenze für Chlor und Schwefel erreicht werden. Durch Abrasterung des Bohrkerns kann ein Tiefenprofil gewonnen werden.

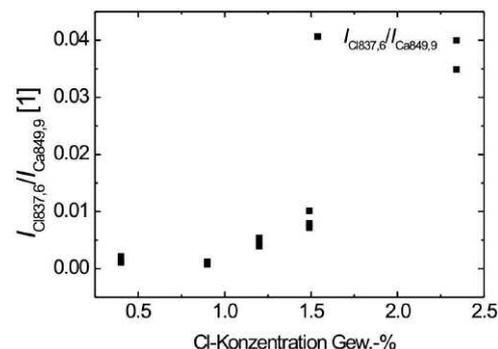
Ergebnisse und Anwendungen

Für den Chlornachweis zeigte sich die Spektrallinie bei 837,6 nm als am besten geeignet. Das obere Bild zeigt die Abhängigkeit der Linienintensität normiert auf eine Ca-Linie (Ca ist Hauptbestandteil des Zements) als Funktion des Chlorgehalts. Nach jetzigem Stand kann eine Chlorkonzentration größer 1 % nachgewiesen werden.

Das Projekt wird mit finanzieller Unterstützung des Bundeswirtschaftsministeriums, von Industriepartnern und der Fraunhofer-Gesellschaft durchgeführt.

Ansprechpartner

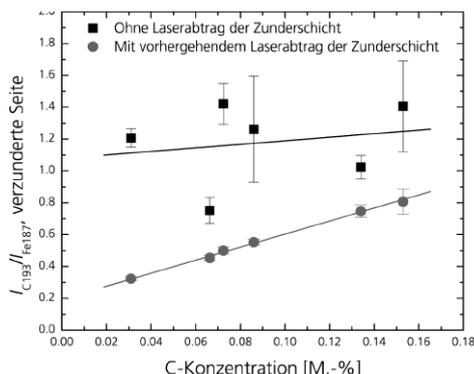
Dr. H. Balzer, Tel.: -196
herbert.balzer@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Abhängigkeit des Linienverhältnisses $I_{\text{Ca}837,6} / I_{\text{Ca}849,9}$ als Funktion der Chlorkonzentration in Zement.
Unten: Schäden an einer Betondecke infolge chlor-induzierter Betonkorrosion.

Aufgabenstellung

Für die Prozessführung bei der Stahlherstellung ist eine schnelle Elementanalyse von Produktionskontrollproben sehr wichtig, damit die metallurgische Behandlung mit kurzen Reaktionszeiten fortgeführt werden kann. Die derzeit eingesetzten Verfahren wie Funken-Emissionsspektrometrie, Verbrennungsanalyse und Röntgenfluoreszenzanalyse erfordern dazu einen hohen Aufwand für die Probenpräparation, z. B. durch mechanisches Fräsen und Schleifen der Proben. Im Rahmen des Verbundvorhabens ATLAS wird ein Demonstrator entwickelt, welcher das bisher übliche zweistufige Verfahren aus mechanischer Probenpräparation und anschließender Elementanalyse mit Funken-Emissionsspektrometrie durch ein einziges laser-gestütztes Prüfsystem ersetzt. Aufgrund des Wegfallens diverser Zwischenschritte kann eine erhebliche Produktivitätsverbesserung bei der Stahlherstellung erzielt werden. Der Demonstrator wird in der Endphase des Projektes in einem Stahlwerk erprobt.



Oben: LIBS-Kalibrierung mit und ohne vorhergehenden Abtrag der Zunderschicht.

Unten: ATLAS-Demonstrator.



Vorgehensweise

Mit Laserstrahlung können die beiden Schritte Präparation und Analyse durchgeführt werden. Die Zunderschicht wird zunächst lokal durch zeitlich modulierte und scannend geführte Laserstrahlung abgetragen und das Bulkmaterial nachfolgend mit dem Verfahren der Laser-Emissionsspektrometrie analysiert. Der Laser arbeitet berührungsfrei und im Vergleich zum herkömmlichen Fräsen und Schleifen weitgehend verschleiß- und wartungsfrei.

Ergebnisse und Anwendungen

Durch eine Kombination von scannendem Materialabtrag der Zunderschicht und sich direkt anschließender Analyse mit Laser-Emissionsspektrometrie konnte die Richtigkeit der Analyse der Stahlproben beispielsweise für das Element Kohlenstoff um einen Faktor von etwa 100 im Vergleich zur Analyse ohne Materialabtrag verbessert werden.

Im Projekt wurde ein Demonstrator aufgebaut, der die verzünderten Metallproben nach manuellem Auflegen auf den Probenstand vollautomatisch an mehreren Probenstellen analysiert.

An dem Verbundprojekt sind neben dem Laser-Laboratorium Göttingen sieben Unternehmen beteiligt. Die Arbeiten werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, den Unternehmen und der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. J. Vrenegor, Tel.: -308
jens.vrenegor@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Aufgabenstellung

Die Effizienz des Mikroabtrags mit Laserstrahlung bei der Materialbearbeitung soll hinsichtlich der Abtragsrate und Qualität gesteigert werden. Gleichzeitig soll der Schmelzanteil bei der Bearbeitung verringert werden. Das induzierte Plasma wird mit Hilfe der Laser-Emissionsspektrometrie auf mögliche Korrelationen mit dem Volumenabtrag untersucht. Durch Untersuchung der Plasma- und Druckwellenausbreitung sollen Erkenntnisse über das dynamische Verhalten beim Laserabtrag gewonnen werden.

Vorgehensweise

Bisher wird bei der Lasermaterialbearbeitung zumeist die Laserenergie in gleichartige, zeitlich äquidistante Pulse, z. B. gütegeschaltete Pulse mit einer Pulslänge im Nanosekunden-Bereich bei Repetitionsraten von mehreren 10 kHz, aufgeteilt.

Mittels maßgeschneiderter, zeitlich modulierter Laserpulszüge sollen bei gleicher eingebrachter Laserenergie sowohl der Materialabtrag als auch die Online-Diagnostik des Plasmazustands verbessert werden. Ein Ansatz dazu ist die Aufteilung der Energie der Einzelpulse auf Mehrfachpulse (Pulsbursts), deren Interpulsabstand im ns- und μ s-Bereich gewählt wird. Hierdurch werden die Probenoberfläche sowie die Bearbeitungsumgebung vorkonditioniert.

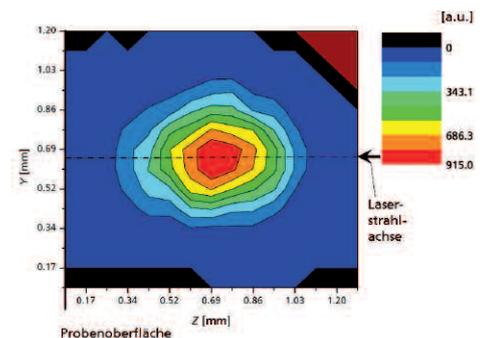
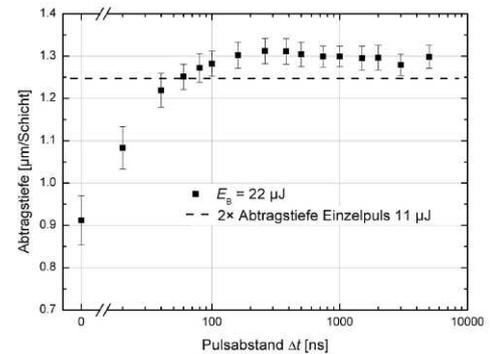
Ergebnisse und Anwendungen

Bei der Bearbeitung mit ps-Doppelpulsen kann der Abtrag um bis zu 25 % gegenüber der Bearbeitung mit Einzelpulsen der halben Burstenergie gesteigert werden und bis zu 50 % gegenüber der Bearbeitung mit Einzelpulsen gleicher Burstenergie. Bei der Mikrostrukturierung mit ps-Doppelpulsen lassen sich für den Pulsabstand 3 Bereiche bestimmen. Bereich I (Interpulsabstand $\Delta t < 40$ ns): geringer Abtrag, gute Bearbeitungsqualität. Bereich II ($40 \text{ ns} \leq \Delta t \leq 700$ ns): hohe Abtragsrate und verschlechterte Bearbeitungsqualität. Bereich III ($\Delta t \geq 700$ ns): Bearbeitungsergebnis vergleichbar mit dem der Bearbeitung mit Einzelpulsen halber Burstenergie.

Die beim Mikromaterialabtrag entstehenden Plasmen werden ortsaufgelöst detektiert, wodurch eine genauere Studie der Plasmadynamik und der inneren Struktur des Plasmas erzielt werden kann. Bei Plasmen, welche für die Zeiten $t_{\text{delay}} = 1 \mu\text{s}$, $t_{\text{int}} = 1 \mu\text{s}$ detektiert werden, zeigen sich zwei Bereiche innerhalb des Plasmas. Im Zentrum ist die Emission der Fe II-Spektrallinien dominierend, wohingegen die Fe I-Spektrallinien am Rand des Plasmas die größten Emissionswerte aufweisen. Das Plasma besitzt im Kern eine Anregungstemperatur von rund 12000 K, die zum Rand hin auf 7000 K abfällt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) C. Hartmann, Tel.: -207
 claudia.hartmann@ilt.fraunhofer.de
 Dipl.-Phys. C. Gehlen, Tel.: -127
 christoph.gehlen@ilt.fraunhofer.de
 Dr. A. Gillner, Tel.: -148
 arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de
 Dr. R. Noll, Tel.: -138
 reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Abtragstiefe in Abhängigkeit des Pulsabstands bei der Mikrostrukturierung mit ps-Doppelpulsen.
Unten: Intensitätsverteilung einer Fe II-Spektrallinie ($\lambda = 261.76 \text{ nm}$) im Plasma. Die Intensität der Ionenlinie ist im Kern des Plasmas am größten ($E_b = 2 \text{ mJ}$, $\Delta t = 1 \mu\text{s}$, $t_{\text{int}} = 1 \mu\text{s}$).

Aufgabenstellung

Bau- und Massenrohstoffe wie Kalkstein können aufgrund ihres geringen Preises nicht weit transportiert werden. Sie müssen möglichst ortsnah zu den Endverbrauchern befördert und verarbeitet werden. In der Aufbereitung der Primärrohstoffe ist das Nutzmaterial meist von Nebengestein und natürlichen Verwachsungen zu trennen. Da herkömmliche Trennverfahren in vielen Fällen jedoch ungeeignet sind, soll im Rahmen eines FuE-Vorhabens ein neuartiges, lasergestütztes und wirtschaftlich sowie automatisch arbeitendes Sortierverfahren entwickelt werden, mit dem feste Primärrohstoffe direkt nach deren Gewinnung in ihrer Elementzusammensetzung charakterisiert und sortiert werden können. Das Projekt wird als Verbundvorhaben mit dem Kurztitel EIGER in einem Konsortium mit zwei Forschungsinstituten und sechs mittelständischen Unternehmen durchgeführt.

Vorgehensweise

Der Verfahrensansatz für die schnelle Identifikation des Sortiergutes beruht auf einer Kombination aus Bildverarbeitung, lasergestützter Geometrieerfassung sowie einer auf laser-induzierter Fluoreszenz- und Laser-Emissionsspektrometrie basierenden Sensorik. 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 anwendungsnahen Bedingungen getestet wird.

Ergebnisse und Anwendungen

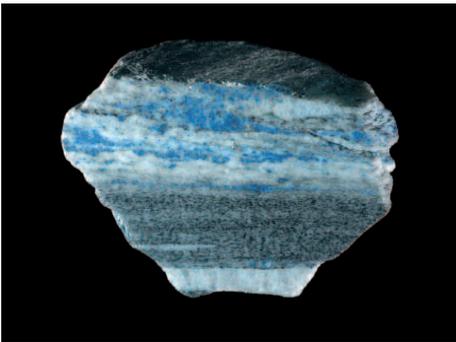
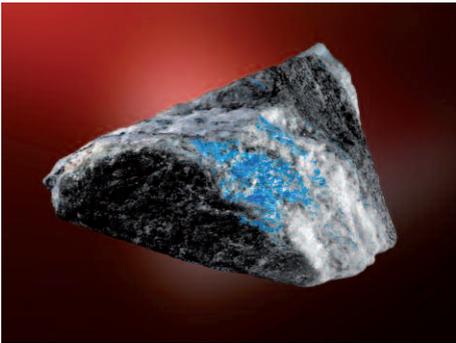
Das Sortierverfahren soll zunächst für den Anwendungsfall Kalkstein und Dolomit bzw. hoch MgO-haltigen Materialien erprobt und an typischen Proben verschiedener Lagerstätten validiert werden. Für ein industrietaugliches Gerät wird ein Massendurchsatz von 150 t/h angestrebt mit einer Ausbringung von 90 - 95 Prozent und einer Reinheit im Produkt von > 95 Prozent.

Im zweiten Abschnitt des Vorhabens wurden LIBS-Experimente an statischen MgO-Referenz- sowie Kalkstein- und Dolomitproben aus Steinbrüchen der Gebiete Hastenrath, Kornelimünster und Iran durchgeführt. Der Einfluss der Laserpulsenergie, der Pulsanzahlvariation im Laserburst und die Einzelspektrenauswertung standen neben der örtlichen Trennung des Laserpulses und des Einflusses von Nässe auf das Messergebnis im Vordergrund.

Das Projekt wird vom BMWA, mittelständischen Unternehmen und der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Ü. Aydin, Tel.: -431
uemit.aydin@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Aufnahme einer mit einer UV-Lampe bestrahlten mineralischen Probe mit fluoreszierenden Wolfram-Anteilen.
Unten: Querschnitt der gleichen mineralischen Probe mit inhomogenen Wolfram-Schichten.



Aufgabenstellung

Die Belastung der Luft mit feinen und ultrafeinen Staubpartikeln ist in den vergangenen Jahren als eines der Hauptgesundheitsrisiken für die Bevölkerung erkannt worden. Wichtige anthropogene Partikelquellen sind der Verkehr und die Industrie.

Besonders kleine Partikel mit Größen im Nanometerbereich stellen ein erhöhtes Gesundheitsrisiko dar, da sie am weitesten in den menschlichen Organismus eindringen können. Andererseits sind diese Aerosol-Partikel der Messtechnik am schwersten zugänglich, so dass hier noch erhöhter Entwicklungsbedarf besteht. In diesem Projekt soll die Partikel-Zusammensetzung, insbesondere im Hinblick auf den Schwermetallgehalt, bestimmt werden.

Vorgehensweise

Zur chemischen Analyse der Partikel werden zwei Messmethoden auf Basis der Laser-Emissionsspektroskopie entwickelt. Im ersten Anwendungsfall werden Partikel nach Größenklassen auf Filtern gesammelt und anschließend im Labor untersucht. Alternativ werden Partikel direkt vor Ort im Luftstrom analysiert, um auch schnelle Online-Charakterisierungen zu ermöglichen.

Um zuverlässige Messergebnisse zu erhalten, müssen Proben und Aerosole hergestellt werden, die die Kalibrierung des Messgerätes für alle relevanten Elemente über einen Konzentrationsbereich von mehreren Größenordnungen ermöglichen.

Ergebnisse und Anwendungen

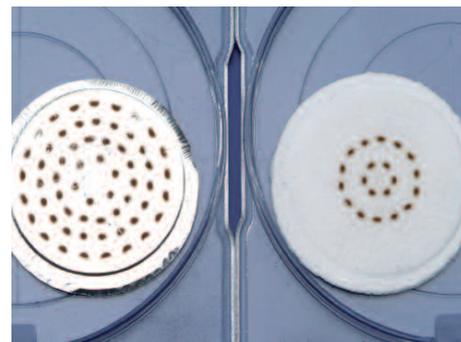
Erste Untersuchungen von Emissionen aus der Stahlherstellung zeigen beispielsweise einen erhöhten Gehalt von Blei, Cadmium und Kupfer bei Partikeln bis 100 nm Größe, während andere Metalle verstärkt in größeren Partikeln vorkommen. Aufgrund der Größenabhängigkeit der Zusammensetzung lässt sich somit auch das Gesundheitsrisiko genauer einschätzen, das von den Emissionen ausgeht.

Die Projektergebnisse sollen verwendet werden, um Strategien zur Emissionsreduzierung für die untersuchten Industrieanlagen zu erstellen. Das Verfahren kann universell auch in anderen Industriebereichen, der Motorenentwicklung sowie der Nanotechnologie eingesetzt werden.

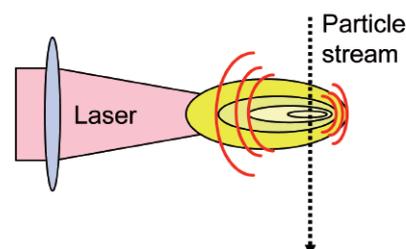
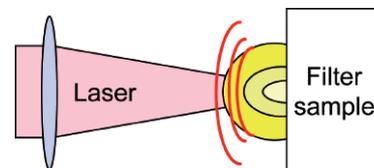
Das Projekt wird von der Europäischen Union im Rahmen des »Research Fund for Coal and Steel (RFCS)« und mit Mitteln der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

Ansprechpartner

Dr. C. Fricke-Begemann, Tel.: -196
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Die Sammlung der Partikel kann beispielsweise mittels Impaktoren auf Aluminiumfolien erfolgen. Die gezeigten dunklen Partikelansammlungen haben eine Größe von weniger als 1 mm.
Unten: Die Laserspektroskopie eignet sich sowohl für die Untersuchung von auf Filtern gesammelten Partikeln als auch für die Analyse von luftgetragenen Partikeln.



Aufgabenstellung

Die Laser-Emissionsspektrometrie ist eine vielseitige analytische Messmethode, mit deren Hilfe Elementzusammensetzungen in Gasen, Flüssigkeiten, Festkörpern und Stäuben schnell, berührungslos und präzise gemessen werden können. Die Laser-Direktanalyse wird für die Umweltmesstechnik (z. B. Wasser- und Luftqualität), in der Stahlindustrie (Prozesskontrolle, Qualitätssicherung), Metallverarbeitung (Schweißnahtüberwachung, Verwechslungsprüfung), in der Biomedizin, für die Detektion von Explosiv- und Gefahrstoffen und in der Restauration von Kunstwerken verwendet. Viele dieser Anwendungen erfordern dabei ein mobiles System, das Feldeinsätze und Messungen über große Entfernungen ermöglicht.

Vorgehensweise

Ein blitzlampengepumpter Festkörperlaser wird über ein Teleskop aufgeweitet und automatisch auf das Ziel in bis zu 12 m Entfernung fokussiert. Das erzeugte Plasmalicht wird koaxial über eine weitere Teleskopoptik in ein CCD-Spektrometer geleitet, das eine kontinuierliche Spektralanalyse zwischen 175 nm und 520 nm ermöglicht. Das System kann um ± 45 Grad in der Vertikalen und Horizontalen geschwenkt und zum Transport zusammengeklappt werden.

Ergebnisse und Anwendungen

TeleLis ist ein transportables Analyzesystem mit einem kompakten Aufbau und schneller Ausrichtung auf das Zielobjekt. Der Benutzer wird bei der Zielfindung durch einen Pilotlaserstrahl und eine Autofokuseinrichtung unterstützt.

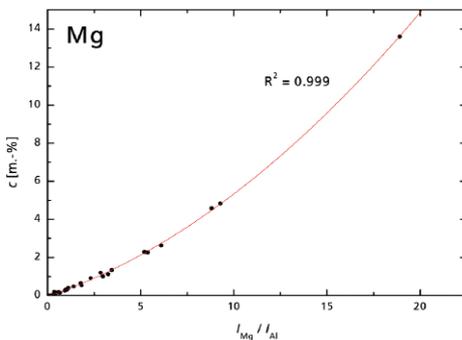
Das System ist in einem Wagen integriert, der einen einfachen Transport ermöglicht und das System vor Umwelteinflüssen wie Erschütterungen und Spritzwasser schützt. Alle Komponenten von TeleLis werden während des Betriebs überwacht und der Systemstatus von der Steuersoftware geloggt.

Mit dem System können wahlweise Vollspektren mit einer Frequenz von 1 Hz oder einzelne Spektrallinien mit 10 Hz aufgenommen werden. Zur Analyse stehen sowohl Einzel- als auch Doppelpulse zur Verfügung, mit deren Hilfe Elementkonzentrationen bis unterhalb von 0,1 % nachgewiesen werden können.

Damit ist TeleLis für Anwendungen geeignet, bei denen ein direkter Zugang zum Messobjekt nicht möglich oder nicht praktikabel ist, beispielsweise bei der Messung von Gefahrstoffen.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) A. Lamott, Tel.: -133,
andre.lamott@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138,
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Gesamtansicht der TeleLis Anlage im messbereiten Zustand.
Unten: Kalibrierkurve für den Magnesiumgehalt von Aluminiumlegierungen, gemessen in 5 m Entfernung. Die geringe Streuung der Messpunkte ermöglicht quantitative Messungen auch über größere Entfernungen.



Aufgabenstellung

Die Bedrohung durch terroristische Attacken hat in den letzten Jahren stark zugenommen, insbesondere durch Autobomben und Sprengsätze in Gepäckstücken. Zurzeit gibt es kein System zur Fernerkennung solcher »improvised explosive devices (IED)«.

Daneben besteht großer Bedarf für Systeme zur chemischen Fernanalyse im Bereich des Katastrophen- und Umweltschutzes, beispielsweise bei Unfällen in der petrochemischen Industrie oder zur Emissionskontrolle.

Vorgehensweise

Innerhalb eines Verbundes von vier Fraunhofer-Instituten wird ein System zur Fernerkennung von Gefahr- und Explosivstoffen mit sich ergänzenden optischen Verfahren entwickelt.

Vonseiten des Fraunhofer ILT wird dazu Laser-Emissionsspektrometrie eingesetzt. Diese Technik zeichnet sich durch hohe Messfrequenzen und präzise Messung der elementaren Zusammensetzung auch über Entfernungen von mehreren Metern aus.

Ausgehend von den am Fraunhofer ILT vorhandenen Erfahrungen mit der Laseranalyse über Distanzen bis 12 m werden Verfahren und Datenauswertelgorithmen entwickelt, um geringste Sprengstoffspuren auch über Entfernungen bis 50 m nachweisen zu können.

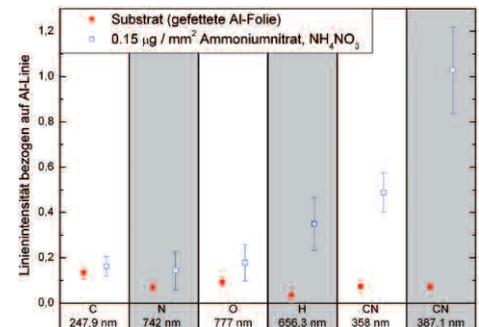
Ergebnisse und Anwendungen

Erste Versuche an Ammoniumnitrat, einer Hauptkomponente von ANFO-Sprengstoff, zeigen die Möglichkeit, mithilfe der Laser-Emissionsspektrometrie geringe Mengen stickstoffhaltiger Verbindungen über eine Entfernung von 5 m auch in der Gegenwart von Luftstickstoff nachzuweisen.

Das Projekt wird mit finanzieller Unterstützung der Fraunhofer-Gesellschaft durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. P. Jander, Tel.: -440
peter.jander@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Nachweis von Ammoniumnitrat über 5 m Entfernung.

Aufgabenstellung

Zur optischen Analyse fluoreszenzmarkierter oder reflektierender Proben mit hoher räumlicher Auflösung hat sich die konfokale Laserscanning Mikroskopie als vielfältig einsetzbares Messverfahren etabliert. Schwerpunkt der Anwendungen ist die Untersuchung von Zellen und Gewebe. Durch spezifische Anfärbungen verschiedener Bestandteile der Probe und die simultane Abrasterung mit mehreren Wellenlängen können strukturelle und funktionale Informationen mit höchster räumlicher Auflösung gewonnen werden.

Vorgehensweise

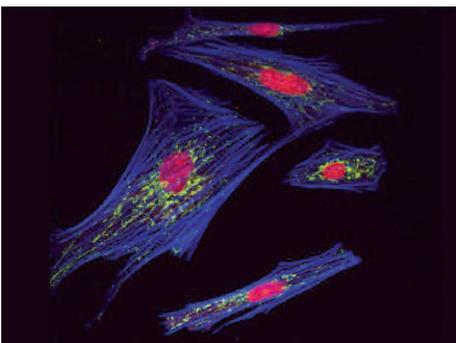
Das hohe räumliche Auflösungsvermögen wird mit Objektiven hoher numerischer Apertur ($NA = 1,4$) und der Abbildung des Messsignals auf eine Lochblende mit wenigen Mikrometern Durchmesser in der Bildebene erzielt. Schnelle galvanometrische Scanner Spiegel lenken den Laserstrahl mit einer Linienfrequenz von 2 kHz ab, um zweidimensionale Mikroskopiebilder zu erzeugen. Ein z-Scanner, der die Lage des scannenden Laserfokus in axialer Richtung verschiebt, erlaubt die Aufnahme hochauflösender dreidimensionaler Bilder. Durch die Einkopplung eines am Fraunhofer ILT entwickelten, direkt diodengepumpten Femtosekundenlasers in ein Laserscanning Mikroskop der neuesten Generation können mittels Multiphotonenprozessen Farbstoffe im UV-Bereich angeregt werden. So sind mikroskopische Einblicke in tiefe Gewebeschichten oder in stark streuendes Gewebe möglich.

Ergebnisse und Anwendungen

Die konfokale Mikroskopie wird am Fraunhofer ILT vor allem dort eingesetzt, wo an kleinen Probenvolumina von wenigen Femtolitern schwache Signale mit einem hohen Signal-zu-Rausch-Verhältnis detektiert werden müssen. Beim Eindringen in tiefer liegende organische Schichten stellen Streuung und Reabsorption der emittierten Strahlung einen limitierenden Faktor dar. Ultrakurze Pulsdauern im Femtosekundenbereich und dadurch bedingte hohe Photonendichten erlauben die Anregung von Multiphotonenprozessen im Laserfokus, so dass nur dort Fluoreszenzerscheinungen auftreten können. Dadurch wird ein Ausbleichen der Probe effektiv unterdrückt. Da infrarote Strahlung wesentlich schwächer gestreut wird, können mit diesem Verfahren auch tiefer liegende Gewebeschichten untersucht werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. T. Schwendt, Tel.: - 436
tilman.schwendt@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Direkt diodengepumpter Femtosekundenlaser für die Anregung von Mehrphotonenprozessen. Der am Fraunhofer ILT entwickelte Laser ist kompakt und einfach zu bedienen.

Unten: Fluoreszenzaufnahme von dreifach gefärbten Fibroblasten (Bindegewebszellen), erzeugt mit drei Anregungswellenlängen. $\lambda = 488$ nm, Actin-Filamente (blau), $\lambda = 543$ nm, Mitochondrien (grün), $\lambda = 633$ nm, Zellkern (rot).



Aufgabenstellung

Die »Optische Kohärenz-Tomographie« (OCT) ist ein bildgebendes Verfahren, mit dem hochauflösende intraoperative 3-D-Tomographiebilder erstellt werden können. Basierend auf interferometrischen Messungen erlaubt diese Technologie die Detektion von Strukturen mit einer Tiefenauflösung von wenigen Mikrometern. Die Beobachtungstiefe beträgt in Abhängigkeit vom zu untersuchenden Gewebe ca. 5 mm. In der Medizin wird die OCT als markerfreies diagnostisches Verfahren eingesetzt, um verschiedene Gewebetypen morphologisch zu unterscheiden. Ein spezielles Einsatzgebiet der OCT ist die Detektion und Vermessung von Blutgefäßen mit Durchmessern oberhalb von 50 µm zur intraoperativen Kontrolle eines Gefäßverschlusses durch Laserkoagulation.

Vorgehensweise

Als Strahlquelle des OCT-Systems dient eine Superlumineszenzdiode mit einer Emissionswellenlänge von $\lambda = 1300$ nm. Der Messstrahl wird über eine Glasfaser in ein Endoskop für die intraoperative Diagnostik eingekoppelt und auf das zu untersuchende Gewebe fokussiert. Durch Scannen des Messstrahls über die Gewebeoberfläche wird pro Sekunde an 200 verschiedenen Messorten ein Tiefenscan mit einer axialen optischen Auflösung von ca. 10 µm durchgeführt. Dies entspricht einer digitalen Auflösung von 3000 Datenpunkten pro Tiefenscan. Der Messbereich des OCT-Systems beträgt an Luft in axialer Richtung ca. 9 mm, der sich aufgrund der Lichtabsorption im Gewebe auf ca. 2 mm reduziert.

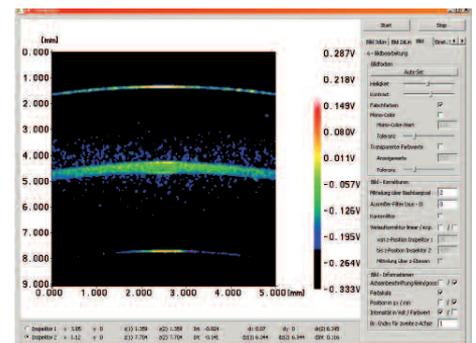
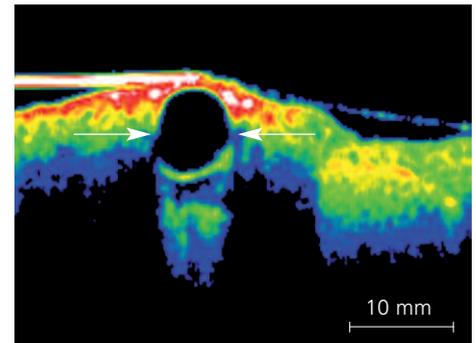
Ergebnisse und Anwendungen

In Validierungsexperimenten wurden Querschnittsbilder von Gefäßen im Gewebe aufgenommen. Die Bildaufnahme erfolgte durch Verfahren der Probe mit einem Mikroskoptisch unter dem Messstrahl. Dabei zeigte sich ein deutlicher Kontrast zwischen den Gefäßen und dem umliegenden Gewebe. Die Messdaten sind mit einer speziell für die OCT-Diagnostik entwickelten Software wahlweise als 2-D-Schnittbilder oder als 3-D-Objekte darstellbar. Anhand von Bildsequenzen können Veränderungen der Gefäßgeometrie, z. B. nach thermischer Wechselwirkung durch Bestrahlung mit Laserlicht, beurteilt werden.

Neben ihren Anwendungen in der Medizin kommt die optische Kohärenztomographie auch in der Produktionstechnik zum Einsatz. Insbesondere für Schichtdickenmessungen an Glas- und Kunststoffteilen ist dieses Messverfahren aufgrund der hohen axialen Auflösung bei zugleich großem Messbereich hervorragend geeignet. Schichten mit einer Dicke von über 20 µm werden mit einer Genauigkeit von 1 µm vermessen. Dazu genügen bereits kleinste Brechungsindexunterschiede an den Grenzflächen zweier aufeinanderfolgender Schichten.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. S. Hölters, Tel.: -436
stefan.hoelters@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Querschnittsaufnahme eines Blutgefäßes mit dem OCT-Messsystem, gemessen am Schweineherzen, Gefäßdurchmesser 650 µm.
Unten: OCT-Aufnahme eines Dreischichtsystems aus Kunststoff. Die Dicke der mittleren Schicht beträgt 270 µm, die Gesamtdicke des Verbundwerkstoffs beträgt 4,1 mm.

Aufgabenstellung

In dem interdisziplinären Verbundprojekt IMIKRID soll eine neuartige Plattformtechnologie als Basis für die Entwicklung maßgeschneiderter Komplettsysteme sehr hoher Sensitivität (10^{-12} bis 10^{-13} mol/l) für die In-vitro-Diagnostik entwickelt und validiert werden.

Vorgehensweise

Der Kern der Diagnostikplattform besteht aus einem Mikrofluidikchip mit Mikrokanälen, die von einer Lösung mit den nachzuweisenden Analytmolekülen in einem Kreislauf durchströmt werden. Auf dem Siliziumchip befinden sich in den Mikrokanälen vier unabhängige einzelmolekülsensitive Biosensoren, die auf technologisch unterschiedlichen Sensorverfahren beruhen. Drei der vier Sensoren verwenden elektrochemische Messverfahren während einer den Analyten über Fluoreszenz nachweist. Alle Sensoren besitzen nanoskopische Transduceroberflächen, die mit spezifischen Fängermolekülen zur Anbindung des Analyten gecoatet sind. Der Nachweis einer spezifischen Bindung durch die Transducer erfolgt je nach Sensorverfahren durch elektronische Verstärkung (seFET), enzymatische Katalyse (Nanoenzymelektroden), die Messung von Redoxpotenzialen (zyklische Voltametrie) oder über Fluoreszenz (mikrooptischer Fluoreszenzsensor). Dabei dienen multifunktionale Nanopartikel als Signalverstärker mit gerichtet gekoppelten Fängermolekülen und Signalgebern hoher Quantenausbeute oder hohem Redoxpotenzial. Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT entwickelt im Rahmen des Projekts IMIKRID einen konfokalen Einzelmoleküldetektor mit integrierter optischer Pinzette, mit dem nanoskopische Sonden, die mit den Transducerober-

flächen spezifisch wechselwirken, submikrometergenau an diese herangeführt werden. Dadurch können reproduzierbar Einzelmoleküleereignisse an den Sensoren ausgelöst und die Signalantworten getestet werden. Zudem sollen mit dem Einzelmoleküldetektor nanoskopische Fangsonden in der Mikrofluidik positioniert und die spezifische Bindung einzelner Analytmoleküle an diesen Sonden gemessen werden, um das Strömungsverhalten der Fluidik in Bezug auf kurze Analysezeiten zu optimieren.

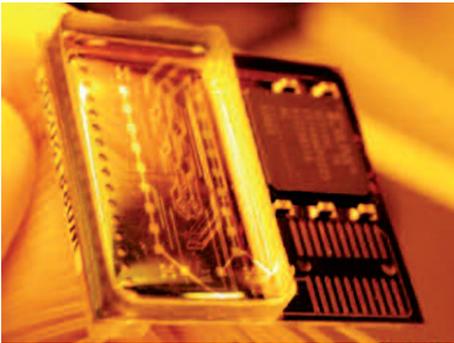
Ergebnisse und Anwendungen

Krankheiten mit einer hohen Mortalitätsrate wie Krebs oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen lassen sich im Frühstadium mit guten Erfolgsaussichten behandeln. Durch die Entwicklung einer verbesserten Frühdiagnostik auf der Basis molekularer Marker, die in geringsten Konzentrationen im Blutserum vorhanden sind, können die Heilungschancen und die Lebensqualität betroffener Patienten erheblich gesteigert werden. Hierfür wird mit IMIKRID ein Nachweis-system entwickelt, das Markerkonzentrationen im Einzelmolekülbereich bis unterhalb von 10^{-12} mol/l bestimmen kann.

Die FuE-Arbeiten zum Projekt IMIKRID werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und in Zusammenarbeit mit Partnerinstituten der Fraunhofer-Gesellschaft und dem Institut für Mikrosensorik in Erfurt durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. A. Lenenbach, Tel.: -124
 achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de
 Dr. R. Noll, Tel.: -138
 reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Mikrofluidischer Sensorchip mit elektrochemischen Sensoren, Datenverarbeitungselektronik und Mikroflusszelle, Quelle: Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT, Abteilung Biomolekulare Optische Systeme.

Unten: Konfokales Detektionssystem für die Einzelmoleküldiagnostik mit optischer Schnittstelle für die Integration einer optischen Pinzette. Diffusionsbasierte Nachweisgrenze an fluoreszenzmarkierten Biomolekülen in Lösung bei Konzentrationen von $c = 10^{-11}$ mol/l.



Aufgabenstellung

MultiLas ist ein Endoskop für die minimal-invasive lokale Therapie intrakranieller Tumoren über einen Schlüssellochzugang. Durch den Einsatz von fünf verschiedenen Strahlquellen in einem Endoskop werden Hirntumoren kontrolliert ablatiert, Blutgefäße verschweißt und Mikrometastasen durch eine photodynamische Therapie (PDT) selektiv zerstört.

Vorgehensweise

Die Funktionsweise von MultiLas beruht auf einem Endoskop mit einem mikrooptischen Kanal von 2,7 mm Durchmesser, über den die therapeutischen und diagnostischen Laserstrahlen in die Operationshöhle geleitet werden. Die in der Operationshöhle entstehende Messstrahlung zur Kontrolle des Therapieprozesses wird über dieselbe Mikrooptik gesammelt und auf ein Detektionssystem abgebildet. Zu therapierende Tumoren mit einem maximalen Durchmesser von 50 mm werden von innen nach außen mit einem Pikosekundenlaser ($E_p = 2 \text{ mJ}$, $\lambda = 532 \text{ nm}$, $f = 10 \text{ kHz}$) abgetragen. Die ablatierten Gewebebruchstücke werden durch ein in MultiLas integriertes Spül- und Absaugsystem aus der Operationshöhle entfernt. Vor Entfernen mit dem Abtragslaser verschließt eine kontinuierliche Laserstrahlquelle ($P = 30 \text{ W}$, $\lambda = 1064 \text{ nm}$) den Tumor versorgende Blutgefäße durch Laserkoagulation, um innere Blutungen zu vermeiden. Entscheidend für die Durchführung einer sicheren und kontrollierten Tumortherapie durch ein endoskopisches System ist die zuverlässige Online-Kontrolle von Ablation

und Koagulation. Hierzu werden die Fluoreszenzdiagnostik zur Unterscheidung von Tumor- und gesundem Gewebe sowie die optische Kohärenztomographie (OCT) zur Detektion und Vermessung von Blutgefäßen eingesetzt. Beim Gewebeabtrag entstehendes Plasmaleuchten dient zur Kontrolle der Fokusslage des Ablationslasers relativ zum Gewebe. Die Fluoreszenzanregung erfolgt bei 405 nm, während die optische Kohärenztomographie bei 1300 nm durchgeführt wird.

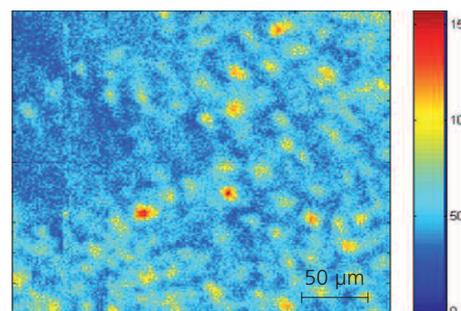
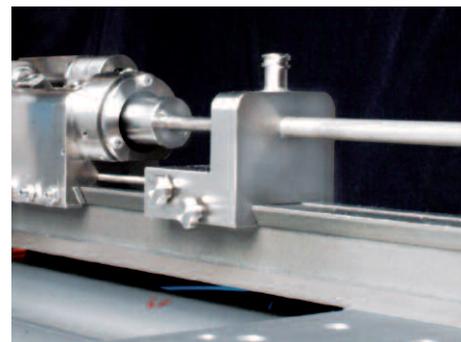
Ergebnisse und Anwendungen

Im Rahmen eines Verbundprojekts wurde in Zusammenarbeit mit mittelständischen Unternehmen die Endoskoptechnologie für MultiLas entwickelt. Darüber hinaus sind die Fluoreszenzdiagnostik sowie die OCT an In-vitro-Modellen in Kombination mit dem Endoskop erfolgreich validiert worden. Dabei wurden Zellen über ihre Fluoreszenz bis auf Einzelzellniveau detektiert und Geometrien von Gefäßen mit 300 μm bis 700 μm Gefäßdurchmesser dargestellt. In einem separaten Testaufbau fanden unter den optomechanischen Randbedingungen des Laserendoskops Koagulationsexperimente statt, um geeignete Koagulationsparameter zu evaluieren.

Die Entwicklung von MultiLas wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert und gemeinsam mit Partnern aus der Industrie und einer Klinik durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. A. Lenenbach, Tel.: -124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Endoskop des Demonstrators MultiLas mit einem Außendurchmesser von 5,5 mm. Im Inneren befinden sich ein mikrooptischer Kanal sowie ein Spül- und Absaugsystem zur Entfernung abgetragenen Gewebes aus der Operationshöhle. Die fünf therapeutischen und diagnostischen Laserstrahlen werden über den mikrooptischen Kanal in die Operationshöhle geleitet.
Unten: Aufnahme mit dem Fluoreszenzmodul von MultiLas an kultivierten Gliomzellen. Vom Untergrund (dunkelblau dargestellt) sind vereinzelte Zellen durch ihr Fluoreszenzsignal (grün bis rot) deutlich unterscheidbar. Diese Einzelzellempfindlichkeit erlaubt die Tumordetektion auf einer Größenskala von ca. 30 μm .

Aufgabenstellung

Bei endoskopischen Operationen müssen Blutgefäße vor ihrer Durchtrennung verschlossen werden, um innere Blutungen zu vermeiden. Hierfür wird am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ein Laserkoagulationssystem entwickelt, mit dem Blutgefäße endoskopisch und berührungslos verschweißt werden können.

Vorgehensweise

Für die Laserkoagulation wird ein Nd:YAG-Laser mit einer Emissionswellenlänge von $\lambda = 1064 \text{ nm}$ und einer maximalen cw-Leistung von $P = 28 \text{ W}$ eingesetzt. Zur Durchführung minimal-invasiver chirurgischer Eingriffe wird der Laser durch ein Endoskoprohr in die Operationshöhle geführt. An der Endoskopspitze befindet sich eine kurz-brennweitige Linse, mit der die Laserstrahlung auf das zu verschließende Gefäß fokussiert wird. Der Koagulationserfolg hängt von der Wahl der Bestrahlungsparameter ab, die an den Gefäßdurchmesser und den Blutfluss anzupassen sind. Neben der Bestrahlungsdauer und der Leistungsdichte spielt die Geometrie des Bestrahlungsfeldes eine entscheidende Rolle für den Koagulationserfolg. Durch Variation des Abstands zwischen der Fokallage und der Gefäßoberfläche kann der Durchmesser der thermischen Wechselwirkungszone an den Gefäßdurchmesser adaptiert werden.

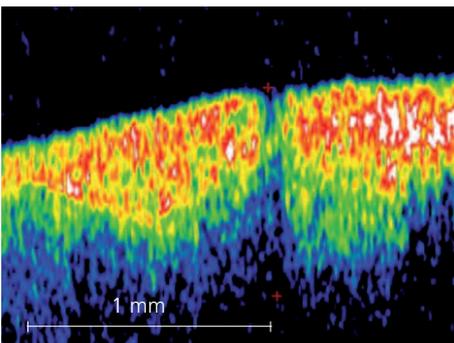
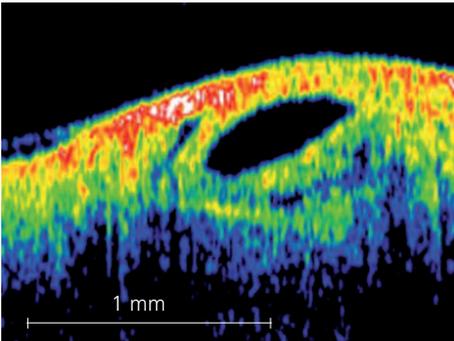
Zur Bestimmung des Verlaufs und des Durchmessers eines Blutgefäßes wird die Optische Kohärenz-Tomographie (OCT) eingesetzt. Mit diesem Verfahren können Gefäße in einer Gewebetiefe von einigen Millimetern dargestellt werden. Neben der Gefäßdarstellung dient die OCT auch der Beurteilung eines erfolgreichen Gefäßverschlusses. Grundlage hierfür sind Sequenzen von Querschnittsbildern entlang der Koagulationszone.

Ergebnisse und Anwendungen

Zur Validierung des Laserkoagulationssystems wurden in einer Versuchsserie durch Variation der Bestrahlungsdauer, Leistungsdichte und des Bestrahlungsfeldes geeignete Koagulationsparameter ermittelt. Die Laserkoagulation erfolgte am Gefäßbaum des Schweineherzens als Ex-vivo-Modellsystem. Die Gefäße wurden von einer nativen BSA-Lösung unter physiologischem Druck und physiologischer Proteinkonzentration durchströmt. Die Ex-vivo-Experimente ergaben ein therapeutisches Fenster, in dem der Koagulationsprozess zu einem zuverlässigen Verschluss führt. Da neben der Gefäßgeometrie der Blutdruck und die Flussgeschwindigkeit des Blutes den Gefäßverschluss beeinflussen, ist auch der Effekt des Wärmeabtransports aus der Wechselwirkungszone Gegenstand systematischer Untersuchungen. Auf der Grundlage der Versuchsergebnisse soll eine Datenbank erstellt werden, die für verschiedene Gefäßklassen geeignete Koagulationsparameter enthält.

Ansprechpartner

Dr. A. Lenenbach, Tel.: -124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Interferogramm eines Blutgefäßes vor der Koagulation, Gefäßdurchmesser $700 \mu\text{m}$.
Unten: Interferogramm des selben Blutgefäßes wie in Bild oben nach erfolgreicher Laser-Koagulation.



Aufgabenstellung

Patienten mit einem aggressiven Hirntumor, wie dem malignen Gliom, haben trotz chirurgischer und strahlentherapeutischer Behandlung eine ungünstige Prognose mit einer durchschnittlichen Überlebenszeit von unter einem Jahr. Eine Möglichkeit, den Erfolg bei der Behandlung von Gliomen zu verbessern, ist die photodynamische Therapie (PDT). Sie beruht auf der Gabe eines Photosensibilisators, der in den Tumorzellen selektiv angereichert wird und unter Einstrahlung von Licht geeigneter Wellenlänge zytotoxisch wirkt.

Vorgehensweise

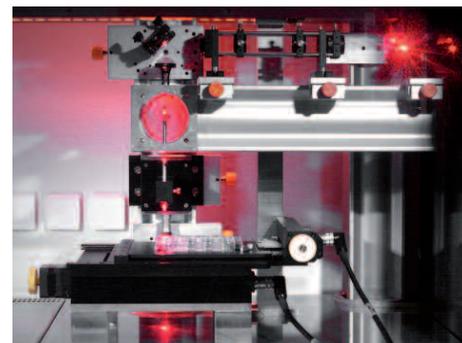
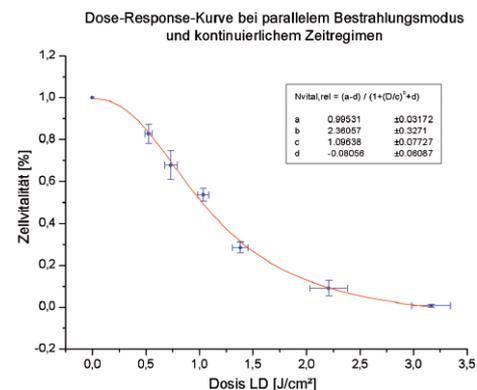
Zur Durchführung einer PDT an malignen Gliomen im Gehirn wird ein Endoskop entwickelt, mit dem über einen minimal-invasiven Zugang Laserlicht auf Tumorgewebe geleitet werden kann. Die Steuerung des Endoskops erfolgt über ein stereotaktisches Führungssystem auf der Basis von Planungs-CT-Daten in das Zielvolumen, um dort sowohl inoperable makroskopische Tumorreste als auch in gesundes Gewebe infiltrierende Mikrometastasen zu zerstören. Hierzu wird ein Laserstrahl mit der Emissionswellenlänge $\lambda = 635$ nm in das mikrooptische System des Endoskops eingekoppelt. Die Bestrahlung des Tumorgewebes kann sowohl mit fokussiertem als auch mit divergentem Laserlicht erfolgen. Ein Umlenkspiegel am Endoskopende spiegelt den Laserstrahl senkrecht zur Endoskopachse auf das zu bestrahlende Gewebe. Durch Rotation des Umlenkspiegels um die Symmetrieachse des Endoskops, Tiefenverstellung der Sondenposition und Verschiebung der Frontlinse kann der Laserstrahl ein dreidimensionales Zielvolumen abscannen.

Ergebnisse und Anwendungen

Zur Evaluierung geeigneter Bestrahlungsparameter für die PDT an Gliomen wurde ein Modul entwickelt, mit dem PDT-Experimente an kultivierten Gliomzellen in vitro durchgeführt werden können. Das Bestrahlungsmodul unterliegt denselben optomechanischen Randbedingungen wie das später für die Therapie zu verwendende Endoskop. Als Photosensibilisator wurde das in der Klinik bei Gliomen erfolgreich eingesetzte PPIX verwendet, das durch extrazelluläre Gabe von 5-Aminolävulinäure (5-ALA) in den Gliomzellen synthetisiert wird. Dem klinischen Protokoll entsprechend erfolgte die Inkubation der Zellen in 5-ALA 3 Stunden vor der Bestrahlung. Die Untersuchungen in den Bestrahlungsexperimenten bezogen sich auf die Abhängigkeit der Phototoxizität von der Bestrahlungsdosis und seiner zeitlichen Verteilung sowie der Bestrahlstärke. Der größte Therapieeffekt trat bei Bestrahlung mit moderaten Bestrahlstärken von 400 mW/cm^2 und einer Dosis von 3 J/cm^2 auf, bei der die Zellletalität 100 % betrug.

Ansprechpartner

Dr. A. Lenenbach, Tel.: -124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Dose-Response-Kurve zu Bestrahlungsexperimenten an LN18-Gliomzellkulturen bei kontinuierlicher Bestrahlung mit 400 mW/cm^2 und Bestrahlungsdosen zwischen $0,5 \text{ J/cm}^2$ und 3 J/cm^2 . Bestrahlungsdosis für eine Zellletalität von 50 %, $\text{LD}_{50} = 1,2 \text{ J/cm}^2$, Bestrahlungsdosis für eine Zellletalität von 90 %, $\text{LD}_{90} = 2,9 \text{ J/cm}^2$.
Unten: Bestrahlungsmodul für PDT-Experimente an Gliomzellkulturen unter einer sterilen Werkbank, therapeutische Wellenlänge $\lambda = 633$ nm.



Aufgabenstellung

Die Züchtung von Proteinkristallen ist für die Strukturaufklärung von Proteinen mittels Röntgenbeugung unerlässlich. Das Auffinden optimaler Kristallisationsbedingungen ist zeitraubend und arbeitsintensiv und stellt heute den entscheidenden Engpass für die Strukturaufklärung der Proteine dar. Am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik wurde zusammen mit Partnern aus Industrie und Forschung ein Demonstratorsystem aufgebaut, mit dem in einem systematisierten Verfahren Protein-Einkristalle gezielt gezüchtet werden können.

Vorgehensweise

Mit dem am ILT aufgebauten Demonstrator können in kleinen Volumina statische und dynamische Streulichtmessungen an Proteinlösungen durchgeführt werden. Statische Streulichtmessungen geben Auskunft über die Wechselwirkungen gelöster Proteine, dynamische Streulichtmessungen liefern durch eine Analyse der Teilchenbewegung Informationen über die Größe gelöster Proteine und machen Aggregationsvorgänge sichtbar. Der Probenträger, in dem die Messungen durchgeführt werden, lässt sich mit automatischen Pipettiersystemen befüllen und erlaubt Messungen im Hochdurchsatz bei minimalem Probenverbrauch. Durch die optischen Messverfahren werden objektive Bewertungskennzahlen erhalten, die mit der Wahrscheinlichkeit einer Kristallisation korrelieren. Dadurch können für die Kristallisation günstige Lösungsparameter (pH-Wert, Salzkonzentrationen, Zusatz- und Fällungsreagenzien etc.) effektiver gefunden werden.

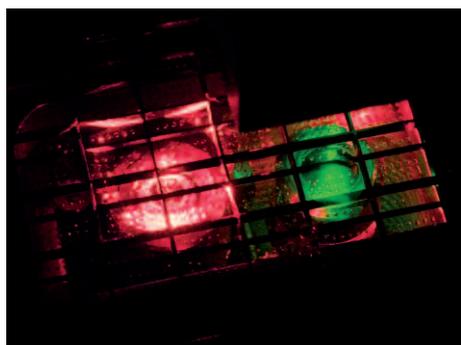
Ergebnisse und Anwendungen

Der Aufbau des Demonstrators wurde abgeschlossen. Neben drei Präzisionsachsen zur genauen Positionierung des Messortes in einem kleinen Probenvolumen (typischerweise 500 nL) sind eine Optik für Streulichtmessungen sowie eine zweite Optik für eine Polarisationsmikroskopie integriert. Damit können alle Phasen der Kristallisation untersucht werden: Vor Beginn der Nukleation geben statische Streulichtmessungen Auskunft über thermodynamische Wechselwirkungspotentiale, während der Nukleation kann die Keimbildung mit der dynamischen Lichtstreuung verfolgt werden und nach erfolgter Kristallisation oder Ausfällung können Niederschläge oder Kristalle mit der Polarisationsmikroskopie kontrastreich dargestellt werden. Mikrokristalline Niederschläge können dabei von amorphen unterschieden werden. Die Software erlaubt die Bedienung aller Komponenten sowie die Durchführung automatisierter Messserien. Der Demonstrator wird zurzeit in einem Applikationslabor eines Partnerinstituts evaluiert, dabei werden verschiedene Proteine systematisch untersucht und kristallisiert.

Die Arbeiten wurden durch das Bundeswirtschaftsministerium, mittelständische Unternehmen und die Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

Ansprechpartner

Dr. C. Janzen, Tel.: -124
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de
Dr. R. Noll, Tel.: -138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de



Oben: Demonstrator für die Proteinkristallisation mit Pipettierroboter zur Probenvorbereitung.

Unten: Optiken für Polarisationsmikroskopie und Lichtstreuung unterhalb des Probenträgers.

Patenterteilungen Deutschland

Verfahren zum Bohren von metallischen Werkstoffen sowie von geschichteten metallischen Werkstoffen und solchen, die mindestens eine keramische Schicht aufweisen
DE 10 2004 014 820 B 4

Verfahren für die Materialbearbeitung und Verwendung
DE 100 29 110 B 4

Verfahren zum Aufbau mikrooptischer Bauteile
DE 102 50 074 B 4

Vorrichtung und Verfahren zum Positionieren und Bestücken eines Bauelementes in Oberflächen-Montagetechnik
DE 199 48 455 B 4

Verfahren sowie Düse zur Bearbeitung oder Analyse eines Werkstücks oder einer Probe mit einem energetischen Strahl
DE 10 2004 018 280 B 4

Montage von Kühlkörpern an Laserkristallen
DE 102 26 724 B 4

Frequenzkonvertierte Laseranordnungen
DE 195 36 880 B 4

Verfahren zur Modifizierung von Materialeigenschaften
DE 102 32 815 B 4

Kompakte UV-Barrierenentladungslampe
DE 10 2005 007 370 B 3

Drehdurchführung für ein Gas-Pulver-Gemisch
DE 10 2005 025 027 B 3

Vorrichtung zum Bohren und für den Materialabtrag mittels Laserstrahlung
DE 10 2005 047 328 B 3

Patenterteilungen Europa

Verfahren und Vorrichtung zum Bearbeiten von Werkstücken mit Laserstrahlung
EP 1 047 522 B 1

Verfahren und Vorrichtung zur Oberflächenbehandlung von Objekten
EP 1 337281 B 1

Strahlführendes und/oder frequenzkonvertierendes optisches System sowie Verfahren zur Herstellung
EP 1 476 776

Verfahren zum Glätten und Polieren von Oberflächen durch Bearbeitung mit energetischer Strahlung
EP 1 516 068 B 1

Laser-Materialbearbeitung mit hybriden Prozessen
EP 1 497 071 B 1

Patenterteilungen USA

Method and Device for Producing Extreme Ultraviolet Radiation and Soft-X-Ray Radiation
US 7, 126, 143 B 2

Method and Device for the Generation of Far Ultraviolet or Soft-X-Ray Radiation
US 6, 967, 341 B 2

Patenterteilungen China

Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen von Extrem Ultraviolet und weicher Röntgenstrahlung
ZL 02807601.X

Patenterteilungen Südafrika

Verfahren und Vorrichtung zur Durchführung einer Plasmaemissionsspektrometrie
2004/10314

Internationale Marke

TECHNOLOGIE BUSINESS TAG TBT
900 662

Patentanmeldungen National

Verfahren und Vorrichtung zur Vermessung geometrischer Merkmale von Objekten mit robotergeführtem Lasersensor
10 2006 016 677.9-54

Vorrichtung und Verfahren zum Fügen von wenigstens zwei aus thermoplastischem Material bestehenden Fügepartnern mittels Laserstrahlung
10 2006 008 776.3-16

Flexibler Laserapplikator
10 2006 039 471.2-51

Erhöhung der Präzision von Handhabungssystemen durch Feinpositioniereinrichtung
10 2006 049 627.2

Patentanmeldungen International

Verfahren und Vorrichtung zur Vermessung der lateralen Relativbewegung zwischen Bearbeitungskopf und Werkstück bei der Bearbeitung mit einem Bearbeitungsstrahl
PCT/DE2006/000775

Verfahren zur Vermessung von Phasengrenzen eines Werkstoffes bei der Bearbeitung mit einem Bearbeitungsstrahl sowie zugehörige Vorrichtung
PCT/DE2006/000400

Vorrichtung zum Bohren und für den Materialabtrag mittels Laserstrahl
PCT/EP2006/001964

Einbringen von Mustern in matte Oberflächen durch moduliertes Laserstrahlpolieren
PCT/DE2006/000776

Kelbassa, I. - 13.01.2006

Instandsetzung von Flugtriebwerkskomponenten mittels Laserstrahl-Auftragschweißen

Uckelmann, I. - 31.01.2006

Generative Serienfertigung von individuellen Produkten aus CoCr mit dem selektiven Laserschmelzen

Klages, K. - 12.05.2006

Laserstrahl-Mikroschweißen ungleicher Metalle durch Nahtschweißen mit gepulsten Nd:YAG-Lasern

Russek, U.-A. - 23.05.2006

Prozesstechnische Aspekte des Laserdurchstrahlschweißens von Thermoplasten

Moiseev, L. - 05.07.2006

Pulsed Laser Deposition von Er:ZBLAN-Schichten für den Aufbau eines integrierten Wellenleiterlasers im grünen Spektralbereich

Giesekus, J. - 14.07.2006

Diodengepumpte Laserverstärker mit flachen Lasermedien

Bankowski, Max

Herstellung und Untersuchung von Gradientenschichtwerkstoffen für den Einsatz im Werkzeugbau

Bao, Danxia

Laserunterstützte Fixierung von Kollagen Matrices

Broder, Silke

Entwicklung und Validierung einer Bestrahlungssonde für die intrakranielle Photodynamische Therapie

Buerger, Andreas

Verbesserung der Umformbarkeit schwer umformbarer Werkstoffe durch lokale Laserbestrahlung

Dolkemeyer, Jan

Auslegung und Konstruktion eines Laseroszillators zur Charakterisierung von ytterbiumdotierten Kristallen

Emmerich, Andreas

Entwicklung einer Faserkühlung für einen Hochleistungs-Faserlaser

Erben, Benjamin

Untersuchungen zur Leistungskopplung von Hochleistungsdiodenlasern mittels faserintegrierter Komponenten

Ewering, Mara

Prozessqualifizierung des Laserstrahl-lötens von Aluminium-Stahl-Verbindungen an Versuchskarosserien

Fiedler, Wolfgang

Prozesskontrolle beim Hochgeschwindigkeitsschweißen von dünnwandigen Aluminiumrohren

Fraas, Christian

Entwicklung und Evaluierung eines Sensors zur optischen Messung der Relativgeschwindigkeit zwischen Werkstück und Bearbeitungskopf bei der Materialbearbeitung mit Laserstrahlung

Gehlen, Christoph Dominic

Prozessdiagnostik laser-induzierter Plasmen beim präzisen Mikro-Materialabtrag mit Pulsgruppen

Grimm, Stefan

Entwicklung eines konfokalen Laserscanning Fluoreszenz-Endoskops für die In-vivo-Tumordiagnostik im Gehirn

Gummersbach, Max

Beschichten dünner Bleche mit dem Mikro-Laserstrahl-Auftragschweißen

Hack, Sebastian

Polieren mit Laserstrahlung zur Erzeugung von Design-Oberflächen

Hermes, Viktor

Defektfreies Beschichten von γ -TiAl durch Laserstrahl-Auftragschweißen

Hoeges, Simon

Modelltheoretische und experimentelle Untersuchung der Dynamik kleiner Schmelzbäder

Kappler, Jochen

Grundlegende Untersuchungen zum Laserstrahl-Auftragschweißen von Ti-6Al-4V mit Nd:YAG-Laserstrahlung

Leonhardt, Judith

Messung der Lichtausbreitung in biologischem Gewebe und an Gewebphantomen (Bachelor Arbeit)

Masberg, Kai Ullrich

Untersuchung der Fügezone von Preform und SLM-Bauteil aus dem Werkstoff 1.2343

Pietrusky, Marco

Laserstrahl-Mikroschweißen mit Faserlaserstrahlung

Schloemer, Philipp

Aufbau und Entwicklung einer inversen Aufricht-Dunkelfeldoptik für Streulichtmessungen an Proteinlösungen

Simon, Oliver

Untersuchung des Einflusses von aktiv temperierten Optiken auf die Strahlausbreitung von CO₂-Hochleistungslasern

Vedder, Christian

Beitrag zur Verfahrensentwicklung des Selektiven Reaktions-Lasersinterns für die generative Herstellung von Bauteilen aus Spinelkeramik

Waebler, Tobias

Laserstrahlpolieren von schrägen Ebenen und Nuten

Werner, Marcel

Untersuchung alternativer Kühltechniken für Hochleistungsdiodenlaser

Westphalen, Thomas

Untersuchung von Hochleistungsdiodenlaserbarren mittels Einzel-emitteraufgelöster Charakterisierung

- N. C. Stache, H. Zimmer, J. Gedicke, B. Regaard, A. Olowinsky, A. Knepper, T. Aach
Approaches for High-Speed Melt Pool Detection in Laser Welding Applications
 Proceedings of VMV 2006
 8 Seiten, 2006
- Ü. Aydin, R. Noll, J. Makowe
Automatic sorting of aluminium alloys by fast LIBS identification
 7th International Workshop Progress in Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries
 Ed. J. Angeli
 Seiten 309-314, 2006
- D. Petring
Combined cutting and welding: Laser beam quality enhances process efficiency and flexibility
 Tagungsband-CD zum 2. Internationalen Workshop »Faserlaser« in Dresden
 34 Seiten, 2006
- J. Gedicke, B. Regaard, K. Klages, A. Olowinsky, S. Kaierle
Comparison of different process monitoring methods for laser beam micro welding
 Proceedings of ICALEO 25
 8 Seiten, 2006
- C. Scholz, K. Boucke, R. Poprawe, M. T. Kelemen, J. Weber, M. Mikulla, G. Weimann
Comparison between 50 W tapered laser arrays and tapered single emitters
 Proceedings of SPIE 6104
 Seiten 61040G.1-61040G.8, 2006
- C. Wessling, M. Traub, D. Hoffmann, R. Poprawe
Dense wavelength multiplexing for high power diode laser
 Proceedings of SPIE 6104
 Seiten 61040O.1-61040O.8, 2006
- R. Liebers, U. Dürr, L. Trippe, W. Schulz
Drilling Strategies for Metals with Pulsed YAG-Lasers
 Proceedings of ICALEO 25
 6 Seiten, 2006
- K. Walther, M. Brajdic, E. W. Kreutz
Enhanced processing speed in laser drilling of stainless steel by spatially and temporally superposed pulsed Nd:YAG laser radiation
 The International Journal of Advanced Manufacturing Technology
 5 Seiten, 2006
- M. Leers, C. Scholz, K. Boucke, R. Poprawe
Expansion-matched passively-cooled heatsinks with low thermal resistance for high-power diode laser bars
 Proceedings of SPIE 6104
 Seiten 610403.1-610403.10, 2006
- R. Wester, R. Noll
Fast characterisation of steel Cleanness by Advanced Mathematical Analysis of Spark and Laser Source Optical Emission Data
 7th International Workshop Progress in Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries,
 Ed. J. Angeli
 Seiten 209-212, 2006
- D. Petring
Flexibles Laserschneiden und -schweißen von Blechbaugruppen ohne Werkzeugwechsel
 Tagungsband-CD zum Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'06
 22 Seiten, 2006
- H. Bette, R. Noll
High-speed, high-resolution LIBS using diode-pumped solid state lasers
 Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS): Fundamentals and Applications
 Seiten 490-515, 2006
- M. Traub, H.-D. Hoffmann, H.-D. Plum, K. Wieching, P. Loosen, R. Poprawe
Homogenization of high power diode laser beams for pumping and direct applications
 Proceedings of SPIE 6104
 Seiten 61040Q.1-61040Q.10, 2006
- R. Noll, V. Sturm, M. Stepputat, A. Whitehouse, J. Young, P. Evans
Industrial applications of LIBS
 Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS): Fundamentals and Applications
 Seiten 400-439, 2006
- J. Gedicke, B. Regaard, A. Gillner, S. Kaierle
Kontrolle beim Mikroschweißen - Automatisierte Prozessüberwachung durch koaxiale Prozesskontrolle mit Fremdbeleuchtung
 Laser Technik Journal 4
 5 Seiten, 2006
- E. W. Kreutz, J. Willach, I. Kelbassa, S. Keutgen, R. Poprawe
Laser Technologies for Manufacturing and Repair of Rotating Machinery Power Plant Components
 Proceedings of ISROMAC
 8 Seiten, 2006
- I. Kelbassa, A. Weisheit, K. Wissenbach, V. Hermes
Laser metal deposition of TiAl alloys
 Proceedings of PICALO 2
 5 Seiten, 2006
- E. Haberstroh, W.-M. Hoffmann, R. Poprawe, F. Sari
Laser transmission joining in microtechnology
 Microsystem Technologies
 Seiten 632-639, 2006
- A. Löbe, J. Vrenegor, R. Fleige, V. Sturm, R. Noll
Laser-induced ablation of a steel sample in different ambient gases by use of collinear multiple laser pulses
 Analytical & Bioanalytical Chemistry Vol. 385, No. 2
 Seiten 326-332, 2006
- R. Noll, U. Panne
Laser-induced breakdown spectroscopy - EMSLIBS 2005
 Analytical & Bioanalytical Chemistry Vol. 385, No. 2
 Seiten 212-213, 2006
- D. Petring
Laserschneiden und -schweißen im fliegenden Wechsel
 Technische Rundschau 16
 Seiten 38-41, 2006
- D. Petring
Lasers in European Automotive Manufacturing: Historical Review and Recent Trends
 Proceedings of ALAW 2006
 16 Seiten, 2006

- A. Gillner, K. Klages, F. Sari
Mikrofügen mit Laserstrahlung
Laser Technik Journal 3
Seiten 39-43, 2006
- K. Nicklaus, M. Hoefer, D. Hoffmann, J. Luttmann, R. Wester, R. Poprawe
MOPA with kW average power and multi MW peak power: experimental results, theoretical modeling and scaling limits
Proceedings of SPIE 6100
Seiten 610416.1-610416.11, 2006
- J. Ilgner, M. Wehner, J. Lorenzen, M. Bovi, M. Westhofen
Morphological effects of nano-second- and femtosecond-pulsed laser ablation on human middle ear ossicles
Journal of Biomedical Optics 11
Seiten 41-47, 2006
- H. Balzer, M. Höhne, R. Noll, V. Sturm
New approach for online monitoring of the Al depth profile of the hot-dip galvanised sheet steel using LIBS
Analytical & Bioanalytical Chemistry Vol. 385, No. 2
Seiten 225-233, 2006
- T. Ebert, W. Meiners, M. Pajunk
Non corrosive micro coolers with matched CTE
Proceedings of SPIE 6104
Seiten 01.1-01.7, 2006
- H. Balzer, M. Hoehne, S. Hoelters, V. Sturm, R. Noll, E. Leunis, S. Janssen, M. Raulf, P. Sanchez, M. Hemmerlin
Online depth profiling of zinc coated sheet steel by laser induced breakdown spectroscopy
7th International Workshop Progress in Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries, Ed. J. Angeli
Seiten 237-242, 2006
- V. Sturm, A. Brysch, R. Noll, H. Brinkmann, R. Schwalbe, K. Mülheims, P. Luoto, P. Mannila, K. Heinänen, D. Carrascal, L. Sancho, A. Opfermann, K. Mavrommatis, H. W. Gudenau, A. Hatzia Apostolou, S. Couris
Online multi-element analysis of the top gas of a blast furnace by LIBS
7th International Workshop Progress in Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries, Ed. J. Angeli
Seiten 183-188, 2006
- K. Nicklaus, M. Daniels, R. Hohn, D. Hoffmann
Optical Isolator for Unpolarized Laser Radiation at Multi-Kilowatt Average Power
OSA - Technical Digest »Advanced Solid-State Photonics«
3 Seiten, 2006
- I. Kelbassa, K. Walther, L. Trippe, W. Meiners, C. Over
Potentials of manufacture and repair of nickel base turbine components used in aero engines and power plants by laser metal deposition and laser drilling
Proceedings of ISJPPE 2025
9 Seiten, 2006
- J. Vrenegor, V. Sturm, R. Noll, M. Hemmerlin, U. Thurmann, J. Flock
Preparation and analysis of production control samples by a two-step laser method
7th International Workshop Progress in Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries, Ed. J. Angeli
Seiten 81-86, 2006
- L. Trippe, K. Walther, E.W. Kreutz, R. Poprawe
Process development and control of laser drilled and shaped holes in turbine components
Proceedings of LAMP
5 Seiten, 2006
- R. Poprawe, E. W. Kreutz, L. Trippe, K. Walther
Process development for laser drilled hole arrays in cooled structures
Tagungsband zum 3. Workshop des SFB 561
Seiten 34-38, 2006
- I. Kelbassa, C. Over, L. Trippe, E. W. Kreutz, K. Wissenbach
Reconditioning of Nickel Base HPT Blades and Vanes used in Aero Engines and Power Plant Gas Turbines by Combination of Direct Laser Forming, Laser Metal Deposition and Laser Drilling
Proceedings of PICALO
7 Seiten, 2006
- B. Regaard, S. Kaieler, R. Poprawe
Self guided laser welding
Proceedings of ICALEO 25
7 Seiten, 2006
- R. Noll, C. Fricke-Begemann
Stand-off Detection of Surface Contaminations with Explosive Residues Using Laser-spectroscopic Methods
Stand-off Detection of Suicide Bombers and Mobile Subjects, Eds.: H. Schubert, A. Rimski-Korsakov
Seiten 89-99, 2006
- R. Wagner, J. Gottmann, A. Horn, E. W. Kreutz
Subwavelength ripple formation induced by tightly focused femto-second laser radiation
Applied Surface Science Vol. 252, Issue 24
Seiten 8576-8579, 2006
- H. Balzer, S. Hölter, V. Sturm, R. Noll
Systematic line selection for online coating thickness measurement of galvanised sheet steel using LIBS
Analytical & Bioanalytical Chemistry Vol. 385, No. 2
Seiten 234-239, 2006
- R. Noll
Terms and notations for laser-induced breakdown spectroscopy
Analytical & Bioanalytical Chemistry Vol. 385, No. 2
Seiten 214-218, 2006
- J. Ilgner, M. Wehner, A. Donner, P. Düwel, R. Poprawe, M. Westhofen
200 µm glass fibres for minimally invasive laser procedures in paranasal sinus surgery
Medical Laser Application 21
Seiten 45-51, 2006

- 12.01.2006 - W. Neff
Laserinduzierte Mikropfasmen
Fachgespräch »Mikropfasmen«
Begegnungszentrum Hof Beckmann, Ruhr-Universität Bochum, Bochum
- 22.01.2006 - M. Roehner
Characterization device for measuring beam parameter product and beam quality of collimated and uncollimated diode lasers
Photonics West 2006, San Jose, CA, USA
- 23.01.2006 - R. Noll
Laser-Emissionsspektroskopie - Grundlagen, Grenzen und industrielle Anwendungspotentiale
Kolloquium, Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken
- 23.01.2006 - M. Leers
Expansion-matched passively-cooled heatsinks with low thermal resistance for high-power diode laser bars
Photonics West 2006, San Jose, CA, USA
- 23.01.2006 - C. Scholz
Comparison between 50 W tapered laser arrays and tapered single emitters
Photonics West 2006, San Jose, CA, USA
- 24.01.2006 - B. Jungbluth
High performance, widely tunable Ti:Sapphire laser, with nanosecond pulses
Photonics West 2006, San Jose, CA, USA
- 24.01.2006 - P. Russbüldt
Generation of 13.5-fs pulses from a diode-pumped Kerr-lens mode-locked prismless Cr:LiSGaF laser
Photonics West 2006, San Jose, CA, USA
- 24.01.2006 - C. Wessling
Dense wavelength multiplexing for a high power diode laser
Photonics West 2006, San Jose, CA, USA
- 24.01.2006 - M. Traub
Homogenization of high power diode lasers for pumping and direct applications
Photonics West 2006, San Jose, CA, USA
- 25.01.2006 - M. Hoefler
High power second and third harmonics generation of a two stage partially diode end-pumped Nd:YAG INNOSLAB MOPA System
Photonics West 2006, San Jose, CA, USA
- 25.01.2006 - K. Nicklaus
Mopa with kW average power and multi MW peak power: experimental results theoretical modelling and scaling limits
Photonics West 2006, San Jose, CA, USA
- 25.01.2006 - J. Wüppen
High efficient generation of tunable visible light by means of DFG in self-controlled conversion processes
Photonics West 2006, San Jose, CA, USA
- 26.01.2006 - J. Gottmann
Sub-wavelength ripple formation on dielectric and metallic materials induced by tightly focused femto-second laser radiation
Photonics West 2006, San Jose, CA, USA
- 26.01.2006 - K. Wissenbach
Lasereinsatz in der Oberflächenbehandlung
MPA Darmstadt, Darmstadt
- 30.01.2006 - K. Nicklaus
Optical isolator for unpolarized laser radiation at multi-kilowatt average power
ASSP 2006, Lake Tahoe, Nevada, USA
- 31.01.2006 - J. Loehring
Thermal effects on the scalability of high power third harmonic generation at 355 nm in LBO
ASSP 2006, Lake Tahoe, Nevada, USA
- 08.02.2006 - T. Mans
Optronik
Bundesagentur für Außenwirtschaft BFAI, Köln
- 24.02.2006 - R. Poprawe
Creation of the European Technology Platform »Photonics 21«, National Laser Center, Pretoria, Südafrika
- 27.02.2006 - K. Walther
Laser technologies for manufacturing and repair of rotating machinery power plant components
ISROMAC-11, Honolulu, Hawaii, USA
- 06.03.2006 - H. Balzer
Online-Tiefenprofilanalyse verzinkter Stahlbleche mit Laser-Emissionsspektrometrie (LIBS) 13. Anwendertreffen Röntgenfluoreszenz und Funkenemissionsspektrometrie, Steinfurt
- 06.03.2006 - G. Otto
Lasereinsatz in der Verpackungstechnik
Workshop »Easy Opening«, Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik u. Verpackung IVV, Freising
- 06.03.2006 - E. W. Kreutz
Biologische Grundlagen und zulässige Grenzwerte zur Klassifizierung
Hochschulübergreifende Fortbildung, Universität Siegen
- 08.03.2006 - M. Dahmen
Laser materials processing - applications, methods and systems
National Laser Centre, Tshwane (Pretoria), Südafrika
- 09.03.2006 - G. Otto
Laserverfahren für die Verpackung medizintechnischer Produkte
3. Duisburger Extrusionstagung, Universität Duisburg Gesamthochschule, Duisburg
- 11.03.2006 - R. Noll
New frontiers for Laser-Induced Breakdown Spectroscopy
Pittcon 2006, 57th Pittsburgh Conference on Analytical Chemistry and Applied Spectroscopy, Invited Talk auf Symposium LIBS 21st Century, Orlando, FL, USA
- 11.03.2006 - E. W. Kreutz
Praktische Schutzmaßnahmen bei der Laseranwendung
Haus der Technik, Essen
- 14.03.2006 - H.-D. Hoffmann
Festkörperlaser und Diodenlaser für das Schweißen von Kunststoffen
Laserschweißen von Kunststoffen, Süddeutsches Kunststoffzentrum - Kunststoff, Forschung und Entwicklung, SKZ-KFE GmbH, Würzburg
- 15.03.2006 - E. W. Kreutz
Lasersicherheit - was ist wirklich wichtig?
Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg
- 15.03.2006 - K. Walther
Process development for laser drilled hole arrays in cooled structures
Workshop SFB561, Aachen
- 27.03.2006 - U. Eppelt
Microprocessing, from nano to femto
14th Annual Automotive Laser Applications Workshop ALAW 2006, Plymouth, MI, USA
- 27.03.2006 - C. A. Hartmann
Untersuchung zum Abtrag von Metallen mit Pikosekunden und Nanosekunden Mehrfachpulsen
DPG-Frühjahrstagung, Universität Augsburg, Institut für Physik, Augsburg
- 27.03.2006 - A. Horn
Ausgewählte Anwendungen der Wechselwirkung von Femtosekunden Laserstrahlung mit Materie
DPG-Frühjahrstagung, Universität Augsburg, Institut für Physik, Augsburg
- 27.03.2006 - I. Mingareev
Prozessvisualisierung bei der Materialbearbeitung mit ultrakurzen Laserpulsen mittels Pump&Probe-Photographie
DPG-Frühjahrstagung, Universität Augsburg, Institut für Physik, Augsburg
- 28.03.2006 - A. Gillner
Großflächenabtrag mit Kurzpuls Laserstrahlquellen
DPG-Frühjahrstagung, Universität Augsburg, Institut für Physik, Augsburg

- 28.03.2006 - D. Petring
Combined cutting and welding
Fraunhofer Pre-Conference of ALAW 2006, Plymouth, MI, USA
- 28.03.2006 - R. Poprawe
New lasers for new applications
Fraunhofer Pre-Conference of ALAW 2006, Plymouth, MI, USA
- 29.03.2006 - E. W. Kreutz
Process development and control of melt dominated laser drilling
DPG-Frühjahrstagung, Universität Augsburg, Institut für Physik, Augsburg
- 30.03.2006 - D. Petring
Lasers in European automotive manufacturing: Historical review and recent trends
14th Annual Automotive Laser Applications Workshop ALAW 2006, Plymouth, MI, USA
- 30.03.2006 - M. Ramme
Doppelpulse
DPG-Frühjahrstagung, Universität Augsburg, Institut für Physik, Augsburg
- 03.04.2006 - R. Poprawe
Holistic development of high power laser sources and corresponding applications
PICALO 2006, Melbourne, Australien
- 05.04.2006 - I. Kelbassa
Comparison of Ti-6246 BLISK blade repair methods on blade replacement via repair by laser welding and reconditioning of local damages by laser deposition
PICALO 2006, Melbourne, Australien
- 05.04.2006 - I. Kelbassa
Reconditioning of Nickel base HPT blades and vanes used in aero engines and power plant gas turbines by combination of direct laser forming, laser metal deposition and laser drilling
PICALO 2006, Melbourne, Australien
- 05.04.2006 - I. Kelbassa
Laser metal deposition of TiAl alloys
PICALO 2006, Melbourne, Australien
- 12.04.2006 - A. L. Boglea
Innovative laser based pick-and-join tool for micro-assembly
Marie Curie Conference MC2, »Putting the Knowledge-based Society into Practice«, University of Manchester, Manchester, UK
- 24.04.2006 - E. Bremus-Köberling
Neuron-material interactions on surfaces with complex topographies (Poster)
2006 Regenerate - World Congress on Tissue Engineering and Regenerative Medicine, Pittsburgh, PA, USA
- 03.05.2006 - S. Kaieler
Wie funktionieren die Laserbearbeitungsverfahren?
Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'06, Aachen
- 04.05.2006 - A. Gillner
Kombilas - Laserpräzisionsabtrag von Keramikwerkstoffen
Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'06, Aachen
- 04.05.2006 - R. Poprawe
Trends und Perspektiven der Lasertechnik
Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'06, Aachen
- 04.05.2006 - W. Meiners
Schnelle Herstellung von Bauteilen mit Mikrostrukturen mit dem SLM-Verfahren
Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'06, Aachen
- 05.05.2006 - D. Petring
Flexibles Laserschneiden und -schweißen von Blechbaugruppen ohne Werkzeugwechsel
Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'06, Aachen
- 05.05.2006 - R. Noll
Laser-Direktanalyse von Prozesskontroll- und Schlackeproben in der Sekundärmetallurgie
Ausschusssitzung »Metallurgische Grundlagen«, Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf
- 07.05.2006 - I. Mingareev
Extension of the process limits in material processing with femtosecond laser radiation by means of high-speed pump-probe photography
SPIE High Power Laser Ablation 2006, Sagebrush Inn & Conference Center, Taos, NM, USA
- 09.05.2006 - R. Poprawe
Neue Trends in der Lasertechnik - Chancen und Märkte für Investoren
Investmentforum, München
- 15.05.2006 - K. Wissenbach
Potentials of highly-developed laser base techniques for additive manufacturing and repair of complex shaped aero engine parts out of nickel and titanium base alloys
ASM Konferenz, Seattle, WA, USA
- 16.05.2006 - E. W. Kreutz
Lasersicherheit
BG Feinmechanik & Elektrotechnik, Bad Münstereifel
- 16.05.2006 - R. Wester
Fast characterisation of steel cleanness by advanced mathematical analysis of spark and laser source optical emission data
CETAS2006, 7th International Workshop on Progress in Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries, Luxemburg, Luxemburg
- 16.05.2006 - Ü. Aydin
Automatic sorting of aluminium alloys by fast LIBS identification
CETAS 2006, 7th International Workshop on Progress in Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries, Luxemburg, Luxemburg
- 16.05.2006 - H. Balzer
Online depth profiling of zinc coated sheet steel by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy
CETAS 2006, 7th International Workshop on Progress in Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries, Luxemburg, Luxemburg
- 16.05.2006 - V. Sturm
Online multi-element analysis of the top gas of a blast furnace by LIBS
CETAS 2006, 7th International Workshop on Progress in Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries, Luxemburg, Luxemburg
- 16.05.2006 - J. Vrenegor
Preparation and analysis of production control samples by a two-step laser method
CETAS 2006, 7th International Workshop on Progress in Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries, Luxemburg, Luxemburg
- 17.05.2006 - A. Horn
Diagnostics of laser-induced melting of matter by ultra-fast metrology
LAMP 2006, Kyoto Research Park, Kyoto, Japan
- 17.05.2006 - C. A. Hartmann
Investigation on laser micro ablation of steel using short and ultrashort IR multipulses
LAMP 2006, Kyoto Research Park, Kyoto, Japan
- 17.05.2006 - J. Gottmann
Investigation of ripples with sub-wavelength periodicity induced by tightly focused femtosecond laser radiation on various materials
LAMP 2006, Kyoto Research Park, Kyoto, Japan
- 18.05.2006 - D. Wortmann
Refractive index modification in fused silica with fs-double-pulses
LAMP 2006, Kyoto Research Park, Kyoto, Japan
- 19.05.2006 - R. Poprawe
Perspectives of laser processing and new applications
LAMP 2006, Kyoto Research Park, Kyoto, Japan
- 28.05.2006 - C. Johnigk
Reinigen und Vorbehandeln mit Laserstrahlung
OTTI-Profiforum »Reinigen und Vorbehandeln vor der Beschichtung«, OTTI Kolleg e.V., Regensburg
- 28.05.2006 - A. L. Boglea
Advanced laser based tools for micro-assembly
Produktionstechnik Seminar, Technical University Cluj-Napoca, Faculty of machine, Cluj-Napoca, Rumänien
- 31.05.2006 - K. Wissenbach
Lasereinsatz in der Oberflächentechnik - Ein Überblick
Aachener Laserseminar »Vorsprung durch Laser-Oberflächentechnik - Auftragschweißen, Reparieren, Reinigen, Polieren«, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen
- 31.05.2006 - C. Johnigk
Reinigen mit Laserstrahlung
Aachener Laserseminar »Vorsprung durch Laser-Oberflächentechnik - Auftragschweißen, Reparieren, Reinigen, Polieren«, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen

- 31.05.2006 - E. Willenborg
Polieren mit Laserstrahlung
 Aachener Laserseminar »Vorsprung durch Laser-Oberflächentechnik - Auftragschweißen, Reparieren, Reinigen, Polieren«, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen
- 31.05.2006 - K. Wissenbach
Strukturieren mit Laserstrahlung
 Aachener Laserseminar »Vorsprung durch Laser-Oberflächentechnik - Auftragschweißen, Reparieren, Reinigen, Polieren«, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen
- 31.05.2006 - G. Vitr
Randschichthärten und Wärmebehandeln von Stählen mit Laserstrahlung
 Aachener Laserseminar »Vorsprung durch Laser-Oberflächentechnik - Auftragschweißen, Reparieren, Reinigen, Polieren«, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen
- 31.05.2006 - A. Weisheit
Laserstrahl-Auftragschweißen von Funktionsschichten für den Verschleiß- und Korrosionsschutz
 Aachener Laserseminar »Vorsprung durch Laser-Oberflächentechnik - Auftragschweißen, Reparieren, Reinigen, Polieren«, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen
- 31.05.2006 - A. Gasser
Anlagen-Systemtechnik für die Laseroberflächentechnik
 Aachener Laserseminar »Vorsprung durch Laser-Oberflächentechnik - Auftragschweißen, Reparieren, Reinigen, Polieren«, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen
- 06.06.2006 - T. Mans
Optische Technologien - Zukunft und Technik
 Konferenz Zukunft und Technik, Dormagen
- 13.06.2006 - R. Noll
Online depth profiling of zinc coated sheet steel by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy
 TGS9, ECSC Meeting, Rotherham, UK
- 16.06.2006 - W. Meiners
Manufacturing of individual bone implants using selective laser melting
 2. Bernd-Spiessl-Symposium 2006, Basel, Schweiz
- 16.06.2006 - S. Abed
Manufacture of injection moulds out of standard tool steel using direct laser forming
 10th International Pattern Model Making Congress, Maison de la Mécanique, UFIMO (Union Française des Industries de Mise en Forme des Métaux et Outillage), Paris, Frankreich
- 21.06.2006 - M. Wehner
Single cell optoporation for uptake of extracellular substances (Poster)
 Jahrestagung »Mikrosysteme für die Biotechnologie«, Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung IFAM, Bremen
- 21.06.2006 - M. Wehner
Rapid prototyping of microfluidic devices in polymers (Poster)
 Jahrestagung »Mikrosysteme für die Biotechnologie«, Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung IFAM, Bremen
- 22.06.2006 - G. Backes
Laserbearbeitung bei Triebwerken
 Bundesakademie für Wehrverwaltung und Wehrtechnik, Mannheim
- 22.06.2006 - S. Abed
Fabrication directe d'outillages d'injection en aciers outil standard et de pièces techniques en alliages d'Aluminium et de Titane par fusion laser de poudre
 Journée technique, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Site de Sevenan, Belfort, Frankreich
- 27.06.2006 - H.-D. Hoffmann
High-power solid-state slab-lasers and nonlinear frequency conversion
 Laser Optic Conference, A. F. Ioffe Physical-Technical Institute, St. Petersburg, Russland
- 28.06.2006 - F. Schmitt
Vergleich des Perkussions- und Wendelbohrens mit Kurzpulslasern
 WLT-Summerschool, LZH Laser Akademie, Hannover
- 28.06.2006 - Ü. Aydin
High speed identification of aluminium alloys by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy for material recycling
 LZH Laser Zentrum Hannover e.V., Hannover
- 28.06.2006 - C. D. Gehlen
Ortsaufgelöste Untersuchung laserinduzierter Plasmen beim präzisen Mikro-Materialabtrag mit Pulsgruppen
 LZH Laser Zentrum Hannover e.V., Hannover
- 04.07.2006 - E. W. Kreutz
Laser in der Materialbearbeitung und andere als optische und elektrische Gefahren
 TA Esslingen, Ostfildern
- 06.07.2006 - E. W. Kreutz
Gefährdungen von Augen und Haut durch Laserstrahlung
 BG Metall-Süd, Markt Triefenstein-Lengfurt
- 06.07.2006 - M. Leers
Stress reduced packaging
 Bright-EU Workshop, University of Cambridge, Cambridge, UK
- 06.07.2006 - D. Petring
Kombiniertes Schneiden und Schweißen: Laserstrahlqualität steigert Prozesseffizienz und -flexibilität
 2. Internationaler Workshop Faserlaser, Dresden
- 13.07.2006 - R. Poprawe
Lasertechnik: Wie aus Technik Unternehmen werden
 Business Angels Veranstaltung, Aachen
- 17.07.2006 - S. Kaieler
Laser aided manufacturing in Germany and Europe
 GARELAM, National Academy of Science, Washington, USA
- 18.07.2006 - E. W. Kreutz
Einrichten von Laserbereichen und andere als optische Gefahrenpotenziale
 BG Metall-Süd, Markt Triefenstein-Lengfurt
- 03.09.2006 - R. Poprawe
The future of high power laser techniques
 XVI. International Symposium GCL/HPL 2006, Gmunden, Österreich
- 03.09.2006 - R. Noll
Applications of LIBS
 LIBS 2006, 4th International Conference on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy and Applications, Montreal, Kanada
- 05.09.2006 - R. Noll
TeleLis - Remote LIBS measurements with double pulses
 LIBS 2006, 4th International Conference on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy and Applications, Montreal, Kanada
- 05.09.2006 - R. Noll
High-speed LIBS with low energy multiple pulses for online monitoring of thickness and depth profile of galvanised sheet steel
 LIBS 2006, 4th International Conference on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy and Applications, Montreal, Kanada
- 06.09.2006 - R. Noll
Standardization of LIBS
 LIBS 2006, 4th International Conference on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy and Applications, Montreal, Kanada
- 13.09.2006 - W. Wawers
Laser drilling with helical drilling optics
 1. Internationales Symposium für das Laser-Micromachining, Chemnitz
- 13.09.2006 - A. Gillner
Laserstrahlmikroschweißen mit Faserlasern und innovativen Verfahrenskonzepten
 Laser-Anwender-Forum, BIAS, Bremen
- 20.09.2006 - A. Gasser
Aplicaciones industriales de la soldadura de aporte con láser
 Jornada de Difusion Tecnológica, Lortek, Ordizia, Spanien
- 24.09.2006 - S. Kaieler
Laser materials processing: applications, methods and systems
 Fachmesse INSITE, Johannesburg, Südafrika

- 25.09.2006 - N. Pirch
Mechanisms of surface rippling during laser polishing
8th International Seminar »Numerical Analysis of Weldability«, Graz-Seggau, Österreich
- 27.09.2006 - N. Pirch
Calculations of stresses during laser welding, shortcomings of finite element approximation
8th International Seminar »Numerical Analysis of Weldability«, Graz-Seggau, Österreich
- 04.10.2006 - J. Holtkamp
Laser assisted forming: process & tools
Masmicro Demonstration Day, Stuttgart
- 11.10.2006 - P. Abels
Quality control in laser materials processing - essentials and industrial application
ILAS Konferencia 2006, Bay Zoltán Institute for Materials Science and Technology, Budapest, Ungarn
- 11.10.2006 - E. Bremus-Köberling
Neurite growth on micro-patterned surfaces with complex topographies (Poster)
2006 Annual Fall Meeting, Biomedical Engineering Society (BMES), Chicago, IL, USA
- 15.10.2006 - K. Bergmann
Characterization of grazing incidence collectors under near production conditions (Poster)
EUVL Symposium 2006, International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography, Barcelona, Spanien
- 15.10.2006 - L. Juschkin
EUV microscopy for defect inspection (Poster)
EUVL Symposium 2006, International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography, Barcelona, Spanien
- 16.10.2006 - K. Bergmann
Test stand for optical characterization of grazing incidence collectors (Poster)
EUVL Symposium 2006, International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography, Barcelona, Spanien
- 18.10.2006 - S. Kaieler
Qualitätssicherung in der Laserbearbeitung durch optische Schweißnahtüberwachung
Fachtagung Optische Industriesensorik, Böblingen
- 20.10.2006 - S. Kaieler
Qualitätssicherung beim Löten mit Laserstrahlung
GFal Jahresversammlung, Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFal), Berlin
- 27.10.2006 - A. Gillner
Lasergestütztes Gewebekleben für Anastomosen und zum nahtfreien Wundverschluss
LIME Erlangen, BLZ – Bayerisches Laserzentrum GmbH, Erlangen
- 31.10.2006 - A. L. Boglea
Fiber laser pick-and-join tool for welding of thermoplastics
ICALEO@ 2006, Scottsdale, Arizona, USA
- 31.10.2006 - B. Regaard
Self guided laser welding
ICALEO@ 2006, Scottsdale, Arizona, USA
- 01.11.2006 - A. Olowinsky
SHADOW® - new applications in electronics and micromechanics
ICALEO@ 2006, Scottsdale, Arizona, USA
- 01.11.2006 - J. Gedicke
Comparison of different process monitoring methods for laser beam micro welding
ICALEO@ 2006, Scottsdale, Arizona, USA
- 02.11.2006 - E. Willenborg
Automatisches Polieren von Umformwerkzeugen der Kaltmassivumformung
Workshop Polieren mit dem Laser, GCFG, Hagen
- 07.11.2006 - M. Traub
Prozessangepasste Formung und Homogenisierung von Diodenlaserstrahlung
IWS Workshop Diodenlaser, Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Dresden
- 07.11.2006 - C. Wessling
Fasergekoppelte Diodenlaser-systeme hoher Brillanz
IWS Workshop Diodenlaser, Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Dresden
- 08.11.2006 - R. Noll
Industrielle Anwendungen der Laser-Direktanalyse
Jahrestagung GDMB, Goslar
- 09.11.2006 - S. Kaieler
Industrielle Anwendungen brillianter Diodenlaser beim Aluminiumschweißen, Härten und Beschichten
IWS Workshop Diodenlaser, Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Dresden
- 16.11.2006 - D. Petring
Flexibles Schneiden und Schweißen in der Blechverarbeitung mit dem Laser-Kombikopf
Fertigungstechnisches Kolloquium der ETH Zürich, IWF Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung, Zürich, Schweiz
- 20.11.2006 - S. Kaieler
Prozessüberwachung für die Materialbearbeitung mit Laserstrahlung - Grundlagen und Anwendungsgebiete
Aachener Laserseminar »Online Qualitätssicherung in der Laserfugetechnik - Sicheres und effizientes Laserstrahlschweißen«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 20.11.2006 - S. Mann
Prozessüberwachung mit koaxialer Fremdbeleuchtung
Aachener Laserseminar »Online Qualitätssicherung in der Laserfugetechnik - Sicheres und effizientes Laserstrahlschweißen«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 20.11.2006 - A. Gillner
Micro and nanofunctionalization of surfaces
Nanofair Karlsruhe, Kongresszentrum Karlsruhe, Karlsruhe
- 21.11.2006 - S. Kaieler
Nahtfolge und Nahtinspektion - Grundlagen und Anwendungsbeispiele
Aachener Laserseminar »Online Qualitätssicherung in der Laserfugetechnik - Sicheres und effizientes Laserstrahlschweißen«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 21.11.2006 - B. Regaard
Autonome Nahtfolge
Aachener Laserseminar »Online Qualitätssicherung in der Laserfugetechnik - Sicheres und effizientes Laserstrahlschweißen«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 22.11.2006 - D. Petring
Laserstrahlschneiden und -schweißen: Grundlagen für die Anwendung
Aachener Laserseminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 22.11.2006 - D. Petring
Laserhybridschweißen: Stand der Technik und aktuelle Fortschritte
Aachener Laserseminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 22.11.2006 - F. Schneider
Flexible Fertigung von Blechbaugruppen: effizient Laserstrahlschweißen und -schneiden mit dem Kombikopf
Aachener Laserseminar »Innovative Laserschneid- und Laserschweißprozesse«, Fraunhofer ILT, Aachen
- 22.11.2006 - G. Otto
Prozesslösungen zum Lasertrennen von Leiterplatten mit Materialstärke >1 mm
Laser-Workshop, Gas Automation GmbH, St. Georgen (Schwarzwald)
- 23.11.2006 - R. Noll
Grundlagen und Methoden der Lasermesstechnik - Stand der Technik und neue Entwicklungen
Aachener Laserseminar »Lasermesstechnik für die metallverarbeitende Industrie«, Fraunhofer ILT, Aachen

23.11.2006 - A. Lamott
Online-Überwachung von Schweißprozessen mit Emissions-spektrometrie

Aachener Laserseminar »Lasermess-technik für die metallverarbeitende Industrie«, Fraunhofer ILT, Aachen

27.11.2006 - J. Wilkes
Rapid manufacturing of ceramic components for medical and technical applications via selective laser melting

Euro-uRapid, Frankfurt am Main

30.11.2006 - W. Meiners
Vorsprung im Werkzeugbau durch innovative Lasertechnik

Euromold 2006, Fachforum Werkzeug und Formenbau, Frankfurt am Main

05.12.2006 - E. W. Kreutz
Technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen bei der Materialbearbeitung mit Laserstrahlung

BG Feinmechanik & Elektrotechnik, Dresden

06.12.2006 - R. Poprawe
Photonics21 - Die neue EU Technologieplattform

Wissenschaftliches Forum, Ulm

08.12.2006 - R. Noll
Physik - Aufgabe und Beruf

Pius Gymnasium, Aachen

08.12.2006 - S. Pfeiffer
Strukturelle Stabilität von Modellen zur Schweißverzugs-simulation von Stahlwerkstoffen

FOSTA-Arbeitskreis Schweißverzug, zwb München

12.12.2006 - K. Wissenbach
Laser surface treatment

Short course on »Material Processing by Laser«, AIDO, Paterna, Spanien

13.12.2006 - S. Abed
Fabrication rapide de pièces métalliques et d'outillages par fusion laser

Seme Journée Technique Fabrication Rapide: réalité ou utopie? Tendence du marché et enjeux futurs Pôle Européen de Plasturgie, Oyonnax, Frankreich

12.01.2006
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik Prof. Wolfgang Kowalsky, Technische Universität Braunschweig, Institut für Hochfrequenztechnik »Organische Leuchtdioden und Laser«

21.02.2006, Aachen
Unihits für Kids

Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler der Gesamtschule Langerwehe zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

03.03.2006, Aachen
22. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«

des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT mit Vorträgen von Dr. Stefan Kaierle, Fraunhofer ILT, über »Neue Entwicklungen in der Systemtechnik am Fraunhofer ILT« und Dr. Detlef Becker, Vorwerk Elektrowerke GmbH, Wuppertal zum Thema »Qualitätsmanagement bei der Beschaffung technischer Produkte«. Anschließend fand eine Besichtigung der Firma FEV Motorentechnik GmbH in Aachen statt.



Oben: Eröffnung der Schüleraktion »Faszination Licht« am 02.05.2006 im Ludwig Forum für internationale Kunst in Aachen.

Mitte: Bundesministerin Dr. Annette Schavan auf dem Wissenschaftlichen Forum in Ulm.

Unten: Auszeichnung des Fraunhofer ILT als Ort im »Land der Ideen« am 02.05.2006 in Aachen.



**28.03.2006
Plymouth, Michigan, USA
»Open house CLT«**

Das Fraunhofer CLT führte im Rahmen der ALAW einen Tag der offenen Tür am 28.03.2006 durch. Über 100 Teilnehmern wurden die Fraunhofer Laseraktivitäten in Deutschland und den USA präsentiert. Die Vorträge umfassten die Lasermaterialbearbeitung in den Bereichen Mikro und Makro sowie neueste Entwicklungen von Komponenten und Laserresonatoren. Ergebnisse zum Laserschweißen mit Hochleistungsfaserlasern, zum integrierten Laserschneiden und -schweißen mit Kombikopf, zum Robotergeführten Remote Schweißen, zur Mikromaterialbearbeitung im Bereich Bohren und Fügen sowie zur Oberflächenbearbeitung wie Beschichten und Reinigen wurden vorgestellt. Das Spektrum der präsentierten Komponenten und Systeme reichte von Scannern für 10 kW Faserlaser mit autonomer Positionserfassung über Faserlaser mit flexiblen Pulsparametern und Diodenlaser höchster Brillanz (75 W aus 100 µm Faser) bis hin zu kundenspezifischen Komplettsystemen für die Produktion.



Oben: Schüleraktion »Faszination Licht« am 02.05.2006 im Ludwig Forum für internationale Kunst in Aachen.

Mitte und unten: Schüleraktion im Rahmen der Initiative »Zukunft durch Innovation«.

**20.04.2006
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen**

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Dr. Martin Straub, Lehrstuhl für Lasertechnik, RWTH Aachen
»Femtosecond-fabrication and analysis of micro- and nanostructures«

**26.04. 2006
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen**

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
Prof. Klaus M. Radermacher, Lehrstuhl für Medizintechnik, RWTH Aachen
»Computergestützte Chirurgie - Stand der Technik und Trends«

**02. - 05.05.2006, Aachen
Schüler-Aktion**

»Faszination Licht«
Unter dem Motto »Faszination Licht« befassten sich über 400 Schülerinnen und Schüler zwischen 14 und 18 Jahren vom 02. Mai bis 05. Mai 2006 mit Optischen Techno-

logien. Im Umfeld des 6. Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'06 (www.ilt.fraunhofer.de/akl06) setzte sich der potenzielle studentische Nachwuchs mit dieser Wachstumsbranche auseinander. Anhand pädagogisch aufbereiteter Aktionen und Präsentationen wurden die Jugendlichen begeistert. Die mit dieser Branche verbundenen beruflichen Optionen wurden durch Fachpersonal verdeutlicht.

Für die Schüleraktion konnte das Fraunhofer ILT die vom BMBF geförderte Wanderausstellung »Faszination Licht« für das Ludwig Forum für internationale Kunst gewinnen. Auf rund 250 qm wurden »Exponate zum Anfassen« mit entsprechenden Erläuterungen präsentiert. Wissenschaftliche Mitarbeiter des Fraunhofer ILT und Studenten des Lehrstuhls für Lasertechnik der RWTH Aachen betreuten die Schulgruppen in der Zeit vom 02. Mai bis 05. Mai 2006 im Ludwig Forum. Darüber hinaus wurde den Schülern auch die Bedeutung des Lichts in der Kunst vermittelt. Das museums-pädagogische Team des Ludwig Forums kümmerte sich um die individuelle Betreuung der Schüler für diesen Teil der Aktion.

Im Rahmen der Initiative »Zukunft durch Innovation.NRW« des Landes Nordrhein-Westfalen fand darüber hinaus am 02. Mai in Aachen eine eintägige Veranstaltung zum Thema »Optische Technologien« statt, in die auch die Schüleraktion des Fraunhofer ILT im Ludwig Forum eingebunden war. Neben den beteiligten Hochschulen und wissenschaftlichen Einrichtungen spielten hierbei die kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) eine tragende Rolle. Die interessierten Schülerinnen und Schüler konnten sich am 02. Mai in rund 15 Workshops und Firmenbesichtigungen direkt ein praxisnahes Bild von Optischen Technologien machen. Durch eine Vielzahl unterschiedlicher Themenschwerpunkte wie beispielsweise Lasertechnik, Beleuchtungstechnik im PKW oder Medizintechnik wurden Schülerinnen und Schülern Möglichkeiten geboten, bisher verborgene Talente und Begabungen zu entdecken sowie vorhandene Interessen berufs- und ausbildungsorientiert zu vertiefen.

Die Schülerveranstaltung des Fraunhofer ILT war schließlich in die Initiative »Deutschland - Land der Ideen«, die unter der Schirmherrschaft von Bundespräsident Horst Köhler stand, (siehe auch www.land-der-ideen.de) eingebunden. Das Fraunhofer ILT wurde zusammen mit 364 weiteren Bewerbern unter 1200 Antragsstellern ausgewählt und bildete einen von 365 ausgezeichneten Orten im Land der Ideen. Am 02. Mai wurde die Auszeichnung an das Fraunhofer ILT im Umfeld einer Pressekonferenz im Ludwig Forum Aachen offiziell überreicht.

**03. - 05.05.2006, Aachen
Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'06**

Das 6. Aachener Kolloquium für Lasertechnik AKL'06 präsentierte sich auch in diesem Jahr als zentrales Forum für angewandte Lasertechnik. Rund 430 Teilnehmer, hierbei Vertreter zahlreicher Laserhersteller und Laseranwender, diskutierten in Aachen über erfolgreiche und potenzielle Anwendungen sowie aktuelle Entwicklungen im Bereich der Lasertechnik. Anhand von Beispielen aus der industriellen Praxis und innovativer FuE-Ergebnisse wurden in 32 technischen Vorträgen die Perspektiven der Lasertechnik branchenübergreifend für Anwendungen in der Automobilindustrie, der metallverarbeitenden Industrie, dem Werkzeug- und Formenbau, der optischen Industrie sowie der Elektrotechnik und der Elektronik 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 der 34 Sponsoren bot zudem ein ideales Umfeld für den fachlichen Informationsaustausch.

Neu war beim AKL'06 das sehr gut besuchte Einsteiger Seminar Lasertechnik am 03. Mai 2006. Dieses richtete sich an Unternehmen, die bisher nicht in der Lasertechnik

tätig waren - weder als Anbieter noch als Anwender. Hier erfuhren Einsteiger in klar strukturierter Form wie Laserbearbeitungsverfahren funktionieren, welche Laser für welche Anwendungen eingesetzt werden, welche industriellen Einsatzbereiche es gibt, wann sich der Einsatz des Lasers lohnt, welche Dienstleistungen Laserlohnfertiger bieten und welche Entwicklungstrends bzw. Perspektiven sich in der Lasertechnik abzeichnen. Das komplette Programm inklusive der Vorführungen am Fraunhofer ILT ist den ILT Internet-Seiten unter www.ilt.fraunhofer.de/AKL06 zu entnehmen.

Der Tagungsband des AKL'06 und des Einsteiger Seminars Lasertechnik inklusive 2 CD-ROMs mit allen Vortragsfolien ist über die VDI Verlag GmbH unter folgender Internet-Adresse zu beziehen: www.vdi-nachrichten.com/buchshop (Suchwort: AKL).

**03.05.2006, Aachen
Technologie Business Tag TBT**
Unternehmer und Führungskräfte



Oben: Schüleraktion »Faszination Licht« am 02.05.2006 im Ludwig Forum für internationale Kunst in Aachen.
Mitte und unten: Schüleraktion im Rahmen der Initiative »Zukunft durch Innovation«.

es TBT'06 inklusive Vortragsfolien im Kundenservice der WirtschaftsWoche unter folgender Internet-Adresse zu beziehen: www.wiwo-shop.de.

**03. und 04.05.2006, Aachen
Verleihung der Innovationspreise und des Nachwuchsförderpreises Lasertechnik 2006**
Mit den Innovationspreisen Lasertechnik 2006 des Arbeitskreises Lasertechnik e. V. wurden in der Aula Carolina zu Aachen im Rahmen des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'06 am 04.05.2006

zwei herausragende Ingenieure geehrt: Prof. Dr.-Ing. Horst Exner - Professor für Physikalische Technik und Laseranwendungen an der Hochschule Mittweida (FH) sowie Direktor des Laserinstituts Mittelsachsen e. V. - für die Entwicklung des Lasermikrosinterns und Dipl.-Ing. Stefan Wischmann - Leiter des Bereiches Strahl- und Sensortechnik im Vertrieb/Engineering der Division Auto der ThyssenKrupp Steel AG, Duisburg - für die Entwicklung einer Laserstrahlschweißoptik mit integrierter Nahtführung für Stumpf- und Kehlनाhte.

Die beiden Gewinner des Wettbewerbes erhielten die Preise, die mit jeweils 3000 Euro dotiert waren, aus den Händen von Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe M.A., stellvertretender Vorsitzender des Arbeitskreises Lasertechnik e.V. und Leiter des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT, Aachen sowie von Dr. Bernd Schulte, Präsident des European Photonics Industry Consortium EPIC und Vize-Präsident der Europäischen Technologieplattform für Optische Technologien Photonics21 sowie Vorstandsmitglied der Aixtron AG, Aachen.

Zur Eröffnung des AKL'06 wurde bereits am 03.05.2006 der Nachwuchsförderpreis Lasertechnik im Ludwig Forum Aachen an Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Karsten Schneefuß, Assistent des Geschäftsführers im Geschäftsbereich Elektronik der Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt für die Entwicklung eines hybriden Messsystems zur In-Situ-Form- und Rauheitsmessung mikrostrukturierter, optischer Funktionsflächen im Rahmen seiner Dissertation am Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement der RWTH Aachen überreicht.

Die Innovationspreise Lasertechnik werden alle 2 Jahre vom Arbeitskreis Lasertechnik e. V., Aachen verliehen und würdigen zwei Einzelpersonen, deren Fähigkeiten und Engagement zum Erfolg der Innovation Lasertechnik geführt haben. Mit den Innovationspreisen Lasertechnik wird ein besonderes Augenmerk auf die Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Industrie gerichtet. Da beide Seiten ihrem Wesen nach verschieden sind, werden die Innovationspreise Lasertechnik in den beiden Wettbewerbsfeldern

»Betriebliche Praxis« und »Anwendungsnahe Wissenschaft« ausgeschrieben. Die Auswahl und Festlegung der Preisträger erfolgt auf Basis der eingegangenen Bewerbungen durch Vorstand und Mitglieder des Arbeitskreises Lasertechnik e. V.

Der Nachwuchsförderpreis Lasertechnik wurde erstmals in 2006 durch den Arbeitskreis Lasertechnik e. V. verliehen und fördert den wissenschaftlichen Nachwuchs an der RWTH Aachen im Bereich der Lasertechnik. Promovierte der RWTH Aachen, deren abgeschlossene Doktorarbeit und begleitende Projektarbeiten einen wesentlichen Beitrag zur Weiterentwicklung der anwendungsbezogenen Lasertechnik liefern und gleichzeitig einen hohen Nutzwert für die Wirtschaft vorweisen, werden mit dem Förderpreis ausgezeichnet.

Weitere Informationen zu den Preisträgern können den Internet-Seiten des Arbeitskreises Lasertechnik e. V. unter www.akl-ev.de entnommen werden.

**05.05.2006, Aachen
23. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«**
des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT mit Teilnahme an den über 60 live-Vorführungen im Laser-Anwenderzentrum des ILT im Umfeld der Konferenz AKL'06.



**11.05.2006
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik**
Prof. Philip Russell, Institut für Optik, Universität Erlangen-Nürnberg
»Photonic crystal fibres (PCFs)«

**23.05.2006, Aachen
Unihits für Kids**
Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler der GGS Laursberg zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

31.05.2006, Aachen
Aachener Laser Seminar
»Vorsprung durch Laseroberflächentechnik - Auftragsschweißen, Reparieren, Reinigen und Polieren«
 Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen. Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.



01.06.2006
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Prof. Karsten König, Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT, St. Ingbert
»Multiphotonen-Tomographie und Nanochirurgie mittels Femtosekunden-Laser«



08.06.2006
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Prof. Thomas Schmitz-Rode, Institut für Biomedizinische Technologien, RWTH Aachen
»Mikro- und Nanomedizin: Herausforderungen und Chancen für die Medizintechnik«



21.06.2006, Aachen
Unihits für Kids
 Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Gymnasiums Baesweiler zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

06.07.2006
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Prof. Peter Hering, Forschungszentrum »Caesar«, Bonn
»Moderner Lasereinsatz in Medizin, Umwelt und Life Science«

20.07.2006
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Dr. Holger Lubatschowski, Laser Zentrum Hannover, Bereich Medizin/Biophotonik
»Anwendungspotential ultrakurzer Laserpulse in Medizin und Life science«

22.09.2006, Hamburg
24. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«
 des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT mit Vorstellung der PS Laser GmbH & Co. KG in Thedinghausen durch Dipl.-Ing. Lutz Abram und anschließender Besichtigung des Unternehmens sowie Besuch der Firma Rofin-Sinar Laser GmbH in Hamburg mit Vortrag von Dipl.-Ing. Thorsten Frauenpreiß, Geschäftsführer der Rofin-Sinar Laser GmbH, zum Thema »Innovationsprozesse bei Rofin-Sinar«.

27.09.2006, Aachen
Unihits für Kids
 Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Couven-Gymnasiums in Aachen zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

03.11.2006, Aachen
25. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«
 des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT mit Vorträgen von Dr. Arnold Gillner, Fraunhofer ILT, über »Laseranwendungen in der Medizintechnik am Fraunhofer ILT« und Dr. Hubert Kunze, Boehringer Ingelheim micro-Parts GmbH, Dortmund zum Thema »Respimat® Soft Inhaler: Entwicklung eines innovativen Inhalationsgerätes zur Atemwegstherapie«. Anschließend fand eine Besichtigung des Philips Forschungszentrums in Aachen statt.

20.11. - 21.11.2006, Aachen
Aachener Laser Seminar
»Online Qualitätssicherung in der Laserfügetechnik - Sicherheit und effizientes Laserstrahl-schweißen«
 Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen. Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

22.11.2006, Aachen
Aachener Laser Seminar
»Innovative Laserschneid- und -schweißprozesse für die Metallbearbeitung«
 Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen. Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

23.11.2006, Aachen
Aachener Laser Seminar »Lasermesstechnik für die metallverarbeitende Industrie«
 Seminar des Carl Hanser Verlags München in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen. Weitere Informationen unter www.aachenerlaserseminare.de.

07.12.2006
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Hans-Joachim Cappius, Laser- und Medizin-Technologie GmbH, Berlin
»Optische Technologien in der Medizintechnik«

13.12.2006, Aachen
Unihits für Kids
 Informationsveranstaltung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer ILT für Schüler des Otto-Hahn-Gymnasiums in Monheim am Rhein zu naturwissenschaftlichen Berufsbildern.

14.12.2006
Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen
Vortrag im Rahmen des Kolloquiums Lasertechnik
 Dr. Frieder Loesel, Perfect Vision Optische Geräte GmbH, Heidelberg
»Ultrakurzpuls-laser in der Medizin - Sanftes Licht für präzise Therapie«

21.12.2006, Aachen
26. Seminar des Ehemaligenclubs »Aix-Laser-People«
 des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT mit Vorträgen von Dr. Willi Neff, Fraunhofer ILT, über »Neue Entwicklungen in der Abteilung Plasmatechnologie des Fraunhofer ILT«, von Dr. Rainer Lebert, Geschäftsführer der AIXUV GmbH, Aachen zum Thema »AIXUV GmbH - Kurzwellige Strahlung (EUV) in Industrie und Wissenschaft« und von Dr. Joseph Pankert, Philips Lighting B.V., Eindhoven über »Philips Extreme UV GmbH - Lithographieanlagen für die nächste Chip-Generation«. Anschließend fanden Besichtigungen der Firmen AIXUV GmbH und Philips Extreme UV GmbH in Aachen statt.

Oben: Vortrag während der »Aachener Laser Seminare«.
Mitte: Vorführungen während der »Aachener Laser Seminare«.
Unten: 24. Seminar »Aix-Laser-People« in Thedinghausen.

21.03. - 23.03.2006
Shanghai, China
LASER. World of Photonics China
Internationale Fachmesse und internationaler Kongress
Teilnahme des Fraunhofer ILT am Gemeinschaftsstand der Messe München,
ILT Thema: Laserstrahlquellen und Anwendungen.

24.04. - 28.04.2006
Hannover
Hannover Messe 2006
Internationale Industriemesse
Teilnahme der Abteilung Mikrotechnik des Fraunhofer ILT am IVAM Gemeinschaftsstand,
ILT Thema: Laser in der Mikrotechnik, Exponat: Wendelbohroptik.

09.05. - 12.05.2006
Sinsheim
Microsys
Kongress-Fachmesse zur Mikrosystemtechnik und Ultrapräzisionsfertigung
Teilnahme der Abteilung Mikrotechnik des Fraunhofer ILT,
ILT Thema: Mikrobearbeitung mit Laserstrahlung.

13.06. - 16.06.2006
Oyonnax, Frankreich
FIP 2006
International Plastics Industry Exhibition FIP
Teilnahme der CLFA an dem Gemeinschaftsstand mit der Firma SMT, CLFA Themen: Laseranwendungen für den Formen- und Werkzeugbau sowie Potenzial des Selective Laser Melting (SLM) im Bereich des »direct manufacturing«.

24.09. - 27.09.2006
Johannesburg, Südafrika
INSITE 06
International Science, Innovation and Technology Exhibition
Teilnahme der Abteilung Systemtechnik des Fraunhofer ILT am Gemeinschaftsstand von BMBF und DAAD,
ILT Thema: Anwendungen aus dem Bereich Schweißen und Generieren.

24.10. - 28.10.2006
Hannover
EuroBLECH
Internationale Technologiemesse für Blechbearbeitung
Teilnahme der Abteilung Systemtechnik des Fraunhofer ILT am Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Gesellschaft,
ILT Thema: Prozessüberwachung in der Lasermaterialbearbeitung.

07.11. - 09.11.2006
Friedrichshafen
parts2clean
Fachmesse für industrielle Teilereinigung und Teiletrocknung
Teilnahme der Abteilung Oberflächentechnik des Fraunhofer ILT am Gemeinschaftsstand der Fraunhofer Allianz »Reinigungstechnik«,
ILT Thema: Reinigen mit Laserstrahlung.

15.11. - 17.11.2006
Düsseldorf
ComPaMED
Internationale Fachmesse Komponenten, Vorprodukte + Rohstoffe für die medizinische Fertigung
Teilnahme der Abteilungen Mikrotechnik und Oberflächentechnik des Fraunhofer ILT am IVAM Gemeinschaftsstand,
ILT Themen: Laserdurchstrahl-schweißen von Kunststoffen ohne Zusatz von Absorbieren, Mikrobohren zur Dosierung und für die Fixierung von Implantaten sowie Fertigung von Implantaten mit Selective Laser Melting.



Oben: Hannover Messe 2006. Minister Prof. Dr. Andreas Pinkwart (rechts) und Dipl.-Ing. Welf Wawers (Fraunhofer ILT).
Mitte: INSITE 06, Johannesburg, Südafrika. Von links: Mosibudi Mangena, South African Minister of Science and Technology, Dr. Alfred Gossner, Fraunhofer Vorstand, Olaf Köndgen, DAAD Bonn, Dr. Stefan Kaierle, Fraunhofer ILT.
Unten: ComPaMED 2006, Düsseldorf. Stand Fraunhofer ILT.



**»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
2006/7« (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 2006 (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 abgerufen werden.

Tagungsband des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'06

Im technischen Tagungsband des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'06 (03. bis 05.05.2006) berichten 34 Laserhersteller und Anwender über neuste Entwicklungen und technologische Trends aus den Branchen optische Industrie, Automobilindustrie, metallverarbeitende Industrie, Werkzeug- und Formenbau sowie Elektrotechnik und Elektronik. Die Fallbeispiele aus der Praxis beleuchten die unterschiedlichen Laserverfahren wie Laserstrahlschweißen und -schneiden, Laseroberflächentechnik sowie Lasermikrotechnik.

Tagungsband des Technologie Business Tages TBT'06

Der Tagungsband des Technologie Business Tages, der am 03.05.2006 in Aachen mit 13 Experten aus den Bereichen Finanzwesen, Technologiemarketing, Recht, Vertrieb und Unternehmensberatung stattfand, richtet sich an Führungskräfte expandierender Technologiefirmen sowie an Unternehmensgründer. Einerseits wird ein prägnanter Überblick über Chancen und Trends der Lasertechnik, des Maschinenbaus und der Automobiltechnik vermittelt. Andererseits werden Aspekte, die Unternehmern in den unterschiedlichen Phasen des Wachstums begegnen, aus finanztechnischer, patentrechtlicher und marketingspezifischer Sicht beleuchtet.

»Hochleistungsdiodenlaser«

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.



»LASIM® - Lasersimulator für die Ausbildung«

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.

»Lasertechnik für die Oberflächenmodifikation und das Umformen«

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 Aufrauhen, das Strukturieren und Aktivieren, das Rekristallisieren, das Glühen sowie das Feinperlitisieren.

»Lasertechnik für den Verschleiß- und Korrosionsschutz«

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

»Laserstrahlaufragschweißen«

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

»Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing für Metallbauteile«

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

»Laser in der Mikrostrukturierungstechnik«

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

»Abtragen, Reinigen und Markieren mit Laserstrahlung«

Der Fachprospekt stellt die Vorteile der unterschiedlichen Laserverfahren vor und beschreibt die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten.

»Systeme und Anlagen für die Lasermaterialbearbeitung«

Der Fachprospekt veranschaulicht die systemtechnischen Lösungen, die das Fraunhofer ILT ihren Kunden anbietet. Die Systemtechnik befasst sich am Fraunhofer ILT mit der Planung, Entwicklung und Installation von kompletten Laseranlagen sowie von Prozessüberwachungs- und Regelungssystemen. Machbarkeitsstudien, Beratung sowie Aus- und Weiterbildungsseminare ergänzen das Angebot.

»Qualitätssicherung in der Lasermaterialbearbeitung«

Der Fachprospekt verdeutlicht das Potential der Prozessüberwachung und -regelung in der Lasermaterialbearbeitung. Weiterhin werden die Leistungen des Fraunhofer ILT zur Entwicklung entsprechender Überwachungssysteme kurz vorgestellt.



»Laser in der Aufbau- und Verbindungstechnik«

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.

»Laser in der Kunststoff- und Papiertechnik«

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

»Laser in Life Science«

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

»Modellierung und Simulation«

Der Fachprospekt vermittelt einen Überblick über die Aktivitäten und Kernkompetenzen der Projektgruppe »Modellierung und Simulation«. Die Experten des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen simulieren sowohl Resonatorkonzepte und Strahlführungssysteme als auch Verfahrensprozesse beispielsweise zum Schneiden, Schweißen oder Bohren.

»Lasermikroskopie«

Der Fachprospekt vermittelt einen Einblick in moderne Verfahren der Laser Scanning Mikroskopie, die am Fraunhofer ILT weiterentwickelt werden.

Lasertechnik an der RWTH Aachen Studieninfo

Diese Broschüre richtet sich an Studenten der Ingenieurwissenschaften Maschinenbau und Elektrotechnik als auch an Physikstudenten und gibt einen Überblick über das Lehrangebot im Bereich Lasertechnik an der RWTH Aachen. Sie informiert über die Wahlmöglichkeiten der Studenten im Hauptstudium, die von den einzelnen RWTH Lehrstühlen unter dem Dach des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT angeboten werden.

»Kompetenznetze.de«

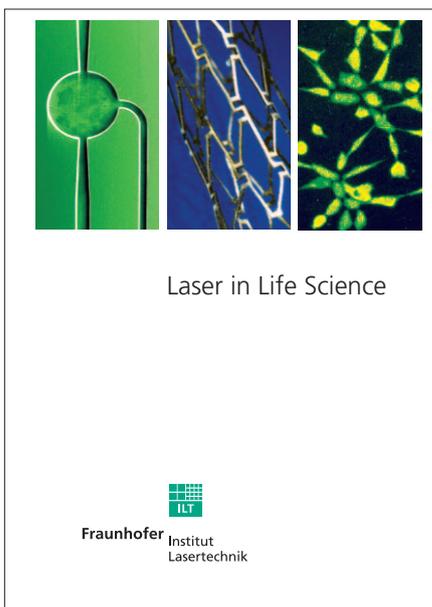
Kompetenznetze.de ist eine Initiative des BMBF und wird als Instrument für internationales Standortmarketing durch Präsentation der kompetentesten Technologie-Netze in Deutschland genutzt. Die Internet Plattform www.kompetenznetze.de, in der auch das Aachener Netzwerk PhotonAix e. V. vertreten ist, bietet eine attraktive Recherchenquelle und Kommunikationsplattform für Informations- und Kooperationssuchende im In- und Ausland.

»European Laser Institute ELI«

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 unter www.europeanlaserinstitute.org zu finden.

Produkt- und Projekthandzettel

Die Projektdarstellungen aus den Jahresberichten des Fraunhofer ILT sowie gesonderte Produktinformationen können über die Internet-Seiten www.ilt.fraunhofer.de heruntergeladen werden.



**»Lasertechnik für die Fertigung«
von Reinhart Poprawe**

Grundlagen, Perspektiven und
Beispiele für den innovativen Ingenieur.

Die Anwendung von Lasertechnik ist ein sehr breites Thema, das nicht erschöpfend in einem Werk zusammengefaßt sein kann. Daher wird hier der Fokus auf Anwendungen in der Fertigungstechnik gelegt, insbesondere die Bearbeitungsverfahren der heutigen Produktionstechnik. Für den ingenieurwissenschaftlich oder physikalisch vorgebildeten Fachmann sind die bei der Werkstoffbearbeitung mit Laserstrahlung auftretenden Phänomene formelmäßig quantifiziert und in entsprechenden Modellen beschrieben. Diese Grundlagen ermöglichen eine systematische Einordnung der unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren und ermöglichen es, die verschiedenen Anwendungen auf einer einheitlichen wissenschaftlichen Basis abzubilden. Von mehr praxisbezogener Bedeutung sind die zu Bearbeitungsverfahren beschriebenen Prozesse, die auf leicht verständlichem Niveau die Grundprinzipien und wesentlichen quantitativen Zusammenhänge von Prozessparametern erläutern. Zahlreiche Beispiele sollen die Phantasie des Lesers anregen und zu neuen Anwendungsideen verhelfen.

Inhalt

Einleitung, Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung an Grenzflächen, Absorption von Laserstrahlung, Energietransport und Wärmeleitung, Thermo-
mechanik, Phasenumwandlungen, Schmelzbadströmung, Laserinduziertes Verdampfen, Plasmaphysik, Laserstrahlquellen, Oberflächentechnik, Umformen, Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Fügen, Abtragen und Bohren, Schneiden, Systemtechnik, Lasermesstechnik, Ergänzungen A: Optik, B: Kontinuumsmechanik, C: Laserinduziertes Verdampfen, D: Plasmaphysik, E: Bedeutung der verwendeten Symbole und Konstanten, F: Farbbildteil, Sachverzeichnis.

2005. XVII, 526 S. 353 Abb. (VDI-Buch)
ISBN 3-540-21406-2

Bestelladresse

Springer Kundenservice
Haberstraße 7
69126 Heidelberg
Telefon: +49 (0)6221/345-0
Fax: +49 (0)6221/345-4229
SDC-bookorder@springer-sbm.com
www.springer.de



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

Dieser Lehrfilm ist 1997 von der Bergischen Universität Wuppertal in Zusammenarbeit mit dem VDI-Technologiezentrum Düsseldorf, dem Fraunhofer ILT und weiteren Laserzentren und -firmen produziert und im Jahr 2000 neu aufgelegt 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 42 Minuten und ist in Deutsch und Englisch bei der Bergischen Universität Wuppertal, Fachbereich D, Abteilung Maschinenbau erhältlich.

Ansprechpartner

Prof. Helmut Richter
Telefon: +49 (0)202/439-2042
richterh@uni-wuppertal.de



CD-Rom »Lasertechnik« (deutsch)

Die CD-Rom ist eine Sammlung von Grafiken, Bildern und Videos der Vorlesungen Lasertechnik I + II von Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe M.A. und wurde 2003 produziert.

Sie wurde vom Lehrstuhl für Lasertechnik LLT in der Fakultät Maschinenwesen der RWTH Aachen in enger Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT erstellt.

Inhalt sind die Grundlagen der Lasertechnik sowie die physikalischen und technischen Prozesse für moderne Fertigungsverfahren. Darüber hinaus wird an zahlreichen Beispielen zu Lasern und industriellen Anwendungen der heutige Stand der wirtschaftlichen Nutzung demonstriert.

Die Darstellungen können einzeln über das mitgelieferte Programm Acrobat Reader 5.0 auf handelsüblichen PCs aufgerufen werden. Systemvoraussetzungen sind: Microsoft Windows 95 OSR 2.0, Windows 98 SE, Windows Millennium Edition, Windows NT 4.0 mit Service Pack, Windows 2000, Windows XP und MacOSX (64 MB Ram Arbeitsspeicher sowie 30 MB freier Festplattenspeicher).

Das Ausdrucken und Verwerten der unveränderten Grafiken und Bilder ist ausschließlich zu Lehrzwecken gestattet.

Weitere Informationen und Bestellzettel zur CD-Rom »Lasertechnik« erhalten Sie über den Arbeitskreis Lasertechnik e.V., Steinbachstraße 15, 52074 Aachen.

Ansprechpartnerin

Diana Heinrichs
Telefon: +49 (0)241/8906-122
Fax: +49 (0)241/8906-112
diana.heinrichs@ilt.fraunhofer.de

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 abgerufen werden.

Ansprechpartner

Dr. Dirk Petring
Telefon: +49 (0)241/8906-210
Fax: +49 (0)241/8906-121
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de



Absender

Name, Vorname

Firma

Abteilung

Straße

PLZ/Ort

Telefon

Fax

E-mail

bitte faxen an:
Fraunhofer ILT
Stefanie Flock
Fax: +49 (0)241/8906-121

Wenn Sie mehr Informationen über die Forschungs- und Entwicklungsleistungen des Fraunhofer ILT wünschen, nutzen Sie unseren Internet-Service unter www.ilt.fraunhofer.de.

Sie können das Informationsmaterial ebenfalls mit Hilfe des vorliegenden ausgefüllten Abschnitts anfordern.

- Broschüre: »Partner der Innovatoren«**
- deutsch
 englisch
- Broschüre: »Angebot und Ansprechpartner 2006/7« (deutsch/englisch)**
- Jahresbericht 2006**
 (englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)
- Jahresbericht 2005**
 (englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)
- Jahresbericht 2004**
 (englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)
- Jahresbericht 2003**
 (englische Version online unter www.ilt.fraunhofer.de)
- Tagungsband** des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'04
- Tagungsband** des Laser-Business-Tages des AKL'04
- Tagungsband** des Aachener Kolloquiums für Lasertechnik AKL'06
- Tagungsband** des Technologie Business Tages TBT'06
- Fachprospekt »Hochleistungsdiodenlaser«**
- Fachprospekt »LASIM®- Lasersimulator für die Ausbildung«**
- deutsch
 englisch
- Fachprospekt »Lasertechnik für die Oberflächenmodifikation und das Umformen«**
- Fachprospekt »Lasertechnik für den Verschleiß- und Korrosionsschutz«**
- Fachprospekt »Laserstrahlauftrag-schweißen«**
- Fachprospekt »Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing für Metallbauteile«**
- Fachprospekt »Laser in der Mikrostrukturierungstechnik«**
- deutsch
 englisch
- Fachprospekt »Abtragen, Reinigen und Markieren mit Laserstrahlung«**
- Fachprospekt »Systeme und Anlagen für die Lasermaterialbearbeitung«**
- Fachprospekt »Qualitätssicherung in der Lasermaterialbearbeitung«**
- Fachprospekt »Laser in der Aufbau- und Verbindungstechnik«**
- deutsch
 englisch
- Fachprospekt »Laser in der Kunststoff- und Papierindustrie«**
- deutsch
 englisch
- Fachprospekt »Laser in Life Science«**
- deutsch
 englisch
- Fachprospekt »Modellierung und Simulation«**
- Fachprospekt »Lasermikroskopie«**
- Studieninfo »Lasertechnik an der RWTH Aachen«**
- Informationsbroschüre »Kompetenznetze.de« (deutsch/englisch)**
- Informationsbroschüre »European Laser Institute ELI« (englisch)**
- CD-Rom »Lasertechnik«**
- Fachbuch »Lasertechnik für die Fertigung«**
- Multimedia-Software LASIM®**
- deutsch
 englisch

Impressum

Redaktion

Dipl.-Phys. Axel Bauer (verantw.)
Stefanie Flock

Gestaltung und Produktion

Dipl.-Des. Andrea Croll

Druck

Druckspektrum
Hirche-Kurth GbR, Aachen

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

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

info@ilt.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de

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
axel.bauer@ilt.fraunhofer.de

Änderungen bei Spezifikationen und
anderen technischen Angaben bleiben
vorbehalten.

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

© Fraunhofer-Institut
für Lasertechnik ILT, Aachen 2007

