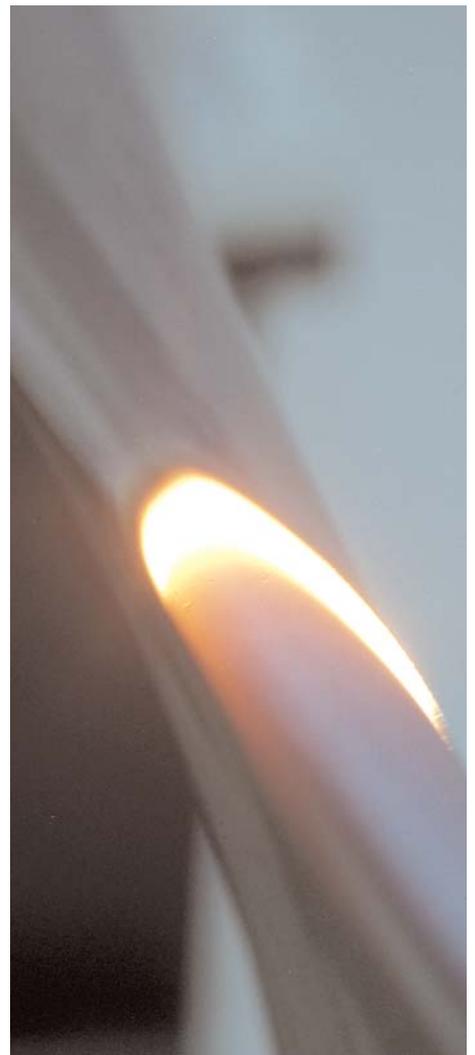




**Fraunhofer** Institut  
Werkstoff- und  
Strahltechnik

# Jahresbericht 2007



Internet: [www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)



**Fraunhofer** Institut  
Werkstoff- und  
Strahltechnik

# Jahresbericht 2007

**ZERTIFIKAT**  
**ISO 9001:2000**



bescheinigt hiermit, dass das Unternehmen

  
**Fraunhofer** Institut  
Werkstoff- und  
Strahltechnik

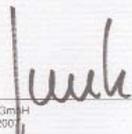
**Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik**

**Bereiche:**  
Leitung und Infrastruktur, PVD- /Nanotechnologie,  
CVD-Dünnschichttechnologie, Thermische Beschichtungen,  
Füge/Randschichttechnologie, Abtragen und Trennen

**Standort:**  
Winterbergstraße 28 \* D-01277 Dresden

ein Qualitätsmanagementsystem entsprechend der oben genannten Norm (12/2000) eingeführt hat  
und dieses wirksam anwendet. Der Nachweis wurde im Rahmen des Zertifizierungs-Audits  
Bericht-Nr. A0605389 erbracht. Dieses Zertifikat ist nur in Verbindung mit der  
erfolgreichen Durchführung der Überwachungsaudits gültig.

Datum der Erstzertifizierung:	30.12.1997	Datum der letzten Zertifizierung:	24.01.2007
Dieses Zertifikat ist gültig bis:	23.01.2010	Zertifikat-Registrier-Nr.:	91297819/4
Letzter Audittag:	12.01.2007		Duplikat

  
DEKRA Certification GmbH  
Stuttgart, den 24.01.2007

  
DEKRA Certification GmbH • Handwerkstraße 13 • D-70565 Stuttgart • www.dekra-certification.com

  
QMS-TGA-ZM-05-91-00



## Vorwort

Das Jahr 2007 war durch den lange erwarteten wirtschaftlichen Aufschwung und durch Investitionen in fast allen Bereichen geprägt. Insbesondere die Nachfrage nach neuen Technologien stieg deutlich an, und dies äußerte sich für das Fraunhofer IWS unter anderem in einer erneuten Zunahme der FuE-Aufträge aus der Industrie.

Durch den wirtschaftlichen Aufschwung einerseits, aber auch durch das Vertrauen, welches die Unternehmen in die Arbeit des Fraunhofer IWS setzen andererseits, konnten wir die Industrieerträge erneut um ca. 10 % auf fast acht Millionen Euro steigern.

Der Forschungsförderung wurde 2007 durch Bund und Länder wieder mehr Bedeutung beigemessen. Das IWS konnte auch in diesem Bereich seine Erträge um über 10 % steigern. Da einige Projekte erst im Laufe des Jahres 2007 begannen, wird ein spürbarer Anstieg der Erträge von den öffentlichen Fördergebern vor allem im Jahr 2008 zu verzeichnen sein.

Im September 2007 haben wir ein Technologieaudit durchgeführt. Von neun hochrangigen Vertretern der Wissenschaft und Wirtschaft wurden sowohl die Entwicklung, die Struktur, die Organisation und die Arbeitsgebiete als auch die Ausrichtung des IWS analysiert. Die Auditoren kamen in allen Punkten zu einer außergewöhnlich positiven Einschätzung und unterstrichen die strategische Ausrichtung.

Besonders stolz sind wir auf eine Reihe von Highlights, von denen einige auf den nächsten Seiten kurz erläutert werden. Das spektakulärste Ergebnis war wohl die wissenschaftliche und technische Entwicklung des Remoteschneidens für metallische Materialien, welche weltweit für Aufsehen sorgte.

Aber auch in der Oberflächentechnik und in dem Bereich des Fügens konnten, wie auch in den vergangenen Jahren, mehrere neue wissenschaftlich-technische Entwicklungen des Fraunhofer IWS in die industrielle Serienfertigung überführt werden. Auch konnten in unserem Innovationscluster »nano for production« erste Pilotanlagen in Betrieb genommen werden.

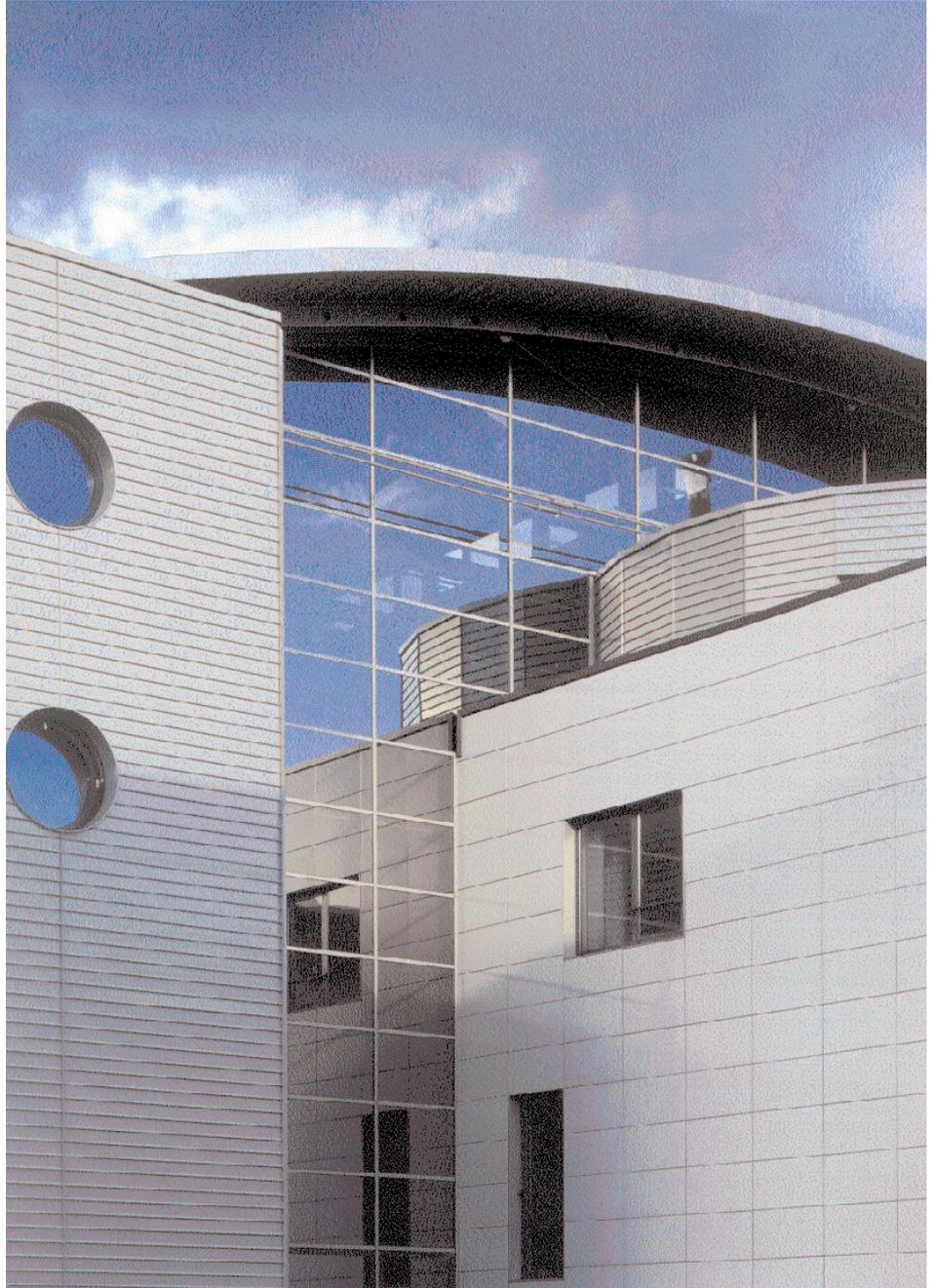
Insgesamt war das Jahr 2007 durch ein deutliches Wachstum geprägt, so dass die Zahl der Mitarbeiter um ca. 10 % anstieg. Auch ist ein weiterer Ausbau des Institutes für die Jahre 2008 und 2009 geplant.

Nach dem erfolgreichen Jahr 2007 gehen wir also voller Optimismus und Elan in das Jahr 2008.



*Der Geist, der auf eine Idee stößt,  
wird auch auf die Mittel stoßen,  
diese in die Tat umzusetzen.*

Raymond Hull



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

Winterbergstr. 28  
01277 Dresden

Telefon: 0351 / 2583 324  
Fax: 0351 / 2583 300

E-mail: [info@iws.fraunhofer.de](mailto:info@iws.fraunhofer.de)  
Internet: [www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)

<b>Vorwort</b>	<b>3</b>
<b>Inhalt</b>	<b>5</b>
<b>Highlights im Jahr 2007</b>	<b>6</b>
<b>Das Institut im Profil</b>	<b>8</b>
Kurzporträt	8
Ausstattung	10
Organisation und Ansprechpartner	12
Anbindung an die TU Dresden	13
<b>Externe Projektgruppe und Außenstelle</b>	<b>14</b>
<b>Netzwerke</b>	<b>16</b>
<b>Das Institut in Zahlen</b>	<b>20</b>
<b>Kuratorium und Gremien</b>	<b>22</b>
<b>Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick</b>	<b>23</b>
<b>Fraunhofer-Verbund Oberflächentechnik und Photonik VOP</b>	<b>24</b>
<b>Forschungs- und Entwicklungsangebote</b>	<b>26</b>
Füge- und Randschichttechnologien	26
Laserabtragen und -trennen, Systemtechnik	40
Thermische Beschichtungsverfahren	50
CVD-Dünnschichttechnologie	58
PVD- und Nanotechnologie	66
Simulation und Grundlagen	76
<b>Namen, Daten und Ereignisse</b>	<b>80</b>
Diplomarbeiten und Dissertationen	80
Besondere Ereignisse	81
Mitarbeit in Gremien	82
Preise des IWS 2007	83
Messebeteiligungen	84
<b>Patente und Marken</b>	<b>86</b>
<b>Veröffentlichungen</b>	<b>88</b>
<b>Tagungsvorträge</b>	<b>93</b>
<b>Informationsservice</b>	<b>98</b>
<b>Kontaktadressen und Anfahrt</b>	<b>99</b>
<b>Impressum</b>	<b>100</b>

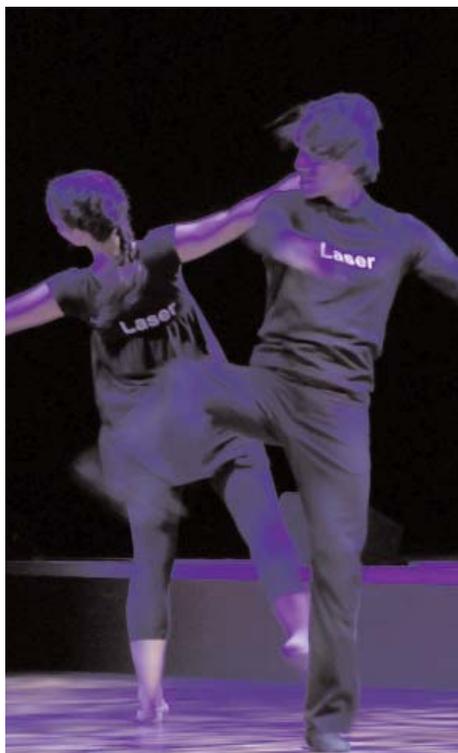


Festveranstaltung zur Unterzeichnung des Memorandum of Understanding zwischen der TU Wroclaw und dem Fraunhofer IWS Dresden

## Strategische Forschungs Kooperation mit TU Wroclaw unterzeichnet

Am 18. Dezember unterzeichneten Herr Prof. Edward Chlebus, Director of the Institute of Production Engineering and Management, Wroclaw University of Technology und der Institutsleiter des Fraunhofer IWS, Herr Prof. Eckhard Beyer, eine Vereinbarung, die eine enge Kooperation der beiden Einrichtungen auf den Gebieten Laser- und Nanotechnik zum Inhalt hat.

Im ersten Schritt ist eine Zusammenarbeit im Bereich von Forschung und Entwicklung z. B. durch den Austausch von Wissenschaftlern geplant. Mittelfristig wird der Aufbau eines mit moderner Anlagentechnik ausgestatteten Forschungszentrums angestrebt.



Eine spektakuläre Tanzshow eröffnete den 3. Internationalen Faserlaser-Workshop im Kongresszentrum Dresden

## 3. Internationaler Workshop »Faserlaser«

Am 14. und 15. November 2007 fand zum dritten Mal der vom Fraunhofer IWS Dresden organisierte Internationale Faserlaser-Workshop im Kongresszentrum Dresden statt. Die rege Beteiligung und positive Bilanz der ca. 350 Besucher und Aussteller zeigt, dass es gelungen ist, eine ansprechende Veranstaltung rund um den Faserlaser und seine Anwendungen zu etablieren.

25 Fachbeiträge widmeten sich den Lasersystemen, Komponenten, Technologien und aktuellen Forschungsthemen. In den letzten Jahren wurden Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet stetig vorangetrieben, gleichzeitig hat auch die Zahl der Faserlaser-Anwendungen deutlich zugenommen.

Großes Interesse fand auch die begleitende Fachausstellung sowie die Vorführung neuester Lasertechnologien im Fraunhofer IWS Dresden.



Tagungsbegleitende Ausstellung zum 3. Internationalen Faserlaser-Workshop im Kongresszentrum Dresden



## Integration eines Hochleistungsdiolenlasers in Drehmaschinen

Für die Herstellung hochpräziser Hydraulikkomponenten ist es für die Bosch-Rexroth AG vorteilhaft, das verzugsarme Laserstrahlhärten einzusetzen. Besonders effizient ist der Einsatz des Laserstrahlhärtens direkt in der Drehmaschine. Vorbearbeitung, Härten und Endbearbeitung werden so in direkter Folge in ein und derselben Maschine durchgeführt. Im Fraunhofer IWS Dresden wurde eine Lösung zur Integration eines fasergekoppelten Hochleistungsdiolenlasers in bis zu vier Bearbeitungsmaschinen erarbeitet. Eine intelligente Weichensteuerung verteilt dabei automatisch und prioritätsabhängig den Laser auf die Bearbeitungsmaschinen, so dass bei den verschiedenen Bearbeitungszeiten der auf den Fertigungsanlagen hergestellten Bauteiltypen immer eine optimale Auslastung von Maschine und Laser gewährleistet ist.



Integration des Laserstrahlhärteprozesses in eine Drehmaschine - Beispiel: Hydraulikkomponenten für Bosch-Rexroth

## Airbagschneiden in Remote-Technologie

Zusammen mit der Firma Held Systems Deutschland GmbH entwickelte das Fraunhofer IWS Dresden eine neue Generation von kompakten, flexiblen und hochproduktiven Airbag-Laserschneidanlagen. Ihre Vorteile sind die gleichmäßig hohe Qualität des Einlagenschnittes an der bewegten, bis zu 3 m breiten Materialbahn und die höhere Ausbringungsleistung im Vergleich zum bisherigen Mehrlagenschnitt. Im Jahr 2007 wurden Anlagen an Airbagproduzenten in China, Mexiko und Polen übergeben.

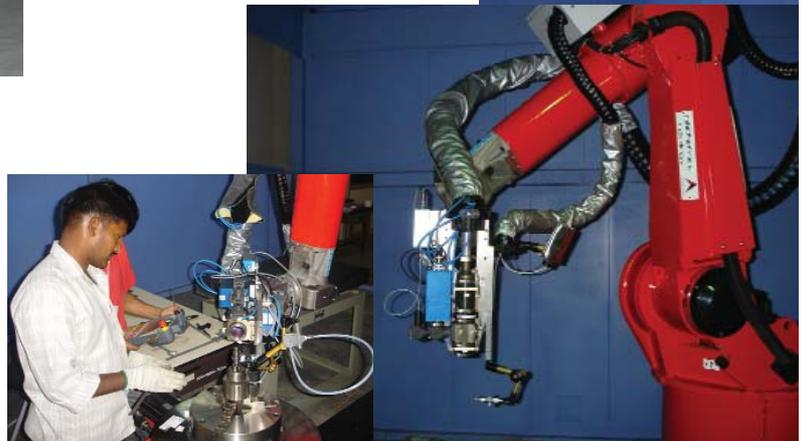


Laseranlage »Contilas 2500« für die Airbagproduktion

## Kombinationsanlage zum Laserstrahlhärten und -auftragschweißen für indisches Forschungsinstitut

Im Auftrag der ALOtec Dresden GmbH hat das Fraunhofer IWS im Jahr 2007 eine roboterbasierte Laseranlage zum Laserstrahlhärten und Auftragschweißen mit einem 6 kW Diolenlaser in Hyderabad (Indien) in Betrieb genommen und den Betreiber der Anlage, das indische Forschungsinstitut ARCI, bei der Technologieentwicklung und -einführung unterstützt. Die Laseranlage wurde vom IWS mit Komponenten zum temperaturgeregelten Laserhärten und mit dem erweiterten CAD/CAM-Programmpaket DCAM mit Robotersimulation und Offline-Programmierung ausgestattet.

Darüber hinaus wurden Pulverdüsen und Pulverfördertechnik zum Laserauftragschweißen beige stellt. Allein im Jahr 2007 wurden damit 11 prozessangepasste Pulverdüsen an Endkunden in 4 Ländern übergeben. Insgesamt haben bereits 60 Pulverdüsen ihren Weg in die Forschung oder industrielle Fertigung gefunden.



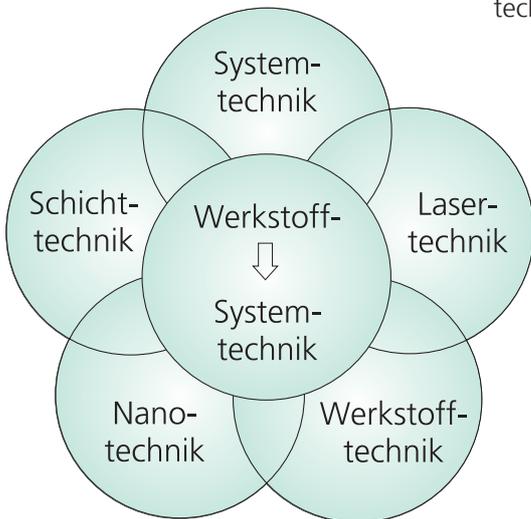
Roboterbasierte Laseranlage für das indische Forschungsinstitut ARCI



**Unsere Mission:** Die Problemstellungen unserer Kunden sind erst dann gelöst, wenn sie mit der erarbeiteten Lösung Geld verdienen. Wir lösen Probleme kundengerecht!

## Kurzporträt

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit im Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS basiert auf einem ausgeprägten Werkstoff- und Nanotechnik-Know-how verbunden mit der Möglichkeit einer umfassenden Werkstoffcharakterisierung. Die Besonderheit des Fraunhofer IWS liegt in der Kombination dieses Fundaments mit weitreichenden Erfahrungen und technischen Möglichkeiten auf dem Gebiet der Schicht- und Lasertechnik.



Tätigkeitsbereiche des Fraunhofer IWS Dresden

In der Oberflächen- und Schichttechnik kommen verstärkt Plasmaverfahren zum Einsatz. Aus diesem Grund hat sich das IWS auf dem Gebiet der Plasma-Beschichtungsverfahren eine Kernkompetenz erarbeitet und beschäftigt sich auch mit der Entwicklung von Atmosphärendruck-Plasmaquellen sowie Plasma-CVD-Reaktoren.

Im Bereich der Lasertechnik konzentriert sich das IWS auf die werkstofforientierte Lasermaterialbearbeitung und die Entwicklung laserspezifischer Systemlösungen.

Um der »Mission« gerecht zu werden, Innovationen, d. h. neue Technologien für Industrieunternehmen zu entwickeln und die Unternehmen bei der Einführung zu unterstützen, wurde eine Kernkompetenz im Bereich der Systemtechnik aufgebaut.

Lasertechnik und Oberflächentechnik sind Gebiete der Fertigungstechnik. Zentrales Element der Fertigungstechnik ist der Werkstoff. Er ist einer ständigen Weiterentwicklung unterworfen. Eine ähnliche Bedeutung, wie sie die Werkstofftechnik für die Makrobearbeitung hat, besitzt die Nanotechnik für die Dünnschichttechnik. Auf beiden Gebieten ist eine Kernkompetenz auf- und ausgebaut worden. Durch die enge Zusammenarbeit mit Anlagen- und Systemherstellern kann das IWS seinen Kunden Problemlösungen aus einer Hand anbieten. Diese beruhen in der Regel auf neuartigen Konzepten, welche auf der Gesamtbetrachtung des Bearbeitungssystems, des Verfahrens sowie des Werkstoff- und Bauteilverhaltens basieren. Die ständige Erweiterung der Ausstattung des IWS garantiert die effektive Bearbeitung von Aufgaben auf hohem Niveau und entsprechend dem neuesten Stand der Technik.

## Geschäftsfelder

Die Geschäftsfelder des IWS liegen in den Bereichen Fügen, Trennen und Oberflächentechnik. Im Einzelnen sind dies die Gebiete

- Fügen,
- Abtragen und Trennen,
- Oberflächentechnik, mit Unterteilung in
  - Randschichttechnik,
  - Thermische Beschichtungstechnik,
  - PVD-Vakuum-Schichttechnik,
  - CVD-Atmosphärendruck-Schichttechnik.

Im Geschäftsfeld Oberflächentechnik geht es vorrangig um Verschleißschutz, Oxidationsschutz, optische und dekorative Schichten, weitere Funktionsschichten sowie das Abtragen, Strukturieren und Reparieren von Oberflächen.



## Unsere Kernkompetenzen:

### Lasermaterialbearbeitung

- Hochgeschwindigkeits- und Dickblechschneiden von Metallen
- Schneiden und Schweißen von Kunststoffen sowie anderen Nichtmetallen
- Entwicklung von Schweißverfahren für schwer schweißbare Werkstoffe
- Laserhybridtechnologien, wie z. B.
  - Laserinduktionsschweißen
  - Laserinduktionsumschmelzen
  - Plasma-, WIG- oder MIG-unterstütztes Laserschweißen
- Laser- und Plasma-Pulver-Auftragschweißen
- Laserrandschichthärten, -legieren und -umschmelzen sowie Kurzzeitwärmebehandlung
- Abtragen und Reinigen
- Prozessüberwachung und -regelung

### Plasma-Beschichtungsverfahren

- Plasma-, Flamm- und HVOF-Spritzen
- Atmosphärendruck-Plasma-CVD (Mikrowellen- und ArcJet-Plasmen)
- Plasma-Ätztechnik
- Weiterentwicklung und Anpassung von Plasmaquellen
- Vakuumbogenverfahren
- Präzisions-Beschichtungsverfahren (Magnetron-Sputtern, Ionenstrahl-Sputtern)
- Laser-Arc-Verfahren als Hybridtechnologie

### Werkstofftechnik / Nanotechnik

- Eigenschaftsbewertung von randschichtbehandelten, beschichteten und geschweißten Werkstoffen und Bauteilen
- Versagens- und Schadensanalyse
- optisch-spektroskopische Charakterisierung von Oberflächen und Schichten bis in den Nanometerbereich
- mechanisch-tribologische Charakterisierung
- Thermoschockcharakterisierung von Hochtemperaturwerkstoffen
- Schichtdicken- und E-Modul-Messungen von nm- bis µm-Schichten

### Systemtechnik

- Umsetzung des Verfahrens-Knowhows in Entwicklung, Fertigung und Design von in Fertigungsabläufe integrierbaren Komponenten, Anlagen und Systemen incl. Software
- Systemlösungen für das Schneiden, Schweißen, Auftragen sowie die Oberflächenveredelung mittels Laser
- Entwicklung von Prozessüberwachungs- und -regelsystemen
- verfahrensorientierte Prototypenentwicklung von Beschichtungsanlagen bzw. deren Kernmodulen
- Komponenten für PVD- und CVD-Anlagen
- Atmosphärendruck-Plasma-CVD-Quellen
- Messsysteme zur Schichtcharakterisierung bzw. zur zerstörungsfreien Bauteilprüfung mittels laserakustischer und spektroskopischer Methoden
- Systeme zur spektroskopischen Überwachung von Gasgemischen
- Software- und Steuerungstechnik

### Prozesssimulation

Das IWS entwickelt komplette Module zur Simulation von

- thermischem Härten und Laserhärten
- Laserschweißen
- Laser-Pulver-Auftragschweißen
- Vakuumbogenbeschichtung
- Gas- und Plasmaströmungen in CVD-Reaktoren
- optischen Eigenschaften von Nanoschichtsystemen

und verwendet diese für Prozessoptimierungen. Weitere kommerziell erhältliche Simulationsmodule sind im Einsatz.

Geschäftsfelder	Kernkompetenzen				
	Lasermaterialbearbeitung	Plasma-Beschichtungsverf.	Werkstoff- / Nanotechnik	Systemtechnik	Prozesssimulation
Abtragen / Trennen	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fügen	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Randschichttechnik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Therm. Beschichtungstechnik	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PVD-Vakuum-Schichttechnik		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CVD-Atmosphärendruck-Schichttechnik		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Internet: [www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)



## Ausstattung

### Laserstrahlquellen

mehrere CO<sub>2</sub>-Laser, bis 8 kW

TEA- und sealed-off-CO<sub>2</sub>-Laser

mehrere Nd:YAG-Laser bis 4,4 kW-cw (diodengepumpt) und 1 kW-pm

Nd:YAG-Laser (1064, 532 und 355 nm) mit Pulslängen im ns-Bereich

Nd:YAG-Laser mit OPO (400-700 nm)

mobiler Nd:YAG-Laser zur Flächenstrukturierung

transportabler Nd:YAG-Laser (250 mJ, 8 ns, max. 20 Hz) mit Gelenkarm, Strahlübertragung und Zoomoptik für Reinigungsarbeiten im Außeneinsatz

mehrere Hochleistungs-Diodenlaser, 1 bis 6 kW

mehrere Faserlaser, bis 8 kW-cw

Faserlaser (16 mJ-pm, 20 W-cw)

Excimerlaser (193 nm und 248 nm)

### Handhabungssysteme

3D-Doppelgantry-Anlage, 22 Achsen mit 3D-Bearbeitungsköpfen, Geschwindigkeit bis 40 m min<sup>-1</sup>, Arbeitsraum 10 x 3 x 1,5 m<sup>3</sup>

mehrere CNC-Laser-Bearbeitungsanlagen mit bis zu 8 Achsen, Geschwindigkeiten bis 20 m min<sup>-1</sup>, Arbeitsraum bis 4 x 3 x 1,5 m<sup>3</sup>

Laserinduktions-Hybridanlage mit 5 Achsen (6 kW-CO<sub>2</sub>-Laser, 80 kW-MF-Induktionsgenerator)

2D- und 3D-Fräsanlagen mit Nachrüstungen zum Laser- und Plasma-Pulver-Auftragschweißen

Laseranlage zur Simultanbearbeitung mit zwei kooperierenden Robotern, Dreh-Schwenkeinheit und zwei fasergekoppelten 6-kW-Diodenlasern

2D-Schneidanlage mit Lineardirektantrieben (max. 300 m min<sup>-1</sup> Vorschub)

3D-Schneidanlage mit zwei Bearbeitungsoptiken (Synchron- und Tandembearbeitung)

2D- und 3D-Schneidkopfsysteme für CO<sub>2</sub>-, Nd:YAG- und Faserlaser

zwei Laserbearbeitungsstationen mit Industrierobotern

mehrere Präzisionsanlagen mit bis zu 8 CNC-Achsen in Kombination mit verschiedenen Laserstrahlquellen

Mikrostrukturierungsanlagen mit Excimerlasern (193 nm und 248 nm)

### Beschichtungsanlagen

Anlagen zur Beschichtung mittels Vakuumbogen (Laser-Arc, gepulster Hochstrombogen, Gleichstrombogen, Magnetfilter)

Anlagen zur Abscheidung von Ultra-präzisions-Vielfachschichten mittels Ionenstrahlputtern und Magnetron-sputtern

Kombinations-Beschichtungsanlage, Elektronenstrahl (40 kW) und Hochstrombogen

Laser-PVD-Beschichtungsanlagen (Nd:YAG-, Excimer-, TEA-CO<sub>2</sub>-Laser) im Hochvakuum- und Ultrahochvakuumbereich

Anlagen zum Vakuum- und atmosphärischen Plasmaspritzen (VPS, APS, LAAPS) und zum Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF) mit Roboterhandhabung

Anlagen zur plasmagestützten CVD-Beschichtung bei Atmosphärendruck

Anlage zum Plasmaätzen bei Atmosphärendruck



Blick in die Technikumschale des IWS



Hochgeschwindigkeits-3D-Laser-Schneidanlage mit Linearantrieben



Laserstrahlschweißanlage mit 6 kW-CO<sub>2</sub>-Laser



Teststand für Atmosphärendruck-Plasmaquellen (Linear-dc-Bogenentladung)

### Spezielle Komponenten

statische und flexible dynamische Strahlformungssysteme für Laserleistungen bis 10 kW

Remote-Bearbeitungsoptiken für CO<sub>2</sub>-, Nd:YAG- und Faserlaser (mit Arbeitsfeldgrößen bis 1 x 1 m<sup>2</sup>)

CNC- bzw. sensorgesteuerte Drahtförderer für das Laserschweißen und -beschichten

mobile MF- und HF-Induktionsquellen (4 - 20 kHz, 100 - 400 kHz)

modulares Pulverdüsensystem COAXn zum Laserstrahl-Auftragschweißen

Prozessüberwachungssysteme für das Thermische Spritzen, Laserstrahl-Auftragschweißen, Laserschweißen und -schneiden

Softwarepaket DCAM zur Offline-Programmierung von Robotern und CNC-Anlagen

Sensorsystem für die 3D-Geometrieerfassung (automatisches teach-in) zur Laserbearbeitung von Bauteilen (Online und Offline-Konturverfolgung)

Strahldiagnosesysteme für CO<sub>2</sub>-, Nd:YAG- und Faserlaser

LOMPOC-Pro + EMAqs-Kamera

Messtechnik zur Kurzzeit-Prozessanalyse (4-Kanal-Hochgeschwindigkeits-Bildverstärkerkamera)

UV / VIS-, FTIR- und NIR-Diodenlaser-Prozessspektrometer zur in-situ-Analytik von Prozessgasen und -plasma

### Messgeräte

Ausrüstung zur Gefügeanalyse einschließlich Präparationstechnik:

- Metallographie
- Transmissionselektronenmikroskopie
- Rasterelektronenmikroskopie

Ausrüstung zur Werkstoffprüfung:

- servohydraulische Prüfmaschinen
- mechanische Zug- / Druck-Prüfmaschine
- rechnergestütztes Mikrohärtprüfsystem, Härteprüfautomat
- Resonanzermüdungsapparatur
- Flachbiege-Torsions-Maschine
- verschiedene Verschleißprüfsysteme (Abrasive-, Kavitations-, Oszillationsgleitverschleiß)
- Salzsprühnebeltest

Laserakustik-Messsysteme zur Bestimmung des E-Moduls von Schichten

Laserschock-Messsystem mit Hochgeschwindigkeitspyrometer

Ausrüstung zur Oberflächen- und Schichtanalyse:

- Rasterkraftmikroskop (AFM)
- EUV-Reflektometer
- vollautomatisches Spektralellipsometer (270 - 1700 nm)
- UV-VIS-Spektrometer
- Raman-Mikrospektrometer
- FTIR-NIR-Spektrometer
- FTIR-Spektrometer, FTIR-Mikroskop
- registrierendes Eindruckmessgerät
- Scratchtester
- Rauheitsmessgerät
- Tribometer
- Eigenspannungsmessgerät

Röntgendiffraktometer (CuK $\alpha$ , MoK $\alpha$ )

Partikelmesstechnik (CPC + SMPS) und Nanospectralanalyzer

optisches 3D-Koordinatenmesssystem



Roboteranlage mit 6 kW-Laser zum Laser-auftragschweißen



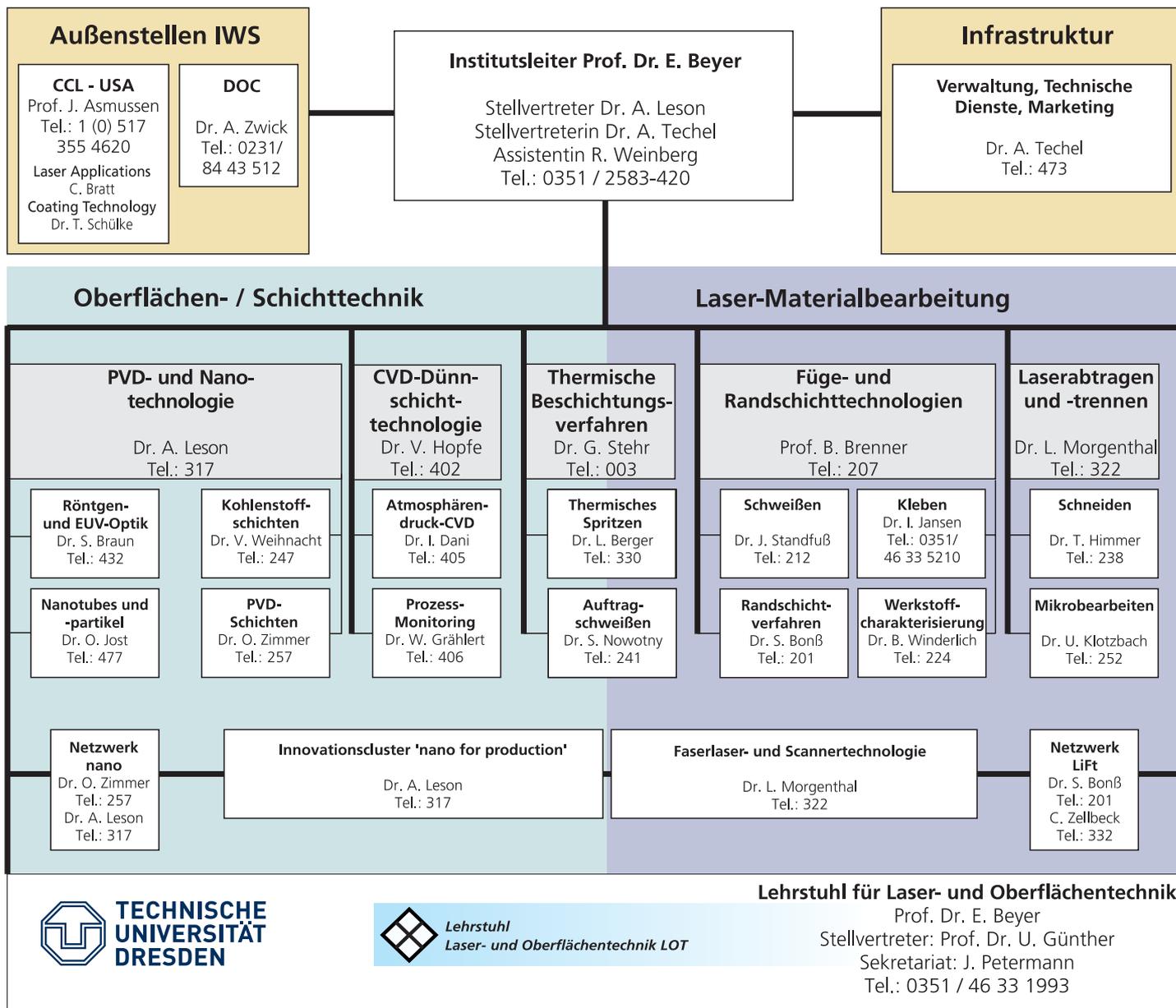
Laserscanning-Mikroskop LSM Pascal 5 zur hochpräzisen Charakterisierung und Analyse von Oberflächen im Mikro- und Nanometerbereich



Labor zur Herstellung von einwandigen Carbon-Nanotubes



# Organisation und Ansprechpartner



## Gastfirmen im Fraunhofer IWS:

- EFD Induction GmbH Freiburg, Außenstelle Dresden
- ALOtec Angewandte Laser- und Oberflächensystemtechnik GmbH Dresden
- AXO Dresden GmbH



## Anbindung an die TU Dresden

### Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik

2007 waren am Lehrstuhl 34 Mitarbeiter beschäftigt. Die Drittmittelträge lagen über 1,0 Mio. €.

Der Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik ist tragende Säule des Institutes für Oberflächen- und Fertigungstechnik der Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden. Die durchgeführten Projekte sind stärker grundlagenorientiert und ergänzend zu den Arbeiten des IWS angelegt. Die Arbeitsgruppen behandeln folgende Themen:

- Fertigungsgestaltung
- Lasertechnik
- Oberflächentechnik
- Schichttechnik
- Klebtechnik
- Abtragtechnik

Folgende Vorlesungen wurden angeboten:

- Prof. Beyer: Fertigungstechnik II
- Prof. Beyer: Lasergrundlagen  
Lasersystemtechnik
- Prof. Beyer: Plasmen in der  
Fertigungstechnik
- Prof. Beyer: Rapid Prototyping
- Prof. Beyer: Laserrobotik  
Lasertronik
- Dr. Leson: Nanotechnologie
- Prof. Schultrich: Dünnschicht-  
technologie
- Prof. Günther: Mikro- und Fein-  
bearbeitung

Lehrstuhl  
Laser- und Oberflächentechnik LOT

### Kooperation Fraunhofer IWS - TU Dresden

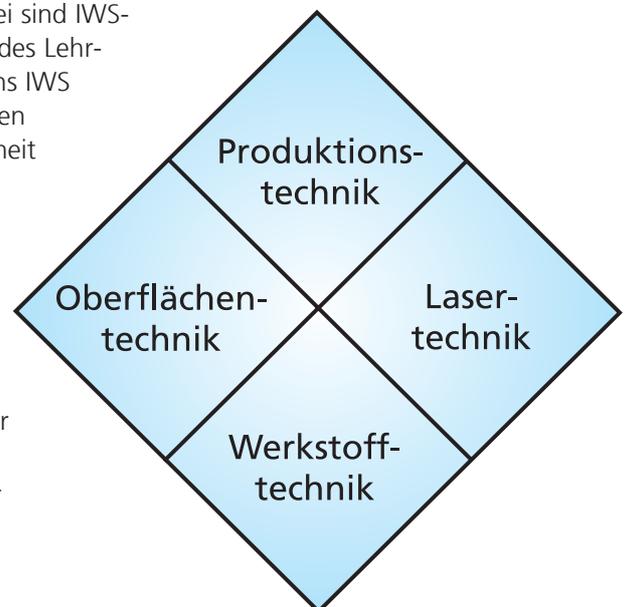
Durch eine Kooperationsvereinbarung ist die Zusammenarbeit zwischen dem IWS und der TU Dresden geregelt. Auf Basis einer gemeinsamen Berufung ist der Lehrstuhlinhaber, Prof. Beyer, gleichzeitig Leiter des Fraunhofer IWS. Hierbei gilt folgende Aufgabenteilung: Forschung und Lehre werden schwerpunktmäßig am Lehrstuhl, die angewandte Forschung und Entwicklung am IWS durchgeführt. Dabei sind IWS-Mitarbeiter in die Arbeiten des Lehrstuhls und TU-Mitarbeiter ins IWS eingebunden. Letztlich stellen IWS und Lehrstuhl eine Einheit mit unterschiedlichen Schwerpunkten dar.

Vorteile für das IWS:

- kostengünstige Grundlagenforschung
- Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlern für das IWS
- Zugang zu wissenschaftlichen Hilfskräften

Vorteile für die TU:

- FuE-Einbindung in Industrieprojekte
- Integration neuester FuE-Ergebnisse in die Lehre
- Ausbildung von Studenten an modernstem Equipment



Vorlesung

Fak. Maschinenwesen, Institut f. Oberflächen- u. Fertigungstechnik, Lehrstuhl f. Laser- u. Oberflächentechnik



Lasertechnik  
Lasersystemtechnik

Prof. Dr. Eckhard Beyer



Lehrstuhl  
Laser- und Oberflächentechnik LOT

CD zur Vorlesung Lasertechnik



Vorlesung

Fak. Maschinenwesen, Institut f. Oberflächen- u. Fertigungstechnik, Lehrstuhl f. Laser- u. Oberflächentechnik



Plasmen in der  
Fertigungstechnik

Prof. Dr. Eckhard Beyer



Lehrstuhl  
Laser- und Oberflächentechnik LOT

CD zur Vorlesung Plasmen in der Fertigungstechnik



## Industrielle Projektgruppe im Dortmunder OberflächenCentrum (DOC) der ThyssenKrupp Stahl AG



**Dr. Axel Zwick**  
Leiter der Projektgruppe  
am DOC in Dortmund  
Tel.: 0231 / 844 3512

Mit der Gründung des Dortmunder OberflächenCentrums bündelte die ThyssenKrupp Stahl AG (TKS) unter Beteiligung der Fraunhofer-Gesellschaft ihre Kapazitäten und Kompetenzen auf dem Gebiet der Oberflächentechnik.

In diesem größten Forschungs- und Entwicklungszentrum Europas zur Oberflächenveredelung von Flachstahl arbeiten TKS-Mitarbeiter und Mitarbeiter des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden in einer neuen Form der »Public Private Partnership« zusammen. Gemeinsames Ziel ist es, innovative Verfahren der Oberflächentechnik zu entwickeln und in die industrielle Fertigung zu überführen.

Ein herausragendes Ergebnis dieser Zusammenarbeit sind neuartige Zink-Legierungsüberzüge (ZE-Mg). Sie vereinen bei einer Halbierung der Überzugsdicke die sehr gute Korrosionsbeständigkeit bewährter Zinküberzüge mit einer wesentlich verbesserten Laserschweißignung. Außerdem wurden Hybrid- und Kombinationsprozesse entwickelt, insbesondere das Hybridschweißen von hochfesten

Stahlbaukomponenten. Auch Kombinationen aus Reinigen und Schweißen oder aus Schweißen und Nachverzinken sind möglich.

Darüber hinaus bietet die Fraunhofer-Projektgruppe auf 1100 m<sup>2</sup> Fläche eine Reihe sich ergänzender Verfahren zur Oberflächenveredelung an. Mit modernster Anlagentechnik lassen sich nahezu porenfreie und äußerst haftfeste Plasmaspritzschichten herstellen oder hoch beanspruchte Bereiche von Bauteilen und Werkzeugen mit dem Laserauftragschweißen gezielt mit millimeterdicken Verschleißschutzschichten panzern. Aber auch im Vakuum lassen sich metergroße und tonnenschwere Teile mit nano- bis mikrometerdicken Höchstleistungsschichten, z. B. mit Diamor®-Schichtsystemen, versehen, die eine überragende Härte mit exzellenten Gleiteigenschaften verbinden. Schichtsysteme mit zusätzlichem Korrosionsschutz sind in der Entwicklung.

Die breite Palette dieser Verfahren, die sich teilweise untereinander kombinieren lassen, bietet zusammen mit dem Know-how des Fraunhofer IWS die Gewähr, dass ein TKS-Kunde oder der Kunde eines anderen Unternehmens die technisch und wirtschaftlich optimale Problemlösung bekommt. Mit Hilfe eines neuartigen, kompakten 8 kW-Festkörperlaser hoher Strahlqualität ist es möglich, Verfahrensentwicklungen aber auch »Trouble shooting« direkt beim Industriekunden zu realisieren und produktionsnah umzusetzen.



Gebäude des Dortmunder OberflächenCentrums

[www.iws.fraunhofer.de/doc](http://www.iws.fraunhofer.de/doc)



## Fraunhofer Center for Coatings and Laser Applications (CCL)



**Prof. Jes Asmussen**  
Center Director  
CCL / USA  
Tel. 1-517-355 4620

Die USA-Aktivitäten des Fraunhofer IWS Dresden sind im »Fraunhofer Center for Coatings and Laser Applications CCL« zusammengefasst. Das CCL wird von Prof. Dr. Jes Asmussen (Michigan State University) geleitet. Prof. Asmussen ist Experte für die Diamantherstellung und für Diamantbeschichtungen. Seine bisherigen Arbeiten ergänzen in idealer Weise das Know-how des IWS auf dem Gebiet der DLC-Beschichtungen. Unter Leitung von Prof. Asmussen wurde in Lansing ein Kohlenstoffcenter aufgebaut.

Das CCL hat 2 Divisions, die »Coating Technology Division« an der Michigan State University in East Lansing unter Leitung von Dr. Thomas Schülke und die »Laser Applications Division« im Gebäude des Headquarters von Fraunhofer USA unter Leitung von Craig Bratt.

### Coating Technology Division

Die Dünnschichtgruppe des CCL in East Lansing, Michigan konnte durch die Zusammenarbeit mit der Michigan State University das Technologiespektrum erheblich erweitern. Neben den bereits zuvor angebotenen PVD-Technologien gehören mikrowellen-basierte CVD- und Materialbearbeitungstechnologien zum Arbeitsbereich des CCL. Darüber hinaus wird als Folge der engen Einbindung der Gruppe in die

Universitätsinfrastruktur ein erweiterter Charakterisierungsservice (Materialzusammensetzung, Elektronenmikroskopie, Nanoindenter, AFM) sowie die Entwicklung von Prozessen zur Fertigung von mikro-elektro-mechanischen Systemen (MEMS) angeboten.

### Laser Applications Division

Die räumliche Nähe zu Detroit führte die Lasergruppe des CCL in Plymouth, Michigan zu einer engen Zusammenarbeit mit der amerikanischen Autoindustrie. Die Gruppe führte zahlreiche Projekte zum Laserstrahlschweißen von Bauteilen aus dem Antriebsstrang durch, insbesondere das Fügen von Differentialen, Getrieben und Antriebswellen. Außerdem wurden Technologien zum Laser-MIG-Schweißen von hochfesten Stählen für Pkw-Karosserien entwickelt.

Weitere Höhepunkte waren:

- Entwicklung einer verschleißbeständigen Schicht für Bohrausrüstungen, hergestellt durch Laser-Auftragsschweißen,
- Laserschweißen von Titanstrukturen für Luftfahrtanwendungen.



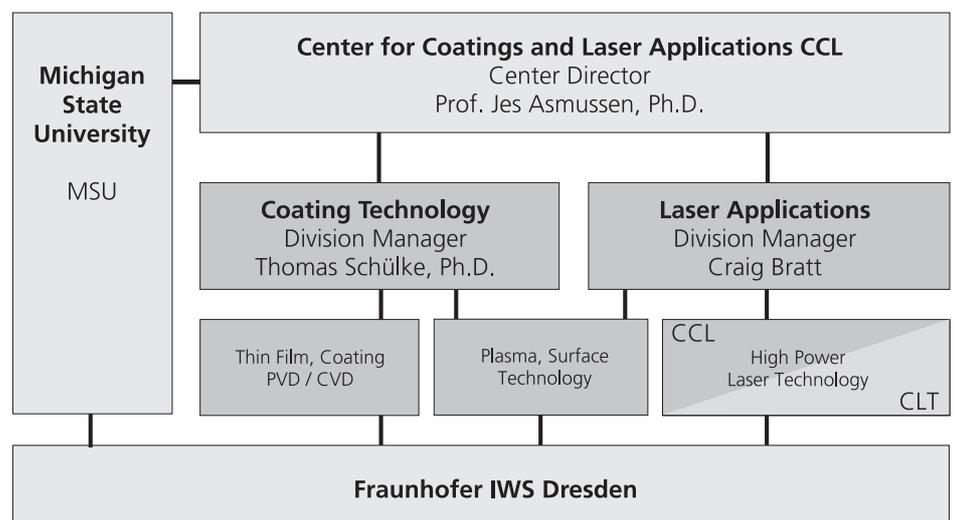
[www.ccl.fraunhofer.org](http://www.ccl.fraunhofer.org)



Gebäude des CCL, des »Center for Laser Technology« (CLT) und des Headquarters von Fraunhofer USA in Plymouth



Gebäude des CCL in East Lansing, Michigan





## Nanotechnologie-Kompetenzzentrum

### Projektkoordination

Dr. Andreas Leson  
Telefon: +49 (0) 351 2583 317  
andreas.leson@iws.fraunhofer.de

Dr. Ralf Jäckel  
Telefon: +49 (0) 351 2583 444  
ralf.jaekel@iws.fraunhofer.de

Internet: [www.nanotechnology.de](http://www.nanotechnology.de)  
[www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)

### Nanotechnologie-Kompetenzzentrum »Ultradünne funktionale Schichten«

Die Nanotechnologie gehört zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Bereits heute gibt es marktreife Produkte: Festplatten und Leseköpfe für die Datenspeicherung, die mit wenigen Nanometer dünnen Schichten überzogen sind, oder Rastertunnelmikroskope, die die Welt der Atome und Moleküle sichtbar werden lassen, sind nur zwei Beispiele. Ultradünne Schichten sind dabei ein Schlüsselement der Nanotechnologie.

Zur konsequenten Erschließung dieser industriellen Anwendungsmöglichkeiten haben 51 Unternehmen, 10 Hochschulinstitute, 22 außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und 5 Verbände ihr Know-how gebündelt und sich im September 1998 zu einem Netzwerk zusammengeschlossen. Die Koordination dieses Netzwerkes, das vom Bundesforschungsministerium als bundesweites Kompetenzzentrum für den Bereich ultradünne funktionale Schichten ausgezeichnet wurde, liegt beim Fraunhofer IWS.



Prinz Alexander von Sachsen während der Nanotech Tokio 2007



Stefan Gallon, Gesandter für Wirtschaft der Deutschen Botschaft in Japan (Bildmitte) im Gespräch mit Karin Heidenreich und Dr. Andreas Leson während der Nanotech Tokio 2007

»Arbeitsgemeinschaft der Nanotechnologie-Kompetenzzentren in Deutschland« (AGeNT-D), zusammengeschlossen.

Im Februar 2007 haben sich neun Kompetenzzentren, die in verschiedenen Regionen Deutschlands angesiedelt sind und zusammen die ganze Spanne der unterschiedlichsten Nanotechnologien abdecken, zu einem bundesweit einzigartigen Netzwerk, der

### Beteiligung des Dresdner Nanotechnologie-Kompetenzzentrums an der Messe Nanotech 2007 in Tokio

Für die weltgrößte Nanotechnologie-Messe »Nanotech Tokio 2007« vom 21. bis 23. Februar 2007 unterstützte das Nanotechnologie-Kompetenzzentrum die Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH für den Messeauftritt des Freistaates Sachsen.

Mit 49 000 Besuchern an 3 Messetagen wurde ein neuer Besucherrekord aufgestellt. Im Rahmen des Auslandsmesseprogramms der Bundesrepublik Deutschland gab es bei der »Nanotech 2007« das zweite Mal eine vom Bundeswirtschaftsministerium geförderte deutsche Firmengemeinschaftsausstellung im Bereich der Nanotechnologie. Darüber hinaus fanden mehrere begleitende Veranstaltungen statt, z. B. ein Seminar zum Thema »Highlights of German latest nanotechnology in Saxony«.

### Nanotechnologie-Forum am 3. Oktober 2007 in Tokio

Anfang Oktober besuchte eine größere Delegation aus Sachsen unter der Leitung von Ministerpräsident Prof. Dr. Georg Milbradt Japan, um für den Hochttechnologie-Standort Sachsen zu werben und diesen bekannter zu machen. Neben diversen Firmenbesuchen, unter anderem im Forschungszentrum von NTT, stellte das am 3. Oktober in Tokio veranstaltete Nanotechnologie-Forum einen zentralen Höhepunkt der Reise dar. Ministerpräsident Milbradt eröffnete die Veranstaltung. Die Fraunhofer-Gesellschaft, die bei der Nanotechnologie unter anderem mit dem Innovationscluster »nano for production« einen deutlichen Schwerpunkt in Sachsen gesetzt hat, beteiligte sich mit mehreren Vorträgen.



## Nanotechnologie-Innovationscluster »nano for production«

### Nanotechnologie-Innovationscluster »nano for production«

Von der Nanotechnologie können alle Branchen profitieren - vom Autobau bis zur Medizintechnik. Damit die Forschungsergebnisse dieser Zukunftstechnologie in Deutschland schneller und besser in Anwendungen umgesetzt werden, kooperieren Forscher und Unternehmer. In Dresden, einem erfolgreichen Standort für Nanotechnologie, wurde am 27. November 2006 das Innovationscluster »nano for production« unter Federführung des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik gestartet. Darin sind bisher insgesamt 20 Industriepartner und Forschungseinrichtungen, überwiegend aus dem sächsischen Raum, engagiert, die auf dem Gebiet der Nanotechnologie arbeiten. Ziel der Arbeit des Innovationsclusters ist es, nanotechnologische Entwicklungen aus dem Stadium der Grundlagenforschung an die Schwelle zur industriellen Einführung zu bringen und damit die Voraussetzungen für eine breite wirtschaftliche Nutzung zu schaffen. Zum anderen werden wesentliche Elemente der Nanoproduktionstechnik entwickelt, erprobt und für einen weiten Anwenderkreis zugänglich gemacht. Damit wird besonders dem hohen Informationsbedarf zu Themen der Nanotechnik und Nanoproduktion Rechnung getragen.

Den zentralen Kern des Innovationsclusters bilden besonders zukunfts-trächtige FuE-Schwerpunkte, die zu Technologieplattformen entwickelt werden. Diese drei Technologieplattformen sind:

#### *Plattform Nanopartikel*

Potenzielle Anwendungen für Nanopulver oder Nanotubes sind z. B. die Herstellung transparenter Keramiken oder künstlicher Muskeln.

#### *Plattform Nanoschichten*

Nanoschichten haben eine herausragende Bedeutung z. B. für optische Anwendungen (Spiegel für Röntgenstrahlen, Wärmeschutzverglasungen uva.), für tribologische Beschichtungen oder für die Mikrosystemtechnik.

#### *Plattform Nanostrukturen*

Nanostrukturierte Oberflächen können z. B. den Wirkungsgrad von Solarzellen verbessern oder zur Datenspeicherung genutzt werden.

### Fraunhofer-Innovationscluster: Symposium am 4. September 2007 in Berlin

Die Förderung von Clusterinitiativen ist zentraler Teil der Hightech-Strategie der Bundesregierung. Im »Pakt für Forschung und Innovation« hat die Fraunhofer-Gesellschaft die Aufgabe übernommen, mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und den Bundesländern Fraunhofer-Innovationscluster zu konzipieren und umzusetzen. Auf der Tagung am 4. September 2007 in der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften wurde erstmals umfassend über die bisherigen Erfahrungen mit diesem zukunfts-trächtigen Modell berichtet - ein wirksames Instrument, um sowohl die Innovationskraft zu stärken als auch das Innovationstempo zu erhöhen.

Das Innovationscluster »nano for production« beteiligte sich mit einem Exponat zur Plasmatechnologie bei Atmosphärendruck zur kontinuierlichen Prozessierung von kristallinen Solarzellen an der begleitenden Ausstellung.

### Projektkoordination

Dr. Andreas Leson  
Telefon: +49 (0) 351 2583 317  
andreas.leson@iws.fraunhofer.de

Dr. Otmar Zimmer  
Telefon: +49 (0) 351 2583 257  
otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de

Internet: [www.iws.fraunhofer.de / innovationscluster](http://www.iws.fraunhofer.de/innovationscluster)



Prof. Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, im Gespräch mit Prof. Beyer und Dr. Leson



## Laserintegration in die Fertigungstechnik Initiative LiFt



### Die Initiative

Im Rahmen des Innovationswettbewerbs »Wirtschaft trifft Wissenschaft« fördert das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in seiner Eigenschaft als Beauftragter der Bundesregierung für die Angelegenheiten der neuen Länder neue Ansätze für einen verbesserten Transfer wissenschaftlicher und technischer Innovationen in wirtschaftliche Anwendungen. Die Initiative **LiFt** wurde als eines der Siegevorhaben aus 157 eingereichten Anträgen ausgezeichnet.

### Projektziel

Ziel der Initiative **LiFt** ist der Aufbau einer nachhaltig wirkenden Struktur zum Transfer der wissenschaftlich-technischen Entwicklungen auf dem Gebiet der Laser-Materialbearbeitung in die moderne Fertigung. Im Mittelpunkt der Initiative steht die Zusammenführung der für die Laser-Materialbearbeitung bekannten Technologieentwickler Sachsens mit den Maschinen- und Anlagenbauern und den Endnutzern in der Produktion.

Durch die systematische Nutzung des Potenzials der Laser-Materialbearbeitung ergibt sich damit die Möglichkeit zur:

- Kosteneinsparung durch Verkürzung der Prozessketten,
- Erhöhung der Effizienz der Fertigungsverfahren und Produkte,
- Ausstattung der Produkte mit einem neuen Alleinstellungsmerkmal technischen Höchststands.

### Konzept

Die Integration der Lasertechnologie in die Fertigungstechnik ist letztlich immer von technischen und wirtschaftlichen Bedingungen des Anwendungsfalles bestimmt, z. B.:

- direkte Integration in eine Maschine für mechanische Bearbeitung, falls die Taktzeit der Laserbearbeitung im Vergleich zur mechanischen Bearbeitung gering ist, wobei unter Umständen die Nutzung eines Lasers sequentiell in mehreren Maschinen möglich ist,
- taktzeitparallele Integration in den Fertigungsablauf, falls die Taktzeit der Laserbearbeitung mit der für die mechanische Bearbeitung vergleichbar ist.

Beide Beispiele schaffen einen kontinuierlichen Teilefluss und ggf. Ersatz von aufwendigen Batch-Prozessen mit z. B. Öfen oder Waschanlagen.

### Weg

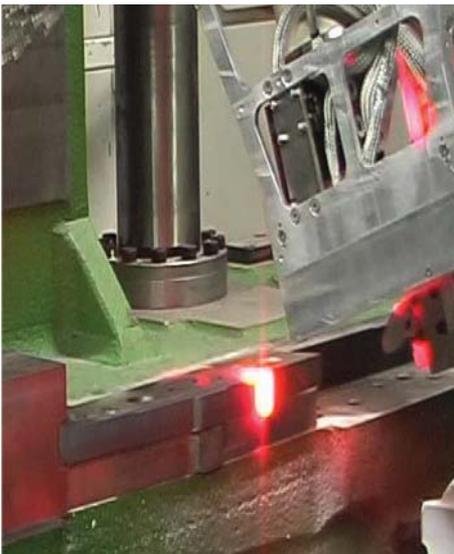
Auf der Basis von Marktanalysen und Machbarkeitsstudien werden verschiedene Formen der Implementierung von Lasertechnologien erfasst und deren Übertragung auf andere Einsatzfälle geprüft.

Dabei werden einerseits die Bauteile der Fertiger analysiert, um festzustellen, ob das Teilespektrum durch die Laserintegration effektiver und mit höchster Präzision produziert werden kann.

Andererseits wird mit dem Maschinen- und Anlagenhersteller geprüft, ob die Integration des Lasers in die Maschine und den Prozess technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist.



Minister Wolfgang Tiefensee (links) überreicht die Urkunde im Wettbewerb »Wirtschaft trifft Wissenschaft« an Prof. Eckhard Beyer, Institutsleiter des Fraunhofer IWS, für das Projekt LiFt



Integration eines Lasermoduls in eine Fräsmaschine zum Härten von Großwerkzeugen



Es gilt, Markteintrittsbarrieren frühzeitig zu identifizieren, gezielt zu überwinden und die Risiken bei der Einführung neuer Technologien zu minimieren.

### Vorteile durch Kompetenzentwicklung

- Mit der Integration der Laser-Materialbearbeitung können unter entsprechenden technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen in der Fertigung solche Prozessketten verkürzt werden, die mindestens aus mechanischer Fertigung und thermischer Bearbeitung bestehen, wodurch dem Anwender durch neue Verfahren Zeit- und Kostenvorteile entstehen.
- Den Maschinen- und Anlagenbauern wird es ermöglicht, neue Produkte mit dem Alleinstellungsmerkmal »integrierte Laser-Materialbearbeitung« und damit technischem Höchststand und Effizienz auszustatten.
- Die in den beteiligten Forschungseinrichtungen entwickelten Technologien der Laser-Materialbearbeitung werden den Anwendern zugänglich gemacht und geben wichtige Impulse für die Modernisierung von Fertigungsprozessen.
- Mit der Struktur, in der die Partner in **LiFt** agieren, können Potenziale der Laser-Materialbearbeitung nachhaltig, flächendeckend und systematisch in die industrielle Praxis überführt werden.

Das Projekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung gefördert (Förderkennzeichen 03WWSN019).

### Projektkoordination

Dr. Steffen Bonß  
 Telefon: +49 (0) 351 2583 201  
 Telefax: +49 (0) 351 2583 210  
 steffen.bonss@iws.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Claudia Zellbeck  
 Telefon: +49 (0) 351 2583 332  
 Telefax: +49 (0) 351 2583 300  
 claudia.zellbeck@iws.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden  
 Winterbergstr. 28  
 01277 Dresden

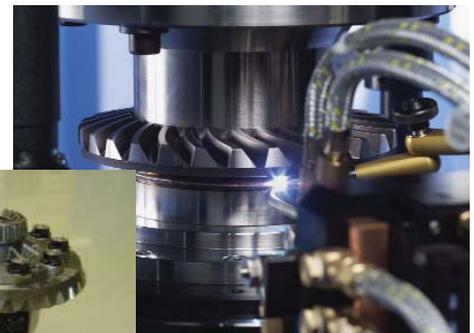
Internet: [www.laserintegration.de](http://www.laserintegration.de)  
[www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)



Laseranlage zum Laserstrahlreinigen und -schweißen im Industrieinsatz



Industrielle Umsetzung des Laserstrahlreinigens von Fügstellen für nachfolgendes Laserschweißen, ermöglicht Ersatz von Waschprozessen



Prozesskettenverkürzung durch Laserstahlschweißen mit Zusatzwerkstoff und Ersatz aufwändiger Schraubverbindungen, links: Beispielbauteile, rechts: Laserschweißprozess

**Gesamtmitarbeiter**

Aufgrund einer Kooperationsvereinbarung zwischen der TU Dresden und dem Fraunhofer IWS sind der Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik (Prof. Beyer) und das IWS miteinander verbunden. Eine Reihe von Mitarbeitern des Lehrstuhls arbeitet in einer Vielzahl von Projekten eng mit den IWS-Mitarbeitern zusammen. Dabei werden in der Regel die Forschungs- und Grundlagenarbeiten an der TU und die anwendungsbezogenen Verfahrensentwicklungen und systemtechnischen Arbeiten am IWS durchgeführt.

Die Mitarbeiter teilen sich 2007 wie folgt auf:

**Mitarbeiter im Fraunhofer IWS**

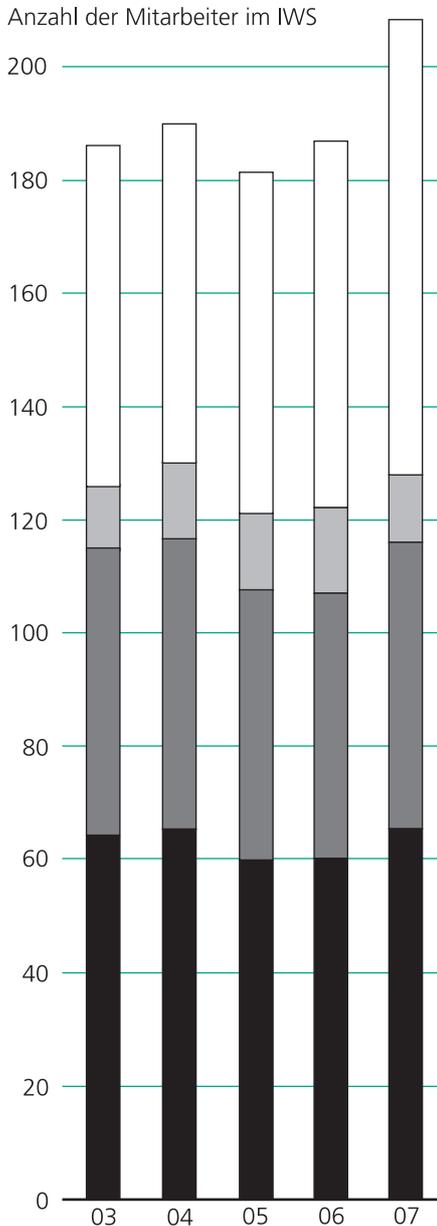
<b>Personal</b>	<b>116</b>
- Wissenschaftler	65
- Technische Angestellte	43
- Verwaltungsangestellte	8
<b>Lehrlinge</b>	<b>12</b>
<b>Wissenschaftliche Hilfskräfte</b>	<b>80</b>
<b>Mitarbeiter CCL USA</b>	<b>12</b>
<b>Gesamt</b>	<b>220</b>

**Mitarbeiter am Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik der TU Dresden**

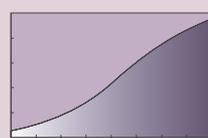
<b>Personal</b>	<b>34</b>
- Wissenschaftler	28
- Technische Angestellte	5
- Verwaltungsangestellte	1
<b>Studentische Hilfskräfte</b>	<b>9</b>
<b>Gesamt</b>	<b>43</b>

<b>Gebäude</b>	<b>8400 m<sup>2</sup></b>
- Technikumshallen	2000 m <sup>2</sup>
- Laborräume	3070 m <sup>2</sup>
- Büroräume	2630 m <sup>2</sup>
- Infrastrukturräume	700 m <sup>2</sup>

**Technikum im DOC (Dortmund) 1100 m<sup>2</sup>**



- wissenschaftliche Hilfskräfte
- ▒ Lehrlinge
- Technik / Verwaltung
- Wissenschaftler und Doktoranden



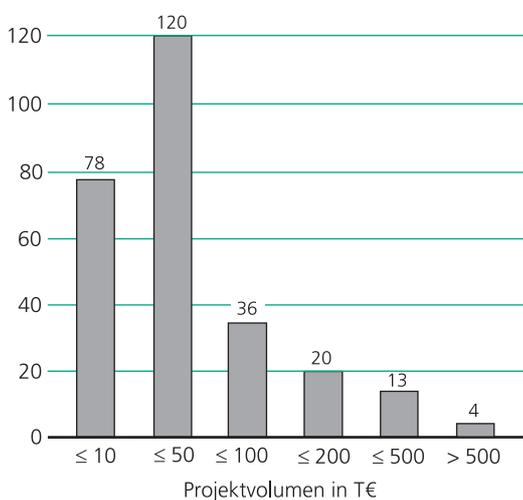
## Aufwendungen und Erträge 2007 (\*Stand Januar 2008)

	<b>Mio. €</b>	
<b>Aufwendungen Betrieb und Investitionen</b>	<b>17,7</b>	
<b>Betriebshaushalt</b>	<b>14,8</b>	
- Personalaufwendungen	7,1	
- Sachaufwendungen	7,7	
<b>Investitionshaushalt</b>	<b>2,9</b>	
	<b>Mio. €</b>	<b>%</b>
<b>Erträge 2007</b>	<b>17,7</b>	
<b>Betrieb</b>	<b>14,8</b>	
- Projekterträge aus der Industrie	7,7	52
- Projekterträge durch Bund, Land und EU	3,1	21
- Grundfinanzierung IWS	4,0	27
<b>Investitionen</b>	<b>2,9</b>	
- Projekterträge aus der Industrie	0,1	
- Projekterträge durch Bund, Land und EU	0,9	
- Grundfinanzierung IWS	1,3	
- Strategische Investitionen	0,6	

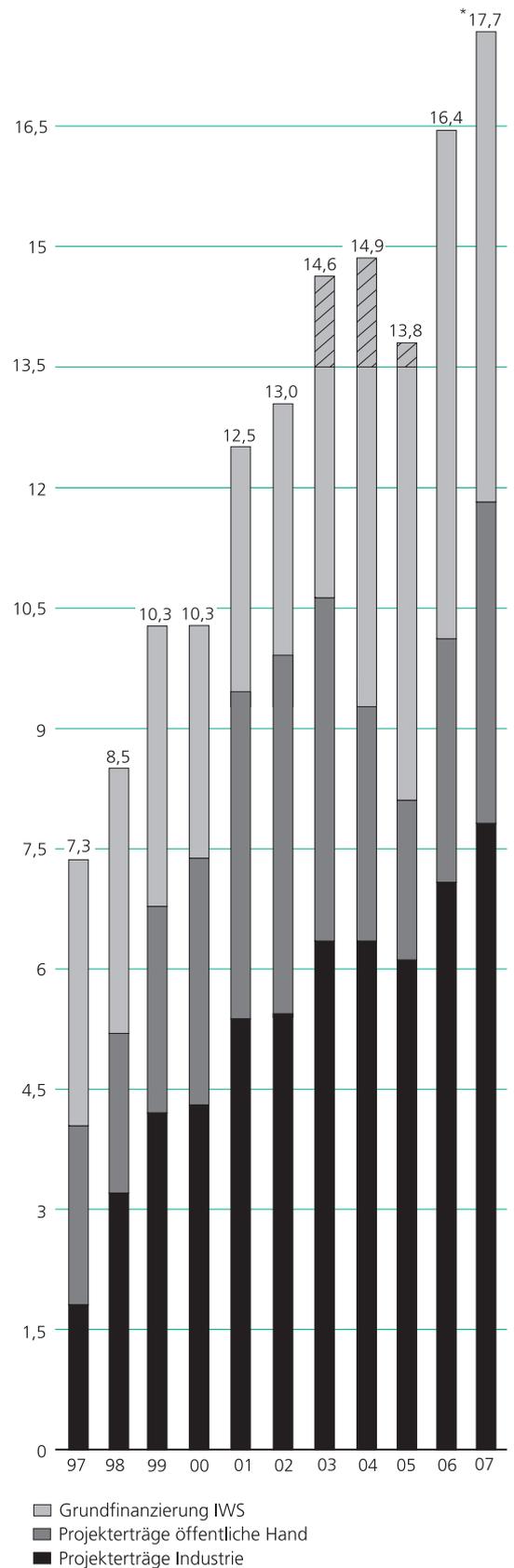
## Projekte

Im Jahr 2007 wurden am IWS 271 Projekte durchgeführt. Die Aufteilung der Projekte nach ihrem finanziellen Volumen ist in der folgenden Grafik dargestellt. So wurden beispielsweise 120 Projekte mit einem finanziellen Volumen von 10 ... 50 T€ bearbeitet.

Anzahl der Projekte



Erträge im Betriebs- und Investitionshaushalt (in Mio. €)



## Kuratorium

Das Kuratorium berät und unterstützt die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung. Mitglieder des Kuratoriums waren im Berichtszeitraum:

### **P. Wirth, Dr.**

Vorsitzender der Geschäftsführung der Rofin-Sinar Laser GmbH,  
Vorsitzender des Kuratoriums

### **R. Bartl, Dr.**

Leitung Manufacturing der Siemens AG Transportation Systems

### **I. Bey, Dr.**

Leiter des Projektträgers Forschungszentrum Karlsruhe und des Bereichs Produktion und Fertigungstechnologien der Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

### **S. Clobes, RD'in**

Leiterin des Referates Produktionssysteme und -technologien des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (Kuratorin bis April 2007)

### **D. Fischer**

Geschäftsführer EMAG Leipzig Maschinenfabrik GmbH

### **U. Jaroni, Dr.**

Mitglied des Vorstandes Division Auto der ThyssenKrupp Stahl AG

### **F. Junker, Dr.**

Vorstand Produktionstechnik der Koenig & Bauer AG Werk Radebeul

### **H. Kokenge, Prof.**

Rektor der Technischen Universität Dresden  
(Kurator seit dem 01. Januar 2007)

### **T. G. Krug, Dr.**

Managing Director Hauzer Techno Coating BV, Niederlande  
(Kurator seit dem 01. Januar 2007)

### **P. G. Nothnagel, MR**

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit

### **R. J. Peters, Dr.**

Geschäftsführer der VDI-Technologiezentrum GmbH

### **W. Pompe, Prof. Dr.**

Institut für Werkstoffwissenschaft der Technischen Universität Dresden

### **R. Zimmermann, MR Dr.**

Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst

Die 17. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 8. Februar 2007 im Fraunhofer IWS Dresden statt.

## Institutsleitungsausschuss (ILA)

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

Mitglieder des ILA sind:

Prof. Dr. E. Beyer	Institutsleiter
Dr. A. Leson	Stellv. Institutsleiter
Dr. A. Techel	Stellv. Institutsleiterin Verwaltungsleiterin
Prof. Dr. B. Brenner	Abteilungsleiter
Dr. V. Hopfe	Abteilungsleiter
Dr. L. Morgenthal	Abteilungsleiter
Dr. G. C. Stehr	Abteilungsleiter

Gäste sind:

Prof. Dr. U. Günther	Lehrstuhlvertreter
Dr. U. Klotzbach	Geschäftsstellenleiter VOP

## Wissenschaftlich-Technischer Rat (WTR)

Der Wissenschaftlich-Technische Rat (WTR) unterstützt und berät Organe der Fraunhofer-Gesellschaft. Ihm gehören die Mitglieder der Institutsleitung und je Institut ein gewählter Vertreter der wissenschaftlich-technischen Mitarbeiter an. Mitglieder des IWS im WTR waren im Berichtszeitraum:

- Prof. Dr. E. Beyer
- Dr. S. Bonß



## 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. 13 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,3 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.





## Fraunhofer Verbund Oberflächentechnik und Photonik

Die Institute der Fraunhofer-Gesellschaft haben sich in sieben thematisch orientierten Forschungsverbänden organisiert, um die fachliche Kooperation zu verstärken und den Kunden eine gemeinsame und koordinierte Leistung anbieten zu können. Im Verbund Oberflächentechnik und Photonik kooperieren sechs Fraunhofer-Institute.

### Beteiligte Fraunhofer-Institute

Angewandte Optik und Feinmechanik  
[www.iof.fraunhofer.de](http://www.iof.fraunhofer.de)

Elektronenstrahl- und Plasmatechnik  
[www.fep.fraunhofer.de](http://www.fep.fraunhofer.de)

Lasertechnik  
[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)

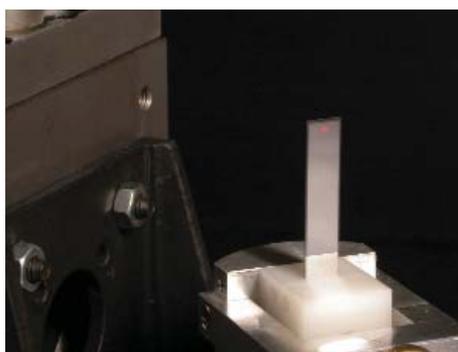
Physikalische Messtechnik  
[www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)

Schicht- und Oberflächentechnik  
[www.ist.fraunhofer.de](http://www.ist.fraunhofer.de)

Werkstoff- und Strahltechnik  
[www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)

## Fraunhofer-Verbund Oberflächentechnik und Photonik

Oberflächentechnik und Photonik stellen zwei Kernkompetenzen der Fraunhofer-Gesellschaft dar. Hervorzuheben sind zum einen die Bedeutung der Oberflächentechnik für die Herstellung optischer sowie optoelektronischer Komponenten und Produkte und zum anderen die zunehmende Bedeutung der Lasertechnik für oberflächentechnische Produktions- und Messverfahren. Beides sind Schlüsseltechnologien, die mit wachsendem technologischem Fortschritt in einer Vielzahl von Anwendungen, wie der Fertigungstechnik, der optischen Sensorik, der IuK-Technik und im Bereich der Biomedizintechnik eingesetzt werden.



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

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



Um ihre Kompetenzen abgestimmt einzusetzen sowie strategische Entwicklungen zu koordinieren, haben sich sechs Fraunhofer-Institute mit rund 1080 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und einem Budget von 86 Mio. € zum Verbund Oberflächentechnik und Photonik (VOP) zusammengeschlossen. Die Kernkompetenzen des Verbunds bestehen in der Entwicklung von Schichtsystemen und Beschichtungsprozessen für verschiedenste Anwendungen, in der Funktionalisierung von Oberflächen, in der Entwicklung von Strahlquellen sowie von mikrooptischen und präzisionsmechanischen Systemen, in der Materialbearbeitung sowie in der optischen Messtechnik.

Schwerpunkte der zukünftigen Forschungsaktivitäten des Verbunds werden die Weiterentwicklung von innovativen Laserquellen wie z. B. Faserlaser und die erfolgreiche industrielle Verwertung der Terahertztechnologien sein.

**Verbundvorsitzender:**

Prof. Dr.-Ing. habil. Eckhard Beyer

Tel.: +49 (0) 351 2583 324  
 Fax: +49 (0) 351 2583 300  
 eckhard.beyer@iws.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS  
 Winterbergstraße 28  
 01277 Dresden

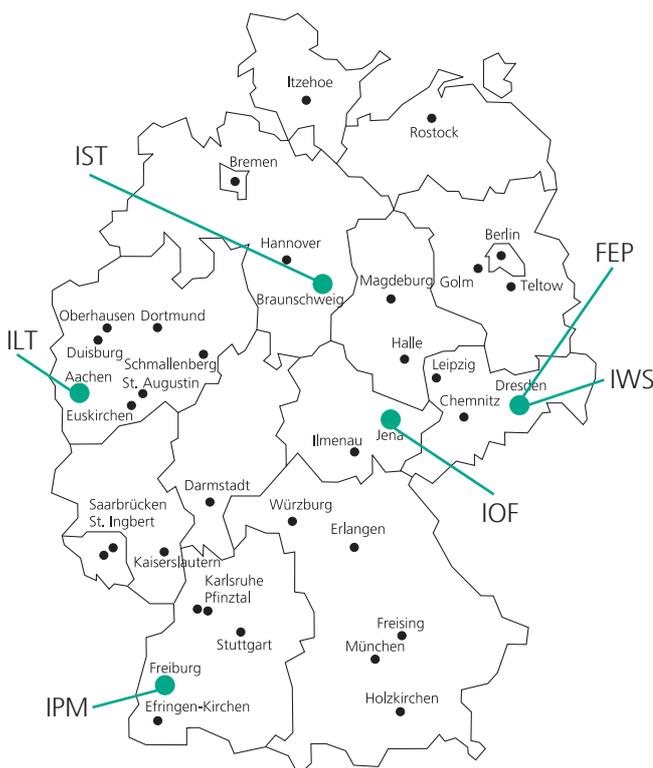
**Geschäftsstelle:**

Dr. techn. Dipl.-Ing. Udo Klotzbach

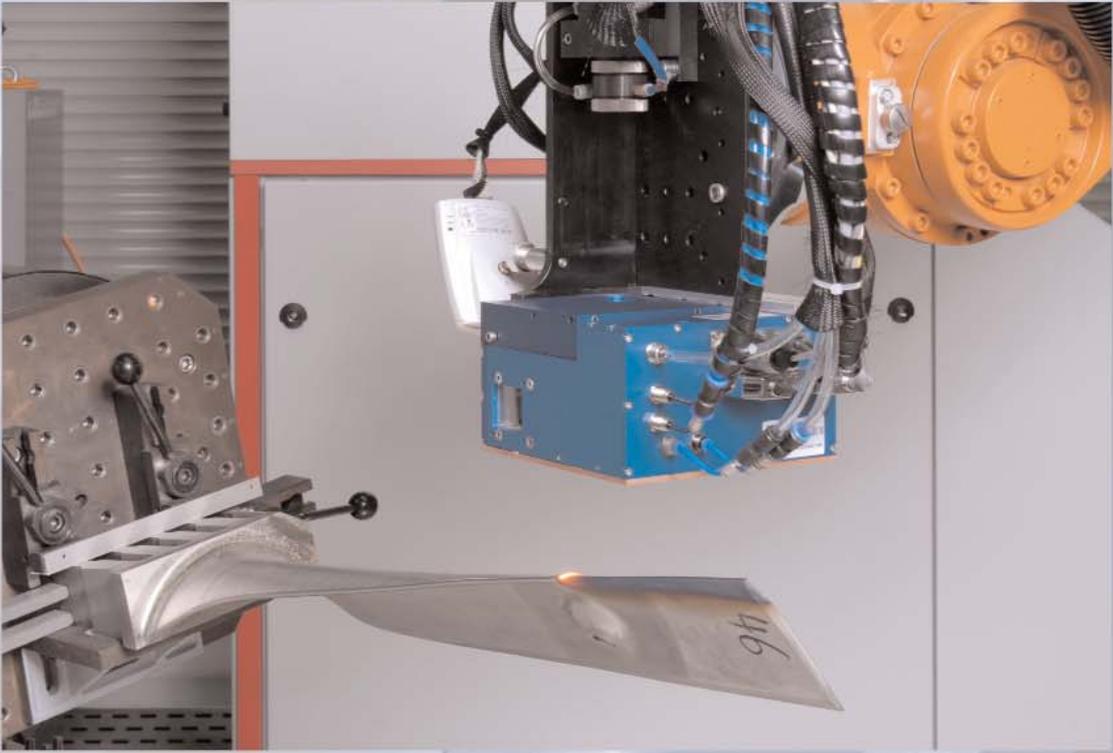
Tel.: +49 (0) 351 2583 252  
 Fax: +49 (0) 351 2583 300  
 udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de

Fraunhofer-Verbund Oberflächentechnik und Photonik  
 Winterbergstraße 28  
 01277 Dresden

[www.vop.fraunhofer.de](http://www.vop.fraunhofer.de)



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



## Forschungs- und Entwicklungsangebot: Füge- und Randschichttechnologien

**Redaktion:** In Ihrer Abteilung haben Sie sich erklärtermaßen das Schweißen schwer schweißbarer Werkstoffe auf die Fahnen geschrieben. Über welche Fortschritte können Sie berichten?

**Prof. Brenner:** Unsere diesbezüglichen Aktivitäten haben wir im letzten Jahr in verschiedenen Richtungen vorangetrieben. Verfahrenstechnisch wurden mehrere Neuentwicklungen, die ich wegen ihrer industriellen Anwendungspotenziale im Folgenden kurz erläutern möchte, durch die Nutzung der hervorragenden Strahlqualität von Faserlasern möglich.

So entwickelten wir ein neues Kombinationsschweißverfahren, bei dem mittels des gleichen Lasers und der gleichen Bauteilaufspannung prozessintegriert harte oder anderweitig störende Randschichten abgetragen, die Fügestelle vorbereitet und mit Schweißzusatzwerkstoff verschweißt wird. In der industriellen Anwendung könnten durch den Wegfall von Hartdrehprozessen die Fertigungskosten erheblich gesenkt werden.

Interessante Anwendungsperspektiven hat ebenfalls ein neu entwickeltes Schweißverfahren mittels Faserlaser, mit dem es gelingt, Gusseisen und Stahl ohne Schweißzusatzwerkstoff und mit bisher nicht möglichen Schweißgeschwindigkeiten zu fügen. Der Weiterentwicklung der Schweißbarkeit von Mischverbindungen mittels Faserlaser wollen wir uns deshalb im Jahr 2008 intensiver widmen.

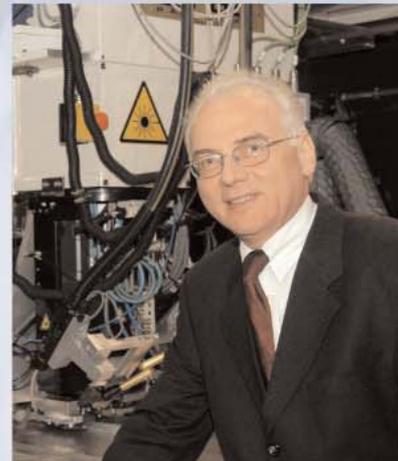
Insbesondere für die KMU in der Metall verarbeitenden Industrie, die Blechstärken > 15 mm effektiv fügen wollen, aber die Investitionskosten für einen Laser mit einer Leistung von 10 oder mehr kW nicht aufbringen können, ist das dritte Verfahren interessant, das es gestattet, mit einem 4 kW-Faserlaser sehr schmale, bis zu 50 mm tiefe Schweißnähte zu erzeugen.

Einen völlig neuen Weg zur effektiven Herstellung von Bimetall-Halbzeugen aus konventionell nicht schweißbaren Werkstoffen konnten wir durch die Entwicklung des induktiv unterstützten Laserwalzplattierens beschreiten. Am Beispiel der Herstellung eines Bimetall-Bandes aus einem härtbaren Werkzeugstahl und einem Baustahl konnten wichtige Verfahrensvorteile nachgewiesen werden, die zukünftig auch auf andere Werkstoffkombinationen, wie z. B. Stahl / Titan, Titan / Aluminium u. ä. ausgedehnt werden sollen.

Bei der Entwicklung solcher Schweißverfahren nimmt eine flexible und hochmoderne Systemtechnik einen hohen Stellenwert ein. Ein wichtiger Meilenstein war deshalb für uns die Installation und Inbetriebnahme einer neuen Laserstrahlschweißanlage, die besonders günstige Bedingungen für die flexible und reproduzierbare Integration von zahlreichen Zusatzeinrichtungen, wie z. B. Zufuhr von Schweißzusatzwerkstoff, Integration einer Wärmebehandlung, integrierte Bauteilreinigung und Qualitätssicherung über Plasmaspektroskopie bietet.

**Redaktion:** Stichwort Systemtechnik - welche Strategie verfolgen Sie hier?

**Prof. Brenner:** Auf dem Gebiet der Randschichttechnik sehen wir uns mit der Situation konfrontiert, dass prozessbezogene Systemtechnikkomponenten am Markt nicht erhältlich sind. Deshalb entwickeln wir prozessspezifische, systemtechnische Komponenten zunehmend selbst. Sehr erfolgreiche Meilensteine dieser Anstrengungen sind z. B.: flexible Strahlformungseinheiten mit integrierter Temperaturregelung; neue, sehr schnelle Temperaturmess- und -regelungseinrichtungen, wie sie z. B. jetzt zum Laserstrahllöten von Solarzellen in die Industrie überführt wurden; eine neuartige Laserschutzwand und eine Vielzahl von unikalen Versuchseinrichtungen.



*Der Beginn aller Wissenschaften  
ist das Erstaunen,  
dass die Dinge sind, wie sie sind.  
Aristoteles*



**Prof. Berndt Brenner**  
Abteilungsleiter  
(Tel. 2583 207,  
berndt.brenner@iws.fraunhofer.de)



**Dr. Steffen Bonß**  
Gruppenleiter Randschichtverfahren  
(Tel. 2583 201,  
steffen.bonss@iws.fraunhofer.de)



**Dr. Jens Standfuß**  
Gruppenleiter Schweißen  
(Tel. 2583 212,  
jens.standfuss@iws.fraunhofer.de)

### Technologien zum beanspruchungsgerechten Härten von Stählen mittels Laser und Induktion

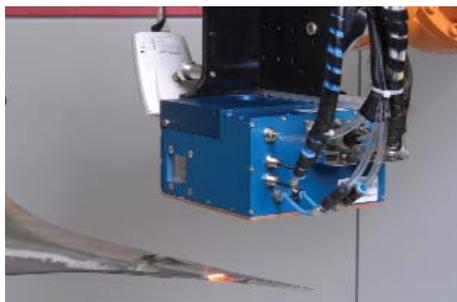
Bei Bauteilgeometrien, Verschleißfällen und Werkstoffen, bei denen konventionelle Härtetechnologien versagen, bietet das Laserhärten vielfach neue Lösungsansätze zur Erzeugung verschleißfester Oberflächen. Das trifft insbesondere zu auf die selektive Härtung von Bauteilen mit mehrdimensional gekrümmten, innenliegenden oder schwer zugänglichen Flächen, Bohrungen oder Kerben sowie auf stark verzugsgefährdete Bauteile. Gestützt auf langjährige umfangreiche Erfahrungen, fachübergreifendes Know-how von der Analyse des Verschleißfalles bis zur optimalen technologischen Realisierung von Härteaufgaben bieten wir an:

- Entwicklung von Randschichthärtetechnologien mit Hochleistungs-Diodenlasern, CO<sub>2</sub>-Lasern, Nd:YAG-Lasern oder Induktion bzw. beidem,
- Randschichtveredelung von Entwicklungs- und Prototypmustern.

### Schweißen schwer schweißbarer Werkstoffe

Das Laserstrahlschweißen ist ein modernes Schweißverfahren, das einen breitgefächerten industriellen Einsatz, insbesondere in der Massenfertigung, gefunden hat. Vorwiegend werden jedoch nur Werkstoffe mit allgemeiner guter Schweißbeignung verarbeitet. Einen neuen Zugang zur Herstellung rissfreier Schweißverbindungen aus härtbaren und hochfesten Stählen, Gusseisen, Al- und Sonderlegierungen sowie Bauteilen mit hoher Steifigkeit ermöglichen Laserstrahlschweißverfahren mit integrierter Kurzzeitwärmebehandlung sowie werkstoffangepassten Zusatzwerkstoffen. Auf der Basis eines umfangreichen metallphysikalischen und anlagentechnischen Hintergrundwissens bieten wir Ihnen an:

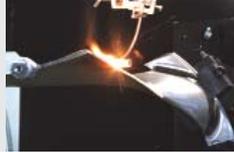
- Entwicklung von Schweißtechnologien,
- Prototypschweißungen,
- Verfahrens- und Anlagenoptimierung,
- Ausarbeitung von Schweißanweisungen.



Laserstrahlhärten einer Dampfturbinenschaufel mit dynamischer Strahlformungseinheit »LASSY«



Vollständig lasergeschweißte Integralstruktur für Flugzeugrümpfe in geschlossener Profilbauweise (Demonstrator)

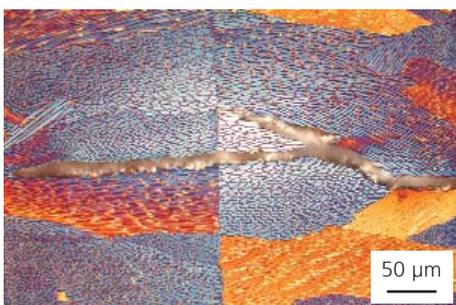
**Dr. Bernd Winderlich**

Gruppenleiter Werkstofftechnik /  
Werkstoffcharakterisierung  
(Tel. 2583 224,  
bernd.winderlich@iws.fraunhofer.de)

### Komplexe Werkstoff- und Bauteil- charakterisierung

Die Beherrschung moderner Füge- und Randschichtverfahren erfordert Kenntnisse von den ablaufenden strukturellen Änderungen bis zu den resultierenden Bauteileigenschaften. Auf der Basis langjähriger Erfahrungen und einer modernen Geräteausstattung für die strukturelle, mikroanalytische und mechanische Werkstoffcharakterisierung bieten wir an:

- metallographische, elektronenmikroskopische (REM, TEM) und mikroanalytische (EDX) Charakterisierung der Realstruktur von Metallen, Keramiken und Werkstoffverbunden,
- Ermittlung von Werkstoffkennwerten für die Bauteilauslegung und Qualitätssicherung,
- Eigenschaftsbewertung von randschichtbehandelten und geschweißten Bauteilen,
- Strategien zur werkstoff- und beanspruchungsgerechten Bauteilgestaltung,
- Aufklärung von Schadensfällen.



Schweißnahtgefüge eines austenitischen Stahls nach Heißrisstest

**Dr. Irene Jansen**

Gruppenleiterin Kleben  
(Tel. 4633 52 10,  
irene.jansen@iws.fraunhofer.de)

### Oberflächenvorbehandlung und konstruktives Kleben

Vor dem Kleben werden die Fügeteiloberflächen vorbehandelt, um eine gute Benetzung und eine hohe Klebfestigkeit zu erreichen. Dafür werden vor allem Plasma- und Lasertechniken verwendet. Die Charakterisierung der Oberflächen sowie der geklebten Verbunde erfolgt mittels Kontaktwinkel-, Rauheits- und Schichtdickenmessungen, Lichtmikroskopie, REM / EDX und spektroskopischer Methoden. Eine neue Zielrichtung besteht in der Integration von Carbon-Nanotubes in Klebstoffe, wodurch die Klebfestigkeiten erhöht oder / und elektrisch leitfähige Verbunde hergestellt werden können.

Folgende Arbeiten bieten wir an:

- Fügeflächenvorbehandlung mittels Plasma- und Lasertechniken und Charakterisierung der Oberfläche,
- konstruktives Kleben verschiedenster Materialien,
- Bestimmung der Klebfestigkeit und Alterungsuntersuchungen.



Geklebtes Glaselement

### Beispiele aus den Arbeiten 2007

1. Laserstrahlhärten - Integration in die Fertigung ermöglicht schlanke Prozesse 30
2. Neuartige Laserschutzwand für Laser höchster Brillanz 31
3. Technologie zum Herstellen von Bimetallbändern aus schwer schweißbaren Werkstoffkombinationen 32
4. Rissfreies Laserstrahlschweißen ohne Entfernung der Einsatzhärte- und Nitrierschicht 33
5. Engspaltschweißen mit hohen Aspektverhältnissen mittels Faserlaser 34
6. Laserstrahlgeschweißte Patchworkstrukturen - innovative Lösungen für den Karosseriebau 35
7. Automatisiertes Clipschweißen an Flugzeugrumpf-Panels 36
8. Verbesserung der Schadens-toleranz laserstrahlgeschweißter Stringer-Haut-Verbindungen 37
9. Erzeugung verschleißfester und ermüdungsresistenter Randschichten auf Titanwerkstoffen 38
10. Hochfeste, transparente Glas-Metall-Klebungen für das Bauwesen 39



## Laserstrahlhärten - Integration in die Fertigung ermöglicht schlanke Prozesse

### Aufgabenstellung

Das Laserstrahlhärten hat sich als Verfahren zum Härten lokal beanspruchter Bauteile durch die Verfügbarkeit von Hochleistungsdiodenlasern und einer Reihe von systemtechnischen Entwicklungen der letzten Jahre als Ergänzung zu klassischen Härteverfahren etabliert. Es wird jedoch, wie viele andere Wärmebehandlungsverfahren, vorwiegend als außen stehender Prozessschritt in einer Fertigung behandelt. Um Zeit und Kosten zu reduzieren, wollen viele Produzenten einen möglichst kontinuierlichen Teilefluss ohne zusätzliche Logistik und Lagerhaltung. Das Laserstrahlhärten bietet dazu gute Voraussetzungen. Aufgabe des Fraunhofer IWS ist es, unter Betrachtung des gesamten Prozesses optimierte Fertigungsprozessketten zu erarbeiten.



Abb. 1: Fotomontage, Härteportal integriert in ein System von Fräsmaschinen

Kleinserienfertigung ist häufig maximale Flexibilität gefordert, während in der Massenfertigung Kostenoptimierung im Vordergrund steht. So unterschiedlich die Anforderungen sind, so unterschiedlich können die Integrationslösungen aussehen. Eine 6-Achs-Portalmaschine oder eine roboterbasierte Anlage mit einem an das gesamte zu bearbeitende Bauteilspektrum angepassten Arbeitsraum sind sehr flexibel und werden eher lose integriert sein. Bauteilangepasste Einzweckmaschinen oder die direkte Integration in eine Dreh- oder Fräsmaschine sind weniger flexibel und stärker integriert.

### Beispiele

Im Großwerkzeugbau empfiehlt sich das Konzept eine Portalanlage, die durch ein Palettenwechselsystem mit mehreren Fräszentren verbunden ist. Abb. 1 zeigt eine Fotomontage, in der eine solche Portalanlage in ein durch ein Palettenwechselsystem verbundenes System aus mehreren Fräsmaschinen integriert ist. Bei einem Automobilhersteller ist ein solches System derzeit in der Umsetzungsplanung.

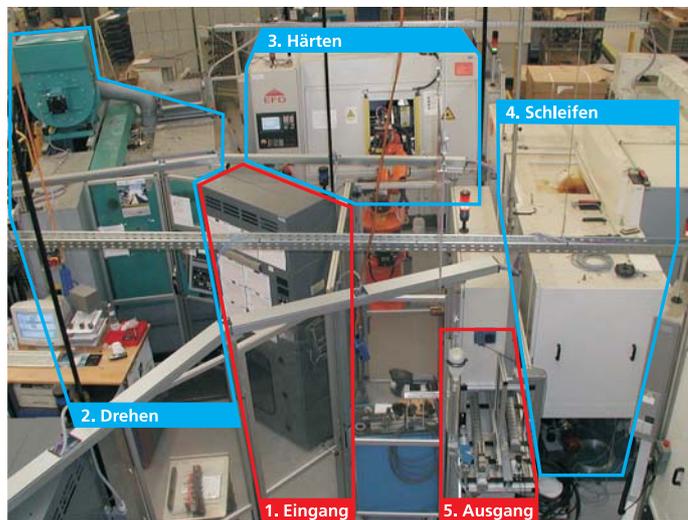


Abb. 2: Fertigungszelle für Turboladerwellen bei der Borg Warner Turbosystems GmbH in Kirchheimbolanden

Die Integration in eine Fertigungszelle zeigt die Anwendung bei der Borg Warner Turbosystems GmbH in Kirchheimbolanden. Dort werden Turboladerwellen für Nutzfahrzeuge im Bereich der Lagerstellen partiell mit dem Laser gehärtet (Abb. 2).

Generell ist es auch möglich, einen Hochleistungsdiodenlaser direkt an einen Werkzeugwechsler in ein Drehfräszentrum zu integrieren. Im Ergebnis wird hier eine hohe Präzision durch Bearbeitung in einer Aufspannung erreicht.

### Lösungsweg

Von den Rahmenbedingungen hängt es ab, in welcher Weise die Integration des Laserstrahlhärtens in die Fertigung erfolgen kann. Für Einzelteil- und



Ansprechpartner

Dr. Steffen Bonß  
Tel.: 0351 / 2583 201  
steffen.bonss@iws.fraunhofer.de



## Neuartige Laserschutzwand für Laser höchster Brillanz

### Aufgabenstellung

Neuartige Hochleistungslaser, Faserlaser sowie Scheibenlaser mit höchster Strahlqualität und sehr hohen Leistungen ermöglichen nicht nur neue Anwendungsfelder in der Materialbearbeitung, sondern machen gleichzeitig neue Lasersicherheitskonzepte erforderlich. Konventionelle, passive Laserschutzwände können diesen Anforderungen, besonders aus ökonomischer Sicht, nicht mehr genügen.

Als geeignet erweisen sich hierfür aktive Laserschutzwände. Die Sensoren sind dabei in einer Hohlwand integriert und reagieren bei Durchdringung der Laserstrahlung auf Druckänderung oder Streulicht. Bei diesem Prinzip wird jedoch das Wandelement immer zerstört. Außerdem sind Designwünsche der Anlagenbetreiber bzw. -hersteller an die Laseranlagen nur sehr aufwändig oder oftmals gar nicht realisierbar.

### Lösungsweg

Ein neuartiges System einer aktiven Laserschutzwand basiert auf dem Prinzip eines flächigen Heißleiters. Ein solches Element besteht aus einer Zwischenschicht, die Heißleitereigenschaften aufweist und flächig mit zwei elektrisch leitenden Schichten verbunden ist. Solche Heißleiter sind z. B. Metalloxide wie  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Grundlage ist dabei die extreme Temperaturabhängigkeit des spezifischen elektrischen Widerstandes (Abb. 1). Trifft nun der Laserstrahl auf dieses Plattenelement, erwärmt es sich lokal. Diese Erwärmung verursacht eine Widerstandsänderung, welche mit einfachen Messmitteln unabhängig von der Wellenlänge detektiert und als elektrisches Signal ausgegeben werden kann (Abb. 2). Abhängig von der Leistungsdichte der Laserstrahlung wird der Laser ausgeschaltet, bevor eine Zerstörung der Wandelemente einsetzt.

### Ergebnisse

Die Herstellung eines solchen Wandelements kann durch unterschiedliche Verfahren erfolgen. Neben dem Kleben zweier Stahlbleche konnten mit der Spritz- und der Lackiertechnik geeignete Verfahren zur Herstellung der Schutzwände erprobt werden. Der Auftrag von Schichten geringer Dicke gestattet die Realisierung leichter Wandelemente und komplizierter 3D-Geometrien mit Freiformflächen. Plattengrößen von  $2 \times 2 \text{ m}^2$  stellen durch diese preiswerten Herstellungsverfahren keine Probleme dar.

Es können, abhängig von der Plattengröße, kleinste sowie großflächige Erwärmungen detektiert werden. Außerdem können Beschädigungen, die nicht aus dem Laserbetrieb heraus entstehen, wie z. B. mechanische Zerstörungen, ebenfalls festgestellt werden. Damit ist es möglich, preisgünstige Einhausungen für Laseranlagen mit hohen Anforderungen an Design oder auch als Baukastensystem zu realisieren.

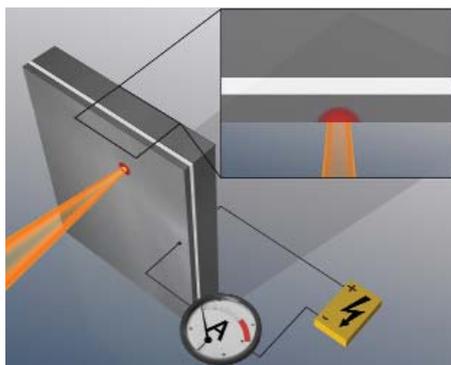


Abb. 2: Schematische Darstellung der neuartigen Laserschutzwand, links: Laserstrahl trifft Wand, rechts: Heißleiter detektiert Laserstrahlung

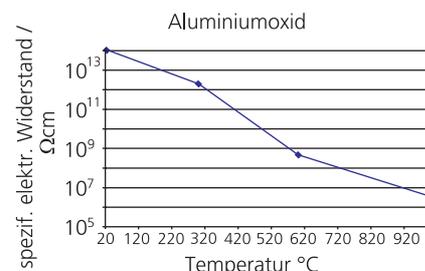
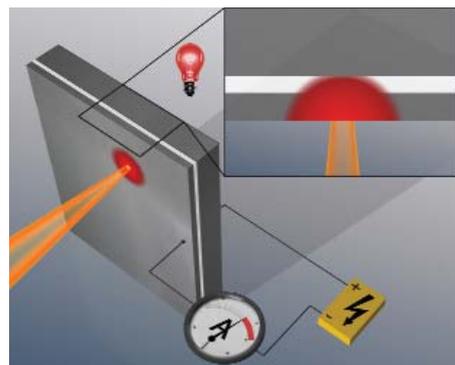


Abb. 1: Temperaturabhängigkeit des spezifischen elektrischen Widerstandes von Aluminiumoxid



### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Stefan Kühn  
Tel.: 0351 / 2583 428

stefan.kuehn@iws.fraunhofer.de





## Technologie zum Herstellen von Bimetallbändern aus schwer schweißbaren Werkstoffkombinationen

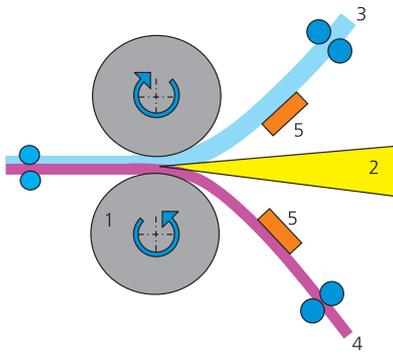


Abb. 1: Prinzipdarstellung des induktiv unterstützten Laserwalzplattierens  
1: Walzenstock  
2: linienförmig geformter Laserstrahl  
3: gut härtpbares Stahlband  
4: gut schweißbares Stahlband  
5: HF-Induktor

### Aufgabenstellung

Moderne konstruktive Lösungen, beispielsweise zum Zweck der Gewichtsreduzierung im Motorenbau, bedingen für ihre Realisierung auch moderne und zum Teil neuartige Werkstoffverbunde. Im Rahmen eines Forschungsauftrages sollte mittels eines Laserwalzplattier-Prozesses ein gut härtpbares, hoch kohlenstoffhaltiges Stahlband mit einem gut schweißbaren, niedrig legierten Stahlband verbunden werden.

### Lösungsweg

Für die Realisierung wurde gemeinsam mit dem Auftraggeber ein geeignetes Verfahrenskonzept erarbeitet. Das Prinzip dieses induktiv unterstützten Laser-Walzplattierens ist in Abb. 1 dargestellt. Konstruktion und Fertigung der Versuchsanlage wurden durch den Auftraggeber ausgeführt, Inbetriebnahme und Verfahrensentwicklung erfolgten am IWS. Die wesentlichsten Komponenten der mittels SPS gesteuerten Anlage sind:

- hydraulisch betriebener Walzenstock mit einem für die Verarbeitung von 12 mm breitem Schmalband profilierten Walzenpaar,
- 2 integrierte 25 kW HF-Generatoren zum prozessintegrierten Vorwärmen der Bänder,
- zuschaltbarer 6 kW-CO<sub>2</sub>-Laser, welcher in den Walzspalt justiert und über einen Facettenspiegel zu einer 12 mm breiten Linie fokussiert wird,

- Einrichtungen zum Richten und Führen der weichgeglühten Ausgangsbänder,
- fliegende Schere für den Zuschnitt des walzplattierten Bandes.

Die 12 mm breiten und 3,0 bzw. 1,5 mm dicken, weichgeglühten Ausgangsbänder lagen in Form von Coils vor (ca. 80 m Gesamtlänge).

Während des Prozesses erhitzt der Laserstrahl nur die beiden zu fügenden inneren Oberflächen der unmittelbar vorher auf Temperaturen von 600 - 700 °C erwärmten Bänder. Dadurch lokalisiert sich die Verformung im Walzspalt weitgehend nur auf das (sehr begrenzte) hoch erwärmte Volumen, was zu einer leichten Wulstbildung in diesem Bereich führt. Die Durchführung des Prozesses erfolgt unter Schutzgas.

### Ergebnisse

Unter dem Einfluss des Walzendrucks und bei Vermeidung des schmelzflüssigen Zustandes bildet sich zwischen beiden Bändern ein gleichmäßiger, fehler- und grenzflächenfreier Gefügeübergang aus (s. Abb. 2). Eine Aufhärtung des Vergütungsstahles wird vermieden. Das bei Walzgeschwindigkeiten bis 14 m min<sup>-1</sup> plattierte Band, das unmittelbar nach dem Walzspalt kontinuierlich in gewünschte Stücklängen geschnitten wird, lässt sich im walzplattierten Zustand nahezu beliebig verformen und kann somit ohne eine anschließende Wärmebehandlung direkt weiterverarbeitet werden. Abb. 3 zeigt z. B. ein ohne Rissbildung sehr stark verdrehtes walzplattiertes Bandstück.

Die Anwendung dieser modifizierten Walzplattiertechnologie kann auf weitere Werkstoffkombinationen übertragen werden.

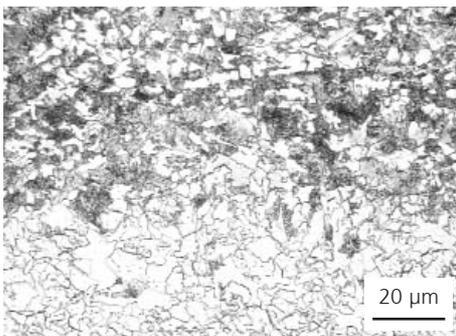


Abb. 2: Gefügeübergang in der Fügezone, oben teilperlitisiertes Gefüge des hochkohlenstoffhaltigen Stahls



Abb. 3: Walzplattiertes Band, Ansicht nach Tordierung

 Ansprechpartner  
Dipl.-Ing. Volker Fux  
Tel.: 0351 / 2583 243  
volker.fux@iws.fraunhofer.de



## Rissfreies Laserstrahlschweißen ohne Entfernung der Einsatzhärte- und Nitrierschicht

### Aufgabenstellung

Für rotationssymmetrische Kraftübertragungselemente im Bereich des Antriebsstranges von Kraftfahrzeugen ist das Laserstrahlschweißen wegen der hohen Prozessgeschwindigkeit und der geringen Wärmeeinbringung heute das Standardschweißverfahren. Die Bauteile sind aufgrund der Betriebsbelastungen und Verschleißbeanspruchungen in der Regel aus schwer schweißbaren, niedriglegierten Einsatz- oder Vergütungsstählen gefertigt. Zur Gewährleistung der Verschleißfestigkeit sind diese dann einsatzgehärtet, nitriert oder mit Kombinationsprozessen randschichtbehandelt.

Diese Randschichten beeinflussen die Schweißnahtausführung negativ und verlängern und verteuern die Herstellung dieser Bauteile enorm. Bisher werden die betreffenden Fügebereiche vor den Härteprozessen entweder aufwändig abgedeckt, oder die Schichten werden danach durch weitere Fertigungsschritte wie Hartdrehen oder Schleifen entfernt. Eine für das Laserstrahlschweißen obligatorische Feinreinigung zur Entfernung von Korrosionsschutzschichten schließt sich an.

Ziel ist es, die Bauteilkosten durch Einsparung von Bearbeitungsschritten deutlich zu verringern.

### Lösungsweg

Für Bauteile, die ausschließlich einsatzgehärtet sind, wird ein werkstoffangepasster Schweißzusatzwerkstoff zur Legierung der Schweißnaht verwendet. Um die u. U. extreme Aufhärtung in der Wärmeeinflusszone (WEZ) und die damit einhergehende Rissgefahr wirksam zu vermindern, wird der Schweißprozess bei Bedarf mit einer integrierten Wärmebehandlung kombiniert.

Bei nitrierten Oberflächen führt der beim Schweißen aus der Verbindungsschicht ausgasende Stickstoff in der Schmelze zu extremer Porenbildung. Diese Schichten werden daher mit einem gepulsten Laser entfernt. Gleichzeitig wird in diesem Arbeitsschritt die für den Einsatz von Schweißzusatzwerkstoffen nötige Kontur der Fugestelle erzeugt. Die zur Legierung der Fugestelle eingesetzten Zusatzwerkstoffe verfügen über ein erhöhtes Lösungsvermögen für Stickstoff. Eine Gegenüberstellung der am Bauteil erreichten Schweißnahtqualität ohne und unter Verwendung des Verfahrens zeigt Abb. 1.

Für carbonitrierte bzw. nitrocarburierte Randschichten ist zusätzlich zum Laserabtrag eine integrierte Wärmebehandlung erforderlich, da die Aufhärtung in der WEZ und die aufgrund des erhöhten Kohlenstoffgehaltes bestehende Rissgefahr abgesenkt werden müssen. Eine sehr gut ausgebildete Nahtoberfläche und eine im Schliff sichtbare, qualitativ hochwertige Schweißnaht zeigt Abb. 2.

### Ergebnisse

- Schweißen ohne mechanische Fügestellenvorbereitung der Bauteile in einer Aufspannung
- Verwendung ein und desselben Lasers sowohl für das Abtragen als auch für das Schweißen
- Erzeugen rissfreier annähernd porenfreier Schweißnähte, Verbesserung der Schweißbarkeit bei kritischen Werkstoffkombinationen
- Einsparung von Fertigungsschritten, somit Reduzierung von Zeit und Kosten

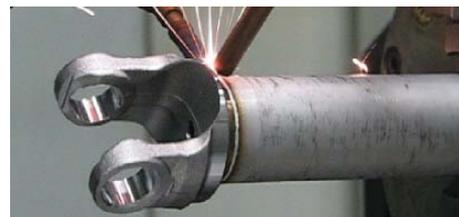


Abb. 1: Lasergeschweißtes Bauteil mit nitriertem Lenkrohr (oben) und Querschliffe von Schweißnähten  
links: Nitrierschicht nicht entfernt, rechts: Nitrierschicht mit Laser abgetragen



Abb. 2: Carbonitriertes Bauteil nach kombiniertem Abtrag- und Schweißprozess

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Stefan Schrauber  
Tel.: 0351 / 2583 215  
stefan.schrauber@iws.fraunhofer.de





## Engspaltschweißen mit hohen Aspektverhältnissen mittels Faserlaser

### Aufgabenstellung

Das Strahlschweißen von größeren Anbindequerschnitten und hohen Aspektverhältnissen ist in den letzten Jahren durch die Entwicklung von Laserquellen mit immer besserer Strahlqualität erleichtert worden. So sind heutzutage Nahttiefen bis 10 mm bereits mit nur 4 kW Leistung problemlos im cw-Betrieb in einer Lage schweißbar. Sollen jedoch noch größere Tiefen verbunden werden, ist ein Engspalt-Mehrlagenverfahren nahe liegend. Dabei bleiben die Vorteile des Laserstrahlschweißens, wie etwa der geringe Wärmeeintrag und ein geringer Verzug durch die Nähte mit hohem Aspektverhältnis (Verhältnis Tiefe / Breite), erhalten und die Investitionskosten konstant. Nachteilig ist jedoch die bei großen Nahttiefen erforderliche Spaltbreite, da sowohl der Laserstrahl als auch der Schweißzusatzwerkstoff und ggf. dessen Düse kollisionsfrei und positionsgenau auch in der untersten Lage zugeführt werden müssen. Die Folgen sind eine verringerte Effektivität des Prozesses und eine reduzierte Prozessfähigkeit.

### Lösungsweg

Durch Einsatz eines Faserlasers mit hoher Strahlqualität kann einerseits die Strahldivergenz gesenkt werden, was deutlich geringere Öffnungswinkel des Spalts zulässt. Andererseits sind geringere Rohstrahldurchmesser einsetzbar, was eine höherfrequente Strahlablenkung mittels kleinerer Ablenkspiegel ermöglicht. Diese Strahloszillation verbessert die Prozessfähigkeit signifikant.

Die Auslenkung des Laserstrahls quer zur Schweißrichtung kann nun eingestellt werden, so dass die Spaltkanten direkt aufgeschmolzen werden, was Bindefehler vermeidet. Zusätzlich wird die Zuführung des Schweißzusatzwerkstoffes stabilisiert, da der schnell bewegte Strahl den Zusatzdraht auch dann trifft, wenn dieser nicht ideal in der Nahtmitte läuft (Abb. 1).

### Ergebnisse

In Hochgeschwindigkeits-Videoaufnahmen konnte gezeigt werden, dass durch Einsatz der Strahloszillation eine vertikale Fehlposition des Drahtes unkritisch wird. Bei zu hoch eingestelltem Draht kann dieser nicht am Prozess vorbeilaufen, das Drahtende wird statt dessen automatisch vom querpendelnden Strahl »portioniert«. Es entsteht quasi ein Sprühprozess (Abb. 2). Die Größe der Tropfen ist dabei über das Verhältnis von Ablenkefrequenz und Drahtvorschub direkt einstellbar.

Versuche mit einem 4 kW Faserlaser (Strahlparameterprodukt  $< 2 \text{ mm mrad}$ ) an Baustahlproben mit Nahttiefen zwischen 20 und 45 mm zeigen, dass der Gesamt-Öffnungswinkel des Spalts auf unter  $7^\circ$  reduziert werden kann, (Abb. 3 links). Auch die Anpassung der Energieverteilung war realisierbar (Abb. 3 rechts). An der Spaltwand abgelagerte Oxid- bzw. Zunderschichten, die sonst Bindefehler begünstigen, wurden dadurch direkt aufgeschmolzen. Auf die sonst nach jeder Lage nötige Entfernung der Schichten konnte somit verzichtet werden.

Die Kombination aus Faserlaser, Strahloszillation und Engspalt verbessert damit die Effektivität und Prozessfähigkeit beim Schweißen von großen Anbindequerschnitten im Mehrlagenverfahren.

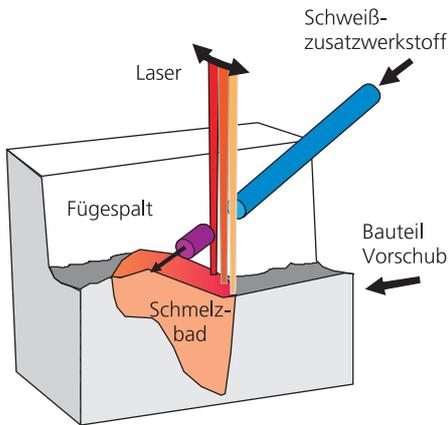


Abb. 1: Schematische Schnitt-Darstellung der Drahtportionierung durch die Strahloszillation

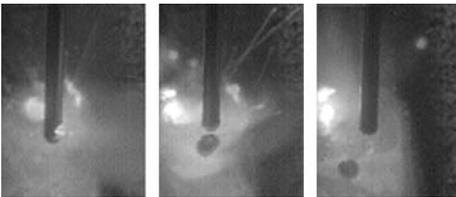


Abb. 2: Hochgeschwindigkeits-Videosequenz Drahtportionierung (Frequenz Strahloszillation: 100 Hz, Auslenkung: 2 mm)

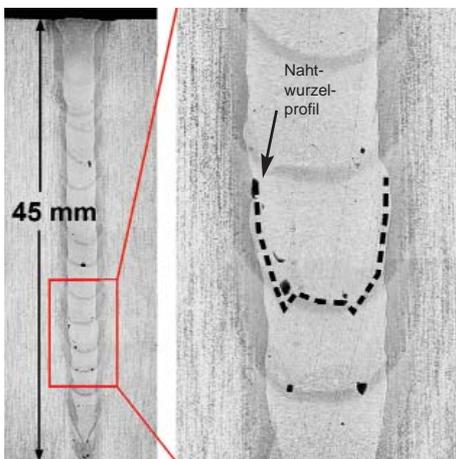


Abb. 3: Querschliff Mehrlagenschweißnaht, Material: Baustahl, Anzahl Lagen: 15, Zusatzdraht: G CrMo1Si

Ansprechpartner  
Dipl.-Ing. Gunther Göbel  
Tel.: 0351 / 2583 211  
gunther.goebel@iws.fraunhofer.de



## Laserstrahlgeschweißte Patchworkstrukturen - innovative Lösungen für den Karosseriebau

### Aufgabenstellung

Die Erhöhung der Belastbarkeit und Steifigkeit bei gleichzeitiger Massereduzierung von Blechbauteilen im Automobilbau führt zwangsläufig zu Werkstoff- und Konstruktionskonzepten, bei denen der Materialeinsatz der realen Belastung angepasst werden muss.

Hier bietet das Patchwork-Verfahren einen neuen Ansatz zur effektiven lokalen Bauteiloptimierung. Das Prinzip beruht auf der Minimierung der Blechdicke und der gezielten Verstärkung der Grundplatte durch das Aufbringen eines kleineren Patchbleches in Bereichen mit hoher mechanischer Beanspruchung. Im Gegensatz zu bekannten Verfahren erfolgt das Fügen beider Bleche im ebenen Zustand. Anschließend wird der entstandene Patchverbund umgeformt. Zielstellung der Entwicklung ist es, über die Gestalt des Patchbleches sowohl die Umformbarkeit des Patchverbundes im Fertigungsprozess als auch die Bauteilbeanspruchbarkeit zu optimieren.

### Lösungsweg

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IWU wurden im Rahmen von grundlegenden Untersuchungen die Fertigungsschritte Gestaltung, Laserstrahlschweißen und Hydroumformen analysiert. Zur Vermeidung eines Versagens während der Umformung wurden die funktionsangepasste Gestaltung der Patchgeometrie sowie die Gestaltung der Randbereiche des Patches mittels FE-Simulation optimiert und versuchstechnisch verifiziert (Abb. 1).

Durch den Einsatz der Laser-Remote-Schweißtechnologie können an die Beanspruchung und die Patchform angepasste Nahtkonturen effizient

erzeugt werden. Die hohe Nahtfestigkeit garantiert dabei eine sichere Übertragung der Umformkräfte und eine einwandfreie Bauteilfunktion im Betrieb. Bei Einsatz hochfester Feinbleche können die Nahtduktilität mit einer prozessintegrierten induktiven Wärmebehandlung signifikant verbessert und umformoptimierte Nahteigenschaften eingestellt werden.

### Ergebnisse

Im Rahmen der Arbeiten wurden die Fertigungsschritte Gestaltung, Laserstrahlschweißen und Hydroumformen untersucht und die Voraussetzungen für die Nutzung der Vorteile der Laser-Patchwork-Technik geschaffen. Dies sind insbesondere:

- die Einsparung von Prozessschritten (Umformen der Einzelbleche, Fügen von gekrümmten Strukturen),
- reduzierte Anforderungen an Zuschnitt und Positionierung sowie
- die Herstellbarkeit von Strukturen mit hoher Beanspruchbarkeit bei minimiertem Gewicht.



Abb. 1: Umgeformtes Modellteil mit optimierter Patch- und Schweißnahtkontur



Abb. 2: Demonstrator Motorhaube mit randentspanntem Patch

Es konnten Demonstratoren beanspruchungsgerecht ausgelegt, qualitätsgerecht lasergeschweißt und erfolgreich umgeformt werden. Exemplarisch erfolgte u. a. die Herstellung einer Modellmotorhaube mit Patch zur Schlossverstärkung (Abb. 2).

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Axel Jahn  
Tel.: 0351 / 2583 237  
axel.jahn@iws.fraunhofer.de





## Automatisiertes Clipschweißen an Flugzeugrumpf-Panels

### Aufgabenstellung

Das Laserstrahlschweißen ist bereits als zuverlässiges Fügeverfahren für Stringer-Haut-Verbindungen (Längsversteifungen) für Passagierflugzeuge industriell im Serieneinsatz. Clips, welche die Umfangsstabilität des Rumpfes gewährleisten, werden derzeit noch genietet. Ein Hautfeld des Airbus A318 zum Beispiel wird mit ca. 170 solcher Clips bestückt. Daraus resultieren für den Flugzeughersteller ein enormer Fertigungszeitaufwand und damit verbunden hohe Kosten.

Vor diesem Hintergrund sollen Möglichkeiten untersucht werden, das Laserstrahlschweißen auch auf die Verbindung der Clips mit dem Hautfeld auszudehnen.

### Lösungsweg

Für das Schweißen von Clip-Haut-Verbindungen ist eine neue Spanntechnik entwickelt worden, die das Handling der Bauteile übernimmt.

Diese Spanntechnik, in Abb. 1 dargestellt, nimmt zunächst die einzelnen Clips aus einem Magazin auf und platziert diese dann auf dem Hautfeld. Die Herausforderung dabei besteht darin, die Clips exakt auf den im Hautfeld vorgesehenen Schweißsockeln zu positionieren. Die messtechnische Erfassung der einzelnen Aufsetzpunkte erfolgt mit Hilfe eines Triangulations-

sensors. Ein spezieller Auswertalgorithmus liefert als Ergebnis die Eckpunkte des Sockels. Für die vollständige geometrische Bestimmung der einzelnen Aufsetzpunkte fehlt jetzt nur noch die Ausrichtung der Clips zu den benachbarten Stringern. Zur Bestimmung dieser Position kommt ein Abstandssensor zum Einsatz. Anhand der Messergebnisse der einzelnen Sensoren erfolgt die Positionierung der Clips. Der zum Schweißen erforderliche Anpressdruck wird pneumatisch erzeugt.

Die Ausrichtung der Schweißoptik erfolgt ebenfalls anhand von Sensordaten. Hierfür wird ein weiterer Abstandssensor direkt am Schweißkopf installiert. Anhand dieses Messergebnisses kann der Fokuspunkt des Laserstrahles exakt zur Schweißposition ausgerichtet werden.

Der zum Schweißen erforderliche Zusatzwerkstoff wird im Vorfeld am Clip befestigt. Die Zufuhr des Prozessgases erfolgt durch in die Spannbacken integrierten Schlitzdüsen. Das Gas strömt dabei direkt am Clip entlang senkrecht nach unten und stellt somit die Abschirmung des Schmelzbades von der Umgebungsluft sicher.

### Ergebnisse

Nach der Inbetriebnahme ist die Anlagentechnik an Demonstratorbauteilen erprobt worden. Dazu sind auf die im Voraus bereits mit Stringern bestückten Hautfelder die einzelnen Clips aufgeschweißt worden (Abb. 2). Die integrierte Sensorik ermöglichte ein reproduzierbares Positionieren und Spannen der Clips. Abb. 3 zeigt ein für die Schweißergebnisse typisches Nahtbild.

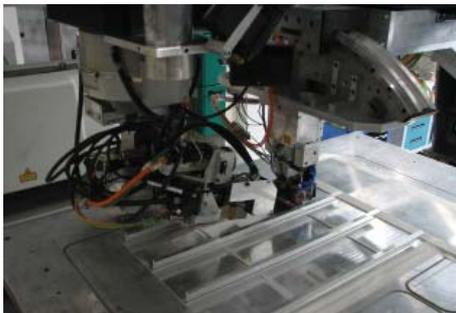


Abb. 1: Versuchsaufbau zum automatisierten Clipschweißen



Abb. 2: Beispiel für ein laserstrahlgeschweißtes Hautfeld mit Stringern und Clips

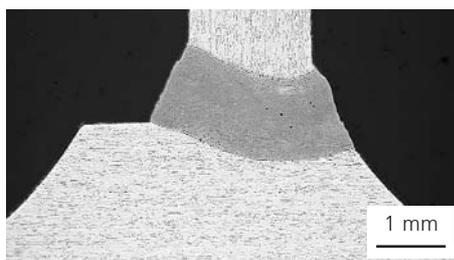


Abb. 3: Querschliff Clip-Haut-Verbindung



Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jens Liebscher  
Tel.: 0351 / 2583 288

jens.liebscher@iws.fraunhofer.de



## Verbesserung der Schadenstoleranz laserstrahlgeschweißter Stringer-Haut-Verbindungen

### Aufgabenstellung

Laserstrahlgeschweißte Stringer-Haut-Verbindungen werden erfolgreich im Unterrumpfbereich der Airbusmodelle A318 und A380 eingesetzt. Ein Hemmnis für den Einsatz gewichts- und kostensparender laserstrahlgeschweißter metallischer Integralschalen im Oberrumpf stellt das im Vergleich zu genieteten oder Verbund-Strukturen ungünstigere Schadenstoleranzverhalten dar. In einer geschweißten Integralstruktur können sich unter der im Oberrumpf dominierenden Längszugbeanspruchung Umfangsrisse unmittelbar vom Hautblech in das Versteifungselement Stringer ausbreiten. Somit besteht die Herausforderung, durch eine geeignete Stringerbauweise und ein optimales Schweißnahtdesign die Rissausbreitung in den Stringer zu verzögern bzw. vollständig zu verhindern.

### Lösungsweg

Im Rahmen eines Forschungsprojektes mit der Airbus Deutschland GmbH wurde ein neuartiger Y-Stringer entwickelt, welcher über die zwei Schenkel mit dem Hautblech stoffschlüssig verschweißt wird. Für den Lastabtrag durch den Stringer existieren somit zwei separate Pfade. An einseitig gekerbten Proben mit einem längs aufgeschweißten Stringer (Abb. 2) wurde im Rissfortschrittsversuch unter schwelldender Zugbelastung (max. Hautspannung 90 MPa,  $R = 0,1$ ) das Versagensverhalten des Y Stringers im Vergleich zu einem L-förmigen Standardstringer getestet.

Außerdem wurde ein Y-Stringer mit jeweils durch Aussparungen (»Mouse holes«) periodisch unterbrochener Schweißnaht untersucht. Die Länge

der Mouse holes  $L_M$  war gleich der Länge der Schweißnahtsegmente und die Mouse holes waren in den beiden Schenkeln um den Abstand  $L_M$  versetzt angeordnet. Als Bewertungsmaßstab für das Versagensverhalten diente die im Hautblech ohne Anriss des Stringers erreichbare Risslänge  $a_{Str}$ .

### Ergebnisse

Abb. 1 zeigt die Risslänge  $a_{Str}$  in Abhängigkeit von der Stringerbauweise. Während sich L-Stringer und Y-Stringer ohne Mouse holes in ihrem Versagensverhalten kaum unterscheiden - Anriss im Stringer durch Verzweigung des Hauptrisses unmittelbar nach Erreichen des Stringers - zeigt der Y-Stringer mit Mouse holes ein deutlich günstigeres Verhalten. Der Versagensablauf wird in Abb. 3 deutlich. Bei Annäherung des Hauptrisses an den vorderen Stringerschenkel erfolgt ein Trennbruch zwischen Schweißnaht und Hautblech. Der Hauptriss läuft unter dem Stringer hindurch und verlässt diesen durch das versetzt angeordnete Mouse hole im hinteren Stringerschenkel. Die Schädigung des Stringers erfolgt schließlich durch Bildung und Ausbreitung eines Sekundärisses im Mouse hole.

Die Ergebnisse bestätigen, dass mit einer Unterbrechung der Schweißnaht durch s. g. Mouse holes definierter Anordnung und Geometrie sowie einem optimalen Festigkeits- und Verformungsverhalten des Schweißgutes eine deutliche Verbesserung der Schadenstoleranz geschweißter Stringer-Haut-Verbindungen möglich ist.

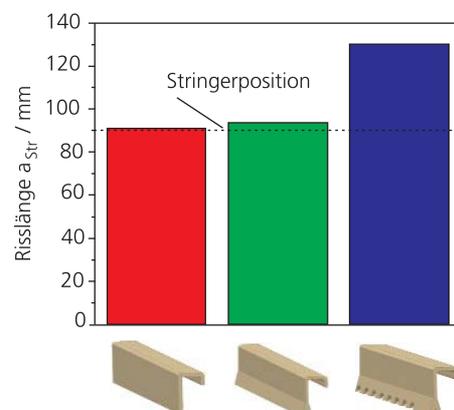


Abb. 1: Versagenskritische Risslänge für unterschiedliche Bauweisen



Abb. 2: 1-Stringer-Probe, Y-Stringer mit Mouse holes

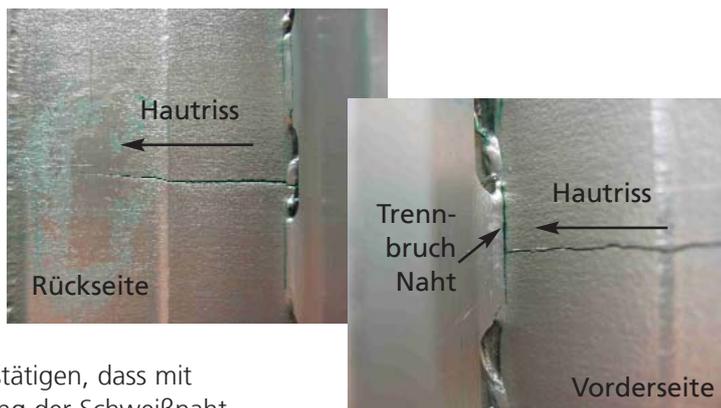


Abb. 3: Rissverlauf unter dem Y-Stringer mit Mouse holes

Ansprechpartner

Dr. Bernd Winderlich  
Tel.: 0351 / 2583 224  
bernd.winderlich@iws.fraunhofer.de





## Erzeugung verschleißfester und ermüdungsresistenter Randschichten auf Titanwerkstoffen

### Aufgabenstellung

Hochfeste Titanlegierungen, wie z. B. Ti-6Al-4V und Ti-10V-2Fe-3Al, eignen sich aufgrund ihrer hohen spezifischen Festigkeit, ausgezeichneten Dauerschwingfestigkeit und guten Korrosionsbeständigkeit bestens für den Einsatz hochbeanspruchter Bauteile in Luft- und Raumfahrt, in der Energieerzeugung und im Off-Shore-Bereich. Das Lasergasnitrieren bietet die Möglichkeit, die im Allgemeinen unzureichende Beständigkeit dieser Legierung gegen abrasiven, erosiven oder kavitativen Verschleiß zu verbessern. Die industrielle Anwendbarkeit dieses Verfahrens wird jedoch erschwert oder gar verhindert, weil es infolge des Lasergasnitrierens zur Rissbildung kommen kann und die zyklische Belastbarkeit beeinträchtigt wird.

Durch Aufklärung der Struktur-/Eigenschaftsbeziehungen sollten deshalb Prozessbedingungen gefunden werden, die eine deutliche Verbesserung der Verschleißbeständigkeit der Titanlegierungen ermöglichen ohne ihre ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften zu beeinträchtigen.

### Lösungsweg

Zur Erzielung einer hohen Reproduzierbarkeit und Kontrollierbarkeit des Bearbeitungsprozesses wurden zum Lasergasnitrieren eine im IWS entwickelte Schutzgasglocke und ein 6 kW CO<sub>2</sub>-Laser eingesetzt. Dabei wurde das Stickstoffangebot ausgehend von reiner Inertgasatmosphäre in

feinen Stufen variiert und die Struktur, die mechanischen Eigenschaften und das Verschleißverhalten der entstandenen lasergasnitrierten Randzonen ermittelt.

### Ergebnisse

Nach dem Lasergasnitrieren von Ti-6Al-4V entstehen harte und verschleißbeständige Randschichten mit einstellbaren Dicken im Bereich zwischen 0,1 mm und 1,0 mm (Abb. 3). Die Härte der erzeugten Randschichten steigt im Bereich geringer Stickstoffgehalte (0 % bis etwa 13 %) mit Zunahme des Stickstoffangebotes bis auf etwa 570 HV<sub>0,1</sub> an, bevor sie für höhere Stickstoffgehalte ein Plateau durchläuft. Am Beispiel des Kavitationsverschleißtests ist zu erkennen, dass gleichzeitig die Verschleißbeständigkeit erheblich ansteigt (Abb. 1).

Durch konventionelles Lasergasnitrieren wird die üblicherweise sehr hohe Dauerschwingfestigkeit der Legierung Ti-6Al-4V stark herabgesetzt. Die Untersuchungen zeigen, dass diese Eigenschaftsdegradierung maßgeblich durch den Oberflächenzustand und spröde Titanitridphasen in der lasergasnitrierten Schicht verursacht wird. Durch Vermeidung der Titanitridbildung beim Lasergasnitrieren und Optimierung des Oberflächenzustandes ist es gelungen, sogar die Dauerschwingfestigkeit des Ausgangsmaterials zu übertreffen (Abb. 2).

Die überraschende Eigenschaftskombination optimalen Verschleißverhaltens gepaart mit hoher Dauerschwingfestigkeit durch interstitiell gelösten Stickstoff eröffnet neue Wege zur Verbesserung der Verschleißbeständigkeit zyklisch hochbelasteter Bauteile aus Titanlegierungen.

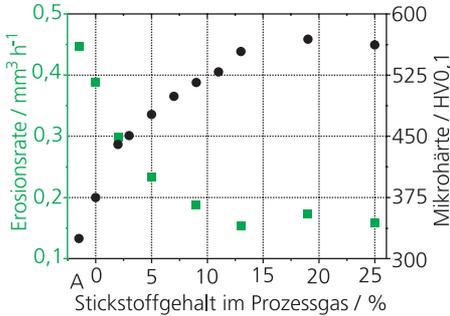


Abb. 1: Härte und Erosionsrate im Kavitationsverschleißtest in Abhängigkeit vom Stickstoffgehalt im Prozessgas

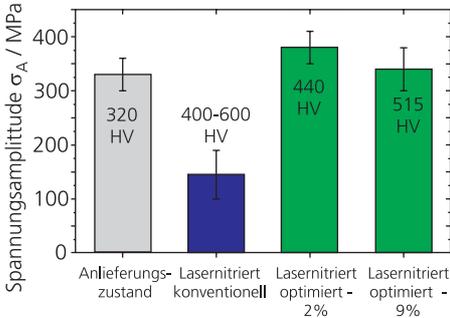


Abb. 2: Optimierung der Dauerschwingfestigkeit durch Vermeidung der Titanitridbildung (Biege-Schwell-Versuch, R = - 0,1)

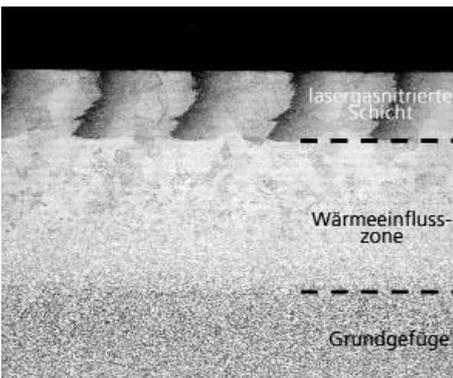


Abb. 3: Querschliff durch lasergasnitriertes Ti-6Al-4V



Ansprechpartner

Dr. Jörg Kaspar  
Tel.: 0351 / 2583 216

joerg.kaspar@iws.fraunhofer.de



## Hochfeste, transparente Glas-Metall-Klebungen für das Bauwesen

### Aufgabenstellung

Im konstruktiven Glasbau werden gegenwärtig als Klebstoffe vor allem Silikone, silylierte Polyether und Polyurethane verwendet. Um bauaufsichtliche Zulassungen zu erreichen, muss eine Vielzahl von Prüf- und Alterungsuntersuchungen vorgelegt werden. Im Glasbau wird besonders nach transparenten und festen Klebungen gesucht.

### Lösungsweg

Im Rahmen eines PROINNO-Forschungsprojektes wurden mehrere tausend Glas-Metall- und Glas-Glas-Klebungen (Abb. 1) hergestellt, gealtert und geprüft. Als Klebstoffe wurden modifizierte, photoinitiert härtende Acrylate eingesetzt. Das Institut für Baukonstruktion der TU Dresden übertrug die Ergebnisse aus den Prüfkörperversuchen auf das Kleben verschiedener anwendungsbezogener Bauteile und führte Simulationsrechnungen durch.

### Ergebnisse

Beim verwendeten Floatglas wurden auf der Atmosphärenseite sowohl bei der Bestimmung der Anfangsfestigkeiten als auch nach Wasserlagerung im Vergleich zur Badseite erhöhte Festigkeiten erreicht. Deshalb wurde bei allen Versuchen an der Atmosphärenseite des Floatglases geklebt.

Acrylatklebstoffe mit niedrigerem E-Modul wurden dabei für linienförmige Klebungen ausgewählt, und solche mit höherem E-Modul für punktförmige. Die Untersuchung der Abhängigkeit der Klebfestigkeit von

der Klebschichtdicke ergab eine optimale Schichtdicke von 0,2 mm. Bei der Oberflächenvorbehandlung brachte beim Glas das Pyrosilverfahren, beim Metall das SACO-Verfahren die besten Ergebnisse.

Zur Alterung der Klebungen wurden bei vorgesehener Anwendung im Innenraum neben der Wasserlagerung, UV-Bestrahlungen, SUN-Test, Reinigungsmitteltest sowie Klimawechseltest durchgeführt. An Materialkombinationen für geklebte Anwendungen im Außenbereich kamen Salzsprühnebeltest und SO<sub>2</sub>-Test hinzu. Die photoinitiert härtenden Acrylate waren vor allem gegenüber permanentem Wasser- und Reinigungsmiteleinfluss empfindlich. Bei Temperaturen von 80 °C zeigte sich ein starker Festigkeitsabfall, während aufgrund zugesetzter Stabilisatoren eine UV- oder auch Klimawechsellagerung kaum zu Festigkeitsabfällen führte. Durchgeführte Langzeitalterungen (Abb. 2) bestätigten die Ergebnisse aus den Zeitraffermethoden.

Es konnte nachgewiesen werden, dass die beschriebenen Acrylate als Klebstoffe im konstruktiven Glasbau geeignet sind, wenn stehende Feuchtigkeit vermieden, eine nachgiebige Halterung verwendet, eine zwängungsarme Lagerung der Scheibenebene geplant und eine ausreichend große Klebfläche vorgesehen werden.

Gegenwärtig werden mit Partnern in einem DFG-Projekt Glas-Kunststoff-Klebungen für das Bauwesen untersucht.



Abb. 1: Zylinderzugprüfkörper Glas / Metall

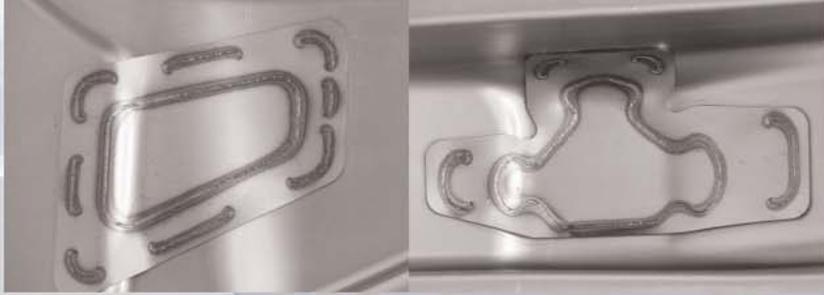
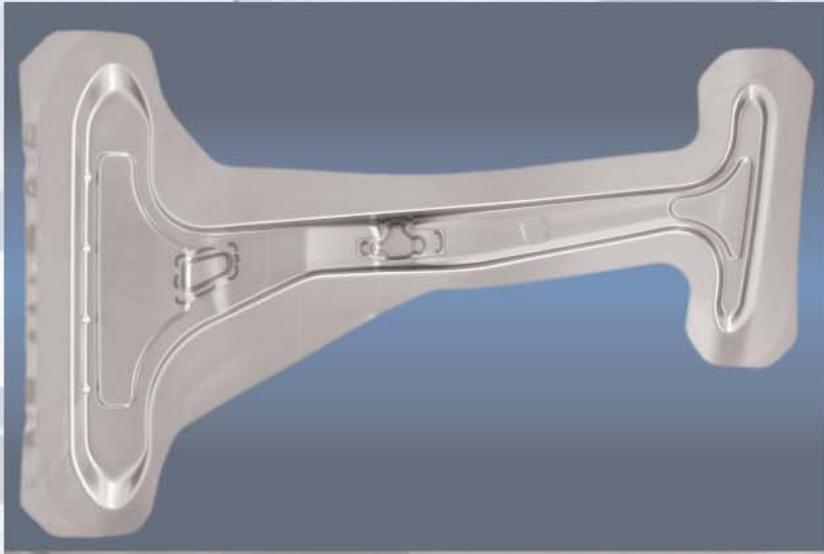


Abb. 2: Freibewitterungsstand mit Zylinderprüfkörpern (oben) und Druckscherprüfkörpern (unten)

Ansprechpartner

Dr. Irene Jansen  
Tel.: 0351 / 46 33 5210  
irene.jansen@iws.fraunhofer.de





## Forschungs- und Entwicklungsangebot: Laserabtragen und -trennen, Systemtechnik

**Redaktion:** Welche neuen Ergebnisse gibt es zum Laserstrahlschneiden mit Faserlasern?

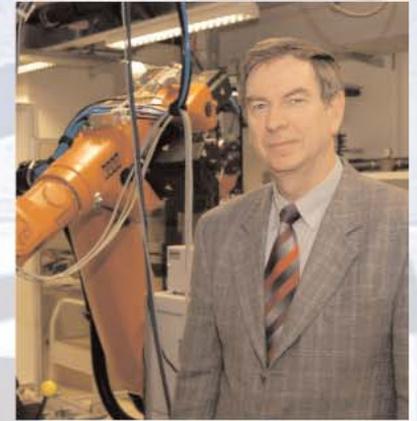
**Dr. Morgenthal:** Schon im letzten Jahr hatte ich darauf hingewiesen, dass die Palette der besonders für das Laserstrahlschneiden geeigneten Laser mit dem Faserlaser einen interessanten Zuwachs bekommen hat. Durch die einzigartige Kombination der Wellenlänge des Festkörperlaser, die von metallischen Materialien gut absorbiert wird, mit höchster Strahlqualität und Leistung im Kilowattbereich ist es uns im vergangenen Jahr erstmals gelungen, das Laserstrahlschneiden als abtragenden Prozess ohne Gasunterstützung an metallischen Werkstoffen zu realisieren. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, zumindest bei geringen Materialdicken die Teiletaktzeit für den Formzuschnitt durch Nutzung der Remote-Technologie deutlich zu verkürzen.

**Redaktion:** Gibt es neuen Überführungen zum Laserstrahlschneiden?

**Dr. Morgenthal:** Das Stichwort Remote-Technologie wird für die Lasermaterialbearbeitung fast immer mit dem Laserstrahlschweißen assoziiert. Aus diesem Grund freut es uns besonders, dass wir gemeinsam mit Kooperationspartnern eine Remote-Technologie für das Laserstrahlschneiden erfolgreich in die Industrie überführen konnten. Mit dieser Entwicklung konnte der Formzuschnitt von Luftsackteilen für die Airbagfertigung auf eine neue technologische Basis gestellt werden. Die Nachteile des bisherigen Mehrlagenschnittes werden vermieden, bei gleichzeitiger Qualitätsverbesserung und Produktivitätssteigerung. Ich glaube, die drei im Jahr 2007 installierten Anlagen bei Anwendern der bisherigen Technik belegen dies deutlich.

**Redaktion:** Welche Bedeutung hat der Faserlaser für die Verfahren der Mikrobearbeitung?

**Dr. Morgenthal:** Für die Lasermikrobearbeitung ist es uns gelungen, mit der Ausrichtung auf Forschung und Entwicklung für die Bio- und Medizinsystemtechnik vom Innovationsschub durch die Querschnittstechnologie »Biotechnologie« zu profitieren. In diesem Bereich können wir unseren Schwerpunkt, die Lasermikrotechnik, in vielfältiger Weise mit der Werkstoffwissenschaft, der Oberflächentechnik und der Elektronik verknüpfen. Durch die Kombination von biologischen und technischen Komponenten in einem Hybrid-System entstehen neuartige Problemlösungen wie Lab-on-a-Chip-Systeme. Eine wichtige Voraussetzung für diese Arbeiten ist die hochwertige Geräteausstattung des IWS, auch mit Lasern für die Fein- und Mikrobearbeitung, bei denen Faserlaser zunehmend die bisherigen Lasertypen ersetzen.



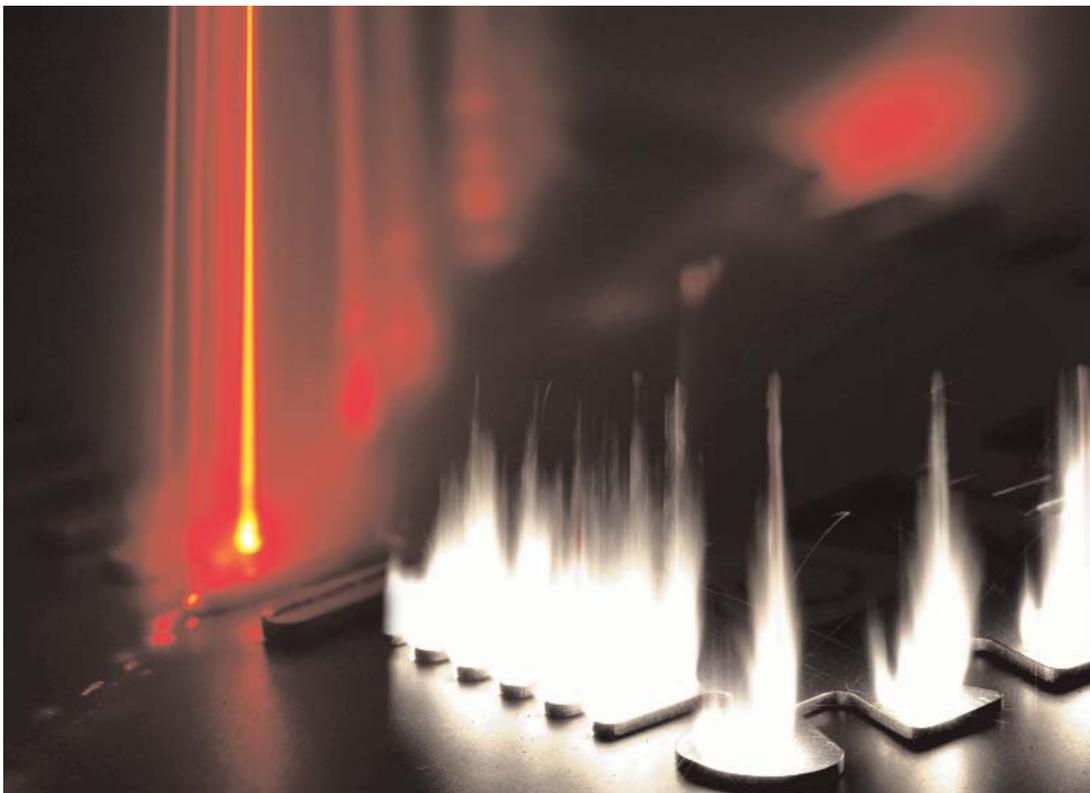
*Wer seine Ziele  
nicht an den Sternen festmacht,  
kommt nicht mal auf den Kirchturm.*  
Patrick Swayze



**Dr. Lothar Morgenthal**  
Abteilungsleiter  
(Tel. 2583 322,  
lothar.morgenthal@iws.fraunhofer.de)

### Beispiele aus den Arbeiten 2007

1. Schneiden mit Faserlasern 44
2. Remote-Laserstrahlschneiden in der Praxis 45
3. Remote-Laserstrahlschneiden metallischer Werkstoffe 46
4. Neues Mikrofluidikkonzept zur Verbesserung der Vergleichbarkeit bei Untersuchungen mit zellbasierten Lab-on-a-Chip-Systemen 48
5. Terahertz-Strahlung enthüllt Geheimnisse von Kunstobjekten 49





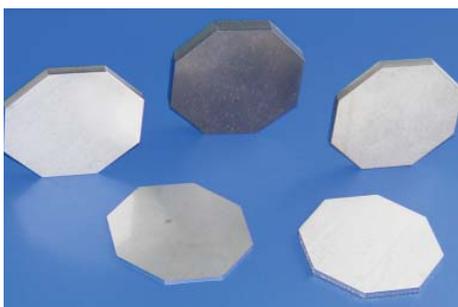
**Dr. Thomas Himmer**  
Gruppenleiter Schneiden  
(Tel. 2583 238,  
thomas.himmer@iws.fraunhofer.de)

### Laserstrahlschneiden

Für das Laserstrahlschneiden aller in der modernen Fertigung eingesetzter Werkstoffe stehen am IWS CO<sub>2</sub>-Laser und Festkörperlaser, insbesondere Faserlaser, unterschiedlicher Leistung und Strahlqualität zur Verfügung. Forschungsschwerpunkt ist die Technologieentwicklung, beispielsweise als Prozess- oder Teiletaktzeitoptimierung für konkrete Bauteile. Dafür können hochdynamische 2D- und 3D-Schneidmaschinen mit Lineardirektantrieben sowie moderne Roboter genutzt werden. Für die Strahlfokussierung werden neben kommerziellen Bearbeitungsoptiken auch Sonderlösungen und Eigenentwicklungen, wie z. B. Scannersysteme für die Remote-Bearbeitung eingesetzt.

Wir bieten an:

- Technologie- und Systementwicklung, -erprobung und -optimierung,
- Vergleichstests,
- Machbarkeitstests mit Musterfertigung.



Laserstrahlschneiden mit Faserlasern



**Dr. Udo Klotzbach**  
Gruppenleiter Mikrobearbeiten  
(Tel. 2583 252,  
udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de)

### Mikrostrukturieren mittels Laser

Die umfangreiche und moderne Ausstattung sowie das fundierte Know-how ermöglichen angewandte Forschung zur Mikro- und Feinbearbeitung mit Laserstrahlen für die Miniaturisierung von Funktionselementen im Maschinen-, Anlagen-, Fahrzeug- und Gerätebau sowie die Bio- und Medizintechnik. Beispiele sind 3D-Strukturen im Sub-mm-Bereich und Flächenstrukturen an Polymeren, Metallen, Keramiken oder quarzischen und biokompatiblen Werkstoffen.

Wir bieten an:

- Mikrostrukturierung unterschiedlicher Werkstoffe mit Excimer-, Faser- und Nd:YAG-Lasern,
- Mikrobohren mit hohen Aspektverhältnissen und unterschiedlichen Bohrungsgeometrien,
- Reinigen mit Lasertechnik.



Mobile Anlage zur rutschhemmenden Ausrüstung von Natursteinen



**Dr. Lothar Morgenthal**  
Gruppenleiter Systemtechnik  
(Tel. 2583 322,  
lothar.morgenthal@iws.fraunhofer.de)

### Systemtechnik, Fertigungstechnik

Neue oder weiterentwickelte Technologien der Lasermaterialbearbeitung sowie die optimale technische und wirtschaftliche Nutzung des Leistungsvermögens und der Qualität neuartiger Laserstrahlquellen erfordern oft den Einsatz neuartiger Systemtechnik bzw. systemtechnischer Komponenten für die Umsetzung am konkreten Bauteil. Ist diese Systemtechnik noch nicht kommerziell verfügbar, bieten wir die Entwicklung, Erprobung und den Demonstrations- oder Prototypaufbau solcher Lösungen an, z. B. für:

- Bearbeitungsoptiken mit erweiterter Funktionalität, wie Hochgeschwindigkeits- und / oder Präzisions-Strahlableitung für die Remote-Bearbeitung,
- Steuerungstechnik und CAD / CAM-Tools für die Remote- und »on the fly«-Bearbeitung,
- Systemtechnik und Software für die online-Prozesskontrolle bzw. -Überwachung bis hin zur Prozessregelung.



Scanneroptik für Faserlaser HF-SAO1.06(2D)



## Schneiden mit Faserlasern

### Aufgabenstellung

Eine Aufgabenstellung in der Lasermaterialbearbeitung ist das Schneiden dickwandiger Bauteile. Für das Schneiden mit Faserlasern als relativ neuer Strahlquelle gibt es kaum Anwendungserfahrungen. Fraunhofer IWS hat deshalb in letzter Zeit verstärkt Anstrengungen unternommen, den Schneidprozess mit Faserlasern genauer zu untersuchen, um Kunden wirtschaftlich attraktive und qualitätsgerechte Lösungen für ihre Schneidaufgaben anbieten zu können.

### Lösungsweg

Experimentell wurden Schneidparameter für das Laserstrahlschneiden von Edelstahl, Baustahl und Aluminium mit Faserlasern ermittelt und optimiert, um Aussagen über die erreichbare Kantenqualität, die zu erwartende Oberflächenqualität und Grathöhe der Schnittkanten zu treffen.

Weitere Forschungsziele waren Strategien zur Steigerung der Schneidgeschwindigkeit und zur Erhöhung der Schnittqualität. In diesem Zusammenhang wurden neue Düsengeometrien entwickelt und erprobt.

### Ergebnisse

Die Strahlung der Faserlaser hat im Vergleich zu den bisher für das Laserstrahlschneiden eingesetzten CO<sub>2</sub>-Lasern eine um den Faktor 10 geringere Wellenlänge. Das garantiert eine bessere Fokussierbarkeit und führt zu einer höheren Absorption an Metallen. Der Faserlaser bietet damit das Potenzial, die Schneidleistung des Lasers an metallischen Werkstoffen im Vergleich zum bisher genutzten CO<sub>2</sub>-Laser signifikant zu erhöhen. Für Materialdicken im Millimeterbereich konnte mit dem Faserlaser bei vergleichbarer Laserleistung und Schneidqualität mehr als die doppelte Schneidgeschwindigkeit erreicht werden. Dabei ist durch optimierte Prozessparameter bei fast allen Materialien eine gute Qualität der Schnittkanten zu erreichen (Abb. 2 und 3). Die weitere Verringerung der Schnittkantenrauheit steht im Mittelpunkt aktueller Forschungsarbeiten.

Mit ihrer exzellenten Schneidleistung und -qualität sowie hohen Effizienz aufgrund des 3-fach besseren Wirkungsgrades könnten Faserlaser für das Laserstrahlschneiden metallischer Materialien in Kürze eine Alternative zum bisher favorisierten CO<sub>2</sub>-Laser werden.

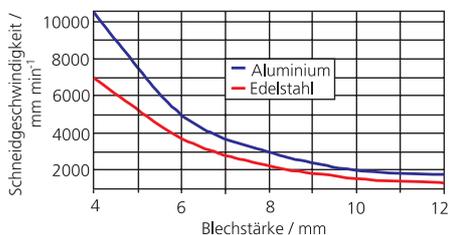


Abb. 1: Schnittgeschwindigkeiten beim Schneiden unterschiedlicher Materialien mit Faserlaser (YLR4000)

CO<sub>2</sub>-Laser  
P = 5 kW  
v = 550 mm min<sup>-1</sup>

Faserlaser  
P = 4 kW  
v = 450 mm min<sup>-1</sup>

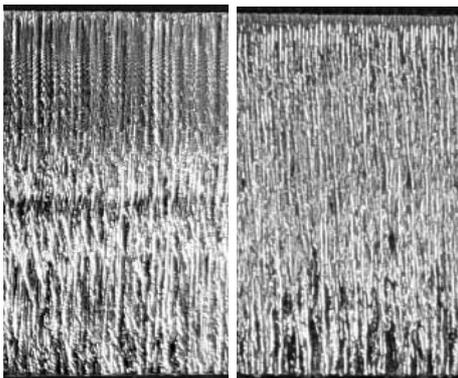


Abb. 2: Schnittkantenqualität von 15 mm dicken Edelstahlproben nach dem Schneiden mit CO<sub>2</sub>- und Faserlaser



Ansprechpartner

Dr. Thomas Himmer  
Tel.: 0351 / 2583 238  
thomas.himmer@iws.fraunhofer.de



Abb. 3: Schnittkantenqualität von Aluminium-, (links, Materialdicke 4 - 12 mm) und Edelstahlproben (rechts, Materialdicke 4 - 15 mm)



## Remote-Laserstrahlschneiden in der Praxis

### Aufgabenstellung

Neue Kraftfahrzeuge werden zunehmend mit einer Vielzahl von Airbag-Typen als Teil des Insassenschutzsystems bei Unfällen ausgerüstet. Diese Typenvielfalt erfordert besonders bei der Fertigung der Luftkissen flexible und hochproduktive Anlagentechnik (Abb. 1). Der Formschnitt dieser Luftkissenteile aus bis zu 3 m breiten Polyamidgewebefolien erfolgt nahezu ausschließlich durch gasunterstütztes Laserschneiden, da durch den thermischen Schnitt die Gewebekante verschmilzt und nicht ausfranst. In den letzten Jahren wurde die Produktivität des Laserschnitts durch die Entwicklung von Multilayer-Anlagen gesteigert. Auf ihnen können bis zu 20 Materiallagen gleichzeitig geschnitten werden. Die nach dem Mehrlagen-Schnitt erforderliche Separierung der teilweise noch durch Zwischenlagen voneinander getrennten Teile ist jedoch aufwendig. Außerdem ist die Schnittqualität der Einzellagen unterschiedlich, so dass je nach Qualitätsanforderungen die Lagenanzahl reduziert werden muss. Aufgrund dieser Nachteile des Mehrlagen-Schnitts wurde nach neuen fertigungstechnischen Lösungen gesucht. Ziel führend dabei war der Einsatz der Technologie des Remote-Laserstrahlschneidens.

### Lösungsweg

Bei der Remote-Bearbeitung wird der fokussierte Laserstrahl durch die schwenkbaren Umlenkspiegel einer Scanneroptik entlang der Schneidkontur auf dem Gewebe bewegt. Die Geschwindigkeit des Laserspots beträgt dabei einige Meter in der Sekunde, so dass der Formschnitt auch komplexer Teile in wenigen Sekunden abgeschlossen ist. Kombiniert mit einem kontinuierlichen Vorschub der

Gewebefolien und einer periodischen Pendelbewegung der Scanneroptik zur Abdeckung der Gewebefolienbreite kommt man so zu einer vorteilhaften systemtechnischen Lösung für diese Schneidaufgabe.

### Ergebnisse

Abb. 2 zeigt schematisch dieses vom IWS entwickelte neue Anlagenkonzept. Gemeinsam mit der Firma Held Systems Deutschland wurde nach diesem Prinzip eine neue Generation von kompakten, flexiblen und hochproduktiven Airbag-Laserschneidanlagen konstruiert und gebaut. Abb. 3 zeigt als eine Variante die Laseranlage »Contilas 2500 1Sc.« auf der das bis zu 2,5 m breite Gewebe bei Materialdurchlauf-Geschwindigkeiten von bis zu 20 m min<sup>-1</sup> mit Genauigkeiten von 0,5 mm geschnitten werden kann.



Abb. 1: Airbag - Musterteile



Abb. 2: Anlagenprinzip des Remote-Laserstrahlschneidens »on the fly«



Abb. 3: Laseranlage »Contilas 2500 1Sc.« der Firma Held Systems Deutschland GmbH für die Airbagproduktion

Mit den drei in die Industrie überführten Systemen konnten Produktivitätssteigerungen von 50 - 90 % gegenüber dem bisherigen Mehrlagenschnitt nachgewiesen werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Annett Klotzbach  
Tel.: 0351 / 2583 235

annett.klotzbach@iws.fraunhofer.de



## Remote-Laserstrahlschneiden metallischer Werkstoffe

### Aufgabenstellung

Mit modernen leistungsfähigen Lasern hoher Brillanz können viele Materialien mit Schnittgeschwindigkeiten getrennt werden, die selbst hochdynamische Schneidanlagen mit Lineardirektantrieben auf realen Bauteilkonturen bei weitem nicht erreichen, obwohl Beschleunigungen bis zur 4 fachen Erdbeschleunigung realisiert werden. Diese Diskrepanz zwischen maximal erreichbarer Schneidgeschwindigkeit und tatsächlicher Konturbearbeitungsgeschwindigkeit zeigt sich speziell im Dünnschneidbereich. So konnte am Fraunhofer IWS Elektroblech der Dicke 0,5 mm im geraden Schnitt mit  $100 \text{ m min}^{-1}$  bei gleichzeitig guter Kantenqualität getrennt werden (Abb. 1).

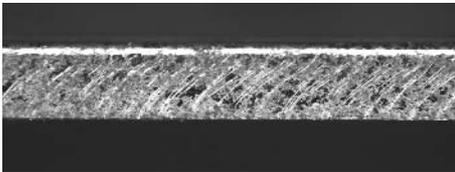


Abb. 1: Hochgeschwindigkeitsschneiden von Elektroblech im geraden Schnitt;  $P = 2500 \text{ W}$ ,  $v = 100 \text{ m min}^{-1}$ , Blechstärke  $d = 0,5 \text{ mm}$ , mittlere Rauheit der Schnittfläche  $R_a = 1 \mu\text{m}$

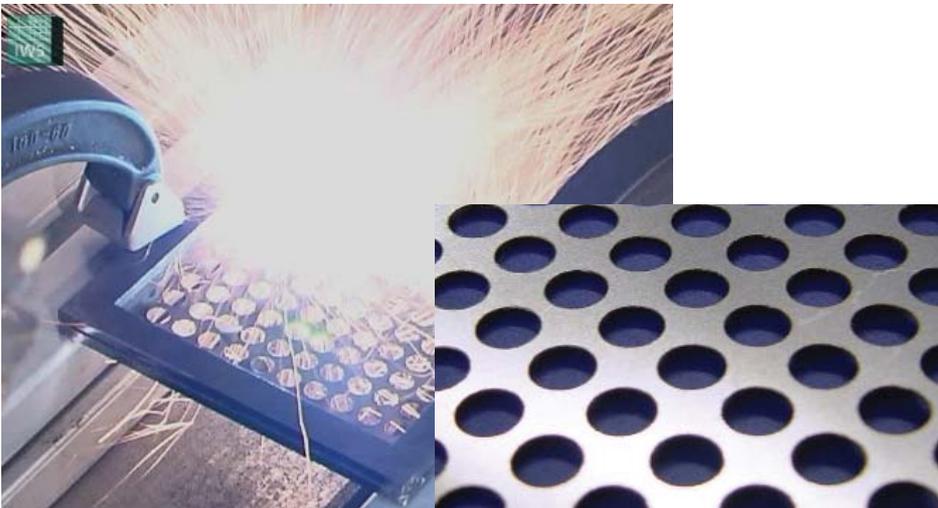


Abb. 2: Remote-Laserstrahlschneiden einer Lochmatrix (Blechstärke 0,2 mm)

Für komplexe Strukturen, beispielsweise Elektrobleche für Stator / Rotor-Pakete für elektrische Antriebe oder Generatoren, liegen die gemittelten Schneidgeschwindigkeiten jedoch nur bei etwa  $20 \text{ m min}^{-1}$ , vorausgesetzt, Schneidanlagen mit Linearantrieben werden eingesetzt. Mit konventionellen Linearschneidanlagen sinkt die effektive Konturgeschwindigkeit aufgrund des limitierten Beschleunigungsvermögens noch weiter ab.

Zielstellung der Forschungsarbeiten des Fraunhofer IWS war es deshalb, den Unterschied zwischen maximal erreichbarer Schnittgeschwindigkeit und effektiver Konturgeschwindigkeit zu verringern.

### Lösungsweg

Um die Produktivität des Schneidprozesses zu verbessern, wird geprüft, inwieweit die Erkenntnisse aus der Remotebearbeitung von Airbagmaterial auf die Bearbeitung von metallischen Materialien übertragen werden können. Derzeit sind Prozessuntersuchungen zum Remote-Schneiden mit Scanneroptiken Entwicklungsschwerpunkt des Fraunhofer IWS.

Für die Untersuchungen und Entwicklungen zum Remote-Laserschneiden setzt das Fraunhofer IWS Faserlasersysteme hoher Brillanz mit bis zu  $8 \text{ kW}$  Laserleistung ein. Von besonderem Interesse für das Laserschneiden sind dabei sogenannte Grundmode-Faserlaser im kW-Bereich. Diese Systeme sind zunehmend industriell verfügbar.



Alle für die Remote-Bearbeitung in Frage kommenden Lasersysteme können mit Strahlableitungssystemen für die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung gekoppelt und mit unterschiedlicher 2D- und 3D-Handlingstechnik (Portalanlagen, Roboter) mit leistungsfähiger Steuerungs- und Antriebstechnik kombiniert werden.

## Ergebnisse

Zur Demonstration des Potenzials des Remote-Laserstrahlschneidens wurde unter anderem eine Lochmatrix aus 100 Kreisen (Durchmesser 6,5 mm) in Metallbleche unterschiedlicher Blechstärke geschnitten (Abb. 2). In Abhängigkeit von der Blechstärke wurden Bearbeitungszeiten von 1,2 s (50 µm dicke Bleche) bis 2,6 s (200 µm dicke Bleche) erzielt. Es konnte eine gratfreie Schnittqualität bei einer Kreisformgenauigkeit besser als 0,1 mm erreicht werden. Durch den Einsatz der brillanten Faserlaser und hochdynamischer Strahlableitungssysteme wurden Konturschnitte mit effektiven Schnittgeschwindigkeiten über 100 m min<sup>-1</sup> erzeugt (Abb. 3). Im Unterschied zum klassischen Laserstrahlschneiden kann beim Remote-Laserstrahlschneiden auf die Prozess unterstützende Wirkung des Schneidgases weitgehend verzichtet werden. Die Grundlagen des Prozesses sind demzufolge eher in den klassischen Abtragprozessen zu suchen.

Im Rahmen der Förderinitiative BRIO-LAS des Bundesministeriums für Bildung und Forschung untersucht das Fraunhofer IWS die Grundlagen des Remote-Laserstrahlschneidens metallischer Werkstoffe mit brillanten Hochleistungslasern. Schwerpunkt sind

Prozessuntersuchungen zum Sublimations- sowie zum Schmelz- und Brennschneiden. Darüber hinaus wird die prinzipielle Tauglichkeit des Konzepts Sechssachs-Knickarmroboter als Führungskinetik zum Schneiden mit langen Brennweiten untersucht und wesentliche prozess- und systemtechnische Anforderungen an die Roboterprogrammierungsmethodik und die Bahnplanung für das Remote-Laserstrahlschneiden mit Hochleistungsfaserlasern erarbeitet.

Erste erfolgreiche Experimente haben gezeigt, dass dies eine zukunftsweisende und hochproduktive Technologie für die flexible Bearbeitung von Metallblechen oder -bändern ist, die rasch ihren Weg in die industrielle Fertigung finden wird.



Abb. 3: Dichtungsgeometrie (ca. 80 mm x 30 mm x 0,5 mm) hergestellt durch flexibles Remote-Laserstrahlschneiden

Ansprechpartner

Dr. Thomas Himmer  
Tel.: 0351 / 2583 238  
thomas.himmer@iws.fraunhofer.de



## Neues Mikrofluidikkonzept zur Verbesserung der Vergleichbarkeit bei Untersuchungen mit zellbasierten Lab-on-a-Chip-Systemen

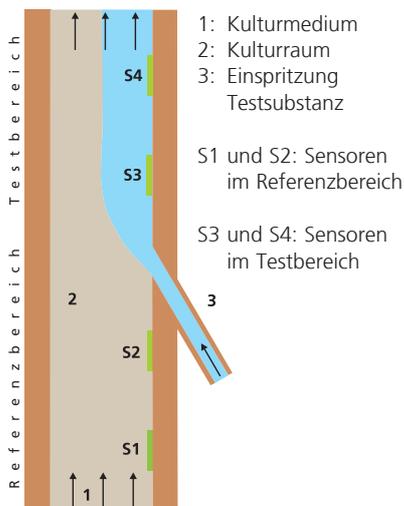


Abb. 1: Schematischer Aufbau des zellbasierten Lab-on-a-Chip-Systems

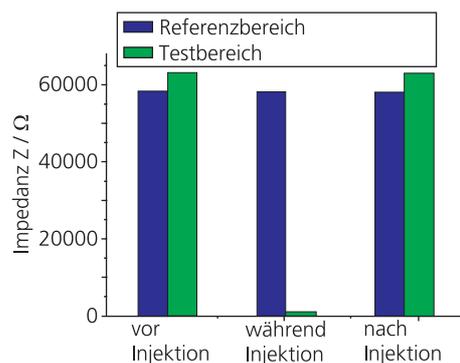


Abb. 2: Impedanzwerte für Test- und Referenzbereich vor, während und nach der Beaufschlagung mit Testschubstanz

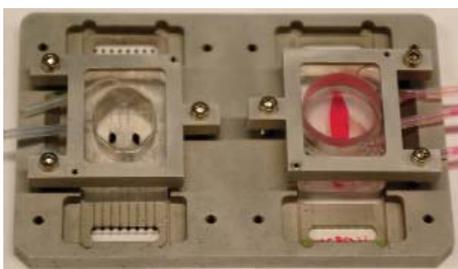


Abb. 3: Modulares Zellsensorsystem

**Ansprechpartner**  
 Dipl.-Ing. Frank Sonntag  
 Tel.: 0351 / 2583 259  
 frank.sonntag@iws.fraunhofer.de

### Aufgabenstellung

Neben Enzymen, Antikörpern, Proteinen und DNA werden immer häufiger lebende Zellen als Bioelement in Sensorsystemen eingesetzt, was eine Reihe wesentlicher Vorteile mit sich bringt. Zellen besitzen eine natürlich entwickelte Selektivität gegenüber biologischen und biologisch aktiven Substanzen. Da die Zellantwort dem physiologischen Verhalten entspricht, können bei Wahl eines geeigneten Zellmodells Rückschlüsse auf den entsprechenden Organismus gezogen werden. Dieser Zusammenhang wird vor allem in der Pharmako- und Toxikokinetik bei der Entwicklung neuer Medikamente und Wirkstoffe genutzt.

Grundlage dieser Untersuchungen ist der Vergleich von getrennten Zellkulturen mit und ohne Testschubstanzkontakt. Dabei ist eine hohe Reproduzierbarkeit der Kultivierungsbedingungen zwingend erforderlich. Oft ist es schwierig festzustellen, inwieweit die zu vergleichenden Zellkulturen unter gleichen Bedingungen kultiviert wurden und ob der festgestellte Unterschied zwischen Test- und Referenzkultur auf die eingesetzte Testschubstanz oder auf äußere Einflussfaktoren wie Abweichungen in den Kultivierungsbedingungen zurückzuführen ist.

### Lösungsweg

Eine Möglichkeit zur Minimierung dieses Problems besteht in der Zusammenführung von Referenz- und Testkultur in einen gemeinsamen Kulturraum. Somit wird sichergestellt, dass die Kultivierung aller Zellen bis zur Zugabe der Testschubstanz und nach Auswaschen der Testschubstanz unter identischen Bedingungen erfolgt. Für die Zugabe der Testschubstanz wird der Kulturraum, wie in Abb. 1 dargestellt,

temporär durch eine fluidische Barriere in einen Test- und einen Referenzbereich unterteilt. Dafür wird ein laminarer Volumenstrom mit der Testschubstanz in unmittelbarer Nähe der Zellen definiert in den laminaren Perfusionsstrom eingespeist. Die Geometrien und Strömungsverhältnisse sind dabei so dimensioniert, dass keine Vermischung zwischen Test- und Referenzbereich auftritt. Gleichzeitig ist es durch eine geeignete Anordnung von Sensoren möglich, einen interzellulären Informationsaustausch zwischen Test- und Referenzbereich nachzuweisen.

Entscheidend für die Funktion ist die Verteilung der Testschubstanz in unmittelbarer Nähe der sich auf der Oberfläche befindenden Zellen. Aus diesem Grund erfolgt die Charakterisierung des Systems über Interdigitalelektrodenstrukturen zur Leitfähigkeitsmessung auf der Oberfläche. Dabei werden Test- und Perfusionsmedien unterschiedlicher Leitfähigkeit verwendet.

### Ergebnisse

Ausgehend von der Konzeption wurden verschiedene Varianten dimensioniert, simuliert und umgesetzt. Diese wurden anschließend in das am IWS etablierte Zellsensorsystem integriert, siehe Abb. 3, und mit Hilfe der entwickelten Nachweismethoden auf ihre Eignung getestet. Aufbauend auf den vorliegenden Ergebnissen wurde ein erster funktionsfähiger Demonstrator realisiert, welcher eine fluidische Trennung der Zellkultur in Referenz- und Testbereich ermöglicht. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Leitfähigkeit während der Testschubstanzbeaufschlagung im Testbereich ändert, während sie im Referenzbereich konstant bleibt, siehe Abb. 2. Nach Beendigung der Testschubstanzbeaufschlagung stellt sich die Ausgangsleitfähigkeit wieder ein.



## Terahertz-Strahlung enthüllt Geheimnisse von Kunstobjekten

### Aufgabenstellung

Vor der Restaurierung von Kunstobjekten ist eine sorgfältige Bestandsaufnahme sowohl der Schäden als auch des Aufbaus und der Zusammensetzung mit zerstörungsfreien Untersuchungsmethoden erforderlich.

Zum Schutz textiler und hölzerner Kunstobjekte vor Insekten- oder Pilzbefall wurden früher oft Pestizide wie z.B. Lindan und Pentachlorphenol  $C_6Cl_5OH$  (PCP) aufgebracht. Wegen der heute bekannten hochgradig giftigen Wirkung dieser Substanzen möchte man diese bei anstehenden Restaurierungen möglichst entfernen. Der zerstörungsfreie Nachweis dieser Gifte ist bisher jedoch sehr schwierig.

### Lösungsweg

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IPM wurde deshalb die zerstörungsfreie Analyse der Bestandteile von Kunstobjekten mittels der bisher technisch wenig genutzten THz-Strahlung untersucht. Die Messmethode der THz-Zeitdomänenspektroskopie (THz-TDS) wurde speziell zum Nachweis von Lindan und PCP getestet.

Mit der gleichen experimentellen Ausrüstung wurde eine Gemäldeprobe entlang eines Meßgitters abgescannt und in jedem Messpunkt der Zeitverlauf des elektrischen Feldes des THz-Pulses aufgenommen. Aus diesen Messwerten wird das zugehörige THz-Spektrum berechnet, in dem charakteristische Linien (Fingerprints) die Identität der durchstrahlten Substanzen ver-raten können.

### Ergebnisse

Abb. 1 zeigt als Beispiel das THz-Spektrum des Fungizides PCP. Die für diese Substanz typischen Absorptionslinien werden von Schwingungen polarer Molekülgruppen verursacht. Auf diese Art ist eine eindeutige Identifikation der Substanz möglich.

Zur anschaulicheren Darstellung der THz-TDS-Scans der Gemäldeprobe werden die Messdaten zu einer Art Film zusammengefasst (Abb. 2). Die Falschfarbendarstellung der Einzelbilder zeigen die elektrische Feldverteilung  $E(x, y, \omega)$ , die durch Fouriertransformation aus den Zeitverläufen der THz-Pulse der Messgitterpunkte berechnet werden. Die Bildfolge dieses Films stellt dabei nicht einen Zeitverlauf, sondern die Frequenzabhängigkeit des elektrischen Feldes dar. Dies erlaubt eine schnelle Übersicht über die Verteilung gesuchter Substanzen auf der Bildfläche. Der THz-Film fasst die gewonnenen Informationen über die Farbzusammensetzung und Dicke der Farbschicht anschaulich zusammen, wobei der sichtbare Bildinhalt nur schemenhaft wiedergegeben wird.

Für die weitere Interpretation der Messungen, beispielsweise zur Aufklärung der Zusammensetzung der Farbschicht, ist die genaue Kenntnis der Spektren der Farbpigmente erforderlich. Dazu dienen THz-TDS Vergleichsmessungen an »reinen« Substanzproben. Alternativ zu dieser transmissiven Messvariante kann auch die Reflexion der THz-Strahlung am Untersuchungsobjekt aufgenommen werden. Durch Laufzeitmessungen des THz-Pulses eröffnet sich damit die Möglichkeit, einzelne Farbschichten des Gemäldes zu analysieren.

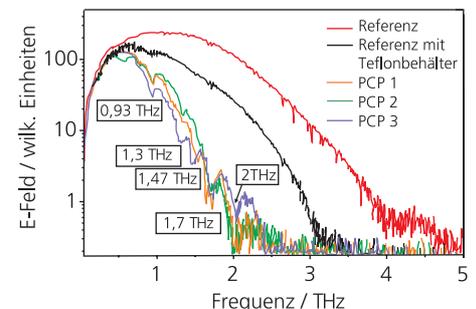


Abb. 1: THz-Spektrum des Fungizides PCP

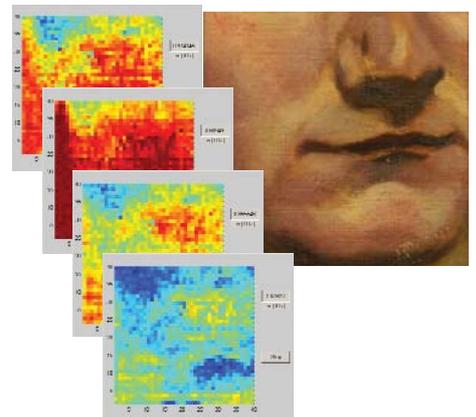


Abb. 2: THz-TDS-Scan einer Gemäldeprobe  
Links: Einzelbilder eines  $E(x, y, \omega)$ -Films  
Rechts: Fotografie

### Ansprechpartner

Dr. Michael Panzner  
Tel.: 0351 / 2583 253  
michael.panzner@iws.fraunhofer.de





## Forschungs- und Entwicklungsangebot: Thermische Beschichtungsverfahren

**Redaktion:** Im Jahresbericht 2006 sprachen Sie über die neue strategische Ausrichtung Ihrer Abteilung. Welche Komponenten des Konzepts konnten Sie bereits umsetzen?

**Dr. Stehr:** Die strategische Ausrichtung unserer Abteilung wurde im letzten Jahr mit folgenden Punkten charakterisiert:

1. maßgeschneiderte, multifunktionale Eigenschaftsprofile thermischer Beschichtungen,
2. nanostrukturierte Beschichtungswerkstoffe und Schichtsysteme,
3. neuartige Systemtechnik mit vollständiger Systemintegration,
4. neue Applikationsgebiete für die thermischen Beschichtungen.

Wir freuen uns sehr darüber, dass es gelungen ist, in allen Bereichen bereits erste und auch beachtenswerte Ergebnisse vorweisen zu können. Multifunktionale Eigenschaftsprofile wurden in unserem Haus z. B. mit Hilfe reibungsoptimierter, hochbelastbarer Mehrlagenschichtsysteme realisiert. Auch sind wir bei der Entwicklung nanostrukturierter thermischer Spritzschichten durch Suspensionsspritzen einen wesentlichen Schritt vorangekommen.

Zur Realisierung des richtungsunabhängigen Laserauftragschweißens wurde das Ihnen bekannte Koaxialprinzip umgedreht, so dass der geteilte Laserstrahl auf den nun zentrisch zugeführten Werkstoff gerichtet wird. Bei Verwendung drahtförmiger Werkstoffe ermöglicht dieses System eine nahezu 100 %-ige Ausnutzung des Schweißzusatzwerkstoffs.

**Redaktion:** Auch bei Verwendung pulverförmiger Werkstoffe arbeiten Sie an der Verbesserung der Produktivität des Laserauftragschweißens. Was können Sie uns darüber sagen?

**Dr. Stehr:** Mit der Entwicklung der neuartigen Breitstrahldüse COAX11 konnten wir auf der Messe Euromold 2007 den Kunden aus dem

Werkzeug- und Formenbau sowie der Automobilindustrie live vorführen, dass das Laserauftragschweißen einer 17 mm breiten und beispielhaft 75 mm langen Spur in nur 10 Sekunden möglich ist. Damit rückt das Laserauftragschweißen von den Auftragsraten her in den Bereich des Plasma-Pulver-Auftragschweißens, allerdings mit wesentlich geringerer Wärmeeinflusszone und besserer Steuerbarkeit dieser Beschichtungstechnologie. Das Ende der Fahnenstange ist längst noch nicht erreicht und wir arbeiten intensiv an der Weiterentwicklung des Systems.

**Redaktion:** Stichwort Euromold. Dort sorgten Sie mit einer weiteren Entwicklung aus Ihrer Abteilung für große Aufmerksamkeit...

**Dr. Stehr:** Ja, sehr große Beachtung fand die vollständige Systemintegration des Laserauftragschweißens in ein roboterbasiertes Handlingsystem. Dabei ist es uns gelungen, die Simulation der kompletten Roboterkinematik zum Laser-Auftragschweißen in unser offline-Programmiersystem DCAMx zu integrieren. Damit ist die virtuelle Robotersteuerung vollständig am PC realisierbar, also inclusive aller tatsächlichen Bewegungsabläufe, Beschleunigungen, Achsbegrenzungen und vor allem auch der wichtigen Kollisionskontrolle. Die Beschichtungsanlage steht während dieser Programmierarbeiten weiterhin für den realen Beschichtungsprozess zur Verfügung.

**Redaktion:** Auf welche Highlights können wir im Jahr 2008 gespannt sein?

**Dr. Stehr:** Dazu darf ich Ihnen noch nicht allzu viel verraten. Auf jeden Fall aber darf ich Ihnen empfehlen, uns auf der Messe Lasys am 4.-6. März 2008 in Stuttgart zu besuchen. Dort werden wir unsere Kompetenz und Neuigkeiten bei der vollständigen Integration des Laserauftragschweißens in CNC-basierte Handlingsysteme vorstellen.



*Der Fortschritt geschieht heute so schnell, daß, während jemand eine Sache für gänzlich undurchführbar erklärt, er von einem anderen unterbrochen wird, der sie schon realisiert hat.*

Albert Einstein



**Dr. Gunther C. Stehr**  
Abteilungsleiter  
(Tel. 2583 003,  
gunther.stehr@iws.fraunhofer.de)

### Beispiele aus den Arbeiten 2007

1. FLEXILAS: Ein neues Strahlwerkzeug zum richtungsunabhängigen Auftragschweißen mit zentraler Drahtzufuhr 54
2. COAX11: Breitstrahldüse zum Laserstrahl-Auftragschweißen mit hoher Produktivität 55
3. Reibungsoptimierte hochbelastbare Mehrlagenschichtsysteme für Maschinen- und Anlagenkomponenten 56
4. Nanostrukturierte thermisch gespritzte Schichten durch Suspensions-spritzen 57





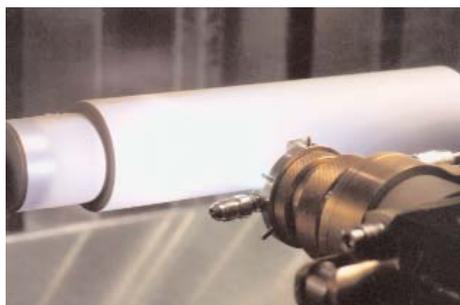
**Dr. Lutz-Michael Berger**  
Gruppenleiter Thermisches Spritzen  
(Tel. 2583 330,  
lutz-michael.berger@iws.fraunhofer.de)

### Verschleißschutz und funktionale Beschichtungen

Zum Beschichten von Bauteilen aus Stahl, Leichtmetallen oder anderen Werkstoffen mit Metallen, Hartmetallen und Keramik stehen im IWS das atmosphärische (APS) und Vakuum-Plasma-spritzen (VPS) sowie das Flamm- und Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF) zur Verfügung. Die Hybridtechnologie des laserunterstützten atmosphärischen Plasmaspritzens (LAAPS) ergänzt das Verfahrensspektrum.

In Kooperation mit weiteren Instituten des Fraunhofer-Institutszentrums in Dresden umfaßt das Angebotsspektrum:

- Konzeption beanspruchungsgerechter Schichtsysteme,
- Entwicklung von vollständigen Beschichtungslösungen vom Werkstoff bis zum beschichteten Bauteil,
- Entwicklung und Fertigung von systemtechnischen Komponenten,
- Mitwirkung bei der Systemintegration,
- Unterstützung des Anwenders bei der Technologieeinführung.



Plasmaspritzen einer Welle



**Dr. Steffen Nowotny**  
Gruppenleiter Auftragschweißen  
(Tel. 2583 241,  
steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de)

### Reparieren und Generieren

Zur Reparatur und Beschichtung von Bauteilen, Formen und Werkzeugen stehen das Laserstrahl- und Plasma-Pulver-Auftragschweißen sowie Hybridtechnologien in der Kombination von Laser, Plasma und Induktion zur Verfügung. Durch Auftragen, Legieren oder Dispergieren von Metalllegierungen, Hartstoffen und Keramik können dichte Schichten und 3D-Strukturen erzeugt werden. Für alle Technologien ist die geschlossene Prozesskette von der Digitalisierung und Datenaufbereitung bis zur Endbearbeitung nutzbar. Für diese Anwendungsfelder bieten wir an:

- schnelle und flexible Bauteil-Digitalisierung und Datenbearbeitung,
- präzise Reparatur und Beschichtung von Bauteilen und Werkzeugen,
- Fertigung von metallischen und hartstoffhaltigen Mustern und Prototypen direkt aus den CAD-Daten des Auftraggebers,
- systemtechnische Komponenten und Unterstützung bei der Fertigungseinführung.



Reparatur von Gasturbinenschaufeln durch Auftragschweißen mit Hochleistungs-Diodenlaser



## FLEXILAS: Ein neues Strahlwerkzeug zum richtungsunabhängigen Auftragschweißen mit zentraler Drahtzufuhr

### Aufgabenstellung

Verschiedene Anwendungsgebiete des Laserstrahl-Auftragschweißens erfordern neue Funktionalitäten der Zufuhr des Zusatzmaterials in Form von Massiv- und Fülldrähten, um den aktuellen Anforderungen an Zugänglichkeit, Werkstoffeigenschaften und Präzision Rechnung zu tragen. Während es für die herkömmliche Pulverzufuhr ausgefeilte Lösungen in Form der Koaxial-Laser-Bearbeitungsköpfe gibt, sind mit der eingeführten seitlichen Drahtzufuhr die bekannten Restriktionen im Hinblick auf die Richtungsunabhängigkeit verbunden.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundvorhabens FLEXILAS sind deshalb die Grundlagen eines neuen fertigungstechnischen Prinzips der Laserbearbeitung mit zentrischer und damit richtungsunabhängiger Drahtzufuhr erarbeitet worden.

### Lösungsweg

Durch spezielle Strahlteileroptiken wird der Laserstrahl zunächst in Teilstrahlen aufgeteilt und anschließend auf einen kreisförmigen Brennfleck fokussiert. Die Lage der Teilstrahlen ermöglicht es, im Zentrum eine Drahtdüse mit integrierter Medienzufuhr anzuordnen, die das Zusatzmaterial exakt mittig im

rotationssymmetrischen Laserstrahl dem Schmelzbad auf der Bauteiloberfläche zuführt. So ist erstmalig auch Draht als Schweiß- und Lötzusatz richtungsunabhängig verfügbar.

### Ergebnisse

Im Ergebnis systemtechnischer Forschungsarbeiten in Zusammenarbeit mit Industriepartnern liegen zwei erste technische Prototypen von Bearbeitungsköpfen vor. Diese beinhalten in integrierter Bauform die optischen Komponenten zur Strahlformung sowie die Düsen zur Zufuhr des Schweißgutes, der Prozeß- und Schutzgase und des Kühlwassers.

Mit Hilfe dieser Bearbeitungsköpfe sind Auftragschweißungen von Konturen mit konstanter Raupengeometrie möglich, und auch in von der Wannenlage abweichenden Positionen werden gleichmäßige Schweißbedingungen erreicht. Zur Fertigung der in Abb. 2 gezeigten Auftragschweißung wurde Schweißdraht SG2 mit einem Durchmesser von 1,0 mm verarbeitet. Mit 1 kW Nd:YAG-Laserleistung und einem Spotdurchmesser von 1,4 mm lag die Schweißgeschwindigkeit bei 1,7 m min<sup>-1</sup>.

Hierbei ist bemerkenswert, dass ein stabiler Schweißprozeß respektive ein konstanter Schweißraupenquerschnitt auch bei schroffen Richtungswechseln sowie starken Achsbeschleunigungen bei freien Konturfahrten gewährleistet ist. Eine entscheidende Einflußgröße mit weiterem Entwicklungspotenzial ist die Dynamik der Drahtzufuhr. Neben Drähten können auch Pulver nach diesem Prinzip verarbeitet werden, wobei hier in erster Linie eine Verbesserung des Pulvernutzungsgrades nachgewiesen werden konnte.

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des BMBF innerhalb des Rahmenkonzeptes »Forschung für die Produktion von morgen« (Förderkennzeichen 02PD2134) gefördert.

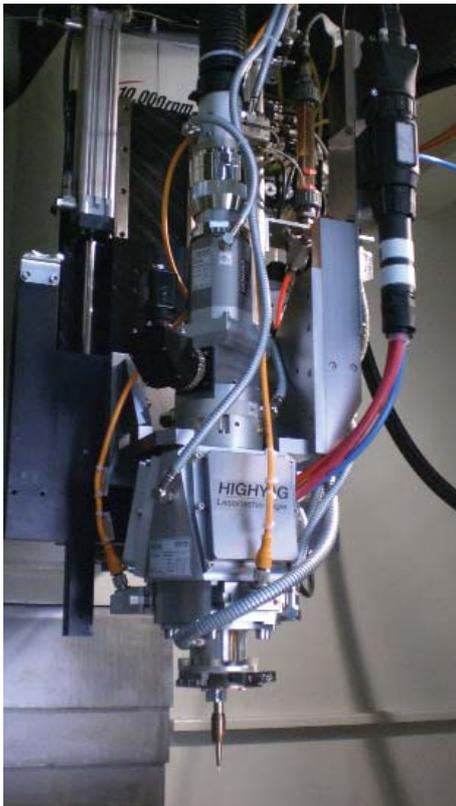


Abb. 1: Strahlteiler-Bearbeitungsoptik: Dreistrahl-System (HighYAG)

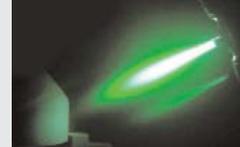


Abb. 2: Laser-Konturauftragschweißung mit zentrischer Drahtzufuhr (1,3 mm Raupenbreite)



Ansprechpartner

Dr. Steffen Nowotny  
Tel.: 0351 / 2583 241  
steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de



## COAX11: Breitstrahldüse zum Laserstrahl-Auftragschweißen mit hoher Produktivität

### Aufgabenstellung

Moderne Hochleistungs-Diodenlaser im Leistungsbereich bis 8 kW ermöglichen mit dem günstigen rechteckigen Brennfleck-Querschnitt neue Dimensionen des Laserstrahl-Auftragschweißens: Auftragsrate und Raupengeometrie rücken in die Nähe der Werte, wie sie herkömmlich bisher nur durch Plasma-Pulver-Auftragschweißen (PTA) erreicht werden. Der Aufmischgrad kann jedoch auf die lasertypischen niedrigen Werte um 5 % begrenzt werden. Die für das PTA-Verfahren charakteristischen seitlichen Einbrandkerben werden zuverlässig vermieden. Die wichtigste Voraussetzung zur Umsetzung dieser Vorteile bei gleichzeitiger Chance neuer Funktionalitäten des Auftragschweißprozesses ist eine angepaßte, modulierbare Zufuhr des Schweißpulvers.

### Lösungsweg

Ausgehend vom Grundprinzip der koaxialen Pulverzufuhr wird durch den neuen Bearbeitungskopf vom Typ COAX11 ein rechteckiger Pulverstrom ausgebildet. Er entspricht exakt der Geometrie und dem Leistungsdichte-Profil des rechteckigen Laserstrahls. Das aktive, pulverstrahlformende Element ist ein Kanalplattensystem aus zwei gegenüberliegenden pulverführenden Formeinsätzen. Durch diese wird auf dynamischem Wege ein rechteckiger Pulverstrom gebildet, der symmetrisch zum Laserstrahl angeordnet ist und mit dem Laser-Brennfleck auf der Bauteiloberfläche zur Deckung gebracht wird. Durch Gestalt und Anordnung der Kanäle in den wechselbaren Kanalplatten sind die Form sowie die Dichteverteilung des Pulverstroms variabel und können somit an die jeweilige Bearbeitungsaufgabe und das Laserstrahlprofil optimal angepaßt werden.

### Ergebnisse

Zur Herstellung von Einzelspuren im Bereich von 8 bis 22 mm Breite wird ein fasergekoppelter 6 kW-Diodenlaser verwendet. Je nach gewünschter Spur-geometrie variieren die Brennfleck-Querschnitte zwischen 8 x 2 und 22 x 5 mm<sup>2</sup>. Durch die Auswahl der entsprechenden Kanalplatten wird der rechteckige Pulverfokus schnell und präzise diesen Abmessungen angepaßt. Die Pulvernutzungsgrade betragen bei allen Spurbreiten mehr als 90 %.

Der rechteckige Querschnitt des Laser-Brennflecks ist sowohl aus energetischer als auch aus metallurgischer Sicht vorteilhaft gegenüber der bei geringeren Laserleistungen üblicherweise verwendeten runden Spotgeometrie. Das Aspektverhältnis der Auftragsraupen ist im Vergleich zu Auftragschweißungen mit rundem Strahl deutlich höher und bewirkt bei Überlappungsgraden von nur noch 5 - 10 % eine verbesserte Ebenheit der Schicht. Im Vergleich zu 3 kW und rundem Brennfleck wächst die Abschmelzleistung mit 6 kW und Rechteckstrahl überproportional an und erreicht Werte von bis zu 9 kg Metallpulver pro Stunde. Die förder- und aufschmelzbare Pulvermenge wird hierbei nicht von der Düse, sondern von der zur Verfügung stehenden Laserleistung begrenzt.

Die Einsatzgebiete betreffen solche Bauteile, bei denen hochwertige, großflächige Beschichtungen gefordert werden und keine Richtungsunabhängigkeit des Schweißvorgangs notwendig ist. Eine erste industrielle Anwendung der neuen Systemtechnik ist das Auftragslöten eines speziellen Cu-Basis-Lagermetalls auf Stahlkolben. Mit 6 kW Laserleistung sind hier 8 mm breite Einzelspuren bei einer Schweißgeschwindigkeit von 0,5 m min<sup>-1</sup> erzielbar. Die Auftragsrate beträgt 6 kg h<sup>-1</sup>.

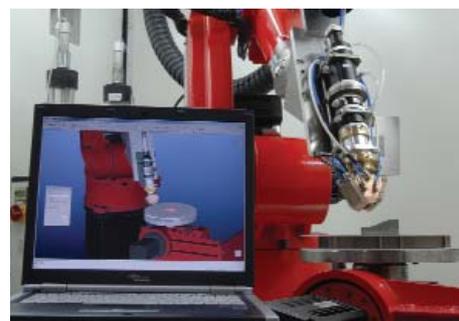


Abb. 1: Robotersystem zum Auftragschweißen mit Diodenlasern höchster Leistung und Breitstrahldüse



Abb. 2: Bearbeitungskopf COAX11 mit xyz-Justiereinheit und Anschluss zur Laseroptik

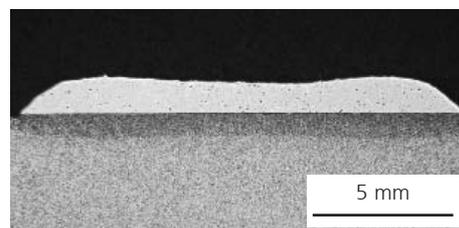


Abb. 3: Querschnitt einer Einzelspuraufstellung 21 auf St37

### Ansprechpartner

Dr. Steffen Nowotny  
Tel.: 0351 / 2583 241  
steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de





## Reibungsoptimierte hochbelastbare Mehrlagenschichtsysteme für Maschinen- und Anlagenkomponenten

### Aufgabenstellung

Dünne harte Schichten aus amorphem diamantähnlichem Kohlenstoff (DLC) haben in den letzten Jahren eine große Bedeutung für zahlreiche Verschleißschutzanwendungen erlangt.

Bei Anwendungen mit sehr hohen lokalen Flächenpressungen kann es bedingt durch die Nachgiebigkeit des Substrates und die relativ geringe Schichtdicke zu Abplatzungen kommen. Da die Abscheidung dicker ta-C-Schichten wirtschaftlich nicht sinnvoll ist, liegt die Lösung dieses Problems in der Verwendung harter Substrate oder harter Zwischenschichten. Als eine solche Trägerschicht eignen sich thermisch gespritzte Hartmetallschichten mit einer Dicke von einigen hundert Mikrometern und Rauheiten  $R_a$  von etwa 0,01 - 0,03 im endbearbeiteten Zustand hervorragend. Dieses Zweischichtsystem kombiniert die hohe

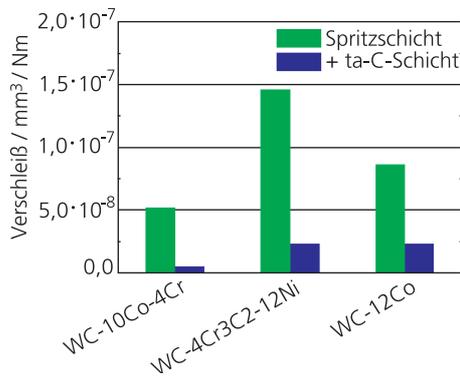


Abb. 1: Gesamtverschleißkoeffizienten von HVOF gespritzten Hartmetallschichten ohne und mit ta-C-Deckschicht im Schwingverschleißtest



Abb. 2: Kugel und Lagersitze eines Kugelventils

Stützwirkung der Spritzschicht mit der extrem reibungs- und verschleißarmen ta-C-Deckschicht und verspricht eine hohe Langzeitstabilität und Lebensdauer. Darüber hinaus ergeben sich gute Notlaufeigenschaften durch die gegenüber Stahlsubstraten besseren Reib- / Gleiteigenschaften der Hartmetallschichten und deren eigenen hohen Verschleißwiderstand.

Aufgabe des von der Stiftung Industrieforschung geförderten Projektes ist es, auf werkstoffwissenschaftlicher Basis eine Mehrlagen-Beschichtungslösung zu entwickeln, die einen optimalen Verschleißschutz von Maschinen-

und Anlagenkomponenten unter anspruchsvollen tribologischen Belastungsfällen gewährleistet. Dabei werden zwei ausgereifte Beschichtungsverfahren, das thermische Spritzen und das gepulste Vakuumbogenverfahren zur Herstellung von ta-C-Schichten, miteinander kombiniert.

### Lösungsweg

Als Trägerschichten wurden zunächst Hartmetallschichten auf WC-Basis durch Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) gespritzt und charakterisiert. Das Aufbringen der ta-C-Schichten auf die verschiedenen Hartmetallträgerschichten erfolgte durch Vakuumbogenverdampfung von Graphit. Der entstandene Schichtverbund aus Hartmetall- und ta-C-Schicht wurde anschließend auf Rauheit, E-Modul bzw. Härte (LAWave®), Rockwell-Haftfestigkeit, Verschleiß und Reibung im Schwingverschleiß untersucht.

### Ergebnisse

Die Messungen der Haftfestigkeit der ta-C-Deckschicht auf der Hartmetallspritzschicht ergaben bis auf eine Ausnahme Haftfestigkeiten der Klasse 1 im Rockwell-Eindrucktest. Die Reibwerte der mit ta-C beschichteten Proben lagen im ungeschmierten Schwingverschleiß mit 0,12 bis 0,2 wesentlich niedriger als bei den Hartmetallschichten, die Reibwerte zwischen 0,35 und 0,59 aufwiesen.

Die Werte für die Gesamtverschleißkoeffizienten (Abb. 1) zeigen, dass die ta-C-Deckschicht auch den Verschleiß deutlich verringert. Armaturenkomponenten (Abb. 2) werden im praktischen Einsatz getestet.



Ansprechpartner

Dr. Lutz-Michael Berger  
Tel.: 0351 / 2583 330  
lutz-michael.berger@iws.fraunhofer.de



## Nanostrukturierte thermisch gespritzte Schichten durch Suspensionsspritzen

### Aufgabenstellung

Üblicherweise werden für die Beschichtungsprozesse aus der Verfahrensgruppe des thermischen Spritzens Pulver oder Drähte als Ausgangswerkstoffe zur Schichtherstellung verwendet. Die Pulver besitzen häufig eine Partikelgröße im Bereich 10 - 45 µm und können durch mehrere Verfahren hergestellt werden. Durch die Verwendung von Sinter- und Schmelzprozessen bei der Pulverherstellung ist es häufig schwierig, nanostrukturierte Ausgangspulver herzustellen und noch schwieriger, daraus nanostrukturierte Schichten zu erzeugen. Als Alternative bietet sich die Verwendung von Suspensionen feindisperser und nanostrukturierter Pulver an.

Im Rahmen eines Stipendiums der Alexander-von-Humboldt-Stiftung und eines europäischen Forschungsvorhabens konnten das atmosphärische Plasmaspritzen (APS) und das Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) für die Verwendung von Suspensionen modifiziert und die beiden Technologien im IWS etabliert werden.

### Lösungsweg

Die Herstellung von thermisch gespritzten Schichten durch Suspensionsspritzen erfordert einerseits die Modifizierung der Anlagentechnik inklusive der Entwicklung geeigneter Fördersysteme und andererseits die Herstellung stabiler Suspensionen.

Die ersten Versuchsserien konzentrierten sich auf die Herstellung von Titanoxid und Aluminiumoxidschichten aus alkoholischen und wässrigen Suspensionen. Titanoxidschichten haben einen multifunktionalen Charakter und sind durch ihre photokatalytischen, elektrischen und tribologischen Eigenschaften technisch interessant. Für suspensionsgespritzte Schichten stehen bisher die photokatalytischen Eigen-

schaften im Vordergrund. Bei den Aluminiumoxidschichten sind in erster Linie die elektrischen und Verschleiß-eigenschaften von Interesse.

### Ergebnisse

Für beide Werkstoffe wurden geeignete stabile Suspensionen hergestellt und die vorhandene Spritztechnik an die Verwendung von Suspensionen angepasst. Es wurde eine spezielle Förder- und Injektionstechnik für die Suspensionen entwickelt (Abb. 2). Durch die Variation der Beschichtungsparameter konnten Schichten mit unterschiedlichen Mikrostrukturen hergestellt werden. Aus den alkoholischen Suspensionen wurden poröse Schichten erhalten. Dagegen konnten aus den wässrigen Suspensionen auch Schichten mit hoher Dichte hergestellt werden. Abb. 1 zeigt als Beispiel eine Titanoxidschicht.

Von besonderem Interesse ist jedoch der Fakt, dass sich die Phasenzusammensetzung suspensionsgespritzter Schichten wesentlich von den Schichten unterscheidet, die aus konventionellen Pulvern hergestellt werden. Im Fall des Titanoxids bestehen die Schichten aus der photokatalytisch aktiveren Phase Anatas. Für photokatalytische Anwendungen ist auch eine gewisse Porosität der Schichten von Vorteil. Im Fall des Aluminiumoxids wird die während des Spritzens auftretende Phasenumwandlung von Korund zu Tonerde effektiv unterdrückt. Dies bedeutet ein hohes Potenzial für die Entwicklung von elektrischen Isolationsschichten.

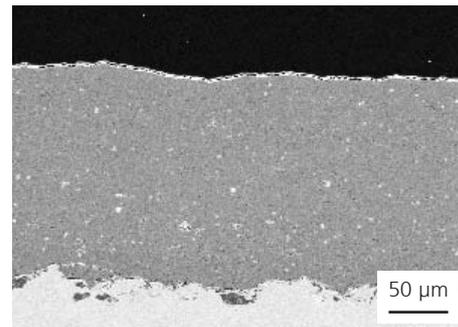


Abb. 1: Dichte Titanoxidschicht hergestellt mit Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) aus einer wässrigen Suspension

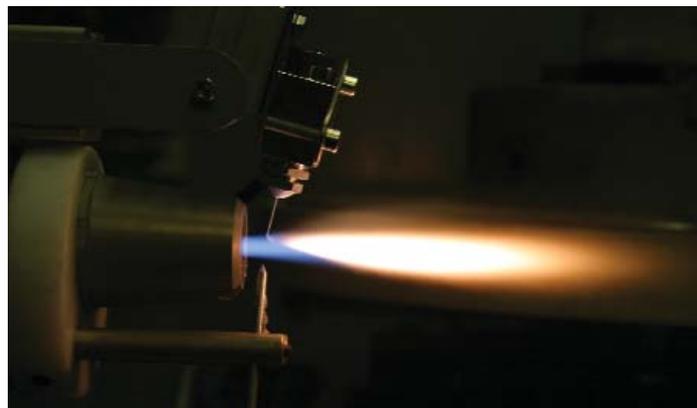


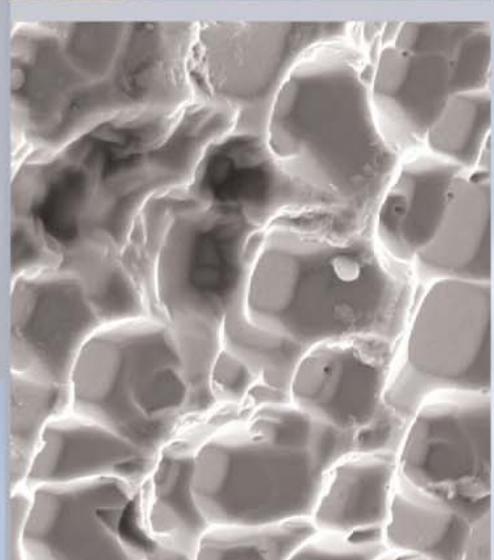
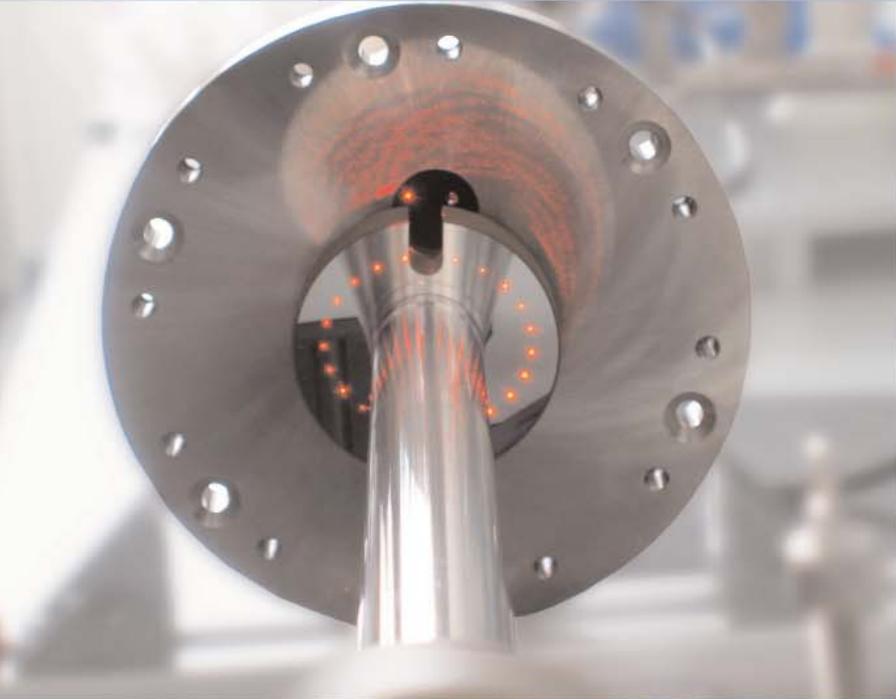
Abb. 2: HVOF-Flammstrahl mit externer Injektion einer alkoholischen Suspension

Ansprechpartner

Dr. Filofteia-Laura Toma  
Tel.: 0351 / 2583 191

filofteia-laura.toma@iws.fraunhofer.de





## Forschungs- und Entwicklungsangebot: CVD-Dünnschichttechnologie

**Redaktion:** In Publikationen aus ihrer Abteilung wird zunehmend auf Technologieentwicklungen zur Photovoltaik verwiesen. Kann man auf einem derartig dynamischen Technologiebereich überhaupt mithalten?

**Dr. Hopfe:** Wir sehen uns als »Seiteneinsteiger« in das Gebiet der Solarenergiegewinnung durch kristalline Siliziumzellen. Der von uns eingebrachte innovative Technologieansatz ist die Atmosphärendruck-Plasmatechnologie. Das IWS verfügt auf diesem Gebiet über Alleinstellungsmerkmale und einen langjährigen Entwicklungsvorlauf. Ziel ist es, durch Einsatz kontinuierlicher Atmosphärendruck-Plasmaprozesse die Fertigung von Photovoltaikzellen effektiver und kostengünstiger zu gestalten. Mit der im IWS entwickelten Plasmatechnologie können Solarwafer beschichtet, abgeätzt oder texturiert werden - und das mit sehr hohen Durchsatzraten. Damit ist die Technologie für die zukünftige Massenproduktion relevant.

Übrigens ist die Entwicklungsdynamik auf diesem Gebiet sehr hoch. Wir haben uns durch Ausbau der personellen Ressourcen und beschleunigten Aufbau von Prototypanlagen für industrierelevante Untersuchungen darauf eingestellt. Durch enge Kooperation mit weltweit führenden Herstellern von PV-Zellen können wir die Ergebnisse unserer Entwicklungsarbeiten inzwischen kurzfristig einer industriellen Bewertung zuführen.

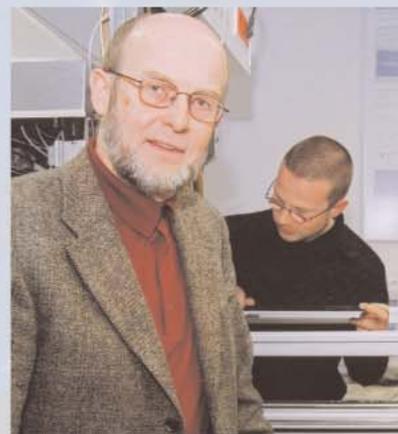
**Redaktion:** Der Begriff »Prototypanlagen« findet sich zunehmend im Sprachgebrauch Ihrer Abteilung...?

**Dr. Hopfe:** Das widerspiegelt durchaus unsere Hauptaktivitäten in den vergangenen Monaten. Zunächst mussten dafür die räumlichen Bedingungen geschaffen werden. Im letzten Jahr wurden unser »CVD-Technikum« in Betrieb genommen und ein Entwicklungslabor für Diodenlaser-Sensorik eröffnet. Die Infrastruktur zum Betrieb industrierelevanter Prototypanlagen

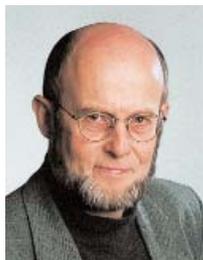
hat sich damit wesentlich verbessert. Doch zurück zur Frage des Systemanlagenbaus. In unserer Abteilung haben wir dazu ingenieurtechnisches Know-how aufgebaut, das u.a. zum Entwurf, zur Konstruktion und zum Bau von Plasmaquellen, CVD-Reaktoren und Ätzanlagen sowie von optischer Sensorik eingesetzt wird. Neben modernsten kommerziellen Entwicklungswerkzeugen finden auch Simulationstechniken zunehmend Anwendung, u.a. zur Thermofluiddynamik von Gasen, zur optischen Simulation von Multischichtsystemen und von komplexen Strahlengängen. Die Fertigung der im IWS konstruierten Module erfolgt weitgehend in Kooperation mit qualifizierten Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus im Raum Dresden. Im vergangenen Jahr wurden zwei Anlagen zum Beschichten und Ätzen von Solarwafern für die Silizium-Photovoltaik, eine Anlage zur Plasma-CVD-Beschichtung von rotationssymmetrischen Maschinenbaukomponenten sowie eine Anlage zur Herstellung von Carbon-Nanotubes aufgebaut und in Betrieb genommen.

**Redaktion:** Die Prozess-Sensorik bedient sich bei ihnen neuerdings der »Gas-Tomographie«, das klingt etwas exotisch...

**Dr. Hopfe:** Ganz im Gegenteil, es handelt sich um sehr praktische Fragestellungen, die unsere Kunden an uns herangetragen haben. Im Kern geht es um Mess- und Sensortechniken, mit denen Gasverteilungen in technischen Anlagen oder Reaktoren erfasst werden können. Als nachweisstarkes und hochselektives Gas-Sensorverfahren setzen wir dafür die Diodenlaserspektroskopie in Kombination mit tomographischen Auswertelgorithmen ein. Nach wenigen Sekunden Messzeit können dreidimensionale Konzentrationsverteilungen von ausgewählten Gasspezies ermittelt werden. Diese dienen der Überwachung und Steuerung der in den Anlagen ablaufenden Prozesse.



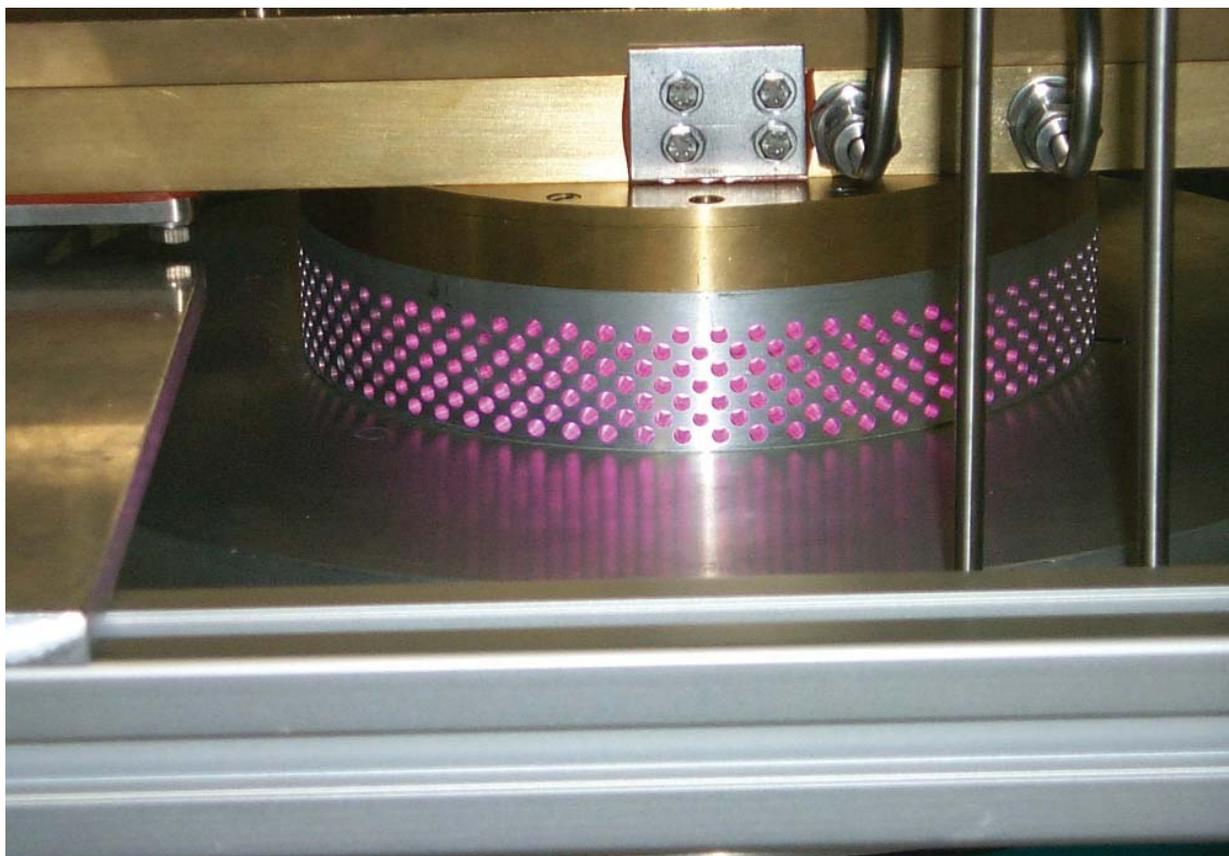
*Innovation beginnt im Kopf mit der  
kühnen Idee und dem Mut zum Risiko.  
Björn Engholm*



**Dr. Volkmar Hopfe**  
Abteilungsleiter  
(Tel. 2583 402,  
volkmar.hopfe@iws.fraunhofer.de)

### Beispiele aus den Arbeiten 2007

1. Atmosphärendruck-Plasmaverfahren zur Kostenreduktion in der Silizium-Photovoltaik 62
2. Atmosphärendruck-Plasmatechnologie zur Herstellung photokatalytisch aktiver  $\text{TiO}_2$ -Schichten 63
3. In-situ-Monitoring des Syntheseprozesses einwandiger Carbon-Nanotubes durch Nahinfrarotspektroskopie 64
4. Bestimmung von Gasschichtungen in technischen Anlagen durch Diodenlaser-Tomographie 65

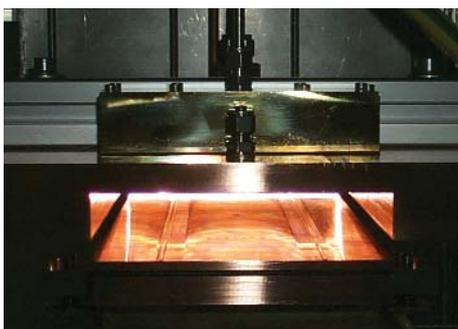


**Dr. Ines Dani**

Gruppenleiterin Atmosphärendruck-CVD  
(Tel. 2583 405,  
ines.dani@iws.fraunhofer.de)

### Plasmagestützte CVD-Verfahren bei Atmosphärendruck

Plasmagestützte Prozesse zur chemischen Gasphasenabscheidung bei Atmosphärendruck erlauben eine großflächige Abscheidung qualitativ hochwertiger Funktionsschichten ohne Einsatz kostenintensiver Vakuumanlagen. Damit sind kontinuierliche Beschichtungsprozesse mit hohen Raten auf temperaturempfindlichen Materialien (wie Sonderstählen, Leichtmetallen, Gläsern und Kunststoffen) sowie leicht gekrümmten Substraten unterschiedlicher Dicke realisierbar. Am Fraunhofer IWS werden Prototypen von Durchlaufreaktoren mit Gasschleusen zur plasmagestützten Herstellung von oxidischen und nichtoxidischen Schichten sowie zum plasmachemischen Ätzen bei Normaldruck entwickelt. Die Optimierung des Reaktordesigns basiert auf experimentellen Ergebnissen und thermofluidodynamischen Simulationen. Das modulare Reaktordesign sorgt für eine kostengünstige Adaption des Prozesses an neue Anwendungsgebiete und Schichtmaterialien.



Blick in den Beschichtungsraum der ArcJet-PECVD-Anlage

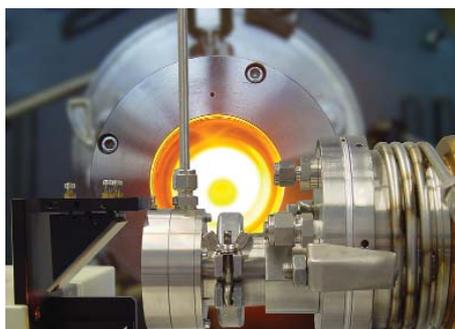
**Dr. Wulf Grählert**

Gruppenleiter Prozess-Monitoring  
(Tel. 2583 406,  
wulf.graehlert@iws.fraunhofer.de)

### Prozess-Monitoring

Die optimale Funktion von Industrieanlagen und die Qualität der gefertigten Produkte steht oftmals im direkten Zusammenhang mit der sich in der Anlage befindenden Gasatmosphäre, deren Zusammensetzung exakt überwacht werden muss. Eine industrietaugliche kontinuierliche in-situ-Gasanalytik ist beispielsweise essentiell bei der Qualitätssicherung von chemischen Beschichtungs-, Ätz- oder Sinterprozessen sowie bei der Überwachung von Emissionen aus Industrieanlagen. Für kundenspezifische Lösungen zur kontinuierlichen Überwachung der chemischen Zusammensetzung und Konzentration von Gasgemischen nutzt das IWS Sensoren, die wahlweise auf der NIR-Diodenlaser- oder FTIR-Spektroskopie beruhen.

Weiterhin werden Bauteiloberflächen und Schichtsysteme mit spektroskopischen Methoden wie FTIR-Spektroskopie, Spektro-Ellipsometrie oder Raman-Mikroskopie charakterisiert.



FTIR-Monitoring von Hochtemperaturprozessen

## Atmosphärendruck-Plasmaverfahren zur Kostenreduktion in der Silizium-Photovoltaik

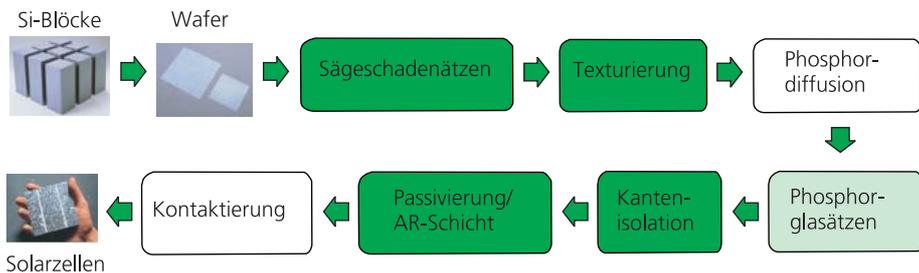


Abb. 1: Schematische Darstellung der Produktionskette von kristallinen Solarzellen (grün: bisher untersuchte Prozessschritte, hellgrün: weiterer möglicher mit AP-PECVD realisierbarer Prozessschritt)

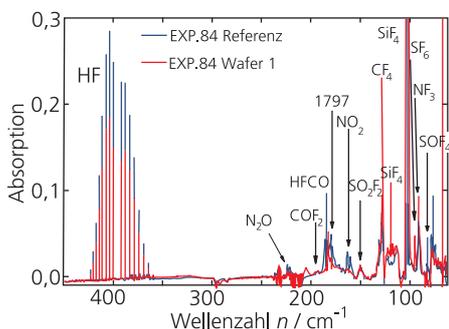


Abb. 2: FTIR-Spektrum des Abgases während des Ätzens von Silizium mittels NF<sub>3</sub>. (blau: Referenz, nur Graphitsubstratträger unter der Ätzzone, rote: Siliziumwafer auf Graphitträger unter der Ätzzone)

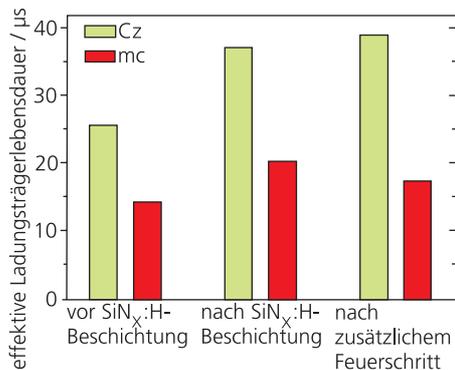


Abb. 3: Ladungsträger-Lebensdauermessungen an mono- und multi-kristallinen Si-Wafern vor und nach der Atmosphärendruck-SiN<sub>x</sub>:H-Beschichtung



Anspruchspartner

Dipl.-Ing. Elena Lopez  
Tel.: 0351 / 2583 296

elena.lopez@iws.fraunhofer.de

bogenentladung (Arbeitsbreite 120 mm). Die entstehenden Ätzprodukte (vorwiegend SiF<sub>4</sub>) sind gasförmig und damit leicht von der Oberfläche entfernbar. Bei der plasmachemischen Beschichtung werden die remote zugeführten Precursoren (Silane und NH<sub>3</sub>) in einem durch 2,45 GHz Mikrowellen angeregten Atmosphärendruckplasma (Arbeitsbreite 156 mm) aktiviert und als SiN<sub>x</sub>:H-Schicht auf den Solarwafern abgeschieden.

### Aufgabenstellung

In der Standard-Technologie zur Herstellung kristalliner Silizium-Solarzellen werden für die meisten Ätzschritte nasschemische Prozesse eingesetzt. Das Aufbringen der Antireflexionschicht erfolgt mittels plasmagestützter chemischer Gasphasenabscheidung (PECVD) im Vakuum. Die Kombination der unterschiedlichen Verfahren verursacht hohe Prozesskosten nicht zuletzt durch massiven Robotereinsatz. Die Etablierung eines on-line-Produktionsverfahrens für Solarwafer könnte dem gegenüber wesentliche Kostenvorteile und Produktivitätserhöhungen bringen.

Am IWS werden kontinuierliche Plasmaätz- und -beschichtungsprozesse bei Atmosphärendruck entwickelt, die zukünftig in einer durchgängigen Produktionsanlage kombiniert werden können (Abb.1).

### Lösungsweg

Sowohl zum Siliziumätzen als auch zum Beschichten wird ein Atmosphärendruck-Plasma genutzt, um die entsprechenden Gase aufzuspalten und zu aktivieren. Die Aktivierung der fluorhaltigen Ätzgase (z. B. SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>) erfolgt in einer die gesamte Waferbreite überspannenden Gleichspannungs-

### Ergebnisse

Die nach dem Sägen auf den Wafern vorhandenen Defekte und Verunreinigungen wurden mit SF<sub>6</sub> abgeätzt (Prozessschritt »Sägeschadenätzen«). Die statische Ätzrate betrug bis zu 0,95 µm min<sup>-1</sup>.

Durch Auswahl der Ätzgase und Verweilzeit konnten die Solarwafer gleichzeitig auf der Vorderseite gezielt texturiert werden. Dabei entstanden z. B. nanostrukturierte Oberflächen, die die Reflexion der Wafer auf ca. 10 % verringern. Die maximale Ätzgasausnutzung bei Verwendung von NF<sub>3</sub> wurde mittels FTIR-Gasphasenspektroskopie bestimmt (Abb. 2) und betrug 71 %. Die Kantenisolation der Wafer wird am IWS durch plasmachemisches Rückseitenätzen mit NF<sub>3</sub> oder SF<sub>6</sub> realisiert. Die im Ergebnis einer industriellen Testserie ermittelten Wirkungsgrade der Solarzellen lagen dabei in allen Fällen über dem der nasschemisch geätzten Referenzwafer.

Die Passivierungseigenschaften plasmachemisch hergestellter SiN<sub>x</sub>:H-Schichten wurden in einer ersten Testserie anhand von Lebensdauermessungen auf mono- (Cz) und multi-kristallinen (mc) Si-Wafern geprüft. Die aufgetragenen Schichten führten in beiden Fällen zu einer effektiven Erhöhung der Ladungsträgerlebensdauer (Abb. 3).



## Atmosphärendruck-Plasmatechnologie zur Herstellung photokatalytisch aktiver TiO<sub>2</sub>-Schichten

### Aufgabenstellung

Photokatalytisch aktive Oberflächen gewinnen zunehmend an Bedeutung, u. a. in Form selbstreinigender Fenster oder Fassadenelemente, selbststerilisierender Wandverkleidungen für Krankenhäuser sowie zur Luftreinigung in Flugzeugkabinen.

Dabei werden organische Verunreinigungen in Gegenwart von Sauerstoff vollständig oxidiert. Es entstehen Kohlendioxid, Wasser und mineralische Produkte. Da Titandioxid (Anatas) ein Halbleitermaterial mit einer Bandlücke von 3,2 eV ist, wird Licht mit einer Wellenlänge kleiner als 388 nm zur Initiierung dieser Reaktion benötigt. Neben der selbstreinigenden Wirkung tritt auch eine Hydrophilierung der Oberfläche auf, d. h. Wasser bildet keine Tröpfchen sondern eine dünne Schicht, so dass ein Beschlagen dieser Oberflächen vermieden wird.

Derzeit lassen sich großflächige photokatalytisch aktive Titandioxidschichten nur über nasschemische, vakuumtechnische oder thermische Verfahren (bei Temperaturen über 650 °C) herstellen. Die Optimierung des Herstellungsprozesses ist Ziel aktueller Forschungsarbeiten.

### Lösungsweg

Im Fraunhofer IWS werden Plasma-Beschichtungsprozesse für großflächige Anwendungen entwickelt, die bei Atmosphärendruck in Durchlaufreaktoren realisiert werden. Für TiO<sub>2</sub>-Beschichtungen eignet sich besonders eine mikrowellenplasmagestützte chemische Gasphasenabscheidung, bei der die schichtbildenden Precursoren durch reaktive Plasmaspezies aktiviert werden (Abb. 1). Dadurch ist eine

großflächige, kontinuierliche Beschichtung bei reduzierten Temperaturen und ohne Einsatz kostenintensiver Vakuumanlagen möglich. Das Verfahren ist zur Beschichtung temperaturempfindlicher Materialien geeignet, z. B. für Vergütungsstähle, Aluminium oder vorgeformtes Glas. Durch Schichtdicken im Nanometerbereich (typischerweise 30 - 50 nm) lassen sich die Substrate konformal und haftfest beschichten.

### Ergebnisse

Die bei 250 °C abgeschiedenen TiO<sub>2</sub>-Schichten sind zunächst amorph und weisen nur geringe photokatalytische und superhydrophile Eigenschaften auf. Durch eine Plasmanachbehandlung (PNB) kann die Aktivität dieser amorphen TiO<sub>2</sub>-Schichten durch partielle Umwandlung in Anatas erhöht werden (Abb. 3). Zur Bewertung der photokatalytischen Aktivität der Atmosphärendruck-CVD-Schichten wurde die Abbaurrate von Stearinsäure bestimmt. Die Schichten weisen eine vergleichbare Aktivität wie durch Hochtemperaturprozesse hergestellte kommerzielle Materialien auf (Tab. 1).

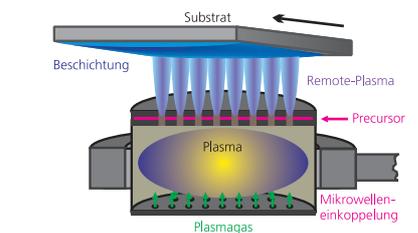
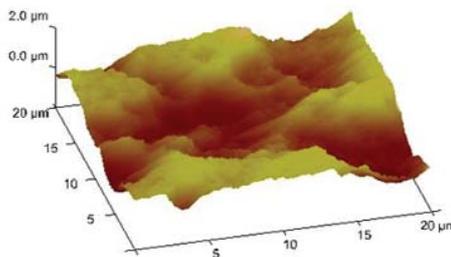


Abb. 1: Prinzip des kontinuierlichen Atmosphärendruck-Mikrowellen-PECVD-Verfahrens

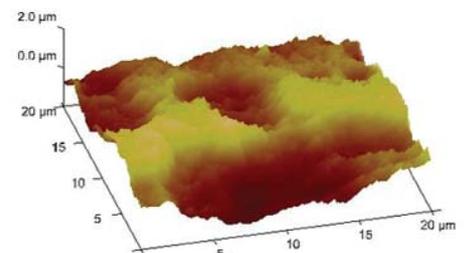


Abb. 2: AFM-Aufnahmen: anodisch oxidiertes Aluminiumblech (links), mit TiO<sub>2</sub>-Beschichtung (rechts)

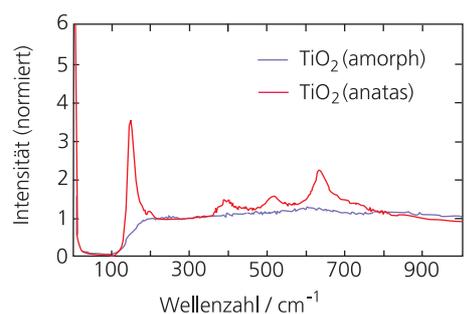


Abb. 3: Ramanspektren von abgeschiedenen (blau) und plasmanachbehandelten TiO<sub>2</sub>-Schichten (rot)

Schichtmaterialien	Stearinsäureabbaurrate [nm h <sup>-1</sup> ]
SG bioclean	14,9
Pilkington active	8,2
Edelstahl + TiO <sub>2</sub>	1,4
Edelstahl + SiO <sub>2</sub> + TiO <sub>2</sub>	5,3
Edelstahl + SiO <sub>2</sub> + TiO <sub>2</sub> (PNB)	13,5

Tab. 1: Stearinsäureabbauraten verschiedener mit TiO<sub>2</sub> beschichteter Substrate, SiO<sub>2</sub> dient als Diffusionsbarriere

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Thomas Abendroth  
Tel.: 0351 / 2583 294

thomas.abendroth@iws.fraunhofer.de



## In-situ-Monitoring des Syntheseprozesses einwandiger Carbon-Nanotubes durch Nahinfrarotspektroskopie

### Aufgabenstellung

Einwandige Kohlenstoffnanoröhrchen (Single Wall Carbon Nanotube; SW-CNT) besitzen auf Grund ihrer außergewöhnlichen mechanischen, optischen und elektronischen Eigenschaften ein vielversprechendes Anwendungspotenzial (z. B. Sensoren, Aktoren, Feldemitter, Superkondensatoren etc.). Um kostengünstig SW-CNTs zu produzieren, ist eine Optimierung des Herstellungsprozesses hinsichtlich Ausbeute und Reinheit der SW-CNTs

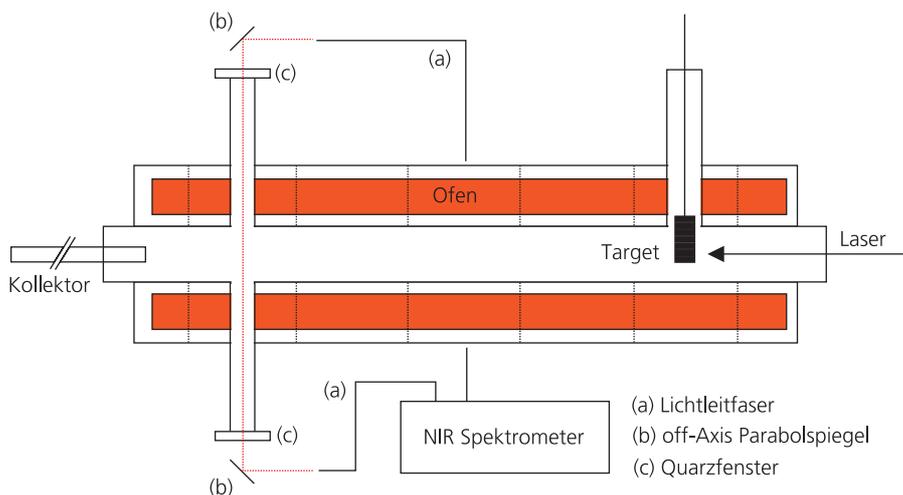


Abb. 1: Schema der Messanordnung

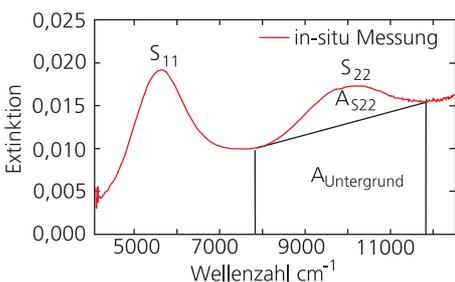


Abb. 2: In-situ NIR - Absorptionsspektrum während der SW-CNT-Synthese

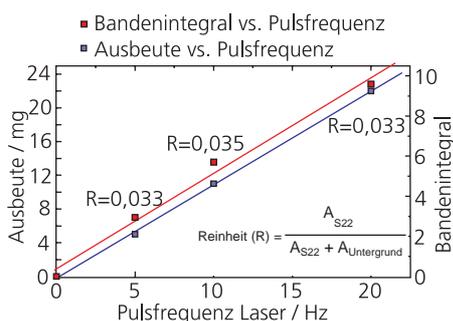


Abb. 3: Abhängigkeit der SW-CNT-Ausbeute und des NIR-Signals von der Laserpulsfrequenz (Prozessdauer 20 min)

### Lösungsweg

SW-CNTs besitzen energetisch tief liegende elektronische Übergänge, welche mit Hilfe der Nahinfrarot (NIR) Spektroskopie erfasst werden können. Die gemessenen Absorptionsspektren ermöglichen Aussagen zur Qualität (Reinheit) und Quantität der SW-CNTs. Diese gewöhnlich ex-situ durchgeführte Methode wurde auf in-situ Messungen am Hochtemperaturreaktor übertragen, in welchem SW-CNTs mittels Laser Ablation (als Modellprozess) hergestellt werden. Dazu erfolgte die faseroptische Kopplung eines NIR-Spektrometers an den Reaktor (Abb. 1). Durch eine optimale Strahlanpassung konnte die sehr intensive thermische Hintergrundstrahlung des auf bis zu 1100 °C erhitzten Synthesereaktors wirksam zurückgedrängt und damit Messungen mit einem sehr guten Signal-Rauschverhältnis realisiert werden.

### Ergebnisse

Die in-situ aufgenommenen Spektren zeigen deutlich die SW-CNT Banden  $S_{11}$  und  $S_{22}$  halbleitender SW-CNTs (Abb. 2). Die Fläche  $A_{S_{22}}$  ist dabei proportional zur erzeugten SW-CNT-Menge, die Fläche  $A_{\text{Untergrund}}$  ist proportional zum Anteil graphitischer Verunreinigungen. Die Summe der Messgrößen entspricht demnach der Gesamtkohlenstoffmenge des Rohproduktes. Die Reinheit  $R$  ergibt sich aus dem Anteil der Bandenfläche  $A_{S_{22}}$  zu dem der Gesamtfläche ( $A_{S_{22}} + A_{\text{Untergrund}}$ ) und kann zur unmittelbaren qualitativen Bewertung des Prozesses herangezogen werden.

Aus Abb. 3 ist ersichtlich, dass bei einem Beispielprozess durch Erhöhung der Laserpulsfrequenz die Ausbeute vervierfacht werden konnte, ohne die Reinheit des Produktes negativ zu beeinflussen. Die Auswertung der Messungen erfolgte dabei prozessbegleitend.

erforderlich. Um prozessnah Aussagen zur Produktqualität und Produktquantität bei gegebenen Herstellungsparametern zu ermöglichen und um effektive Prozessoptimierung zu betreiben, ist ein in-situ Monitoring des Herstellungsprozesses erforderlich.



Anspruchspartner

M. Sc. Matthias Leistner  
Tel.: 0351 / 2583 421  
matthias.leistner@iws.fraunhofer.de



## Bestimmung von Gasschichtungen in technischen Anlagen durch Diodenlaser-Tomographie

### Aufgabenstellung

Thermochemische Prozesse, z. B. CVD-Beschichtungen in der Mikroelektronik, zeichnen sich durch reaktives Einwirken der Gasphase auf das Behandlungsgut aus. Bei typischerweise ausgedehnten Reaktionsräumen und komplexen Strömungsverhältnissen formieren sich zwangsläufig komplizierte Gaskonzentrationsfelder, die die Gleichmäßigkeit der Behandlung beeinflussen. Die kontinuierliche Überwachung der Gasphase ermöglicht so neue Varianten der Prozesskontrolle.

Bisherige Messungen - extraktiv als auch direkt durch den Reaktor - liefern nur eine eindimensionale Konzentrationsinformation. Kombiniert mit tomographischer (bildgebender) Datenverarbeitung sollten darum die Möglichkeiten der hochsensitiven und -selektiven Laserdiodenspektroskopie um den Vorteil der Ortsauflösung erweitert werden.

### Lösungsweg

Zur Bestimmung von Konzentrationsverteilungen wird die NIR-Laserabsorptionsspektroskopie mit tomographischen Methoden kombiniert. Bei der Tomographie wird das Untersuchungsobjekt unter verschiedenen Winkeln mit mehreren Diagnosestrahlen abgetastet. Mit mathematischen Algorithmen wird daraus die Konzentrationsverteilung rekonstruiert.

Die Realisierbarkeit dieses neuartigen Verfahrens wurde im IWS an einer Zwei-Komponenten-Gasschichtung ( $\text{NH}_3 / \text{N}_2$ ) demonstriert.

Dazu wurde zur Erzeugung einer quasistatischen Konzentrationsverteilung in einem Quarzglas-Modell-Reaktor über ein spezielles Mischsystem das Modellgasgemisch in Form einer laminaren Strömung bereitgestellt, die sich beim Durchfließen des Reaktors zu einer Gasschichtung entfaltet (Abb. 3). Drei sich kreuzende Diodenlaserstrahlen, die rotierend um den Reaktor geführt wurden, lieferten eine Matrix winkelabhängiger Messwerte im Bereich 0 - 1800 ppm  $\text{NH}_3$ . Mit aus der Medizintechnik entlehnten tomographischen Algorithmen wurde daraus die  $\text{NH}_3$ -Konzentration örtlich aufgelöst rekonstruiert (Abb. 1).

Das Gesamtsystem wurde durch Einsatz kollimierender Detektoroptiken und automatische Korrektur von Rekonstruktionsartefakten fehlertolerant gestaltet. Mit fluiddynamischen Simulationen wurden die gemessenen Ergebnisse verifiziert (Abb. 2).

### Ergebnisse

Erstmals wurde gezeigt, dass mit laserdiodenspektroskopischen Verfahren Gasatmosphären nicht nur eindimensional, sondern ortsaufgelöst detektierbar und dreidimensional darstellbar sind. Die erarbeiteten Verfahren können auf andere Gasmischungen übertragen und zur Überwachung und Steuerung messtechnisch schwer erfassbarer Industrieanlagen angewandt werden.



Abb. 3: Modellreaktor mit Gasbereitstellungssystem und rotierender 3-Kanal-Sensoranordnung

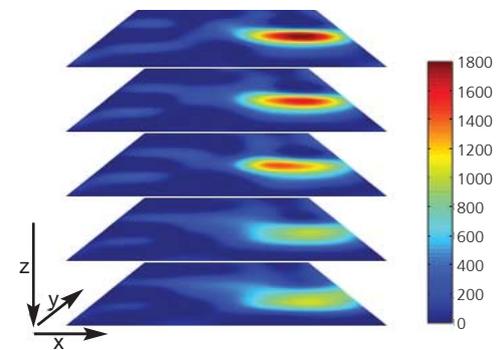


Abb. 1: Tomographisches Rekonstruktionsergebnis der  $\text{NH}_3 / \text{N}_2$ -Gaskonzentrationsverteilung in verschiedenen Reaktorebenen bei exzentrischem Einlaß des Gasgemisches

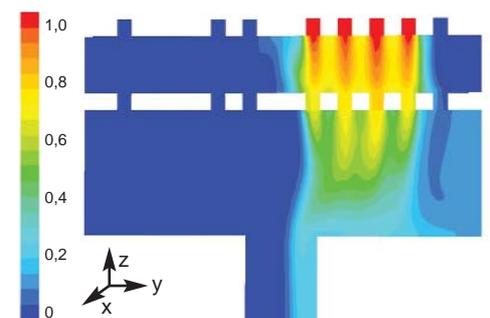


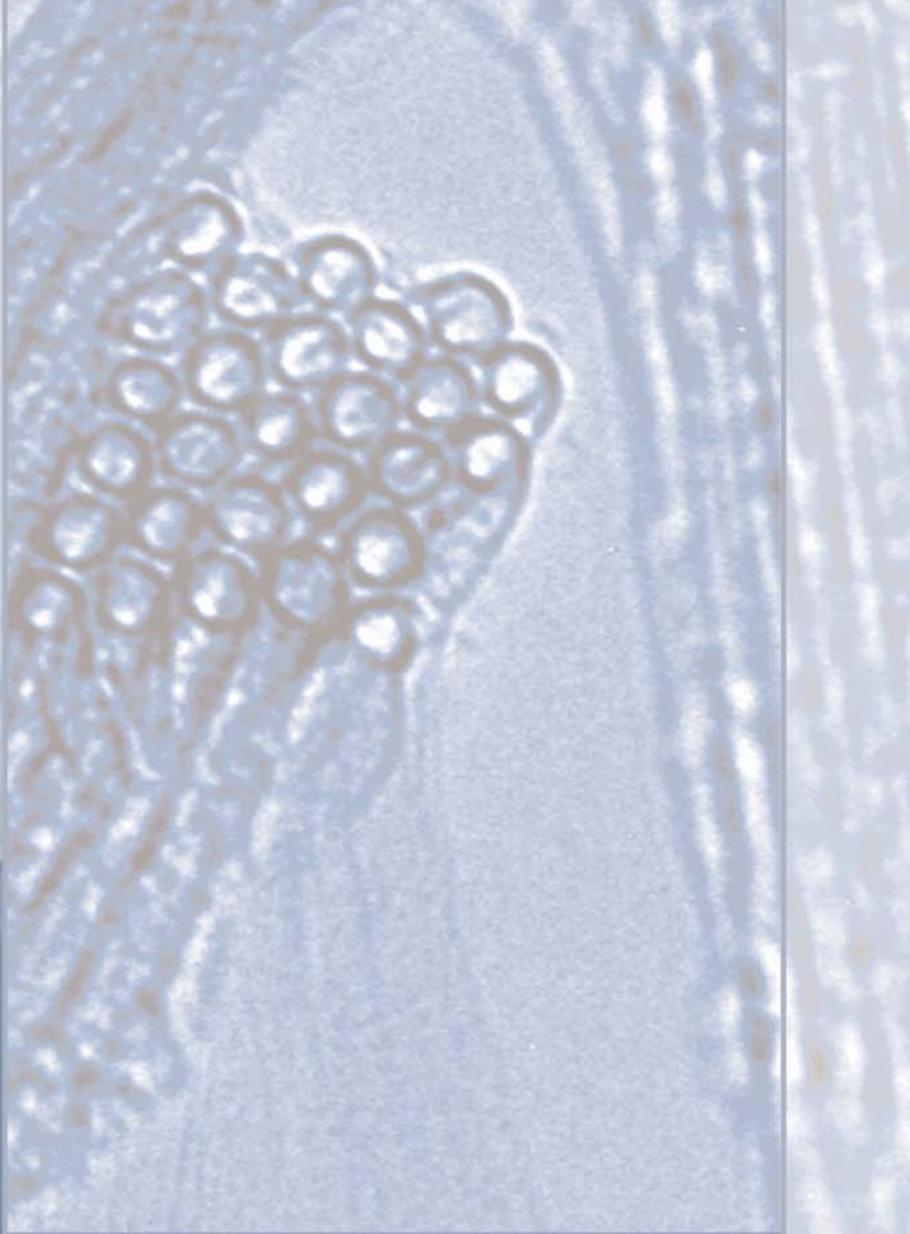
Abb. 2: Fluiddynamische Simulation der  $\text{NH}_3 / \text{N}_2$ -Gaskonzentrationsverteilung im Modellreaktor mit Gasein- und -auslasszone (Querschnittsansicht)

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Thomas Kuntze  
Tel.: 0351 / 2583 227

thomas.kuntze@iws.fraunhofer.de





## Forschungs- und Entwicklungsangebot: PVD- und Nanotechnologie

**Redaktion:** Gleich zu Beginn des Jahres 2007 hat es in Ihrer Abteilung eine größere Umorganisation und Umstrukturierung gegeben. Was war der Grund dafür und ergeben sich daraus Vorteile?

**Dr. Leson:** Wesentlicher Grund hierfür war das altersbedingte Ausscheiden von Prof. Schultrich zu Jahresanfang. Dadurch bot sich die Gelegenheit, die bisherigen Abteilungen PVD-Dünnschichttechnologie sowie Röntgen- und EUV-Optik zusammenzulegen. Hierdurch können wir noch besser als bisher schon die Synergien nutzen, die sich daraus ergeben, dass beide bisherigen Abteilungen großes Know-how bei unterschiedlichen Beschichtungsverfahren besitzen, die sich sehr gut ergänzen, wovon auch unsere Kunden profitieren.

**Redaktion:** Welche besonderen Entwicklungen und Tendenzen hat es in Ihrer Abteilung im vergangenen Jahr gegeben?

**Dr. Leson:** Wir haben beispielsweise unser laserbasiertes Verfahren zur Innenbeschichtung, das wir bisher überwiegend für die Erzeugung von Wärmedämmschichten eingesetzt haben, mit großem Erfolg auch für die Erzeugung von optischen Vergütungsschichten insbesondere im kurzwelligen Wellenlängenbereich eingesetzt. So konnten wir durch die Innenbeschichtung von EUV-Kollektoren deren Effizienz deutlich steigern. Im Rahmen eines BMBF-Projektes erproben wir zudem den Einsatz der Ionenstrahltechnik zur ultrapräzisen Bearbeitung von Substraten für Röntgenoptiken, um hier eine neue Qualitätsstufe zu erreichen.

**Redaktion:** Die Erzeugung ultraharter amorpher Kohlenstoffschichten ist ja seit langem ein ganz zentrales Thema der PVD-Dünnschichttechnik, mit der sich viele Gruppen befassen. Wodurch heben Sie sich von diesen ab?

**Dr. Leson:** Es zeigt sich immer mehr, dass die ta-C-Schichten, die wir mit unseren Verfahren herstellen, deutliche Vorteile gegenüber den klassischen a-C:H-Schichten aufweisen. Neben der um einen Faktor zwei bis drei höheren Härte sind es insbesondere die vorteilhaften Eigenschaften beim Reibverhalten, die ein großes Zukunftspotenzial besitzen. Zudem haben unsere Diamor®-Schichten exzellente Ergebnisse bei der trockenen Umformung von Aluminium gezeigt. Nachdem wir auch die für eine industrielle Serienproduktion erforderliche Anlagentechnik mit unseren Laser-Arc-Modulen zur Verfügung haben, arbeiten wir nunmehr mit Hochdruck an der breiten Überführung in die Industrie.

**Redaktion:** Gibt es bei den Diamor®-Schichten noch weiteres Entwicklungspotenzial?

**Dr. Leson:** Auf jeden Fall. So arbeiten wir intensiv an der Entwicklung einer innovativen Filtertechnik, um sehr glatte Schichten mit dem Laser-Arc abscheiden zu können. Aber auch für nichttribologische Anwendungen der Diamor®-Schichten gibt es noch ein großes Potenzial, das wir erschließen wollen.



*Die Zukunft gehört denjenigen,  
die Möglichkeiten erkennen,  
bevor sie offensichtlich werden.*  
Theodore Levitt



**Dr. Andreas Leson**  
Abteilungsleiter  
(Tel. 2583 317,  
andreas.leson@iws.fraunhofer.de)



**Dr. Stefan Braun**  
Gruppenleiter Röntgen- und EUV-Optik  
(Tel. 2583 432,  
stefan.braun@iws.fraunhofer.de)



**Dr. Oliver Jost**  
Gruppenleiter Nanotubes und -partikel  
(Tel. 2583 477,  
oliver.jost@iws.fraunhofer.de)

### Herstellung und Charakterisierung von Nanometer-Präzisionsschichten

Nanometer-Einzel- und Multischichten werden in der EUV- und Röntgenoptik zur Strahlformung und Monochromatisierung eingesetzt. Für die Abscheidung der metallischen oder dielektrischen Schichten kommen die Verfahren der Magnetron- und Ionenstrahl-Sputter-Deposition sowie der Puls-Laser-Deposition zum Einsatz. Die Schichtsysteme zeichnen sich aus durch:

- höchste Schichtdickengenauigkeiten,
- geringste Rauheiten,
- hohe chemische Reinheiten,
- exzellente laterale Homogenitäten,
- sehr gute Reproduzierbarkeiten.

Neben der Entwicklung und Herstellung von Präzisionsschichten bieten wir unsere langjährigen Erfahrungen auf den Gebieten der Charakterisierung und Modellierung von Nanometerschichten an. Folgende Technologien sind in unseren Labors verfügbar:

- Röntgenreflektometrie,
- EUV-Reflektometrie,
- Röntgendiffraktometrie und
- Eigenspannungsmessungen.



Spiegel mit Reflexionsbeschichtung

### Carbon-Nanotubes

Kohlenstoff-Nanoröhren (Carbon-Nanotubes) zeigen eine Reihe besonderer Eigenschaften wie hohe Festigkeit, sehr gute thermische und elektrische Leitfähigkeit, interessante optische Eigenschaften. Im Materialverbund bewirken schon sehr geringe Zusätze von Carbon-Nanotubes völlig neue Funktionalitäten des Matrixmaterials bei gleichzeitig sehr geringer Einflussnahme auf sonstige Matrixeigenschaften und Verarbeitungsprozesse.

Ein am IWS entwickelter, neuartiger verdampfungsbasierter Syntheseprozess erzeugt reine, einwandige Carbon-Nanotubes mit sehr engem Eigenschaftsspektrum in zunehmend grösserer Menge. Für die Einführung und Entwicklung von Materialverbunden mit besonderen Eigenschaften bietet das IWS Carbon-Nanotubes in verschiedenen Qualitäten und Verarbeitungsstadien an. Verbundentwicklungen können durch Modellierungen und umfangreiche Charakterisierungen der Verbundmaterialien begleitet werden.



Arc-Synthese von Fäden aus Kohlenstoff-Nanoröhren



### Dr. Volker Wehnacht

Gruppenleiter Kohlenstoffschichten  
(Tel. 2583 247,  
volker.wehnacht@iws.fraunhofer.de)

#### Beschichtung mit superhartem amorphem Kohlenstoff

Amorphe Kohlenstoffschichten mit tetraedrischen Diamantbindungen (ta-C) vereinen sehr hohe Härte, niedrige Reibung und chemische Inertheit. Sie sind deshalb in hervorragendem Maße als Schutzschichten einsetzbar. Die vom IWS entwickelten ta-C-Schichtsysteme (Diamor®) können mit sehr guter Haftung im Schichtdickenbereich von wenigen Nanometern bis zu einigen zehn Mikrometern abgeschieden werden. Die Abscheidung erfolgt bei niedrigen Temperaturen im Vakuum mit speziell entwickelten Puls-Bogen-Verfahren. Für die industrielle Einführung der Diamor®-Schichten liefert das IWS zusammen mit Partner-Unternehmen neben der Technologie auch die erforderlichen Beschichtungsquellen und Beschichtungsanlagen. Das Angebot wird ergänzt durch die laserakustische Prüftechnik Lawave® zur Qualitätssicherung und Schichtoptimierung.



Anlage zur Abscheidung von superharten diamantähnlichen Kohlenstoffschichten (Diamor®) nach dem Laser-Arc-Verfahren



### Dr. Otmar Zimmer

Gruppenleiter PVD-Schichten  
(Tel. 2583 257,  
otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de)

#### Beschichtung mittels aktivierter Hochrateverfahren

Verfahren der Physikalischen Dampfphasenabscheidung (PVD = Physical Vapor Deposition) erlauben die Abscheidung hochwertiger tribologischer und funktioneller Schichten im Dickenbereich von wenigen Nanometern bis zu einigen zehn Mikrometern. Dazu stehen im IWS Verfahren von der Hochrate-Bedampfung bis hin zu hochaktivierten Plasmaverfahren sowie deren Kombination zur Verfügung. Einen besonderen Schwerpunkt bildet die umfassende Nutzung von Bogenentladungen als der effektivsten Quelle energiereicher Dampfstrahlen. Auf der Grundlage dieser Technologien bieten wir an:

- Musterbeschichtungen,
- Schichtcharakterisierung,
- Entwicklung von Schichtsystemen,
- kundenspezifische Anpassung von Beschichtungsverfahren,
- Wirtschaftlichkeits- und Machbarkeitsstudien,
- Entwicklung und Fertigung angepasster Anlagenkomponenten.



Metallverdampfung mittels Elektronenstrahltechnologie

#### Beispiele aus den Arbeiten 2007

1. Kohlenstoff-basierte Einzel- und Multischichten für Röntgen- und Neutronenoptiken 70
2. Kollektoren für extrem ultraviolette (EUV) Strahlung 71
3. Carbon Nanotubes als Basis für neue Materialverbünde 72
4. Superharte Kohlenstoffschichten mit Potenzial zur trockenen Aluminium-Blechumformung 73
5. Diamor®-beschichtete Membranen für Anwendung in einem elektrochemischen Gassensor 74
6. Geometriespeichernde Schichtverbünde für die Herstellung prototypischer Gießformen und Spritzgießwerkzeuge 75

## Kohlenstoff-basierte Einzel- und Multischichten für Röntgen- und Neutronenoptiken

### Aufgabenstellung

Kohlenstoff ist als Beschichtungsmaterial für röntgenoptische Anwendungen wegen seiner über einen weiten Spektralbereich geringen und kantenfreien Absorption von großem Interesse. Mit den gängigen Vakuumbeschichtungsverfahren ist es möglich, Kohlenstoffschichten verschiedener Modifikation, d. h. (röntgen-)optischer Dichte, herzustellen. Gelingt es weiterhin, diese Modifikationen auch innerhalb eines Schichtstapels als hoch- und niedrigdichte Wechschichten chemisch stabil, glatt und reproduzierbar abzuscheiden, können hochreflektierende und gleichzeitig auch hochauflösende Röntgenspiegel erzeugt werden.

Wasserstofffreie diamantartige Kohlenstoffschichten (ta-C) sind des weiteren für den Einsatz als Reflektoren für ultrakalte Neutronen von besonderem Interesse. Hierbei kommt ta-C als potenzieller Ersatz des derzeit meist genutzten, aber hochtoxischen Schichtmaterials Beryllium in Frage. Dazu sind glatte ta-C-Schichten mit möglichst hohem  $sp^3$ -Gehalt auf relativ großen Flächen (typisch mehrere  $100\text{ cm}^2$ ) notwendig.

Beschichtungstechniken wie Verdampfung oder Magnetronspütern zeichnet sie sich durch höhere kinetische Energien der schichtbildenden Teilchen aus. Durch einen zusätzlichen Direktbeschuss der wachsenden Schicht (Assistbetrieb) parallel zum primären Sputtervorgang lassen sich die Schichteigenschaften gezielt einstellen und insbesondere auch sehr glatte Oberflächen erzeugen. Im Fall von Kohlenstoffeinzelschichten und Multischichten können durch Variation der primären und assistierenden Ionenparameter Dichte und  $sp^3$ -Gehalt über einen weiten Bereich gezielt verändert werden.

### Ergebnisse

Abb. 1 zeigt die Dichten von auf der IBSD-Anlage »IonSys 1600« hergestellten Kohlenstoff-Einzelschichten in Abhängigkeit von der verwendeten Primärlonenart und -energie. Es können Werte zwischen etwa  $2,0$  und  $2,7\text{ g cm}^{-3}$  realisiert werden, wobei Schichten mit extrem geringen Oberflächenrauheiten im Bereich von  $0,10$  bis  $0,15\text{ nm RMS (AFM)}$  entstehen. Für die Kohlenstoffschichten hoher Dichte wurden E-Moduli von  $400$  bis  $450\text{ GPa}$  gemessen und entsprechend ein  $sp^3$ -Gehalt von  $50$  bis  $55\%$  abgeschätzt.

Kohlenstoff-basierte Multischichten für Röntgenoptiken (z. B. Systeme Ni/C, Cr/C, C/C) und ta-C-Einzelschichten auf Substraten mit Größen bis zu einem Durchmesser von  $200\text{ mm}$  bzw.  $200 \times 500\text{ mm}^2$  Kantenlänge wurden auf der IBSD-Anlage »IonSys 1600« beschichtet. Dabei konnten Dickenabweichungen im Bereich von  $0,1\%$  über die gesamte Beschichtungsfläche realisiert werden. Abb. 2 zeigt beispielhaft eine mit  $250\text{ nm ta-C}$  beschichtete Glasplatte der Abmessung  $500 \times 100\text{ mm}^2$ .

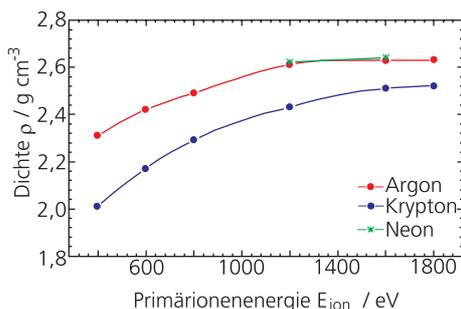


Abb. 1: Abhängigkeit der Dichte von auf der »IonSys 1600« hergestellten Kohlenstoffschichten von den primären Ionenparametern



Abb. 2: DLC-beschichtete Glasplatte mit Abmessungen von  $500 \times 100\text{ mm}^2$

### Lösungsweg

Die Ionenstrahlspüternbeschichtung (IBSD) eignet sich in besonderer Weise zur Herstellung qualitativ hochwertiger röntgenoptischer Multischichten. Im Vergleich zu alternativen Vakuum-



Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Peter Gawlitza  
Tel.: 0351 / 2583 431

peter.gawlitza@iws.fraunhofer.de



## Kollektoren für extrem ultraviolette (EUV) Strahlung

### Aufgabenstellung

Entsprechend der Roadmap der Halbleiterindustrie wird für die Belichtung von integrierten Schaltkreisen mit Strukturbreiten von 32 nm und darunter die EUV-Lithographie bei einer Photonenwellenlänge von 13,5 nm angewendet. Die Strahlung wird mittels Gasentladungs- oder Laserpulsplasmen erzeugt.

Die von den Quellen in alle Raumrichtungen emittierte Strahlung muss durch geeignete Kollektoroptiken in den sogenannten Zwischenfokus geführt werden. Ein möglicher Ansatz ist die Verwendung von Wolter-Typ-1-Optiken, wie sie bereits seit Jahrzehnten in der Astronomie eingesetzt werden (Abb. 3).

Die Umlenkung der EUV-Strahlung in den Schalen erfolgt über Totalreflexion. Daher ist neben Anzahl und Größe der Schalen die Art der Innenbeschichtung ein wesentlicher Parameter für den Strahlungsdurchsatz. Ziel der Arbeiten war eine Vergütung der Oberflächen mit Rutheniumschichten, um hohe EUV-Reflexionsgrade zu erzielen.

### Lösungsweg

Die am IWS entwickelte und patentierte Technologie zur Innenrohrbeschichtung durch Laserpulsabscheidung (PLD) stellt eine sehr flexible Möglichkeit dar, auch komplexere Geometrien mit präzisen Schichten im Nanometerbereich zu versehen.

Die Beschichtung findet im Hochvakuum bei einem Arbeitsdruck von  $10^{-6}$  mbar statt. Eine zu beschichtende Kollektorschale befindet sich auf einem Substratwagen und rotiert um die Rotationsachse, auf welcher sich auch das Rutheniumtarget befindet. Dieses wird mit einem gütegeschalteten Nd:YAG-Laser ( $\lambda = 1064$  nm) bei Laserleistungsdichten von einigen  $\text{GW cm}^{-2}$  ablatiert. Das so erzeugte Plasma kondensiert auf der Substratoberfläche und bildet die Schicht.

### Ergebnisse

Da die Kollektoroptik aus Schalen verschiedener Durchmesser besteht, wurde zunächst ein schalenspezifisches Target-Substrat-Bewegungsregime modelliert. Als Ausgangspunkt wurde die Schichtdickenverteilung genutzt, welche sich durch eine Relativbewegung mit konstanter Geschwindigkeit ergibt. Durch Optimierung der Relativbewegung mit verschiedenen Geschwindigkeiten ist es möglich, eine Schichtdickenhomogenität von mehr als 97 % über einen Bereich von 150 mm zu erreichen, wobei die mittlere Rutheniumdicke 51,4 nm beträgt (Abb. 1).

In Abb. 2 ist der EUV-Reflexionsgrad ( $\lambda = 13,5$  nm) einer 50 nm dicken Rutheniumschicht in Abhängigkeit vom Glanzwinkel dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass der gemessene Reflexionsgrad noch etwas unterhalb des idealen Wertes für perfekt glatte Substratoberflächen liegt, aber dennoch die Spezifikation erfüllt.

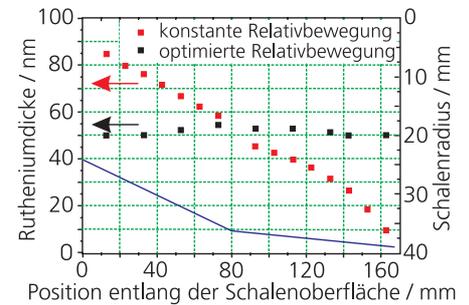


Abb. 1: Beispiel eines Verlaufs der Rutheniumschichtdicke über die Längsrichtung einer Kollektorschale

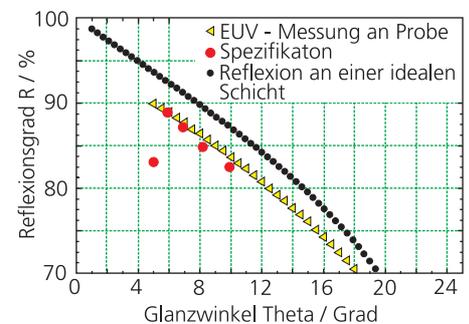


Abb. 2: Vergleich der idealen (schwarz), gemessenen (gelb) und spezifizierten (rot) EUV-Reflexionsgrade ( $\lambda = 13,5$  nm) einer 50 nm dicken Rutheniumschicht



Abb. 3: Schematische Darstellung einer Wolter-Typ-1-Optik zur Fokussierung von EUV-Strahlung

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Sebastian Lipfert  
Tel.: 0351 / 2583 256

sebastian.lipfert@iws.fraunhofer.de



## Carbon Nanotubes als Basis für neue Materialverbünde

### Aufgabenstellung

Kohlenstoff-Nanoröhren (Carbon Nanotubes) sind als neue Nanomaterialien für ihre Eigenschaftsweltrekorde (physikalisch, mechanisch und elektrisch) bekannt. Auf unterschiedlichsten Gebieten sollen daher in Zukunft diese extrem leichten, festen und leitfähigen Materialien in Materialverbünden eingesetzt werden. Mit Kohlenstoff-Nanoröhren versetzte Polymere, Metalle und Keramiken können z. B. als mechanisch verstärkte Komposite, Leichtbaumaterial, transluzente Elektroden, Aktuatoren, Superkondensatoren, Nanoelektronik zum Einsatz kommen. Dies erfordert die Verfügbarkeit von größeren Mengen von Nanoröhren mit genau bekannten Eigenschaften sowie die Modifikation bzw. Funktionalisierung der Nanoröhren, um deren Verarbeitung in diversen Matrixmaterialien mit den gewünschten Eigenschaften zu gewährleisten und darauf aufbauend die Bereitstellung von Halbzeugen zu einem attraktiven Preis zu ermöglichen.

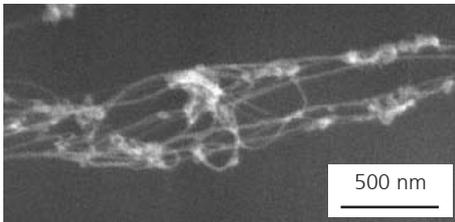


Abb. 1: Seil aus einwandigen Kohlenstoff-Nanoröhren

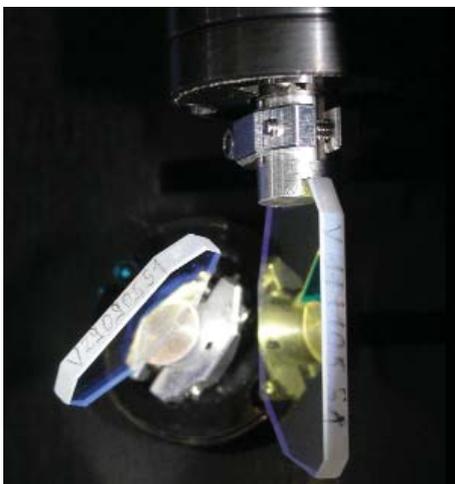


Abb. 2: Spiegelscanner für Laser-Arc-Prozess zur Herstellung einwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren



Abb. 3: CNT-Synthese-Labor

### Lösungsweg

Das IWS bedient apparativ die gesamte Prozesskette von der Herstellung von Kohlenstoff-Nanoröhren bis zur Herstellung von Halbzeugen, wobei alle benötigten Schritte in einem oder zwei Reaktoren direkt hintereinander in einem geschlossenen System innerhalb weniger Minuten ablaufen und über in-line Messtechnik gesteuert werden können bzw. sollen. Diese apparative und prozesstechnische Integration ist für die Herstellung und Modifikation von Kohlenstoff-Nanoröhren weltweit einmalig. So können alle Prozessschritte kostengünstig kombiniert und variiert werden und die Nanoröhren spezifisch und schnell an gewünschte Bedingungen, Anwendungen und Produkte angepasst werden.

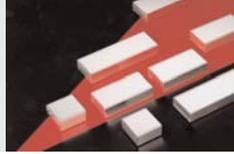
### Ergebnisse

Das IWS hat ein lichtbogenbasiertes Verfahren entwickelt, mit dem zukünftig im kg-Maßstab einwandige, defektarme und vor allem lange Kohlenstoff-Nanoröhren über die Gasphase hergestellt werden können. Parallel dazu wurde eine oxidative Aufkonzentration der Nanoröhren zur Entfernung von Nebenprodukten in-situ im Reaktor direkt nach der Herstellung ermöglicht. Im derzeitigen Optimierungsstadium beträgt die Ausbeute dadurch ca. 80 %. Diese Kohlenstoff-Nanoröhren werden am IWS in ausgewählten Modellsystemen (Polymere / Kleber) dispergiert und angepasst. Für die nächsten Jahre sind weitergehende in-situ-Funktionalisierungen der Nanoröhren noch während der Herstellung vorgesehen.



Ansprechpartner

Dr. Oliver Jost  
Tel.: 0351 / 2583 477  
oliver.jost@iws.fraunhofer.de



## Superharte Kohlenstoffschichten mit Potenzial zur trockenen Aluminium-Blechumformung

### Aufgabenstellung

Die Umformung von Aluminiumblechen zu sofort einsetzbaren Teilen mit guter Oberflächenqualität stellt hohe Ansprüche an die Oberfläche der eingesetzten Werkzeuge. So werden zunehmend die oft sehr teuren und kompliziert geformten Werkzeugoberflächen durch Beschichtungen veredelt, um den Verschleiß zu reduzieren, Anhaftungen zu verhindern sowie die Reibung zwischen Werkzeugoberfläche und Blech herabzusetzen. Trotzdem ist die Verwendung eines Schmiermittels in der Regel unvermeidbar. Daher sind nach dem Umformprozess z. T. kostenaufwändige Reinigungsschritte zur Entfernung der Schmiermittelreste erforderlich.

### Lösungsweg

Eine Lösung stellt die Beschichtung der Umformwerkzeuge mit diamantähnlichen Kohlenstoffschichten (DLC) dar, die sich aufgrund ihres kovalenten Bindungscharakters durch eine geringe Adhäsionsneigung zu Metallen und entsprechend niedrigen Reibungskoeffizienten um 0,1 im ungeschmierten Kontakt auszeichnen.

Eine Sonderstellung nehmen dabei die ta-C-Schichten ein, die mit Härten von ca. 5000 HV eine deutlich höhere Verschleißbeständigkeit als klassische DLC-Schichten erreichen (ta-C = tetraedrisch gebundener amorpher Kohlenstoff). Die im Fraunhofer IWS im industriellen Maßstab hergestellten und unter dem Markennamen Diamor® bekannten Schichten haben sich bereits in den unterschiedlichsten Verschleißschutzanwendungen bewährt.

Wie sich im Rahmen jüngster Untersuchungen zur Aluminiumbearbeitung herausstellte, zeigen die Diamor®-Schichten nicht nur hinsichtlich des

Verschleißaspektes, sondern teilweise auch bezüglich der Klebneigung ein gegenüber klassischen DLC-Schichten deutlich überlegenes Verhalten.

Die Untersuchungen zur Aluminium-Blechumformung erfolgten am Institut für Produktionstechnik der TU Dresden in Form von Streifenziehversuchen (Abb. 1). Dabei wurde die Aluminiumlegierung AlMg5Mn sowie die hinsichtlich der Klebneigung besonders kritische Legierung Al99,5 verwendet. Im Vergleich standen dabei unbeschichtete Werkzeuge in Kombination mit drei typischen Schmierstoffen sowie Diamor®-beschichtete Werkzeuge ohne Schmierstoff.

### Ergebnisse

Die in Abb. 2 dargestellten Kurven der Ziehkraftverläufe zeigen, dass Diamor®-beschichtete Umformwerkzeuge ohne Schmiermittel ein ebenbürtiges Umformverhalten wie unbeschichtete Oberflächen beim Einsatz hochwertiger Ziehöle aufweisen. Betrachtet man dazu noch die Kontaktflächen der Werkzeuge (Abb. 3), dann sind bei den mit Ziehöl benetzten unbeschichteten Oberflächen z. T. deutlich Kaltverschweißungen zu erkennen.



Diamor®  
trocken



Öl:  
Raziol CLF 11



Öl:  
Aquaform ST / X



Öl:  
Raziol 18 ST

Die vollständig ungeschmierte Diamor®-Beschichtung weist dagegen eine nahezu blanke Oberfläche auf. Diese Untersuchungen zeigen, dass mit den hervorragenden Eigenschaften der Diamor®-Beschichtung die Voraussetzungen für die schmiermittelfreie Aluminium-Blechumformung gegeben sind. Anhand von beschichteten Rollen zur Aluminium-Rohrherstellung bestätigten sich die guten Ergebnisse bereits in der industriellen Praxis.

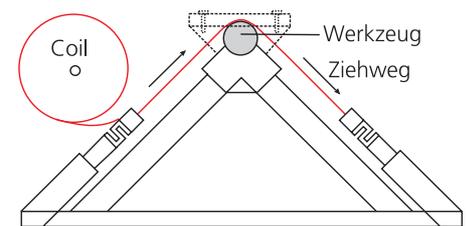


Abb. 1: Schematische Darstellung des Streifenziehversuchs (Blech rot markiert)

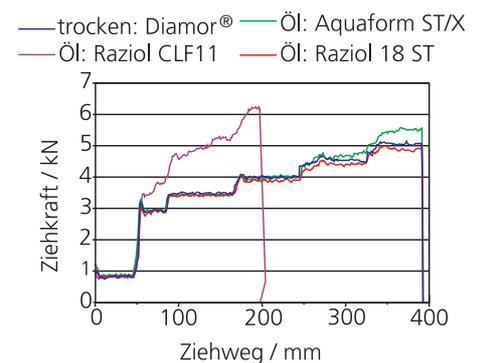


Abb. 2: Kraftverlauf in Streifenziehversuchen mit AlMg5Mn-Blech. Werkzeug unbeschichtet mit Öl bzw. Diamor®-beschichtet, trocken



Abb. 3: Werkzeuge nach Ziehversuchen mit AlMg5Mn-Blechstreifen (vgl. Abb. 2).

### Ansprechpartner

Dr. Volker Weihnacht  
Tel.: 0351 / 2583 247

volker.weihnacht@iws.fraunhofer.de



## Diamor®-beschichtete Membranen für Anwendung in einem elektrochemischen Gassensor

### Aufgabenstellung

Elektrochemische Gassensoren werden zur Messung und Überwachung der Konzentration von über 250 verschiedenen Gasen und Dämpfen in der Umgebungsluft eingesetzt. Abb. 1 zeigt das Prinzip eines Sensors. Das zu messende Gas diffundiert durch eine Kunststoffmembran in die mit einem Elektrolyt gefüllte Messkammer. Zwischen Referenzelektrode und Messelektrode liegt eine konstante Spannung an. Das Gas wird an der Messelektrode elektrochemisch umgewandelt. Der entstehende Strom, der der Konzentration des Gases proportional ist, wird verstärkt und angezeigt. Das Arbeitspotenzial, der Elektrolyt und das Material der Messelektrode müssen dabei dem zu messenden Gas angepasst sein, um die geforderte Selektivität, Sensitivität und Stabilität eines Sensors zu gewährleisten.

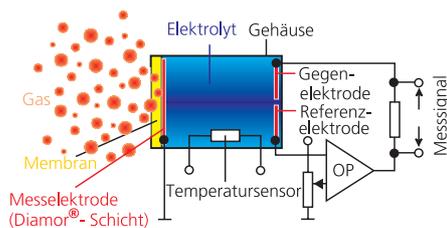


Abb. 1: Schematische Darstellung des Aufbaus des elektrochemischen Gassensors



Abb. 2: Überwachung während der Anästhesie



Anspruchspartner

Dr. Hans-Joachim Scheibe

Tel.: 0351 / 2583 455

[hans-joachim.scheibe@iws.fraunhofer.de](mailto:hans-joachim.scheibe@iws.fraunhofer.de)

Eine besondere Herausforderung stellt der Bau eines Sensors dar, mit dem ein Nachweis des intravenös verabreichten Narkosemittels Propofol im Konzentrationsbereich von 1-20 ppb in der Atemluft des Patienten während einer Operation erfolgen kann. Die Aufgabenstellung besteht darin, ein Membran-Elektroden-System anzubieten, mit dem das Propofol mit der geforderten Nachweisgrenze in der Atemluft bestimmt werden kann.

### Lösungsweg

Als aussichtsreichstes Material für ein derartiges System konnte eine mit amorphem Kohlenstoff beschichtete Membran selektiert werden. Die im IWS Dresden entwickelte und erprobte Abscheidetechnologie des laser-

gesteuerten Vakuumbogens (Laser-Arco®) besitzt das Potenzial für die Abscheidung von nicht nur superharten (Diamor®), sondern auch solchen amorphen Kohlenstoffschichten mit angepasster Nano-Struktur und definierten elektrischen und chemischen Eigenschaften. Von besonderem Vorteil ist, dass die Beschichtung bei so niedrigen Temperaturen ausgeführt werden kann, dass empfindliche Kunststofffolien weder geschädigt noch in ihren Eigenschaften verändert werden. Durch die industriell einsetzbaren Dimensionen der im IWS angewendete Beschichtungstechnik können die erforderlichen Folienflächen mit hoher Schichtdickenhomogenität und Effektivität beschichtet werden.

### Ergebnisse

Mittels Laser-Arco®-Technologie wurde eine amorphe Kohlenstoffschicht derart optimiert auf der empfindlichen Kunststoffmembran abgeschieden, dass die erforderlichen Eigenschaften des Membran-Elektroden-System stabil und reproduzierbar erfüllt werden. Das betrifft neben dem Schutz der Grundfolie beim Herstellungsprozess vor allem die erforderliche elektrische Leitfähigkeit und die elektrokatalytische Wirkung der Kohlenstoffschicht. In Tierversuchen konnte durch die Drägerwerk AG sowohl die erforderliche Langzeitstabilität des Sensors als auch eine verbesserte Nachweisgrenze im geforderten ppb-Bereich nachgewiesen werden. Gegenwärtig wird der Sensor in seiner klinischen Anwendung erprobt. Der Einsatz eines solchen Atemgassensors ermöglicht eine patientenschonende kontinuierliche Überwachung der Dosierung des Narkosemittels in seiner klinischen Anwendung (Abb. 2).



## Geometriespeichernde Schichtverbunde für die Herstellung prototypischer Gießformen und Spritzgießwerkzeuge

### Aufgabenstellung

Um ihre Marktfähigkeit im globalen Wettbewerb zu erhalten, müssen die Unternehmen die Entwicklungszeiten neuer Produkte reduzieren und innovative Verfahren zu deren Fertigung einsetzen. Unter diesem Zeit- und Kostendruck gewinnt die effektive Herstellung technischer Prototypen, sowie von Vor- und Kleinserienteilen zunehmende Bedeutung.

Ziel des vorliegenden Projektes war die Entwicklung einer Werkzeug- und Formenbautechnologie zur schnellen und kostengünstigen Fertigung standzeit-optimierter Gießformen und Spritzgießwerkzeuge.

### Lösungsweg

Die Herstellung des Formspeichers, der später die Kavität des Formwerkzeuges bildet, erfolgt durch Abformung eines Positivmodells mittels eines Schichtverbundes, bestehend aus PVD-Funktionsschicht, APS-Stüttschicht und Gießhinterfütterung. Das Positivmodell kann mit unterschiedlichen generativen Rapid-Prototyping Verfahren aus verschiedenen Kunststoffarten hergestellt werden. Für die neue Formwerkzeugbautechnologie wurde als Demonstrator eine Funktionsplatte (Abb. 1, links) gewählt, da sie ein repräsentatives Spektrum relevanter Anwendungen, Formelemente und Werkstoffe darstellt.

Die Herstellung einer Gießform zur Fertigung von Kleinserien der Funktionsplatte umfasst folgende Schritte:

1. PVD-Beschichtung des Prototyps mit einer Hartstoffschicht (z.B. TiAlN, 1  $\mu\text{m}$ ). Diese Schicht bildet nach Entfernen des Prototyps die Funktionsoberfläche der Gießform.

2. Abscheidung einer Stüttschicht (z. B. NiCrBSi + Haftschrift) mittels APS, Schichtdicke 0,9 mm (Abb. 1, rechts).
3. Hinterfütterung des Schichtverbundes mit Gießharz (Abb. 2).



Abb. 1: Positivmodell:  
li.: PA-Funktionsplatte  
re.: beschichtet mit Hartstoffschicht und Stüttschicht

4. Herstellung des Formspeichers durch Herauslösen des Prototyps und Komplettierung des Werkzeugformeinsatzes (Abb. 3)

### Ergebnisse

Das Einsatzverhalten des Erprobungswerkzeuges wurde an Hand des Entformvermögens, des Verschleißzustandes und der Standmenge des Werkzeuges sowie nach dem Aussehen und der Qualität der spritzgegossenen Teile beurteilt. Nach der Ermittlung optimaler Spritzparameter für den Teilewerkstoff PP GF30 wurden ca. 600 Teile aus dieser mit 30 % Glasfasern verstärkten Formmasse hergestellt. Die PP-Spritzgussteile ließen sich leicht aus dem Werkzeug entformen und wiesen keine ästhetischen Mängel auf (Abb. 4). Die Nutzung dieser Werkzeugherstellungstechnik ermöglicht es den Unternehmen des Formen- und Werkzeugbaus, mit kurzfristig herstellbaren Werkzeugen auf die sich schnell verändernden Anforderungen und Kundenwünsche zu reagieren.

Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit dem ITW Chemnitz durchgeführt und aus Haushaltsmitteln des BMWi über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V. gefördert.



Abb. 2: Hinterfütterter Schichtverbund im Gießrahmen



Abb. 3: Fertiger Werkzeugeinsatz nach Herauslösen des Positivmodells und Endbearbeitung

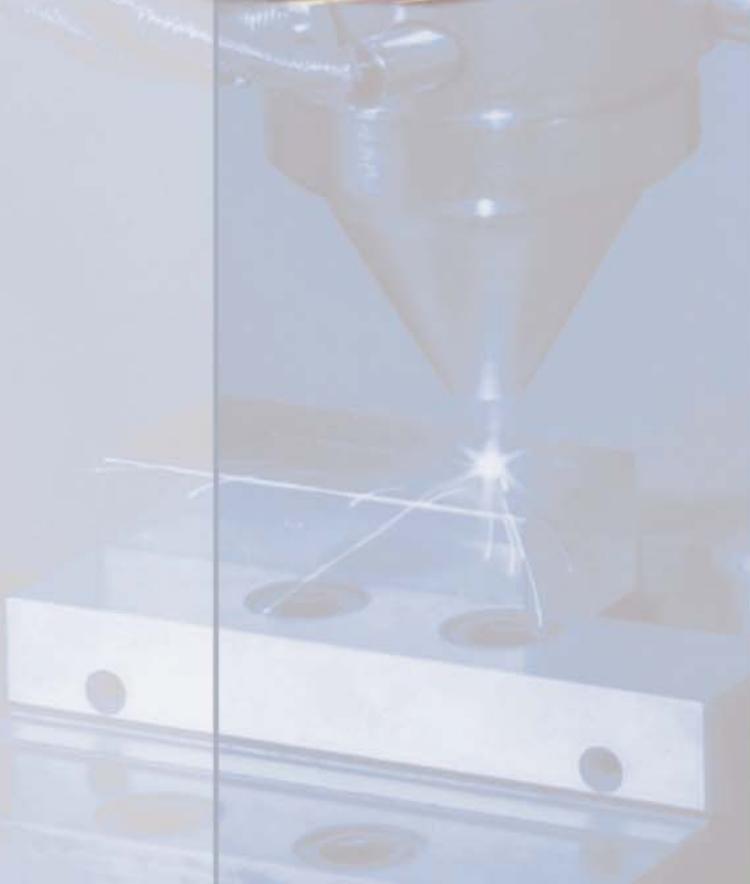
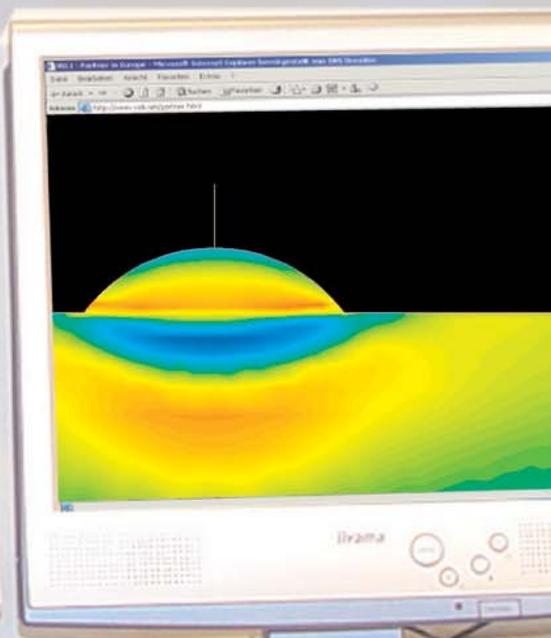
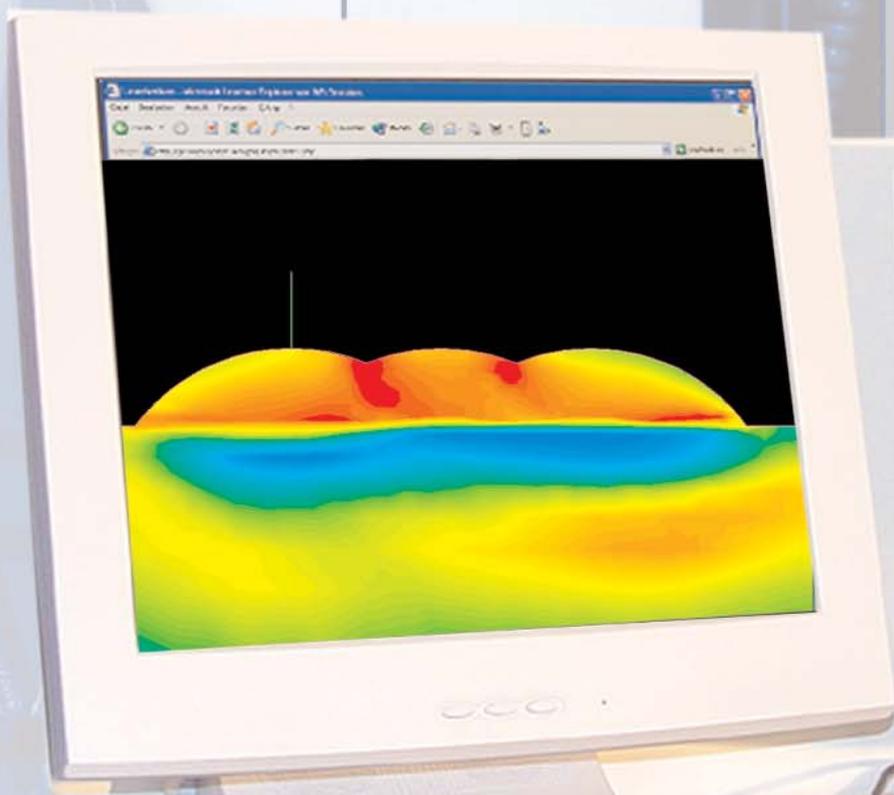


Abb. 4: Spritzgussteil, hergestellt mit einem Werkzeugeinsatz gemäß Abb. 3

### Ansprechpartner

Dr. Otmar Zimmer  
Tel.: 0351 / 2583 257  
otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de







## Forschungs- und Entwicklungsangebot: Simulation und Grundlagen



**Dr. Adrian Lange**  
Gruppe Simulation / Grundlagen  
(Tel. 2583 328,  
adrian.lange@iws.fraunhofer.de)



**Dr. Achim Mahrle**  
Gruppe Simulation / Grundlagen  
(Tel. 2583 407,  
achim.mahrle@iws.fraunhofer.de)

### Beispiele aus den Arbeiten 2007

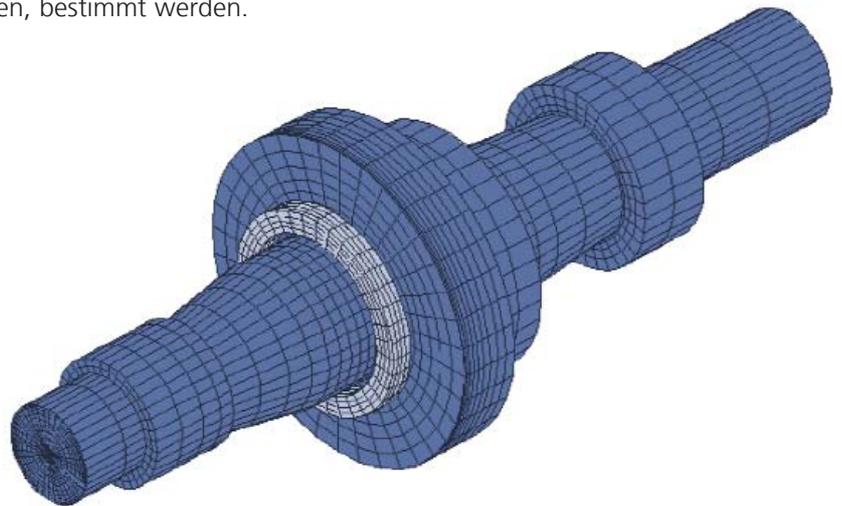
1. Steuerung der Energiedeposition beim Laserstrahlschweißen durch Strahloszillation 78
2. Rissvermeidung beim Laser-Pulver-Auftragschweißen durch maßgeschneiderte Induktionsunterstützung 79

### Prozess-Simulation und Software-Entwicklung für die Lasermaterialbearbeitung

»Probieren geht über Studieren«, sagt der Volksmund, doch bei modernen Hochtechnologien kann Probieren sehr teuer werden. Ein möglichst tiefgehendes Verständnis der in der Prozesszone ablaufenden Vorgänge erleichtert nicht nur die Weiterentwicklung und Optimierung von Verfahren der Lasermaterialbearbeitung und Beschichtung, sondern spart auch Kosten in der Produktionsvorbereitung. Daher gehört im IWS zur Verfahrensentwicklung und -weiterentwicklung in zunehmendem Maße auch die Prozessmodellierung bis hin zur Entwicklung produktions-tauglicher Software (z. B. Laserhärten, Laser-Pulver-Auftragschweißen).

Modellgestützte Abschätzungen erleichtern oft die Prognose, ob und mit welchen Mitteln konkrete Kundenwünsche erfüllt werden können (Machbarkeitsstudien) und unterstützen die Ermittlung von geeigneten Prozessfenstern.

Analytische Approximationen und Modellexperimente gehören ebenfalls zum methodischen Repertoire des IWS. Sie dienen dazu, grundlegende physikalische Prozesse bei der Lasermaterialbearbeitung zu visualisieren und einer detaillierten Analyse zugänglich zu machen; z. B. die Schmelzbadkonvektion und ihre Beeinflussung durch elektromagnetische Felder. Mittels dieser Methoden und in Verknüpfung mit experimentellen Ergebnissen können auch wichtige, aber bisher unbekannte Materialparameter für Bearbeitungsverfahren, wie z. B. Absorptionsgrade technischer Oberflächen, bestimmt werden.





## Steuerung der Energiedeposition beim Laserstrahlschweißen durch Strahloszillation

### Aufgabenstellung

Zur Verbesserung der Prozesscharakteristik des Laserstrahlschweißens und der resultierenden Schweißnahteigenschaften haben sich verschiedene Verfahrensvarianten, u. a. Mehrstrahltechniken und Hybridtechnologien bewährt. Relativ neu ist der Einsatz von Oszillationsmethoden zur Verfahrensoptimierung.

Bei dieser Prozessmodifikation, die auch vom Elektronenstrahlschweißen bekannt ist, wird der gleichförmigen Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Schweißprobe eine periodische Strahlablenkung überlagert (Abb. 1). Experimentell konnten verschiedene Verfahrensvorteile gegenüber dem konventionellen Laserstrahlschweißen nachgewiesen werden, u.a. eine Reduzierung der Poren- und Heißbrissbildung bestimmter Werkstoffklassen sowie eine Verbesserung der Spaltüberbrückbarkeit. Eine umfassende systematische Beschreibung der relevanten Wechselwirkungen zwischen Prozess- und Oszillationsparametern als Stellgrößen des Prozesses fehlt jedoch bisher.

### Lösungsweg

Zur Charakterisierung des Laserstrahlschweißens mit Strahloszillation wurde ein Modell entwickelt und implementiert. Dieses ermöglicht eine Simulation der anlagenseitigen Energiedeposition für variable Prozessbedingungen (Vorschubgeschwindigkeit, Fokusradius und Intensitätsverteilung des Strahls) sowie unterschiedliche Oszillationsformen (linien-, kreis-, ellipsen- und achtförmig, harmonische und nichtharmonische Strahlablenkung).

Durch Transformation der Modellgleichungen in eine dimensionslose Form konnte als charakteristische Kenngröße der Prozessführung der Oszillationsparameter

$$W_x = \frac{w_{ch}}{f \cdot r_0}$$

abgeleitet werden, der als das Verhältnis von Vorschubgeschwindigkeit  $w_{ch}$  zum Produkt aus Oszillationsfrequenz  $f$  und Fokusradius  $r_0$  definiert ist.

### Ergebnisse

Berechnete Energieverteilungen entlang der Schweißbahn sind für den Fall einer longitudinalen Strahloszillation mit harmonischer Strahlablenkung für verschiedene Werte des Oszillationsparameters  $W_x$  bei konstanter Oszillationsamplitude  $A_x$  dargestellt (Abb. 2). Es zeigt sich, dass  $W_x$  als Maß für die Homogenität des Energieeintrages angesehen werden kann. Unabhängig von der gewählten Oszillationsform wird ein homogener Energieeintrag stets für  $W_x \leq 1$  erzielt. Der Übergang zu einer inhomogenen Energiedeposition mit größer werdenden Werten von  $W_x$  ermöglicht eine flexible Anpassung des Prozesses zur gezielten Einflussnahme auf die Nahteigenschaften.

Abb. 3 zeigt die resultierende Energiedeposition bei kreisförmiger Strahloszillation. Bei kleinen Werten von  $W_x$  wird der Großteil der für das Schweißen aufgebrauchten Laserenergie in den durch die Strahloszillation erfassten Randbereichen neben der eigentlichen Schweißbahn eingetragen. Dies erklärt das experimentell beobachtete Phänomen der verbesserten Spaltüberbrückbarkeit beim Schweißen im Stumpfstoß bei gleichzeitig geringen Energieverlusten durch den Spalt.

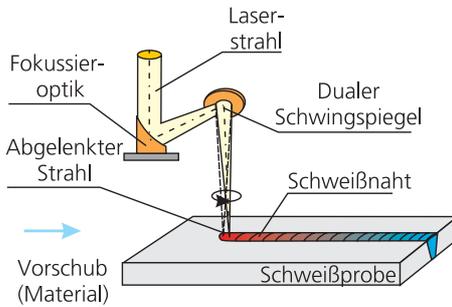


Abb. 1: Verfahrensprinzip beim Laserstrahlschweißen mit Strahloszillation

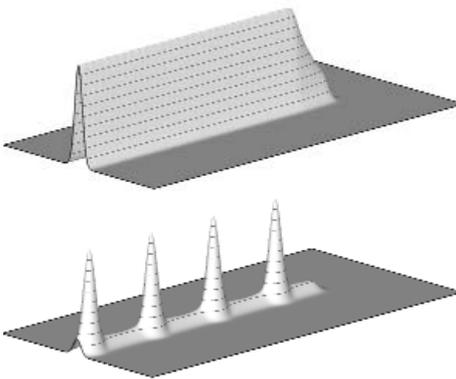


Abb. 2: Energiedeposition bei longitudinaler Strahloszillation mit harmonischer Strahlablenkung, Oszillationsamplitude  $A_x = 2$ ,  $W_x = 1$  (oben) und  $W_x = 8$  (unten)

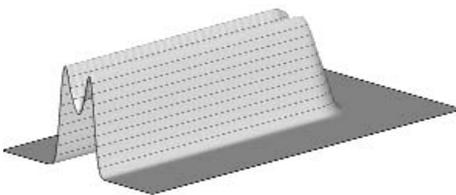
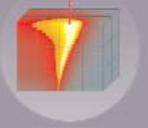


Abb. 3: Energiedeposition bei kreisförmiger Strahloszillation ( $A_x = A_y = 2$ ,  $W_x = 1$ )



Ansprechpartner

Dr. Achim Mahrle  
Tel.: 0351 / 2583 407  
achim.mahrle@iws.fraunhofer.de



## Rissvermeidung beim Laser-Pulver-Auftragschweißen durch maßgeschneiderte Induktionsunterstützung

### Aufgabenstellung

Das Laser-Pulver-Auftragschweißen ist ein etabliertes Verfahren zum präzisen Auftragen harter Verschleiß- und Korrosionsschutzschichten. Infolge des hochkonzentrierten Energieeintrages durch den Laser entstehen dabei große Temperaturgradienten und hohe Zugspannungen in der Schicht, die in hochfesten Schichtwerkstoffen sogar zu Rissen führen können. Dieser Effekt wird durch martensitisch aufhärtende Substratwerkstoffe noch verstärkt.

Mit Hilfe maßgeschneiderter Temperaturfelder, die durch Ofenvorwärmen oder mit Hilfe von in den Prozess integrierten elektromagnetischen Induktoren erzeugt werden, sind die Spannungen und Deformationen so zu beeinflussen, dass Zugfestigkeit und Bruchdehnung auch bei hochfesten Schichtwerkstoffen nicht mehr überschritten werden. Gleichzeitig sind der Wirkungsgrad der eingesetzten Induktoren möglichst hoch und der Energieeintrag und Verzug so niedrig wie möglich zu halten.

### Lösungsweg

Beim induktiv unterstützten Laser-Pulver-Auftragschweißen beeinflussen Prozessparameter wie Induktorgeo-

metrie und -position, Wechselstromstärke und -frequenz, Prozessgeschwindigkeit usw. das Bearbeitungsergebnis empfindlich. Parameterstudien mit Hilfe von elektromagnetischen (Abb. 1), thermometallurgischen und mechanischen Modellrechnungen sind geeignet, den experimentellen Aufwand zur Prozessoptimierung signifikant zu verringern.

### Ergebnisse

Mit Hilfe von Finite-Elemente-Rechnungen wurden die elektromagnetische Energieeinkopplung, die Wärmeausbreitung und thermisch induzierte Phasenumwandlungen sowie die Entstehung von Spannungen und Deformationen während des Beschichtungsprozesses simuliert. Parameterstudien zeigen den Einfluss einzelner Prozessparameter, z. B. des Abstandes zwischen Induktor und Laserspot (Abb. 2), der Induktorgeometrie, sowie der Stärke und Frequenz des Induktorstromes, auf die Spannungen und plastischen Deformationen im Werkstück. Durch den Vergleich mit Experimenten werden Prozessparametersätze ermittelt, die rissfreie Beschichtungen ermöglichen (Abb. 3). Optimale Induktorparameter wurden in Abhängigkeit von Prozessgeschwindigkeit, Raupengröße usw. für verschiedene Werkstoffe ermittelt.

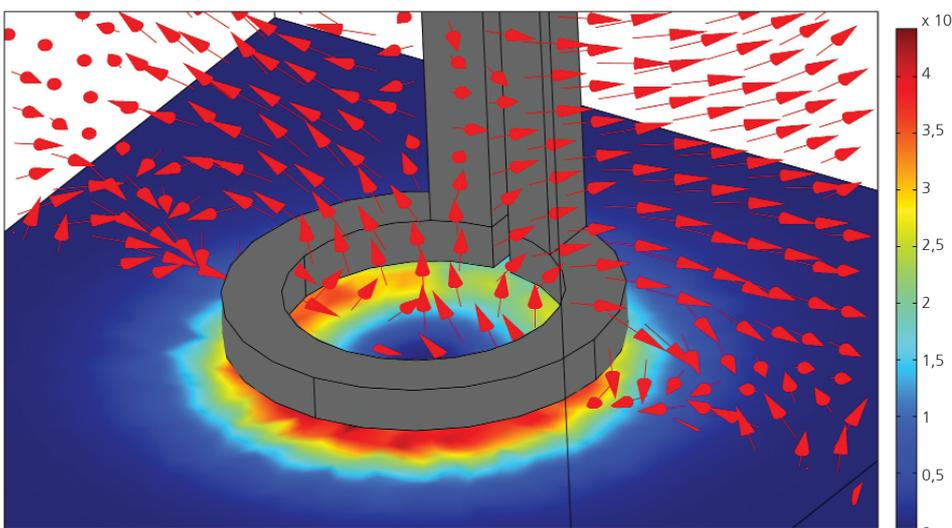


Abb. 1: Magnetfeld (Pfeile) in einer Querebene und Joulesche Wärme  $[W \cdot m^{-3}]$  auf der Substratoberfläche eines Ringinduktors zur Vor- und Nachwärmung beim Laser-Pulver-Auftragschweißen

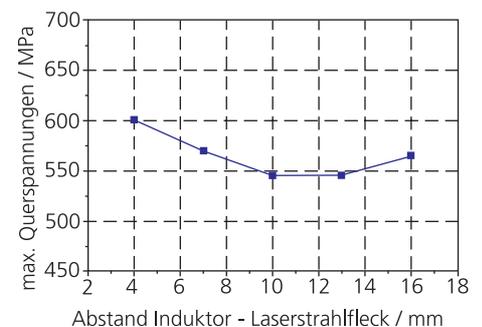


Abb. 2: Maximale Querspannungen einer auftraggeschweißten Einzelraupe in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Induktor und dem Laserstrahl (Stellit 21 auf Ck45)

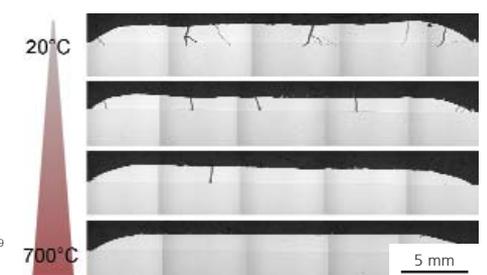


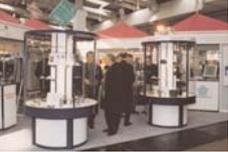
Abb. 3: Längsschnitte laser-aufgetragener Schweißraupen mit zunehmender lokaler Vor- und Nachwärmtemperatur (Stellit 20 auf Ck45)

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Frank Brückner  
Tel.: 0351 / 2583 452

frank.brueckner@iws.fraunhofer.de





## Diplomarbeiten

F. Bartels

(Technische Universität Dresden)

»Einfluss von Schneidgasströmungen auf die Prozesssicherheit und Schneidqualität beim Faserlaserschneiden«

M. Dickert

(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))

»Entwicklung eines optischen Sensors auf Basis der Laserdiodenspektroskopie LDS zur orts aufgelösten Bestimmung von Gaskonzentrationen am Beispiel von  $NH_3$ «

G. Dietrich

(Technische Universität Dresden)

»Einfluss der Quellenparameter auf Dichte, E-Modul und Eigenspannung von diamantartigen Kohlenstoffschichten«

P. Grabau

(Technische Universität Dresden)

»Elektrische Diagnose einer Long-Arc-Plasmaquelle zur Erhöhung der Prozesssicherheit und -zuverlässigkeit«

T. Großer

(Hochschule Mittweida (FH))

»Zerstörungsfreie Charakterisierung von thermisch gespritzten Schichten mittels des laserakustischen LAWave-Verfahrens«

F. Käßler

(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))

»Entwicklung multifunktionaler Schichten im System von Titanoxid und Chromoxid beim thermischen Spritzen«

T. Klotz

(Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin)

»Erfassung von Hochtemperatur- und Hochgeschwindigkeitsprozessen in der thermischen Spritztechnik«

M. Leistner

(Technische Universität Dresden)

»Optisch-spektroskopische Untersuchungen zur Optimierung des Herstellungsprozesses von Single Wall Carbon Nanotubes«

M. März

(Technische Universität Dresden)

»Untersuchungen von in-line Modifikationsprozessen zur Optimierung der Kohlenstoffnanoröhrensynthese«

R. Neher

(Technische Universität Dresden)

»Optimale Steuerung von Laserhärtprozessen«

J. Roch

(Technische Universität Dresden)

»Aufbau und Test eines Versuchstandes zur Evaluierung einer 10,5" Atmosphärendruck-MW-Plasma-Quelle«

M. Ruppert

(Technische Universität Dresden)

»Untersuchung des Einflusses der Anoden-Kathoden-Konfiguration und Parametern der laser-induzierten, gepulsten Bogenentladung auf die Abscheiderate und die Schichteigenschaften«

K. Schlegel

(Westfälische Hochschule Zwickau (FH))

»Prozessuntersuchungen zum Remote-Faserlaserschneiden ohne Schneidgasunterstützung«

T. Schiefer

(Technische Universität Dresden)

»Laserbehandlung von Titan- und Stahllegierungen und Kombination mit einem automatisierten Klebstoffauftrag«

R. Schwach

(Westfälische Hochschule Zwickau (FH))

»Nachbildung der physikalischen Eigenschaften optisch reaktiver Elemente«

K. Sommer

(Westfälische Hochschule Zwickau (FH))

»Charakterisierung der Zerstörungsschwellen von Reflexionsoptiken für gepulste Laserstrahlung«

J. Spatzier

(Technische Universität Dresden)

»Herstellung und Charakterisierung von karbidhaltigen Verschleißschichten mittels Laser-Pulver-Auftragschweißen«

G. Stude

(Technische Universität Dresden)

»Über die Herstellung von Nanopartikeln und die Bewahrung ihrer Eigenschaften durch Core / Shell-Strukturen am Beispiel metallischer Nanopartikel«

J. Werner

(Technische Universität Dresden)

»Herstellung von Antihafschichten mittels Arc-Jet-PECVD bei Atmosphärendruck«

S. Zschaler

(Berufsakademie Sachsen, Staatliche Studienakademie Dresden (BA))

»Entwicklung von Algorithmen zur Erzeugung von polygonalen Netzen am Beispiel ausgewählter geometrischer Körper unter Analyse aktueller CAD-Austauschformate«

## Dissertationen

A. Benke

(Technische Universität Dresden)

»Aufbau nanoskopischer Netzwerke aus DNA und Bindeproteinen«

## Stipendien

F.-L. Toma

Docteur en Sciences pour l'Ingénieur Humboldt-Stipendium



## Besondere Ereignisse

### 26. April 2007

Beteiligung des Fraunhofer-Instituts-zentrums am bundesweiten »Girls Day«

### 11. Mai 2007

3. Treffen der ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer IWS Dresden und des Lehrstuhls LOT der TU Dresden

### 29. Juni 2007

Beteiligung des Fraunhofer-Instituts-zentrums an der »Langen Nacht der Wissenschaft« der Landeshauptstadt Dresden

### 22. Juli 2007

Beteiligung der Dresdner Fraunhofer-Institute am 50. geöffneten Sonntag in der Sächsischen Landesbibliothek - Staats- und Universitätsbibliothek (SLUB), initiiert von der us!b-Studenstiftung Dresden

### 25. - 26. September 2007

Technologieaudit im Fraunhofer IWS Dresden

### 16. Oktober 2007

Deutsch-Britischer Workshop »Technologien und Materialien für die Nanoelektronik« im Rahmen der »V2007 - Industrieausstellung & Workshopwoche - Vakuumbeschichtung und Plasmaoberflächentechnik« (Organisator des Workshops: Fraunhofer IWS Dresden)

### 16. Oktober 2007

Forum »Metallgussprozessketten für Prototypenteile im Abgleich mit der Serienfertigung« (Organisatoren: Fraunhofer IWS Dresden und Fa. Coachulting, Dr. Geiger)

### 14. - 15. November 2007

3. Internationaler Workshop »Faserlaser« im Internationalen Kongresszentrum Dresden (Organisatoren: Fraunhofer IWS und Fraunhofer IOF)

### 28. November 2007

Workshop des Nanotechnologie-Innovationsclusters »nano for production« im Rahmen des Dresdner Innovationsforums 2007 im Internationalen Kongresszentrum Dresden

Surface Engineering und Nanotechnologie (SENT)

Unter dieser Bezeichnung, die die Bedeutung nanotechnologischer Aspekte für die moderne Dünnschichttechnologie ausdrückt, startete das IWS in Zusammenarbeit mit der TU Dresden und der Fraunhofer Technology Academy Weiterbildungskurse zur industriellen Dünnschichttechnologie. Sie werden sowohl als allgemeine Kurse im IWS als auch als speziell angepasste Veranstaltungen bei den Unternehmen durchgeführt.

### 23. - 24. Januar 2007

»Industrielles Potenzial der Dünnschicht- und Nanoschichttechnologie«

### 27. - 28. März 2007

»Verfahren zur Abscheidung dünner Schichten«

### 24. Mai 2007

»Gas phase deposition of thin films - overview and evaluation«

### 10., 11., 17., 18. Juli 2007

»Verfahren zur Abscheidung dünner Schichten«

### 22. Oktober, 5. November 2007

»Optische Dünnschichtsysteme«



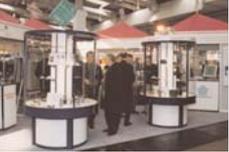
Girls Day im Fraunhofer IWS (26. April 2007)



Beteiligung der Dresdner Fraunhofer-Institute am 50. geöffneten Sonntag in der SLUB



Dr. Hans Eggers (BMBF) während der Eröffnung des 3. Internationalen Workshops »Faserlaser« im Int. Kongresszentrum Dresden (14. / 15. November 2007)



## Mitarbeit in Gremien

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Präsidiums der Fraunhofer-Gesellschaft

Prof. E. Beyer:

Sprecher des Fraunhofer-Verbundes Oberflächentechnik und Photonik

Prof. E. Beyer:

Direktor des Institutes für Oberflächen- und Fertigungstechnik IOF der TU Dresden

Prof. E. Beyer:

Vorsitzender der Arbeitsgemeinschaft »Ingenieurwissenschaften« sowie Vize-Präsident der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Lasertechnik WLT e.V.

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Materialforschungsverbundes Dresden e.V.

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Dresdner Gesprächskreises der Wirtschaft und der Wissenschaft e.V.

Prof. E. Beyer:

Mitglied der Sachsenberg-Gesellschaft e.V.

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Bundesverbandes mittelständische Wirtschaft e.V.

Prof. E. Beyer:

Mitglied der Europäischen Forschungsgesellschaft »Dünne Schichten« e.V.

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Kompetenzzentrums »Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen / Thüringen e.V.«

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Universitären Zentrums für Luft- und Raumfahrt (UZLR) der TU Dresden

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Advisory Board des European Laser Institute (ELI)

Prof. E. Beyer:

Mitglied Gutachterausschuss der AiF

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Board of Directors des Laser Institute of America (LIA)

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Board of Stakeholders der Technology Platform Photonics21

Prof. E. Beyer:

Mitglied der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA)

Prof. E. Beyer:

Mitglied des International Advisory Board des Journal of Laser Applications (JLA)

Prof. B. Brenner:

Fachausschuß 9 der AWT »Randschichtbehandlung und Kurzzeitaustenitisierung«

Prof. B. Brenner:

Mitglied Gutachterausschuss der AiF

Dr. I. Jansen:

Mitglied der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA), Fachsektion Klebtechnik

Dr. I. Jansen:

Mitglied des Industriearbeitskreises »Intlaskleb« des BMBF

Dr. R. Jäckel:

Arbeitskreis »Messe- und Öffentlichkeitsarbeit« des Materialforschungsverbundes Dresden e.V.

Dr. G. Kirchhoff:

Arbeitsausschuss »Schallemissionsanalyse« der DGzFP

A. Kluge:

Sprecher der Rechnerbetreiber in der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. A. Leson:

Mitglied des Advisory Board der Zeitschrift »NanoS«



Dr. A. Leson:  
Sprecher des Nanotechnologie-Kompetenzzentrums »Ultradünne funktionale Schichten«

Dr. A. Leson:  
Kuratoriumsmitglied der Zeitschrift »Vakuum in Forschung und Praxis«

Dr. A. Leson:  
Member of the International Expert Panel for the Nanomat-Program of Norway

Dr. A. Leson:  
Vorstandsmitglied der Arbeitsgemeinschaft der Nanotechnologie-Kompetenzzentren in Deutschland

Dr. A. Leson:  
Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats des Vereins Deutscher Ingenieure

Dr. A. Leson:  
Vorsitzender des VDI-Kompetenzfeldes Nanotechnik

Dr. A. Leson:  
Mitglied im Programmausschuss des Wissenschaftlichen Beirats des VDI

Dr. A. Leson:  
Mitglied des International Advisory Board der Zeitschrift »Micromaterials and Nanomaterials«

Dr. A. Leson:  
Vorstandsmitglied des European Center for Micro- and Nanoreliability e.V.

Dr. A. Leson:  
Vorstandsmitglied der Europäischen Forschungsgesellschaft »Dünne Schichten« e.V.

Dr. A. Leson, Dr. H.-J. Scheibe,  
Prof. B. Schultrich:  
Arbeitskreis Plasmaoberflächentechnologie

Dr. S. Nowotny:  
DVS-Arbeitsgruppe V9.2 / AA 15.2  
»Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren«

Dr. G. C. Stehr:  
Mitglied im wissenschaftlichen Rat und im Gutachterausschuss der AIF

Dr. G. C. Stehr:  
Gemeinschaft Thermisches Spritzen (GTS) e.V.

Dr. B. Winderlich:  
Arbeitsgruppe »Festigkeit und Konstruktion« des DVS-BV Dresden

### Preise des IWS 2007

#### 1. Beste innovative Produktidee

Sebastian Lipfert, Peter Gawlitza,  
Jürgen Schmidt  
»Beschichtung von EUV-Kollektoren«

#### 2. Beste wissenschaftlich-technische Leistung

Carl-Friedrich Meyer,  
Michael Leonhardt  
»Magnetisches Filtern für Laser-Arc-Verfahren«

Liliana Kotte, Sebastian Tschöcke  
»Abscheidung transparenter kratz-fester SiO<sub>2</sub>-Schichten mittels plasmagestützter CVD bei Atmosphärendruck«

#### 3. Beste wissenschaftliche Leistung eines Nachwuchswissenschaftlers

Gunther Göbel, Stefan Schrauber  
»Fügen von Bauteilen mit Hochleistungslasern mit nicht schweißgeeigneten Randschichten oder Beschichtungen im mechanisch gefügten Zustand«

Kristian Schlegel, Matthias Lütke  
»Laserstanzen - Verfahren der Remote-Bearbeitung«

#### 4. Herausragende studentische Leistung

Matthias Leistner  
»Optisch-spektroskopische Untersuchungen zur Optimierung des Herstellungsprozesses von Single Wall Carbon Nanotubes«

Matthias März  
»Untersuchungen von in-line-Modifikationsprozessen zur Optimierung der Kohlenstoffnanoröhrensynthese«

#### 5. Sonderpreis

Karin Reinhardt, Uwe Gust  
»als besonderer Dank für das außerordentliche Engagement bei der Lehrlingsausbildung«



S. Lipfert, P. Gawlitza und J. Schmidt bei der Verleihung des Institutspreises für die beste innovative Produktidee



L. Kotte und S. Tschöcke bei der Verleihung des Institutspreises für die beste wissenschaftlich-technische Leistung



## Messebeteiligungen

### Messe Nanotech 2007 Tokio, Japan, 21. - 23. Februar 2007

Auf der weltgrößten Nanotechnologiemesse »Nanotech Tokio 2007« beteiligten sich das Nanotechnologie-Kompetenzzentrum »Ultradünne funktionale Schichten« und das Fraunhofer IWS Dresden zum zweiten Mal auf dem Stand der Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH. 484 Aussteller beteiligten sich in 3 Messehallen an der Nanotech; mit 49 000 Besuchern (4 000 Besucher mehr als 2006) wurde ein neuer Rekord aufgestellt. Das Kompetenzzentrum war insbesondere in die inhaltliche Vorbereitung einbezogen; mehrere Mitglieder unseres CC beteiligten sich aktiv mit Vorträgen an begleitenden Veranstaltungen.



Modell eines einwandigen Carbon-Nanotubes auf der Messe Nanotech Tokio 2007



Besuch des Sächsischen Ministerpräsidenten Prof. Dr. Georg Milbradt (Bildmitte) und der Sächsischen Wissenschaftsministerin Dr. Eva-Maria Stange (links) am Stand des Lehrstuhls für Laser- und Oberflächentechnik auf der Hannover-Messe 2007

### Hannover-Messe Industrie 2007, 16. - 20. April 2007

Im Rahmen des VDI-Gemeinschaftsstandes »SurfPlaNet« präsentierte das IWS auf einer 40 m<sup>2</sup> großen Fläche in der Halle 6 neueste Ergebnisse angewandter Forschung auf dem Gebiet der Oberflächentechnik. Gezeigt wurde die Integration des Laser-Arc-Moduls LAM400 in die industrielle Beschichtungsanlage FlexiCoat 1000® der Fa. Hauer Techno Coating (NL). Mit diesem Laser-Arc-Modul können verschleißfeste Schutzschichten (superharter amorpher Kohlenstoff, ta-C) auf Komponenten und Werkzeuge abgedreht werden. Mit der Übergabe an einen führenden Automobilzulieferer konnte ein entscheidender Schritt zur industriellen Einführung der ta-C-Schichten auf der Basis der Laser-Arc-Technologie vollzogen werden.



Messestand auf der Messe Thermprocess 2007 in Düsseldorf mit live-Vorführung von Laserhärteprozessen; verwendet wurde ein Hochleistungsdiodenlaser sowie das dynamische Strahlformungssystem »LASSY«

härtens, wobei beim Härten mit Faserlasern insbesondere die punktuelle Härtung von Präzisionsbauteilen interessant ist. Größere Flächen können durch den Einsatz von Scanneroptiken gehärtet werden.

Außerdem beteiligten sich das Fraunhofer IWS und der Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik der TU Dresden am Gemeinschaftsstand »Forschung für die Zukunft« in Halle 2. Dort wurden die erreichten Ergebnisse in der Klebflächenvorbehandlung gezeigt.

### Messe Thermprocess 2007 Düsseldorf, 12. - 16. Juni 2007

Die Internationale Fachmesse für Thermprozesse THERMPROCESS findet alle 4 Jahre in Düsseldorf im Verbund mit den Messen GIFA, METEC und Newcast statt. Auf der Thermprocess 2007 präsentierte das IWS in unmittelbarer Nachbarschaft zu unserem Partner EFD Induction GmbH Freiburg vor allem Laserhärte-technologien, welche besonders im Werkzeugbau ihre Anwendungen finden. Aufgrund der Vielschichtigkeit der Aussteller gab es auch Anfragen über die ausgestellten Exponate hinaus und führte so zu einem regen Erfahrungsaustausch.

### Laser-Messe 2007 München, 18. - 21. Juni 2007

Zusammen mit zwei weiteren Fraunhofer-Instituten präsentierte sich das IWS in Halle B3 auf dem 221 m<sup>2</sup> großen Fraunhofer-Gemeinschaftsstand. »Tailored Light« war das Leitthema des Standes. Gezeigt wurde insbesondere eine Faserlaser-Anlage für die Lasermaterialbearbeitung. Bis vor wenigen Jahren war der Einsatz von Faserlasern aufgrund der geringen Leistung noch auf die Branchen Telekommunikation und Messtechnik beschränkt. Jüngste Fortschritte auf den Gebieten der Faser-



und Wellenleiteroptik sowie die Entwicklung leistungsstarker Laserdioden zum optischen Pumpen eröffnen dem Faserlaser neue Perspektiven in vielen Anwendungsbereichen. Diese Entwicklung aufzugreifen und für die Industrie verfügbar zu machen, ist Ziel der Forschungsarbeiten des Fraunhofer IWS und wurde auf der Lasermesse 2007 demonstriert.

Die Wissenschaftler des IWS haben für die Lasermesse gemeinsam mit mehreren Firmen eine Anlage aufgebaut, die universell verschiedene Verfahren der Lasermaterialbearbeitung demonstrieren kann. So bestand die Möglichkeit, auf der Lasermesse 2007 in der Anlage sowohl einen Laserschneidprozess als auch einen Härteprozess zu fahren.

Zugleich war das IWS auf dem Fraunhofer-Stand in Halle B2 vertreten und präsentierte dort Einsatzmöglichkeiten von Faserlasern im Bereich der Mikromaterialbearbeitung.

#### **Messe Parts2clean 2007 Stuttgart, 09. - 11. Oktober 2007**

Das IWS präsentierte auf dieser Messe im Rahmen des Gemeinschaftsstandes der Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik eine Lösung zur partiellen Reinigung von Bauteilen mittels Laserstrahlen. Die besonderen Merkmale sind die Integration des Reinigungsschrittes in die automatisierte Fertigung, die Realisierung kurzer Taktzeiten, die Möglichkeit der Reinigung der für den Folgearbeitsschritt notwendigen Funktionsflächen an Bauteilen im vormontierten Zustand sowie der Verzicht auf Lösemittel bzw. anderweitige Reinigungsmedien. Die Lösung wurde am Beispiel der Abreinigung von Kühl- und Schmierstoffresten sowie Konservierungsmitteln im Bereich der Fügestellen vor dem Laserstrahlschweißen vorgestellt.

#### **Industrierausstellung & Workshop-Woche V2007 Dresden, 16. - 18. Oktober 2007**

Die »V2007 - Industrierausstellung & Workshop-Woche: Vakuumbeschichtung und Plasmaoberflächentechnik« fand erstmals statt. Das Fraunhofer IWS Dresden als Mitorganisator der Veranstaltung beteiligte sich an der begleitenden Ausstellung mit Exponaten zu den Themen:

- Plasmatechnologie bei Atmosphärendruck zur kontinuierlichen Prozessierung von kristallinen Solarzellen,
- Qualitäts- und Prozesskontrolle von Gasen mit höchster Empfindlichkeit, Stabilität und Selektivität (Trace-Scout-Sensor).

#### **Messe Euromold 2007 Frankfurt/M., 05. - 08. Dezember 2007**

An der Branchenmesse zum Formen-, Modell- und Werkzeugbau sowie zur Gießereitechnik beteiligte sich das IWS bereits zum zwölften Mal. Hauptanziehungspunkt war die von Wissenschaftlern des IWS gemeinsam mit mehreren Firmen aufgebaute Laserbearbeitungsanlage. So bestand die Möglichkeit, auf der Euromold 2007 einen Laserbeschichtungsprozess live zu zeigen. Da in der Fertigung heute immer häufiger Roboteranlagen zum Einsatz kommen, wurde das Diodenlaser-Robotersystem zum Präzisions-Auftragschweißen für die Fertigung und Reparatur von Werkzeugen mit dem erweiterten CAD/CAM-Programmpaket DCAM ausgestattet. Die Software eignet sich für die Programmierung von 3- und 5-Achs-CNC-Anlagen sowie für Roboteranlagen mit simultanem Dreh- oder Schwenktisch und zusätzlicher Linearachse.



Präsentation des Laserstrahlschneidens mit Faserlasern während des Presserundgangs auf der Lasermesse 2007 in München



Präsentation des Fraunhofer IWS auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand zur Euromold

## Schutzrechtsanmeldungen 2007

- [P01]** H. Beese, W. Grählert, V. Hopfe  
*"Vorrichtung und Verfahren zur Bestimmung der Permeationsrate mindestens eines Permeaten, durch ein eine Diffusionssperre bildendes Element"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 026 073.5
- [P02]** E. Beyer, I. Jansen  
*"Verfahren zum hochfesten Kleben von Bauteilen"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 010 540.3
- [P03]** E. Beyer, P. Pfohl  
*"Vorrichtung und Verfahren zur Bearbeitung von Bauteilen"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 017 363.8
- [P04]** E. Beyer, P. Pfohl  
*"Vorrichtung und ein Verfahren zur Bearbeitung von Bauteilen oder Werkstücken mit polarisierter Strahlung"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 017 364.6
- [P05]** B. Brenner, S. Bonß, F. Tietz, J. Hannweber, S. Kühn, U. Karsunke, M. Seifert  
*"Verfahren und Vorrichtung zum Randschichtenhärten formkomplizierter Bauteile"*  
 Anmelde-Az.: PCT/EP2007/008787
- [P06]** B. Brenner, G. Göbel  
*"Verfahren und Vorrichtung zum rissfreien Schweißen, Reparaturschweißen oder Auftragschweißen heissrissanfälliger Werkstoffe"*  
 Anmelde-Az.: PCT/EP2007/008786
- [P07]** D. Dittrich, B. Brenner, B. Winderlich, J. Standfuß, J. Hackius  
*"Metallisches Flugzeugbauteil"*  
 Anmelde-Az.: EP 07018361.1, US 11/856,789
- [P08]** B. Dresler, V. Hopfe, I. Dani  
*"Vorrichtung und Verfahren zur Ausbildung dünner Schichten auf Substratoberflächen"*  
 Anmelde-Az.: PCT/DE2007/001579
- [P09]** V. Franke, F. Sonntag, J. Hauptmann  
*"Verfahren zur Herstellung eines Bioreaktors oder Lab-on-a-Chip-Systems sowie damit hergestellte Bioreaktoren oder Lab-on-a-Chip-Systeme"*  
 Anmelde-Az.: PCT/DE2007/001578
- [P10]** T. Himmer, F. Bartels, L. Morgenthal, M. Lütke  
*"Vorrichtung und Verfahren zum Laserstrahlschneiden"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 042 490.8
- [P11]** T. Himmer, J. Hauptmann, L. Morgenthal  
*"Verfahren zur formgebenden Bearbeitung von Werkstücken"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 002 437.3
- [P12]** I. Jansen, S. Krzywinski, H. Rödel  
*"Textielles Flächengebilde für Hochleistungs-Faserverbundteile und Verfahren zu seiner Strukturierung"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 032 904.2
- [P13]** A. Klotzbach, V. Fleischer, T. Schwarz, L. Morgenthal, B. Schirdewahn, U. Braun  
*"Verfahren und Vorrichtung zum Schweißen von mindestens zwei Lagen eines polymeren Materials mit Laserstrahlung"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 049 362.4
- [P14]** S. Kühn, S. Bretschneider, M. Melde, J. Hannweber  
*"Laserschutzwand für eine Umhausung bei Laserbearbeitungsanlagen"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 038 780.8
- [P15]** S. Kühn, J. Hannweber, M. Melde, S. Bretschneider  
*"Laserschutzwandelement für eine Umhausung bei Laserbearbeitungsanlagen"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 054 285.4
- [P16]** E. Lopez, I. Dani, V. Hopfe, R. Möller, M. Heintze  
*"Verfahren zum selektiven plasmachemischen Trockenätzen von auf Oberflächen von Silicium-Wafern ausgebildetem Phosphorsilikatglas"*  
 Anmelde-Az.: PCT/DE2007/001581
- [P17]** C.-F. Meyer  
*"Optische Anordnung"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 026 072.7
- [P18]** C.-F. Meyer  
*"Anode für die Bildung eines Plasmas durch Ausbildung elektrischer Bogenentladungen"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 019 981.5-54
- [P19]** C.-F. Meyer  
*"Anordnung zur Ausbildung von Beschichtungen auf Substraten im Vakuum"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 019 982.3
- [P20]** C.-F. Meyer  
*"Vorrichtung und Verfahren zur Ausbildung von Beschichtungen auf Substraten innerhalb von Vakuumkammern"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 049 649.6
- [P21]** C.-F. Meyer  
*"Anordnung zur Auslenkung eines gepulsten Laserstrahls für die Zündung elektrischer Bogenentladungen"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 045 333.9
- [P22]** C.-F. Meyer  
*"Anordnung für die Separation von Partikeln aus einem Plasma"*  
 Anmelde-Az.: EP 07003217.2; US 11/709, 283
- [P23]** L. Morgenthal, T. Himmer, F. Bartels  
*"Vorrichtung und Verfahren zum Laserstrahlschneiden von Werkstücken"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 042 493.2
- [P24]** S. Nowotny, S. Scharek, T. Naumann, F. Kempe, A. Schmidt  
*"Bearbeitungskopf mit integrierter Pulverzuführung zum Auftragschweißen mit Laserstrahlung"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 043 146.7
- [P25]** P. Pfohl  
*"Vorrichtung und Verfahren zur Bearbeitung von Bauteilen mit linear polarisierter Laserstrahlung"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 042 311.1
- [P26]** J. Roch, V. Hopfe, T. Abendroth  
*"Verfahren zum Zünden eines Plasmas innerhalb einer Mikrowellenplasmaquelle"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 011 610.3
- [P27]** M. Rosina, I. Dani, V. Hopfe, B. Dresler, R. Möller  
*"Vorrichtung und Verfahren zur Ausbildung dünner Siliziumnitridschichten auf Oberflächen von kristallinen Silicium-Solarwafern"*  
 Anmelde-Az.: PCT/DE2007/001580

- [P28]** B. Schultrich, F. Sonntag  
*"Verfahren zur Herstellung von Oberflächenstrukturen und Element mit Oberflächenstruktur zur Verwendung für Biosensoren oder die Herstellung von Zelleitstrukturen"*  
 Anmelde-Az.: PCT/DE2007/000588
- [P29]** F. Sonntag  
*"Mikrofluidische Anordnung zur Detektion von in Proben enthaltenen chemischen, biochemischen Molekülen und/oder Partikeln"*  
 Anmelde-Az.: PCT/DE2007/000926
- [P30]** F. Sonntag, M. Jäger, F. Mehringer, N. Schilling  
*"Zellkulturmesssystem und Verfahren für vergleichende Untersuchungen an Zellkulturen"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 038 777.8
- [P31]** F. Sonntag, F. Mehringer  
*"Flusskanalsystem und Verfahren zum Anbinden von Analyten an Liganden"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 012 866.7
- [P32]** T. Stucky, A. Zwick  
*"Verschleiß- und korrosionsbeständiges Bauteil und Verfahren zu seiner Herstellung"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 026 061.1
- [P33]** A. Techel, J. Dillon  
*"A Cutting Implement"*  
 Anmelde-Az.: EP 07006554.5, CA 2,585,029
- [P34]** V. Weihnacht, B. Schultrich  
*"Verfahren zur Bearbeitung von Oberflächen einer Beschichtung aus hartem Kohlenstoff"*  
 Anmelde-Az.: EP 07004064.7,US 11/680,534
- [P35]** O. Zimmer, F. Kaulfuß  
*"Anordnung und Verfahren zur Entfernung von Verunreinigungen oder Modifizierung von Oberflächen von Substraten mittels elektrischer Bogenentladung"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2006 062 375.4
- [P36]** O. Zimmer, F. Kaulfuß  
*"Verschleißschutzbeschichtung für Bauteile oder Werkzeuge"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2007 058 564.2

## Schutzrechtserteilungen

- [P37]** E. Beyer, I. Jansen  
*"Verfahren zur Herstellung eines verstärkten Rohres, ein solches Rohr und dessen Verwendung"*  
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 102 21 880 B4
- [P38]** E. Beyer, E. Hensel, U. Klotzbach, C. Krautz  
*"Wandelement zum Schutz vor Laserstrahlung"*  
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 10 2006 036 500 B4
- [P39]** E. Beyer, S. Nowotny, J. Steinwandel, J. Höschele, A. Ohnesorge  
*"Verfahren und Vorrichtung zur Qualitätsbestimmung einer Schweißnaht oder einer thermischen Spritzschicht und Verwendung"*  
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 10 2005 027 260 B4
- [P40]** E. Beyer, L. Morgenthal, V. Fleischer, A. Klotzbach  
*"Vorrichtung und Verfahren zur Bearbeitung von Werkstücken mittels Laserstrahlung"*  
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 10 2004 045 408 B4
- [P41]** C.-F. Meyer, H.-J. Scheibe, H. Schulz  
*"Vorrichtung und Verfahren zur Separation von Partikeln aus einem von einem Target zur Beschichtung eines Substrates erzeugten Plasma im Vakuum"*  
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 102 40 337 B4
- [P42]** L. Morgenthal, T. Schwarz, E. Pfeiffer  
*"Vorrichtung zum Laserstrahlschneiden"*  
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 10 2005 027 836 B4
- [P43]** B. Schultrich, F. Sonntag  
*"Verfahren zur Herstellung von Oberflächenstrukturen und Element mit Oberflächenstrukturen zur Verwendung für Biosensoren oder die Herstellung von Zelleitstrukturen"*  
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 10 2006 017 153 B3

- [P44]** F. Sonntag  
*"Mikrofluidische Anordnung zur Detektion von in Proben enthaltenen chemischen, biochemischen Molekülen und/oder Partikeln"*  
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 10 2006 024 355 B4
- [P45]** O. Zimmer, B. Schuhmacher, P. Siemroth, B. Schultrich, S. Schenk, U. Seifert, C. Hecht, R. Ekkehart  
*"Vorrichtung und Verfahren zum Elektronenstrahlaufdampfen von reaktiv gebildeten Schichten auf Substraten"*  
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 102 28 925 B4

## Gebrauchsmuster

- [P46]** J. Hannweber, S. Kühn  
*"Vorrichtung zum Führen von Laserfasern"*  
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 20 2007 000 925 U1

**RV** = Rezensierte Veröffentlichung

- [L01]** F. Atchison, T. Brys, M. Daum, P. Fierlinger, A. Foelske, M. Gupta, R. Henneck, S. Heule, M. Kasprzak, K. Kirch, R. Kötz, M. Kuzniak, T. Lippert, C.-F. Meyer, F. Nolting, A. Pichlmaier, D. Schneider, B. Schultrich, P. Siemroth, U. Straumann  
*"Structural Characterization of Diamond-Like Carbon Films for Ultracold Neutron Applications"*  
 Diamond & Related Materials 16 (2007) 2, S. 334-341
- [L02]** H.-A. Bahr, B. van Pham, H.-J. Weiss, U. Bahr, M. Streubig, H. Balke, V. Ulbricht  
*"Threshold Strength Prediction for Laminar Ceramics from Bifurcated Crack Path Simulation"*  
 International Journal of Materials Research 98 (2007) 8, S. 683-691
- [L03]** L.-M. Berger  
*"Hardmetals as Thermal Spray Coatings"*  
 Powder Metallurgy 50 (2007) 3, S. 205-214
- [L04]** L.-M. Berger, S. Saaro, M. Woydt  
*"Reib-/Gleitverschleiß von thermisch gespritzten Hartmetallschichten"*  
 Jahrbuch Oberflächentechnik 2007, Band 63 (2007) S. 242-267, Hrg.: R. Suchentrunk, ISBN 978-3-87480-234-5
- [L05]** L.-M. Berger, D. Schneider, T. Großer  
*"Non-Destructive Testing of Coatings by Surface Acoustic Waves"*  
 Global Coating Solutions: Proceedings of the 2007 International Thermal Spray Conference, 2007, Ed.: B.R. Marple, M.M. Hyland, Y.-C. Lau, C.-J. Li, R.S. Lima, G. Montavon  
 Materials Park/Ohio: ASM International, (2007) Tagungs - CD, S. 916-921  
 ISBN-13: 978-0-87170-855-7
- [L06]** L.-M. Berger, C.C. Stahr, F.-L. Toma, G.C. Stehr, E. Beyer  
*"Ausgewählte Entwicklungstendenzen bei der Herstellung thermisch gespritzter keramischer Schichten"*  
 Jahrbuch Oberflächentechnik 2007, Band 63, (2007) S. 71-84, Hrg.: R. Suchentrunk, ISBN 978-3-87480-234-5
- [L07]** L.-M. Berger, M. Woydt, S. Saaro  
*"Comparison of Self-Mated Hardmetal Coatings Under Dry Sliding Conditions up to 600°C"*  
 ECOTRIB 2007: Proceedings of the Joint European Conference on Tribology and Final Conference of COST 532 Action: Triboscience and Tribotechnology, 2007, Ed.: J. Vizintin, B. Podgornik, K. Holmberg, E. Ciulli, F. Franek.  
 Ljubljana: Slovenian Society for Tribology, (2007) S. 529-540, ISBN 978-961-90254-8-2
- [L08]** **RV** E. Beyer, B. Brenner, L. Morgenthal, P. Pfohl, P. Herwig  
*"Control of Workpiece Reflections for Improved Welding with High Power Fibre Lasers"*  
 The Laser User, Issue 48, Autumn (2007), S. 41-43, ISSN 1755-5140
- [L09]** E. Beyer, P. Pfohl, P. Herwig, R. Imhoff  
*"Welding and Cutting of Copper with High Brightness Lasers"*  
 26th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO) (2007), Congress Proceedings CD, LIA Pub#: 610, Vol. 100, ISBN 13 # 978-0-912035-88-8 & ISBN 10 # 0-912035-88-9
- [L10]** S. Bonß  
*"Laserstrahlhärten - Integration in die Fertigung ermöglicht schlanke Prozesse"*  
 Metaloberfläche 9 (2007) S. 34-36
- [L11]** S. Bonß, J. Hannweber, U. Karsunke, S. Kühn, M. Seifert, B. Brenner  
*"Neues Anlagenkonzept zum beidseitig gleichzeitigen Laserstrahlhärten formkomplizierter Bauteile"*  
 Stahl 2 (2007) S. 32-34
- [L12]** S. Bonß, J. Hannweber, U. Karsunke, S. Kühn, M. Seifert, B. Brenner, E. Beyer  
*"Integrierte Härterei - Laserstrahlhärten im Großwerkzeugbau"*  
 wt-Werkstatttechnik, online-Ausgabe 6 (2007)
- [L13]** S. Bonß, J. Hannweber, S. Kühn, M. Seifert, F. Tietz, B. Brenner, E. Beyer  
*"Neues Anlagenkonzept zum beidseitig gleichzeitigen Laserstrahlhärten formkomplizierter Bauteile"*  
 7. Industriefachtagung "Oberflächen- und Wärmebehandlungstechnik", 10. Werkstofftechnisches Kolloquium, (2007), Tagungsband S. 274-279
- [L14]** S. Bonß, J. Hannweber, M. Seifert, S. Kühn  
*"Variable Bearbeitungsoptik zum Laserstrahlhärten"*  
 Laser Technik Journal 2 (2007), S. 39-42
- [L15]** S. Bonß, J. Hannweber, M. Seifert, S. Kühn  
*"Variable Bearbeitungsoptik zum Laserstrahlhärten - Strahlumformungssysteme mit Scannerspiegeln erlauben flexible Bearbeitung"*  
 Laser Technik Journal, 4 (2007) S. 39-42
- [L16]** S. Bonß, J. Hannweber, M. Seifert, S. Kühn, U. Karsunke, B. Brenner, E. Beyer  
*"Novel Machine System for Simultaneous Heat Treatment with Dynamic Beam Shaping"*  
 11th Nordic Conference in Laser Processing of Materials, (2007), Tagungsband
- [L17]** S. Bonß, J. Hannweber, M. Seifert, F. Tietz, S. Kühn, U. Karsunke, B. Brenner, E. Beyer  
*"Novel Machine System for Simultaneous Heat Treatment with Dynamic Beam Shaping"*  
 26th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO), (2007), Tagungs-CD, LIA Pub#: 610, Vol. 100
- [L18]** S. Bonß, H. Stiele  
*"Integration of Laser Beam Hardening into Mold and Die Tool Production"*  
 Heat Processing 5 (2007) 1
- [L19]** S. Braun, P. Gawlitza, M. Menzel, A. Leson, M. Mertin, F. Schaefers  
*"Reflectance and Resolution of Multi-layer Monochromators for Photon Energies from 400 - 6000 eV"*  
 In: Choi, J.-Y. ; American Institute of Physics -AIP-, New York: Synchrotron radiation instrumentation. Ninth International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation, SRI 2006. Vol.1 : Daegu (2006), Melville, NY : AIP, (2007) S. 493-496

- [L20]** S. Braun, P. Gawlitza, M. Menzel, S. Schaedlich, A. Leson  
*"High-Precision Multilayer Coatings and Reflectometry for EUV Lithography Optics"*  
 In: Choi, J.-Y. ; American Institute of Physics -AIP-, New York: Ninth International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation, SRI 2006. Vol.2 : Daegu, (2006), Melville, NY : AIP, (2007) S. 1482-1485
- [L21]** B. Brenner  
*"Neue Lasertypen erobern neue Märkte"*  
 Laser Magazin 2 (2007) S. 4-5
- [L22]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Finite Element Studies of Stress Evolution in Induction Assisted Laser Cladding"*  
 XVI International Symposium on Gas Flow, Chemical Lasers, and High-Power Lasers 2006 : 4 - 8 September 2006, Gmunden, Austria  
 SPIE Proceedings Series 6346, SPIE, 2007, Paper 63461D
- [L23]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Modeling the Influence of Process Parameters and Additional Heat Sources on Residual Stresses in Laser Cladding"*  
 Journal of Thermal Spray Technology 16 (2007) 3, S. 355-373
- [L24]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"FEM Calculations of Thermally Induced Stresses in Laser Cladded Coatings"*  
 Proceedings of the Fourth International Conference on Lasers in Manufacturing (2007), S. 97-103
- [L25]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Simulation of Thermal Stress in Induction-Assisted Laser Cladding"*  
 Proceedings (CD-ROM) of the 26th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO) 2007, Paper 1301
- [L26]** I. Dani, B. Dresler, E. Lopez, V. Hopfe  
*"Wirtschaftlicher Solarstrom - Atmosphärendruck-Plasmaverfahren in der Photovoltaik"*  
 Metalloberfläche 61 (2007) 11, S. 20-21
- [L27]** I. Dani, V. Hopfe, D. Rogler, E. Lopez, G. Mäder  
*"PECVD and Plasma Etching at Atmospheric Pressure by Means of a Linearly-Extended DC Arc Plasma Source"*  
 Vakuum in Forschung und Praxis 19 (2007), Special issue Vacuum's Best, S. 12-15
- [L28]** I. Dani, L. Kotte, T. Abendroth, V. Hopfe  
*"Atmospheric Pressure Plasma Technology for Deposition of Photocatalytic Active Titania Films"*  
 NanoS 02 (2007) S. 34-38
- [L29]** I. Dani, L. Kotte, S. Tschoecke, D. Linaschke, D. Rogler, V. Hopfe  
*"Dauerhaft schön - Kratzschutz durch Atmosphärendruck-Plasmaverfahren"*  
 Metalloberfläche 61 (2007) 3, S. 38-39
- [L30]** I. Dani, S. Tschöcke, L. Kotte, G. Mäder, B. Dresler, V. Hopfe  
*"Mikrowellen-PECVD für kontinuierliche Großflächenbeschichtung bei Atmosphärendruck"*  
 Vakuum in Forschung und Praxis 19 (2007) 3, S. 22-24
- [L31]** W. Danzer, T. Himmer, L. Morgenthal, M. Lütke, F. Bartels  
*"Schneiden mit Faserlasern"*  
 3. Internationaler Workshop "Faserlaser", (2007) Tagungs-CD, ISBN-Nummer 978-3-8167-7506-5
- [L32]** D. Dittrich, B. Winderlich, B. Brenner, J. Hackius  
*"Steps for the Improvement of Damage Tolerance Behaviour of Laser Beam Welded Skin-Skin-Joints for Aircraft Structures"*  
 4th International WLT-Conference "Lasers in Manufacturing", (2007), Tagungsband S. 43-47
- [L33]** J. Dubsky, P. Chraska, B. Kolman, C. C. Stahr, L.-M. Berger  
*"Formation of Corundum Phase in Plasma Sprayed Alumina Coatings"*  
 Proceedings edited by Materials Australia: Thermal Processing and Surface Engineering, (2007) S. 62  
 ISBN 978 1 876855 31 2
- [L34]** A. E. Fischer, M.A. Lowe, G.M. Swain  
*"Preparation and Electrochemical Characterization of Carbon Paper Modified with a Layer of Boron-Doped Nano-Crystalline Diamond"*  
 Journal of the Electrochemical Society 154 (2007) 9, S. K61-K67
- [L35]** V. Franke, U. Klotzbach, M. Panzner, R. Püschel  
*"Potentials of Fiber Laser Technology in Microfabrication"*  
 Laser-based micro- and nanopackaging and assembly : 22 - 24 Januar 2007, San Jose, California, USA  
 SPIE, 2007 (SPIE Proceedings Series 6459) , Paper 64590J
- [L36]** P. Gawlitza, S. Braun, A. Leson, S. Lipfert, M. Nestler  
*"Herstellung von Präzisionsschichten mittels Ionenstrahlspütern"*  
 Vakuum in Forschung und Praxis 19 (2007) 2, S. 37-43
- [L37]** G. Göbel, B. Brenner  
*"New Thermo-Mechanical Approach to Overcome Hot Cracking in Laser Welding"*  
 4th International WLT-Conference "Lasers in Manufacturing" (2007), Tagungsband S. 31-36
- [L38]** G. Göbel, B. Brenner, E. Beyer  
*"New Application Possibilities for Fiber Laser Welding"*  
 26th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO 2007), (2007) Tagungs-CD, LIA Pub#: 610, Vol. 100
- [L39]** G. Göbel, J. Standfuß, B. Brenner  
*"Extreme Narrow Gap Welding using Fiber Lasers"*  
 3. Internationaler Workshop "Faserlaser", (2007), Tagungs-CD, ISBN-Nummer 978-3-8167-7506-5
- [L40]** J. Hannweber, S. Kühn, M. Melde, S. Bretschneider  
*"A Novel Laser Protection Screen for High Power Laser"*  
 3. Internationaler Workshop "Faserlaser" (2007), Tagungs-CD, ISBN-Nummer 978-3-8167-7506-5

- [L41]** J. Hauptmann  
*"Application with Fiber Based UV Pico-second Laser"*  
 3. Internationaler Workshop  
*"Faserlaser"*, (2007), Tagungs-CD,  
 ISBN-Nummer 978-3-8167-7506-5
- [L42]** P. Herwig, P. Pfohl, E. Beyer  
*"System Engineering for Laser Processing of Copper"*  
 3. Internationaler Workshop  
*"Faserlaser"*, (2007), Tagungs-CD,  
 ISBN-Nummer 978-3-8167-7506-5
- [L43]** T. Himmer  
*"Schneiden mit CO<sub>2</sub>- und Faserlasern"*  
 Blech InForm 3 (2007) S. 837
- [L44]** T. Himmer  
*"Flexibel bearbeiten mit der Faser"*  
 Photonik, 3 (2007) S. 18
- [L45]** T. Himmer  
*"Hochwertig schneiden mit CO<sub>2</sub>- und Faserlasern"*  
 BLECH inForm, 3 (2007)
- [L46]** T. Himmer, W. Danzer, L. Morgenthal, M. Lütke  
*"Cutting with Fiber Lasers"*  
 3. Internationaler Workshop  
*"Faserlaser"* (2007), Tagungs-CD,  
 ISBN-Nummer 978-3-8167-7506-5
- [L47]** T. Himmer, L. Morgenthal, E. Beyer  
*"Application of High Quality Beam Sources in R&D Projects"*  
 Proceedings of "Lasers in Manufacturing", (2007) Tagungsband S. 345-349
- [L48]** T. Himmer, T. Pinder, L. Morgenthal, E. Beyer  
*"High Brightness Lasers in Cutting Applications"*  
 26th International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics (ICALEO), (2007) Tagungs-CD, S. 87-91
- [L49]** V. Hopfe, D.W. Sheel  
*"Atmospheric-Pressure PECVD Coating and Plasma Chemical Etching for Continuous Processing"*  
 IEEE transactions on plasma science 35 (2007) 2, S. 204-214
- [L50]** V. Hopfe, D.W. Sheel  
*"Atmospheric-Pressure Plasmas for Wide-Area Thin-Film Deposition and Etching"*  
 Plasma Processes and Polymers 4 (2007) 3, S. 253-265
- [L51]** M. Horn  
*"Flexibler lasern"*  
 Blech Rohre Profile 54 (2007) 8/9, S. 21-22
- [L52]** D. Höche, G. Rapin, J. Kaspar, M. Shinn, P. Schaaf  
*"Free Electron Laser Nitriding of Metals: From Basis Physics to Industrial Applications"*  
 Applied Surface Science 253 (2007), S. 8041-8044
- [L53]** D. Höche, M. Shinn, J. Kaspar, G. Rapin, P. Schaaf  
*"Laser Pulse Structure Dependent Texture of FEL Synthesized TiN<sub>x</sub> Coatings"*  
 Journal of Physics. D. Applied Physics 40 (2007) 3, S. 818-825
- [L54]** A. Jahn, S. Standfuß, B. Brenner, R. Mauermann, S. Menzel  
*"Formability Optimization of Laser Welded Patchwork Structures"*  
 4th International WLT-Conference  
 "Lasers in Manufacturing" (2007), Tagungsband S. 49-54
- [L55]** I. Jansen  
*"Lasereinsatz in der Klebtechnik"*  
 Dresdner Fügetechnisches Kolloquium, TU Dresden (2007), Tagungsband S. 39-44
- [L56]** I. Jansen  
*"Application of the Laser Beam in the Bonding Technology"*  
 InnoCarBody 2007, Tagungsband S. 171-191
- [L57]** I. Jansen, H. Sieber  
*"Transparente Glas-Metall-Klebung mit zähelastisch modifizierten Acrylaten"*  
 21. International Symposium, Swiss Bonding 07, (2007) Tagungsband, P8
- [L58]** R. Jäckel  
*"Dresdner Nanotechnologie - führend in Deutschland"*  
 Wirtschaftsmagazin Sachsen (2007/2008), Labhard-Verlag, S. 104-107
- [L59]** J. Kaspar, B. Brenner, A. Luft, F. Tietz  
*"Surface Age Hardening of a Precipitation Hardening Steel by Laser Solution Annealing and Subsequent Aging Treatment"*  
 4th International WLT-Conference  
 "Lasers in Manufacturing" (2007), Tagungsband S. 375-380
- [L60]** RV J. Kaspar, J. Bretschneider, S. Jacob, S. Bonß, B. Winderlich, B. Brenner  
*"Microstructure Hardness and Cavitation Erosion Behaviour of Ti-6Al-4V Laser Nitrided under different Gas Atmospheres"*  
 Surface Engineering 23 (2007) 2, S.99-106
- [L61]** J. Kaspar, A. Luft, M. Will, S. Nolte  
*"SEM and TEM Investigation of the Ablation Mechanisms Involved in Ultra-short Pulsed Laser Drilling of Silicon"*  
 4th International WLT-Conference  
 "Lasers in Manufacturing" (2007), Tagungsband S. 645-650
- [L62]** A. Klotzbach, R. Gnann  
*"Processing Optics for Fiber Laser"*  
 3. Internationaler Workshop  
*"Faserlaser"* (2007), Tagungs-CD,  
 ISBN-Nummer 978-3-8167-7506-5
- [L63]** U. Klotzbach, V. Franke, J. Hauptmann, M. Panzner, F. Sonntag  
*"Fein im Kleinen"*  
 Metalloberfläche 61 (2007) 6, S. 36-37  
 ISSN: 0026-0797
- [L64]** U. Klotzbach, V. Franke, F. Sonntag, L. Morgenthal, E. Beyer  
*"Requirements and Potentialities of Packaging for Bioreactors with LTCC and Polymer"*  
 Laser-based micro- and nanopackaging and assembly (2007), SPIE Proceedings Series 6459, SPIE, 2007, Paper 645902  
 ISBN: 978-0-8194-6572-6
- [L65]** A. Leson  
*"Nano for Production"*  
 NanoS 1 (2007), S. 4-5

- [L66]** A. Leson  
"Dünne Schichten, dicke Bretter"  
Zeitschrift der Sachsen LB, Wirtschaft in Sachsen 5 (2006), S. 18-20
- [L67]** A. Leson  
"Nanotechnologie-Forum in Tokio"  
Nanospotlight (im Druck)
- [L68]** A. Leson  
"Deutsch-Britischer Workshop "Technologies and Materials for Nanoelectronics"  
Vakuum in Forschung und Praxis (im Druck)
- [L69]** E. Lopez, B. Dresler, G. Mäder, J. Roch, S. Krause, I. Dani, V. Hopfe  
"Revolution auf dem Gebiet der Solar-energie"  
In "100 Produkte der Zukunft", Hrg. T. W. Hänsch, Econ, 2007
- [L70]** F. Lusquinos, J. C. Conde, S. Bonß, A. Riveiro, F. Quintero, R. Comesana, J. Pou  
"Theroretical and Experimental Analysis of High Power Diode Laser (HPDL) Hardening of AISI 1045 Steel"  
applied surface science, Volume 254, Nr. 4, (2007) S. 789-1358
- [L71]** B. Mahltig, E. Gutmann, D.C. Meyer, M. Reibold, B. Dresler, K. Günther, D. Fassler, H. Böttcher  
"Solvothermal Preparation of Metallized Titania Sols for Photocatalytic and Antimicrobial Coatings"  
Journal of Materials Chemistry 17 (2007) 22, S. 2367-2374
- [L72]** A. Mahrle  
"Laserstrahlschweißen mit oszillierendem Strahl"  
GIT Labor-Fachzeitschrift, 8 (2007) S. 636-637
- [L73]** A. Mahrle, E. Beyer  
"Control of the Energy Deposition During Laser Beam Welding by Oscillation Techniques"  
4th International WLT-Conference "Lasers in Manufacturing", (2007) Tagungsband S. 97-103
- [L74]** A. Mahrle, E. Beyer  
"Modeling and Simulation of the Energy Deposition in Laser Beam Welding with Oscillatory Beam Deflection"  
Proceedings (CD-ROM) of the 26th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO), (2007), Paper 1805
- [L75]** R. Neugebauer, R. Mauermann, S. Menzel, J. Standfuß  
"Patchwork Blanks - eine neue Halbzuegphilosophie"  
Blech Rohre Profile 54 (2007) 5, S. 10-12
- [L76]** S. Nowotny (Editorial)  
"The Laser - A Junior Member in the Family of Surface Technology Tools"  
Journal of Thermal Spray Technology 16 (3) (2007) 9, S. 319
- [L77]** S. Nowotny, S. Scharek, E. Beyer, K.-H. Richter  
"Laser Beam Build-Up Welding: Precision in Repair, Surface Cladding, and Direct 3D Metal Deposition"  
Journal of Thermal Spray Technology 16 (2007) 3, S. 344-348
- [L78]** S. Nowotny, S. Scharek, A. Schmidt  
"Advanced Laser Technology Applied to Cladding and Buildup"  
Welding Journal 86 (2007) 5, S. 48-52
- [L79]** D. Paehler, D. Schneider, M. Herben  
"Nondestructive Characterization of Subsurface Damage in Rotational Ground Silicon Wafers by Laser Acoustics"  
Microelectronic Engineering 84 (2007) 2, S. 340-354
- [L80]** M. Panzner, V. Weihnacht  
"Himmlischer Glanz - Beschichtung und Strukturierung von Designelementen für hochwertige mechanische Uhren"  
Metalloberfläche, 61/12 (2007) S. 10-11
- [L81]** A. Roch, O. Jost, B. Schultrich, E. Beyer  
"High-Yield Synthesis of Single-Walled Carbon Nanotubes with a Pulsed Arc-Discharge Technique"  
Physica status solidi (b) phys. stat. sol. (b) 224 (2007) 11, S. 3907-3910
- [L82]** D. Römer, B. Schultrich  
"Optimierung durch Simulation - Simulationssystem SimCoat zur Optimierung der PVD-Beschichtung"  
Metalloberfläche 61 (2007), 7/8, S. 34-35
- [L83]** S. Saaro, L.-M. Berger, T. Naumann, M. Kašparova, F. Zahálka  
"Mikrostruktur und Eigenschaften von HVOF-gespritzten WC-(W,Cr)<sub>2</sub>C-Ni Schichten"  
Tagungsband zur 7. Industriefachtagung "Oberflächen- und Wärmebehandlungstechnik" (2007), Schriftenreihe "Werkstoffe und werkstofftechnische Anwendungen", Band 26, S. 111-118 Herausgeber: B. Wielage, (ISBN: 978-3-00-021586-5, ISSN: 1439-1597)
- [L84]** H.-J. Scheibe  
"Superharte Kohlenstoffschichten in der Serie"  
JOT, 4 (2007), S. 70-71
- [L85]** H.-J. Scheibe, M. Leonhardt, A. Leson, C.-F. Meyer  
"Laser-Arc-Modul (LAM)"  
Metalloberfläche 61 (2007) 4, S. 45-47
- [L86]** H.-J. Scheibe, V. Weihnacht, T. Stucky  
"Mit Härte der Reibung trotzen"  
BLECH InForm 5 (2007) S. 46-48
- [L87]** E. Schmalz, O. Zimmer  
"Hartfeste Metallisierungen von Filtermedien mit Vakuum-Arc-Technologie"  
Vakuum in Forschung und Praxis 19 (2007) 5, S. 38-41
- [L88]** D. Schneider, E. Hensel, A. Leson  
"The Laser-Acoustic Technique LAwave to Test Thin Films Surfaces"  
NanoS (im Druck)
- [L89]** F. Scholze, C. Laubis, L. van Loyen, F. Macco, S. Schädlich  
"Characterization of the Measurement Uncertainty of a Laboratory EUV Reflectometer for Large Optics"  
Meas. Sci. Technol. 18 (2007) S. 126-130
- [L90]** B. Schultrich, D. Klaffke, V. Weihnacht  
"Reibungs- und Verschleißverhalten harter amorpher Kohlenstoffschichten"  
Jahrbuch Oberflächentechnik, Band 63, Eugene G. Leuze Verlag, S. 225-241

- [L91]** A. Skopp, N. Kelling, M. Woydt, L.-M. Berger  
*"Thermally Sprayed Titanium Suboxide Coatings for Piston Ring/Cylinder Liners under Mixed Lubrication and Dry-Running Conditions"*  
 Wear 262 (2007), 9-10, S. 1061-1070
- [L92]** C.C. Stahr, L.-M. Berger, S. Thiele  
*"Mikrostruktur und Eigenschaften thermisch gespritzter Schichten im System TiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>"*  
 Tagungsband zur 7. Industriefachtagung "Oberflächen- und Wärmebehandlungstechnik" Schriftenreihe "Werkstoffe und werkstofftechnische Anwendungen", Band 26 (2007) S. 99-104, Herausgeber: B. Wielage. (ISBN: 978-3-00-021586-5, ISSN: 1439-1597)
- [L93]** C.C. Stahr, S. Saaro, L.-M. Berger, J. Dubsy, K. Neufuss, M. Herrmann  
*"About the Dependence of the Stabilization of  $\alpha$ -Alumina on the Spray Process"*  
 Journal of Thermal Spray Technology, 16 (2007) 5-6, S. 822-830
- [L94]** C.C. Stahr, S. Saaro, L.-M. Berger, J. Dubsy, K. Neufuss  
*"About the Dependence of the Stabilization of  $\alpha$ -Alumina on the Spray Process"*  
 Global Coating Solutions: Proceedings of the 2007 International Thermal Spray Conference (2007), Ed.: B.R. Marple, M.M. Hyland, Y.-C. Lau, C.-J. Li, R.S. Lima, G. Montavon. Materials Park/Ohio: ASM International, (2007), CD, ISBN-13: 978-0-87170-855-7, S. 489-494
- [L95]** J. Standfuß, G. Göbel, E. Beyer  
*"Aspects of Fiber Laser Welding in Regard to Process, Applications and Economics"*  
 Laser-ERFA-Møde (2007), Tagungsband
- [L96]** J. Standfuß, G. Göbel, U. Stamm, B. Brenner  
*"Laser Welding of Dissimilar Materials in Powertrain Applications"*  
 ALAW 2007, 15th Annual Automotive Laser Application Workshop (2007) Tagungs-CD
- [L97]** A. Techel, L.-M. Berger, S. Nowotny  
*"Microstructure of Advanced TiC- Based Coatings Prepared by Laser Cladding"*  
 Journal of Thermal Spray Technology 16 (2007) 3, S. 374-380
- [L98]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, T. Naumann, S. Langner  
*"Suspensionsgespritzte Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Schichten"*  
 Tagungsband zur 7. Industriefachtagung "Oberflächen- und Wärmebehandlungstechnik", Schriftenreihe "Werkstoffe und werkstofftechnische Anwendungen", Band 26 (2007) S. 105-110, Hrg.: B. Wielage, (ISBN: 978-3-00-021586-5, ISSN: 1439-1597)
- [L99]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, C.C. Stahr, T. Naumann, S. Saaro  
*"Preparation and Characterization of Nanostructured Ceramic Coatings Obtained by Suspension Plasma Spraying"*  
 10th International Conference for the European Ceramic Society  
 "Thermally Sprayed TiO<sub>2</sub> - Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coatings with Multifunctional Properties", im Druck
- [L100]** S.H. Wang, G.M. Swain  
*"Spatially Heterogeneous Electrical and Electrochemical Properties of Hydrogen-Terminated Boron-Doped Nanocrystalline Diamond Thin Film Deposited from an Argon-Rich CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar/B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> Source Gas Mixture"*  
 Journal of physical chemistry. C, Nanomaterials and interfaces 111 (2007) 10, S. 3986-3995
- [L101]** B. Winderlich, S. Bonß, B. Brenner, J. Standfuß  
*"Strategien zum beanspruchungsgerechten Fügen und Randschichtveredeln"*  
 Steinbeiß-Symposium "Fertigung und Bauteileigenschaften" (2007), Tagungsband S. 28-29
- [L102]** R. Zieris, A. Weisheit, G. Habedank, S. Nowotny, M. Mitmeyer, M. Brandner, H. Kohn  
*"Layer Deposition for Generation and Repair"*  
 High Power Diode Lasers, edited by Friedrich Bachmann, Peter Loosen, Reinhart Poprawe, Springer-Verlag (2007), ISBN-10: 0-387-34453-5, S. 482-533
- [L103]** U. Zschenderlein, B. Kämpfe, B. Schultrich, G. Fritsche  
*"Application of Energy Dispersive X-Ray Diffraction for the Efficient Investigation of Internal Stresses in Thin Films"*  
 Solid State Phenomena Vol. 130 (2007) S. 39-42

**EV** = Eingeladene Vorträge

- [T01]** T. Abendroth, I. Dani, V. Hopfe  
*"Deposition of Titanium Dioxide Using a Microwave Plasma Enhanced CVD Process Working at Atmospheric Pressure"*  
 16th European Conference on Vapor Deposition (EuroCVD-16), Den Haag (Scheveningen), Niederlande, 16.-21. September 2007,
- [T02]** M. Becker, T. Schuelke, D. Schneider, A. Leson  
*"LAwave - Measurement Technology for Quality Assurance"*  
 EuroNanoForum, Düsseldorf, 19.-21. Juni 2007
- [T03]** L.-M. Berger  
*"IWS Thermal Spray Research - Processes, Materials and Developments"*  
 National Research Council of Canada; Industrial Materials Institute, Boucherville, 11. Oktober 2007
- [T04]** L.-M. Berger, S. Saaro, T. Naumann, M. Kasparova, F. Zahalka  
*"Microstructure and Properties of HVOF-sprayed WC-(W,Cr)<sub>2</sub>C-Ni Coatings"*  
 EUROMAT 2007, Nürnberg, 10.-13. September 2007
- [T05]** L.-M. Berger, S. Saaro, T. Naumann, M. Wiener, V. Weihnacht, S. Thiele, J. Suchanek  
*"Microstructure and Properties of HVOF-Sprayed Chromium Alloyed WC-Co and WC-Ni Coatings"*  
 3èmes Rencontres Internationales Projection Thermique (RIPT), Lille, 6.-7. Dezember 2007
- [T06]** L.-M. Berger, D. Schneider, T. Großer  
*"Non-Destructive Testing of Coatings by Surface Acoustic Waves"*  
 ITSC 2007, Beijing, China, 15.-16. Mai 2007
- [T07]** L.-M. Berger, C.C. Stahr  
*"State and Perspectives of Thermally Sprayed Ceramic Coatings in the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> system"*  
 Surface Modification Technologies XXI, Paris, 24.-26. September 2007
- [T08]** L.-M. Berger, M. Woydt, S. Saaro  
*"Comparison of Self-Mated Hardmetal Coatings Under Dry Sliding Conditions up to 600 °C"*  
 ECOTRIB 2007: Proceedings of the Joint European Conference on Tribology and Final Conference of COST 532 Action: Triboscience and Tribotechnology, Ljubljana, Slovenia, 12.-15. Juni 2007
- [T09]** E. Beyer  
*"Industrial Applications of Fiber Lasers"*  
 Industrial Workshop: Advanced Solid State Lasers: Status, Prospects and Applications, München, 20.-21. Juni 2007
- [T10]** S. Bonß  
*"Neues Anlagenkonzept zum beidseitig gleichzeitigen Laserstrahlhärten formkomplizierter Bauteile"*  
 63. Kolloquium für Wärmebehandlung, Werkstofftechnik, Fertigungs- und Verfahrenstechnik, Wiesbaden, 10.-12. Oktober 2007
- [T11]** S. Bonß, J. Hannweber, S. Kühn, M. Seifert, F. Tietz, B. Brenner, E. Beyer  
*"Neues Anlagenkonzept zum beidseitig gleichzeitigen Laserstrahlhärten formkomplizierter Bauteile"*  
 7. Industriefachtagung "Oberflächen- und Wärmebehandlungstechnik", 10. Werkstofftechnisches Kolloquium, Chemnitz, 27.-28. September 2007
- [T12]** S. Bonß, J. Hannweber, M. Seifert, U. Karsunke, B. Brenner, E. Beyer  
*"Integrated Heat Treatment - System for Precise Die Hardening in Automotive Industries"*  
 ASM Heat Treating Society Conference & Exhibition, Detroit, USA, 17.-19. September 2007
- [T13]** S. Bonß, J. Hannweber, M. Seifert, S. Kühn, U. Karsunke, B. Brenner, E. Beyer  
*"Novel Machine System for Simultaneous Heat Treatment with Dynamic Beam Shaping"*  
 11th Nordic Conference in Laser Processing of Materials, Lappeenranta, Finland, 20.-22. August 2007
- [T14]** S. Bonß, J. Hannweber, M. Seifert, F. Tietz, S. Kühn, U. Karsunke, B. Brenner, E. Beyer  
*"Novel Machine System for Simultaneous Heat Treatment with Dynamic Beam Shaping"*  
 26th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO 2007), Orlando (FL) USA, 29. Oktober - 01. November 2007
- [T15]** S. Braun  
*"Halbleiterlithographie der nächsten Generation: Reflexionsoptiken für extrem ultraviolette (EUV) Strahlung"*  
 Praktikerseminar 2007, Dresden, 28. Juni 2007
- [T16]** S. Braun, P. Gawlitza, S. Lipfert, G. Dietrich, A. Leson  
*"Präzisionsbearbeitung und -beschichtung von Oberflächen mittels Ionenstrahltechnik"*  
 KooperationsForum "Moderne Beschichtungs- und Oberflächentechnologien" Köln, 27. November 2007
- [T17]** S. Braun, P. Gawlitza, S. Lipfert, M. Menzel, S. Schädlich, A. Leson  
*"High-Precision Multilayer Coatings and Reflectometry for EUVL Optics"*  
 EuroNanoForum, Düsseldorf, 19.-21. Juni 2007
- [T18]** **EV** B. Brenner  
*"Neueste laserbasierte Fügeverfahren in Forschung und Industrie"*  
 7. Dresdner Materialforschungstag des MFD, Dresden, 28. November 2007
- [T19]** B. Brenner, S. Bonß, J. Hannweber, F. Tietz, M. Seifert  
*"New Technologies for Industrial Laser Hardening - an Overview"*  
 ASM Heat Treating Society Conference & Exhibition, Detroit, USA, 17.-19. September 2007
- [T20]** **EV** B. Brenner, A. Jahn, J. Standfuß  
*"Induction Assisted Laser Welding Improves the Formability of Laser Welded Body Structures Made from High Strength Steels"*  
 ALAW 2007, 15th Annual Automotive Laser Application Workshop, Plymouth, MI, USA, 18.-19. April 2007

- [T21]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Strain and Stress Histories in Laser Build-Up Welding - II. FEM Stress Calculations"*  
 20th Meeting on Mathematical Modelling of Materials Processing with Lasers, Igls/Innsbruck (Austria), 17.-19. Januar 2007
- [T22]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"FEM Calculations of Thermally Induced Stresses in Laser Cladded Coatings"*  
 4th International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing, München, 18.-21. Juni 2007
- [T23]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Simulation of Thermal Stress in Induction-Assisted Laser Cladding"*  
 26th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO 2007), Orlando (USA), 29. Oktober-1. November 2007
- [T24]** I. Dani, V. Hopfe  
*"SPECVD und plasmachemisches Ätzen bei Atmosphärendruck für kontinuierliche Prozesse"*  
 13. Fachtagung Plasmatechnologie (PT 13), Bochum, 05.-07. März 2007
- [T25]** I. Dani, G. Mäder, S. Krause, B. Dresler, E. Lopez, S. Tschöcke, D. Linaschke, V. Hopfe  
*"Großflächige PECVD und plasmachemisches Ätzen bei Atmosphärendruck"*  
 XIV. Workshop Plasmatechnik, Ilmenau, 21.-22. Juni 2007
- [T26]** I. Dani, S. Tschöcke, L. Kotte, G. Mäder, J. Roch, S. Krause, B. Dresler, V. Hopfe  
*"Kontinuierliche Großflächenbeschichtung durch Mikrowellen-PECVD bei Atmosphärendruck"*  
 EFDS-Workshop "Plasmabehandlung und Plasma-CVD-Beschichtung bei Atmosphärendruck", Dresden, 25. April 2007
- [T27]** W. Danzer, T. Himmer, L. Morgenthal, M. Lütke, F. Bartels  
*"Schneiden mit Faserlasern"*  
 3. Internationaler Workshop "Faserlaser", Dresden, 14.-15. November 2007, Tagungs-CD, ISBN-Nummer 978-3-8167-7506-5
- [T28]** D. Dittrich, B. Winderlich, B. Brenner  
*"Steps for the Improvement of Damage Tolerance Behaviour of Laser Beam Welded Skin-Skin-Joints for Aircraft Structures"*  
 4th International WLT-Conference "Lasers in Manufacturing", München, 18.-22. Juni 2007
- [T29]** B. Dresler, St. Krause, I. Dani, V. Hopfe, M. Heintze, R. Möller, H. Wanka, A. Poruba, R. Barinka  
*"Atmospheric Pressure PECVD of Silicon Nitride for Passivation of Silicon Solar Cells"*  
 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Milano, Italien, 3.-7. September 2007
- [T30]** J. Dubsy, P. Chraska, B. Kolman, C. C. Stahr, L.-M. Berger  
*"Formation of Corundum Phase in Plasma Sprayed Alumina Coatings"*  
 The 16th International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering (IFHTSE) Congress, Brisbane, Australia, 30. Oktober - 01. November 2007
- [T31]** V. Franke, U. Klotzbach, M. Panzner, R. Püschel  
*"Potentials of Fiber Laser Technology in Microfabrication"*  
 Laser-based micro- and nanopackaging and assembly, San Jose, California, USA, 22.-24. Januar 2007
- [T32]** P. Gawlitza  
*"Ionenstrahlbeschichtung für EUV-Multischichtoptiken"*  
 Statusseminar Litho 45/32nm, Bonn, 7. März 2007
- [T33]** P. Gawlitza, S. Braun, G. Dietrich, A. Leson, S. Lipfert  
*"Ionenstrahlspattern zur Synthese von Präzisions-Multischichtoptiken"*  
 Oberflächentech. mit Plasma- und Ionenstrahlprozessen, Mühlleiten, 13.-15. März 2007
- [T34]** P. Gawlitza, S. Braun, G. Dietrich, A. Leson, S. Lipfert  
*"Großflächige Präzisions-Ionenstrahltechnik für die Optik-Verfahren und Anwendungen"*  
 V2007, Dresden, 16.-18. Oktober 2007
- [T35]** G. Göbel, B. Brenner  
*"New Thermomechanical Approach to Overcome Hot Cracking in Laser Welding"*  
 4th International WLT-Conference "Lasers in Manufacturing", München, 18.-22. Juni 2007
- [T36]** G. Göbel, B. Brenner, E. Beyer  
*"New Application Possibilities for Fiber Laser Welding"*  
 26th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO 2007), Orlando (FL) USA, 29. Oktober - 01. November 2007
- [T37]** G. Göbel, J. Standfuß, B. Brenner  
*"Extreme Narrow Gap Welding using Fiber Lasers"*  
 3. Internationaler Workshop "Faserlaser", Dresden, 14.-15. November 2007
- [T38]** J. Hannweber, S. Kühn, M. Melde, S. Bretschneider  
*"A Novel Laser Protection Screen for High Power Laser"*  
 3. Internationaler Workshop "Faserlaser", Dresden, 14.-15. November 2007
- [T39]** J. Hauptmann  
*"Application with Fiber Based UV Pico-Second Laser"*  
 3. Internationaler Workshop "Faserlaser", Dresden, 14.-15. November 2007
- [T40]** P. Herwig, P. Pfohl, E. Beyer  
*"System Engineering for Laser Processing of Copper"*  
 3. Internationaler Workshop "Faserlaser", Dresden, 14.-15. November 2007
- [T41]** P. Herwig, P. Pfohl, R. Imhoff, E. Beyer  
*"Processing of High Reflective Materials with High Brightness Lasers"*  
 26th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO 2007), Orlando (USA), 29. Oktober - 01. November 2007
- [T42]** T. Himmer, W. Danzer, L. Morgenthal, M. Lütke  
*"Cutting with Fiber Lasers"*  
 3. Internationaler Workshop "Faserlaser", Dresden, 14.-15. November 2007

- [T43]** T. Himmer, L. Morgenthal, E. Beyer  
*"Application of High Quality Beam Sources in R&D Projects"*  
 4th International WLT-Conference  
*"Lasers in Manufacturing"*, München, 18.-22. Juni 2007
- [T44]** T. Himmer, T. Pinder, L. Morgenthal, E. Beyer  
*"High Brightness Lasers In Cutting Applications"*  
 26th International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics (ICALEO 2007), Orlando, (USA), 29. Oktober - 01. November 2007
- [T45]** C. Hinüber, C. Kleemann, R. Friederichs, L. Haubold, H.-J. Scheibe, T. Schuelke, C. Boehlert, M.-J. Baumann  
*"Biocompatibility and Mechanical Properties of Diamond-like Coatings on Cobalt-Chromium-Molybdenum Steel and Titanium-Aluminum-Vanadium Biomedical Alloys"*  
 VaPSE 2007, Hejnice, CZ  
 25.-27. Oktober 2007
- [T46]** V. Hopfe  
*"Atmosphärendruck-Plasma-CVD und -Plasmaätzen für kontinuierliche Großflächenprozesse"*  
 OTTI-Seminar "Reinigen, Aktivieren und Beschichten mit Atmosphärendruck (AD)-Plasma", Regensburg, 19.-20. November.2007,
- [T47]** V. Hopfe, I. Dani, E. López, B. Dresler, H. Beese, M. Heintze, R. Moeller, H. Wanka  
*"Atmospheric Pressure Plasmas for Crystalline Silicon Solar Wafer Processing"*  
 18th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC-18), Kyoto, Japan, 26.-31. August 2007
- [T48]** V. Hopfe, I. Dani, E. López, M. Heintze  
*"Atmospheric Pressure Plasma Enhanced Chemical Etching for Crystalline Silicon Solar Wafer Processing"*  
 18th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC-18), Kyoto, Japan, 26.-31. August 2007
- [T49]** A. Jahn, S. Standfuß, B. Brenner, R. Mauermann, S. Menzel  
*"Formability Optimization of Laser Welded Patchwork Structures"*  
 4th International WLT-Conference  
*"Lasers in Manufacturing"*, München, 18.-22. Juni 2007
- [T50]** I. Jansen  
*"Oberflächenvorbehandlung von Glas und Metallen"*  
 Innovationsforum Glas, Delo Industrieklebstoffe, Landsberg, 18. Januar 2007
- [T51]** I. Jansen  
*"Lasereinsatz in der Klebtechnik"*  
 Dresdner Fügetechnisches Kolloquium, TU Dresden, 22.-23. März 2007
- [T52]** I. Jansen  
*"Application of the Laser Beam in the Bonding Technology"*  
 InnoCarBody 2007, Bad Nauheim, 11.-12. Juni 2007
- [T53]** I. Jansen, H. Sieber  
*"Transparente Glas-Metall-Klebungen mit zähelastisch modifizierten Acrylaten"*  
 21. International Symposium, Swiss Bonding 07, Rapperswill, Schweiz, 14.-16. Mai 2007
- [T54]** R. Jäckel, A. Leson  
*"Nanotechnologie-Kompetenzzentrum "Ultradünne funktionale Schichten" in Sachsen"*  
 Erfahrungsaustausch mit Nanocluster Kansai-Gebiet, Japan, 19. Februar 2007
- [T55]** O. Jost  
*"Large-Scale Synthesis of Single-Walled Carbon Nanotubes with a Modified Arc-Discharge Technique"*  
 EuroNanoForum, Düsseldorf, 19.-21. Juni 2007
- [T56]** O. Jost  
*"Informationsvortrag Nanotechnologie am Fraunhofer IWS Dresden"*  
 Infotag des Deutschen Verbandes für Schweißen und verwandte Verfahren (DVS) Bezirksvorstand Berlin, Berlin, 28. November 2007
- [T57]** EV O. Jost, A. Leson, E. Beyer  
*"Towards the Large-Scale Production of Single-Wall Carbon Nanotubes"*  
 1st International Congress on Science and Technology in the Micro and Nano Scale (MiNaT-Congress), Stuttgart, 13.-15. Juni 2007
- [T58]** O. Jost, M.H. Ruemmel, B. Büchner, W. Pompe, G. Eckstein  
*"Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes by Redox Reactions in Solution"*  
 Nanotube Konferenz IWEPNM 2007, Kirchberg (AT), 11.-17. März 2007
- [T59]** J. Kaspar, B. Brenner, A. Luft, F. Tietz  
*"Surface Age Hardening of a Precipitation Hardening Steel by Laser Solution Annealing and Subsequent Aging Treatment"*  
 4th International WLT-Conference  
*"Lasers in Manufacturing"*, München, 18.-22. Juni 2007
- [T60]** J. Kaspar, A. Luft, M. Will, S. Nolte  
*"SEM and TEM Investigation of the Ablation Mechanisms Involved in Ultra-short Pulsed Laser Drilling of Silicon"*  
 4th International WLT-Conference  
*"Lasers in Manufacturing"*, München, 18.-22. Juni 2007
- [T61]** R. Kunkel, A. Czegledi, H. Beese  
*"Measurement of Moisture Traces in Reactive Gases by a New Tunable Diode Laser Absorption System"*  
 Pittcon 2007, Specialty Gases Session, Chicago, 28. Februar 2007
- [T62]** A. Klotzbach, R. Gnann  
*"Processing Optics for Fiber Laser"*  
 3. Internationaler Workshop  
*"Faserlaser"*, Dresden, 14.-15. November 2007
- [T63]** U. Klotzbach, V. Franke, F. Sonntag, L. Morgenthal, E. Beyer  
*"Requirements and Potentialities of Packaging for Bioreactors with LTCC and Polymer"*  
 Conference "Laser-Based Micro- and Nanopackaging and Assembly" San Jose/California, 22.-24. Januar 2007
- [T64]** EV A. Lange  
*"Modeling and Simulation of Laser Welding"*  
 Seminar des Institutes für Analysis und Numerik, Uni Magdeburg, 2. März 2007
- [T65]** A. Lange  
*"Thermoelectric Currents in Weld Pools"*  
 Deutsche Physikalische Gesellschaft-Frühjahrstagung 2007, Regensburg, 30. März 2007

- [T66]** A. Lange  
*"Thermoelectric Currents in Weld Pools"*  
 Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik 2007, Zürich, 20. Juli 2007
- [T67]** A. Lange  
*"Gezielte Strömungsbeeinflussung durch Magnetfelder in Schmelzbädern beim Laserstrahlschweißen"*  
 Klausur Sonderforschungsbereich 609, Schmochitz, 21. September 2007
- [T68]** **EV** A. Lange  
*"Thermoelectric Currents in Laser Induced Weld Pools"*  
 Fachseminar an der Fakultät Maschinenbau, TU Ilmenau, 19. Dezember 2007
- [T69]** D. Lepski, F. Brückner, E. Beyer  
*"Strain and Stress Histories in Laser Build-Up Welding - I. Heuristic Model"*  
 20th Meeting on Mathematical Modeling of Materials Processing with Lasers, Igls / Innsbruck (Austria), 17.-19. Januar 2007
- [T70]** A. Leson  
*"Neue Werkstoffe für intelligente Produkte"*  
 VDI-Expertenforum Energie- und materialeffiziente Produktion -Herausforderung und Chance für die deutsche Industrie, Dresden, 16. Februar 2007
- [T71]** A. Leson  
*"Nanotechnology in Saxony - Highlights and Recent Developments"*  
 NanoTech 2007, Tokio, Japan, 21. Februar 2007
- [T72]** A. Leson  
*"Fraunhofer-Innovationscluster Nano for Production"*  
 Fraunhofer -Innovationscluster Symposium, Berlin, 4. September 2007
- [T73]** A. Leson  
*"Superhard Nanostructured Carbon Coatings - Properties and Applications"*  
 Nanotechnologieforum, sächs. Delegationsreise, Tokio, Japan, 3. Oktober 2007
- [T74]** A. Leson  
*"Superhard Nanostructured Carbon Coatings - Properties and Applications"*  
 Nanotechnologieforum, sächs. Delegationsreise, Osaka, Japan, 5. Oktober 2007
- [T75]** A. Leson, M. Leonhardt, C. F. Meyer, H.-J. Scheibe, V. Weihnacht  
*"Deposition of Amorphous and Nanostructured Carbon Films - Process, Technology and Application"*  
 NanoScience 2007, Lichtenwalde, 19. Oktober 2007
- [T76]** S. Lipfert, S. Braun, P. Gawlitza, A. Leson  
*"Reactive Nanometer Multilayers as Tailored Heat Sources for Joining Techniques"*  
 Workshop Hybrid Nanostructured Materials, Prag (CZ), 5.-6. November 2007
- [T77]** E. López, H. Beese, G. Mäder, I. Dani, V. Hopfe, M. Heintze, R. Moeller, H. Wanka, M. Kirschmann, J. Frenck, A. Poruba, R. Barinka, H. Nussbaumer, R. Dahl  
*"New Developments in Plasma Enhanced Chemical Etching at Atmospheric Pressure for Crystalline Silicon Wafer Processing"*  
 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Milano, Italien, 3.-7. September 2007
- [T78]** A. Mahrle, E. Beyer  
*"Mathematical Description of the Transient Energy Deposition in Laser Materials Processing with Forced Beam Oscillations"*  
 20th Meeting on Mathematical Modeling of Materials Processing with Lasers, Igls / Innsbruck (Austria), 17.-19. Januar 2007
- [T79]** A. Mahrle, E. Beyer  
*"Simulation von Temperatur- und Geschwindigkeitsfeld in laserinduzierten Schmelzbädern"*  
 TU Dresden, Workshop Strömungssimulation, Dresden, 29. Juni 2007
- [T80]** A. Mahrle, E. Beyer  
*"Modellierung, Simulation und rechnergestützte Prozessauslegung zum Wärmeleitungsschweißen mit Laserstrahlung"*  
 Schweißtagung "Verfahrensgerechte Produkt- und Prozessgestaltung", Neu-Ulm, 17.-18. Oktober 2007
- [T81]** A. Mahrle, F. Kretzschmar, E. Beyer  
*"Control of the Energy Deposition during Laser Beam Welding by Oscillation Techniques"*  
 4th International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing, München, 18.-21. Juni 2007
- [T82]** A. Mahrle, F. Kretzschmar, E. Beyer  
*"Modeling and Simulation of the Energy Deposition in Laser Beam Welding with Oscillatory Beam Deflection"*  
 26th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO) 2007, Orlando (USA), 29. Oktober -1. November 2007
- [T83]** G. Mäder, E. Lopez, I. Dani, V. Hopfe  
*"Plasmaätzen von Solarwafern mit Linear-DC-Arc-Plasmaquellen"*  
 EFDS-Workshop "Plasmabehandlung und Plasma-CVD-Beschichtung bei Atmosphärendruck", Dresden, 25. April 2007
- [T84]** G. Mäder, J. Roch, S. Krause, B. Dresler, S. Tschöcke, I. Dani, V. Hopfe  
*"Continuous Microwave Plasma Enhanced CVD at Atmospheric Pressure"*  
 3rd International Congress on Cold Atmospheric Pressure Plasmas: Sources and Applications (CAPPSSA 2007) Ghent, Belgien, 10.-13. Juli 2007
- [T85]** M. März, M. Leistner, W. Grählert, I. Dani, V. Hopfe, S. Kaskel  
*"In-situ Monitoring of SW-CNT Synthesis using NIR Spectroscopy"*  
 NanoSmat-2007, Algarve, Portugal, 9.-11. Juli 2007
- [T86]** S. Nowotny, S. Scharek, J. Ortner  
*"Repair of Local Erosion Damages by Laser Assisted Direct Metal Deposition (DMD)"*  
 French-German Workshop on Erosion in Weapon Barrels, Dresden, 10.-11. Juli 2007
- [T87]** B. Pollakowski, B. Beckhoff, S. Braun, P. Gawlitza, F. Reinhardt, G. Ulm  
*"Zerstörungsfreie Speziation von vergrabenen TiO<sub>x</sub> Nanoschichten"*  
 PRORA 2007, Berlin, 15. November 2007
- [T88]** A. Roch  
*"Herstellung von einwandigen CNT auf der Basis des gepulsten Lichtbogens"*  
 Institutsseminar, IOF TU Dresden, Januar 2007

- [T89]** S. Saaro, L.-M. Berger, T. Naumann, M. Kašparova, F. Zahálka  
*"Mikrostruktur und Eigenschaften von HVOF-gespritzten WC-(W,Cr)<sub>2</sub>C-Ni Schichten"*  
 7. Industriefachtagung "Oberflächen- und Wärmebehandlungs-technik" zum 10. Werkstofftechnischen Kolloquium in Chemnitz, 27.-28. September 2007
- [T90]** H.-J. Scheibe  
*"Gepulste Plasmen zur Herstellung nanostrukturierter Schichten und deren Anwendungen"*  
 Gründerimpuls Dresden Nanotechnologie, Dresden, 10. Oktober 2007
- [T91]** H.-J. Scheibe  
*"Laser-Arc Process for Formation of Nano-Structured Carbon Films and Nano-Particles"*  
 German-British Workshop Technologies and Materials for Nanoelectronics, Dresden, 16. Oktober 2007
- [T92]** H.-J. Scheibe  
*"Laser-Arc Process for Formation of Nano-Structured Carbon Films and Nano-Particles"*  
 VaPSE 2006, Hejnice, CZ, 25.-27. Oktober 2007
- [T93]** H.-J. Scheibe, M. Leonhardt, A. Leson, C.-F. Meyer, D. Doerwald, T. Krug  
*"Laser Induced Pulsed Arc Deposition - Laser-Arc: A Laboratory Proven ta-C Deposition Process on the Road for Industrial Application"*  
 HIPIMS-Days, Sheffield, UK, 10.-11. Juli 2007
- [T94]** H.-J. Scheibe, T. Schuelke  
*"Laser-Arc System - Technology for ta-C Deposition"*  
 SVC, Louisville, KY, USA, 29. April - 03. Mai 2007
- [T95]** D. Schneider, B. Schultrich  
*"Testing thin films and surfaces by the laser-acoustic test method Lawave"*  
 MicroNanoReliability, Berlin, 2.-5. September 2007
- [T96]** C.C. Stahr, L.-M. Berger, S. Thiele  
*"Mikrostruktur und Eigenschaften thermisch gespritzter Schichten im System TiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>"*  
 7. Industriefachtagung "Oberflächen- und Wärmebehandlungstechnik" zum 10. Werkstofftechnischen Kolloquium in Chemnitz, 27.-28. September 2007
- [T97]** C.C. Stahr, S. Saaro, L.-M. Berger, J. Dubsky, K. Neufuss  
*"About the Dependence of the Stabilization of  $\alpha$ -Alumina on the Spray Process"*  
 Global Coating Solutions: Proceedings of the 2007 International Thermal Spray Conference, Beijing, 14.-17. Mai 2007,
- [T98]** J. Standfuß, G. Göbel, E. Beyer  
*"Aspects of Fiber Laser Welding in Regard to Process, Applications and Economics"*  
 Laser-ERFA-Møde, Odense, Dänemark, 13. September 2007
- [T99]** EV J. Standfuß, G. Göbel, U. Stamm, B. Brenner  
*"Laser Welding of Dissimilar Materials in Powertrain Applications"*  
 ALAW 2007, 15th Annual Automotive Laser Application Workshop, Plymouth, MI, USA, 18.-19. April 2007
- [T100]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, T. Naumann, S. Langner  
*"Suspensionsgespritzte Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Schichten"*  
 7. Industriefachtagung "Oberflächen- und Wärmebehandlungstechnik" zum 10. Werkstofftechnischen Kolloquium in Chemnitz, 27.-28. September 2007
- [T101]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, T. Naumann, S. Langner  
*"Microstructure of Nanostructured Ceramic Coatings Obtained by Suspension Thermal Spraying"*  
 3èmes Rencontres Internationales Projection Thermique (RIPT), Lille, 6.-7. Dezember 2007
- [T102]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, T. Naumann, C.C. Stahr  
*"Elaboration and Characterisation of Suspension Plasma Sprayed Ceramic Coatings"*  
 Surface Modification Technologies XXI, Paris, 24.-26. September 2007
- [T103]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, C.C. Stahr, T. Naumann  
*"Ceramic Nanostructured Coatings Elaborated by Suspension Plasma Spraying"*  
 EUROMAT 2007, Nürnberg, 10.-13. September 2007
- [T104]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, C.C. Stahr, T. Naumann, S. Saaro  
*"Preparation and Characterization of Nanostructured Ceramic Coatings Obtained by Suspension Plasma Spraying"*  
 10th International Conference for the European Ceramic Society, "Thermally Sprayed TiO<sub>2</sub> - Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coatings with Multifunctional Properties", 17.-21. Juni 2007
- [T105]** J. Vetter, O. Zimmer, H.-J. Scheibe, V. Weihnacht  
*"Types of cathodic vacuum arc sources and its application potential"*  
 ICMCTF 2007, San Diego, CA, USA, 23.-27. April 2007
- [T106]** V. Weihnacht  
*"Leistungssteigerung von Werkzeugen zur Aluminiumbearbeitung durch Beschichtung mit ta-C"*  
 V2007, Dresden, 16.-18. Oktober 2007
- [T107]** EV B. Winderlich, S. Bonß, B. Brenner, J. Standfuß  
*"Strategien zum beanspruchungsgerechten Fügen und Randschichtveredeln"*  
 Steinbeiß-Symposium "Fertigung und Bauteileigenschaften", Stuttgart, 20. Juni 2007
- [T108]** O. Zimmer  
*"PVD-coating - A new solution for anti-static finishing of filter media"*  
 EDANA Nonwovens Academy Leeds, Leeds, 29.-30. März 2007
- [T109]** O. Zimmer  
*Innovationscluster "Nano for Production"*  
 Workshop "Innovationscluster Nano for production" im Rahmen des Dresdner Innovationsforums, Dresden, 28. November 2007
- [T110]** O. Zimmer, J. Berthold, P. Siemroth  
*"Filtered Vacuum Arc - technology for advanced applications"*  
 HIPIMS-Days, Sheffield, UK, 10.-11. Juli 2007

Bitte senden Sie mir Material über folgende Verfahren und Methoden:

## Bereich PVD- und Nanotechnologie

- Multischichten für EUV- und röntgenoptische Anwendungen
- Diamor® - Superharte, amorphe Kohlenstoffschichten für Werkzeuge zur Bearbeitung von Leicht- und Buntmetallen sowie Kunststoffen
- Diamor® - Superharte, amorphe Kohlenstoffschichten für Maschinen der Verpackungs- und Lebensmittelindustrie
- Laserakustisches Prüfgerät LAwave® für Schichten und Werkstoffoberflächen
- Laser-Arc-Modul zur Abscheidung von superharten amorphen Kohlenstoffschichten

## Bereich CVD-Dünnschichttechnologie

- FTIR-Spektroskopie zur CVD-Diagnostik
- Optische Spektroskopie an Oberflächen und Schichten
- ISPROM® - Multigassensor zur in-situ-Überwachung und Regelung industrieller Gasphasenprozesse

## Bereich Thermische Beschichtungsverfahren

- 3D-Laser-Pulver-Auftragschweißen mit dem Koaxial-Beschichtungskopf
- Laser-Rapid-Prototyping - Ein Verfahren zur schnellen Fertigung von Funktionsmustern
- Moderne Beschichtungslösungen: Thermisches Spritzen

## Bereich Füge- und Randschichttechnologien

- Laserstrahlschweißen und Hybrid-schweißverfahren
- Laserstrahlschweißen mit Hochleistungs-Diodenlasern
- Induktiv unterstützte Laser-Materialbearbeitung
- Technologieentwicklungen für die Luft- und Raumfahrt
- Laserstrahlhärten - ein modernes Verfahren zur Verbesserung der Schwingfestigkeit von Bauteilen
- E-MAqS - Ortsauflösend messendes Temperaturerfassungssystem
- Dynamisches Strahlformungssystem zur industriellen Laserrandschichtveredelung - LASSY
- Werkstoffprüfung sichert Produktqualität

## Bereich Systemtechnik / Laserabtragen und -trennen

- Faserlaser: Technologien und Anwendungen
- lasertronic® - Systeme aus dem Fraunhofer IWS Dresden
- lasertronic® - High-Power-Strahl-ablenkoptik für das Laserstrahlschweißen
- Formgenaues Hochgeschwindigkeits-Laserschneiden
- Laserstrahlabtragen dünner Deckschichten
- Patinafreilegungen mit dem Laserstrahl
- Mikrostrukturierung von Keramiken mit Excimerlasern
- Rutschhemmende Ausrüstung polierter Natursteinoberflächen mittels Lasermikrostrukturierung

Wenn Sie mehr Informationen wünschen, kreuzen Sie bitte das entsprechende Feld an und senden bzw. faxen Sie eine Kopie dieser Seite an untengenannte Adresse:

Bitte senden Sie mir:

- die Broschüre »Problemlösungen aus einer Hand«
- die Broschüre »One-Stop Solutions« (in englisch)
- den Jahresbericht 2005
- den Jahresbericht 2006
- einen weiteren Jahresbericht 2007

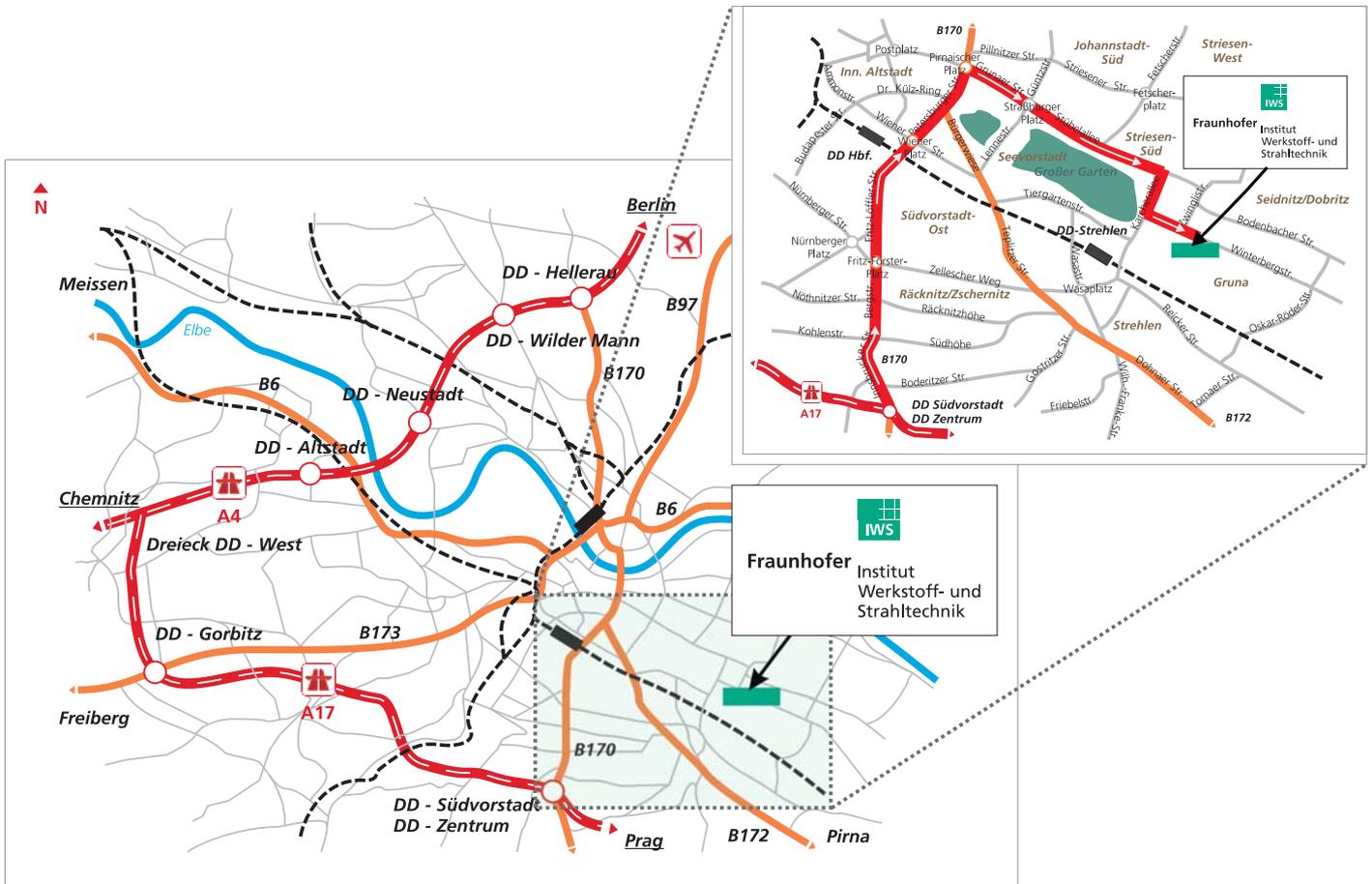
Adresse:

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden  
Presse und Öffentlichkeitsarbeit  
Ansprechpartner: Dr. Ralf Jäckel

Winterbergstr. 28  
01277 Dresden

Tel.: 0351 / 2583 444  
Fax: 0351 / 2583 300  
E-mail: ralf.jaeckel@iws.fraunhofer.de

Internet: www.iws.fraunhofer.de



**Anfahrtsweg:**

Mit dem Auto (ab Autobahn):

- Autobahn A4 oder A13 bis Dreieck Dresden-West, dann über die neue Autobahn A17, Ausfahrt Südvorstadt / Zentrum,
- Bundesstraße B170 folgend Richtung Stadtzentrum bis Pirnaischer Platz (ca. 6 km),
- am Pirnaischen Platz rechts abbiegen Richtung »Gruna / VW-Manufaktur«,
- geradeaus, am Ende des »Großen Gartens« rechts in die Karcherallee,
- an der folgenden Ampel links in die Winterbergstraße.

Mit der Straßenbahn (ab Dresden-Hauptbahnhof):

- Straßenbahnlinie 10 zum Straßburger Platz,
- mit den Linien 1 oder 2 stadtauswärts (Richtung Kleinzschachwitz bzw. Prohlis) bis Haltestelle Zwinglistraße,
- 10 min zu Fuß (Richtung Grunaer Weg).

Mit dem Flugzeug:

- ab Flughafen Dresden-Klotzsche mit dem Taxi zur Winterbergstraße 28 (ca. 10 km),
- oder mit der S-Bahn (unterirdische S-Bahn-Station) zum Hauptbahnhof, weiter s. Bahn

**Post-Adresse:**

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden  
 Winterbergstr. 28  
 01277 Dresden

**Internet-Adresse:**

<http://www.iws.fraunhofer.de>

Tel.: (0351) 2583 324  
 Fax: (0351) 2583 300  
 E-mail: [info@iws.fraunhofer.de](mailto:info@iws.fraunhofer.de)

## Impressum

Redaktion: Dr. Ralf Jäckel  
Dipl.-Ing. Karin Juch  
Dr. Anja Techel

Koordination / Gestaltung: Dipl.-Ing. Karin Juch  
Dr. Ralf Jäckel

Bildnachweis: S. 19 (Abb. re. o., re. u.): EMAG  
S. 31 (Abb. 1): [www.ceratec.de](http://www.ceratec.de)  
S. 75 (Abb. 1 - 4): ITW Chemnitz  
alle anderen Abb.: Fraunhofer IWS Dresden

© Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden 2008

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.