



**Fraunhofer** Institut  
Werkstoff- und  
Strahltechnik

# Jahresbericht 2008





**Fraunhofer** Institut  
Werkstoff- und  
Strahltechnik

# Jahresbericht 2008

## ZERTIFIKAT

### ISO 9001:2000



bescheinigt hiermit, dass das Unternehmen



**Fraunhofer** Institut  
Werkstoff- und  
Strahltechnik

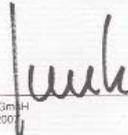
**Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik**

**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



  
QMS-TGA-ZM-05-91-00

DEKRA Certification GmbH • Handwerkerstraße 15 • D-70565 Stuttgart • www.dekra-certification.com



## Vorwort

Nach dem anfänglichen Aufschwung 2008 erfolgte Ende des Jahres ein Rückgang der Konjunktur. Im FuE-Bereich wird eine negative Entwicklung allerdings erst mit einer gewissen Verzögerung spürbar. So ist es dem IWS gelungen, das hervorragende Ergebnis von 2007 mit knapp 8 Mio. € Industrieertrag erneut zu erreichen. Wir haben unsere Kapazität im Jahr 2008 weiter ausgebaut und sind wie bereits im Jahr zuvor um weitere zehn Mitarbeiter gewachsen.

Unser Projektcenter CCL in den USA kann ebenfalls auf ein gutes Jahr 2008 zurückblicken. Insbesondere das Laserstrahlschweißen von Batterien, welche zukünftig in der Autoindustrie zum Einsatz kommen, hat zum wirtschaftlichen Erfolg beigetragen. Unsere Projektgruppe im DOC war im Bereich der Energietechnik tätig. Hier wurden sehr erfolgreich neue Beschichtungen und Beschichtungssysteme für Brennstoffzellen entwickelt.

Ein Highlight des IWS war die Entwicklung eines extrem verschleißbeständigen Schichtsystems, welches den Reibungskoeffizienten auch unter Einsatz von Schmiermitteln deutlich reduziert. Die IWS-Schichten sollen in Zukunft zur Reduzierung des Benzinverbrauches und des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in Automobilkomponenten, vor allem im Powertrain-Bereich eingesetzt werden.

Auch im Bereich der Lasertechnik haben wir in diesem Jahr wieder eine Reihe von innovativen Technologien entwickelt und in die industrielle Fertigung überführt.

Ein besonderes Ereignis war die Unterzeichnung eines Vertrags mit der Technischen Universität Wrocław, an der die Bundeskanzlerin Frau Angela Merkel teilnahm. Mit der Gründung eines Projektcenters sollen zum einen die Kooperation mit Polen verbessert und Synergien genutzt werden, zum anderen soll der europäische, insbesondere der osteuropäische Markt leichter erschlossen werden.

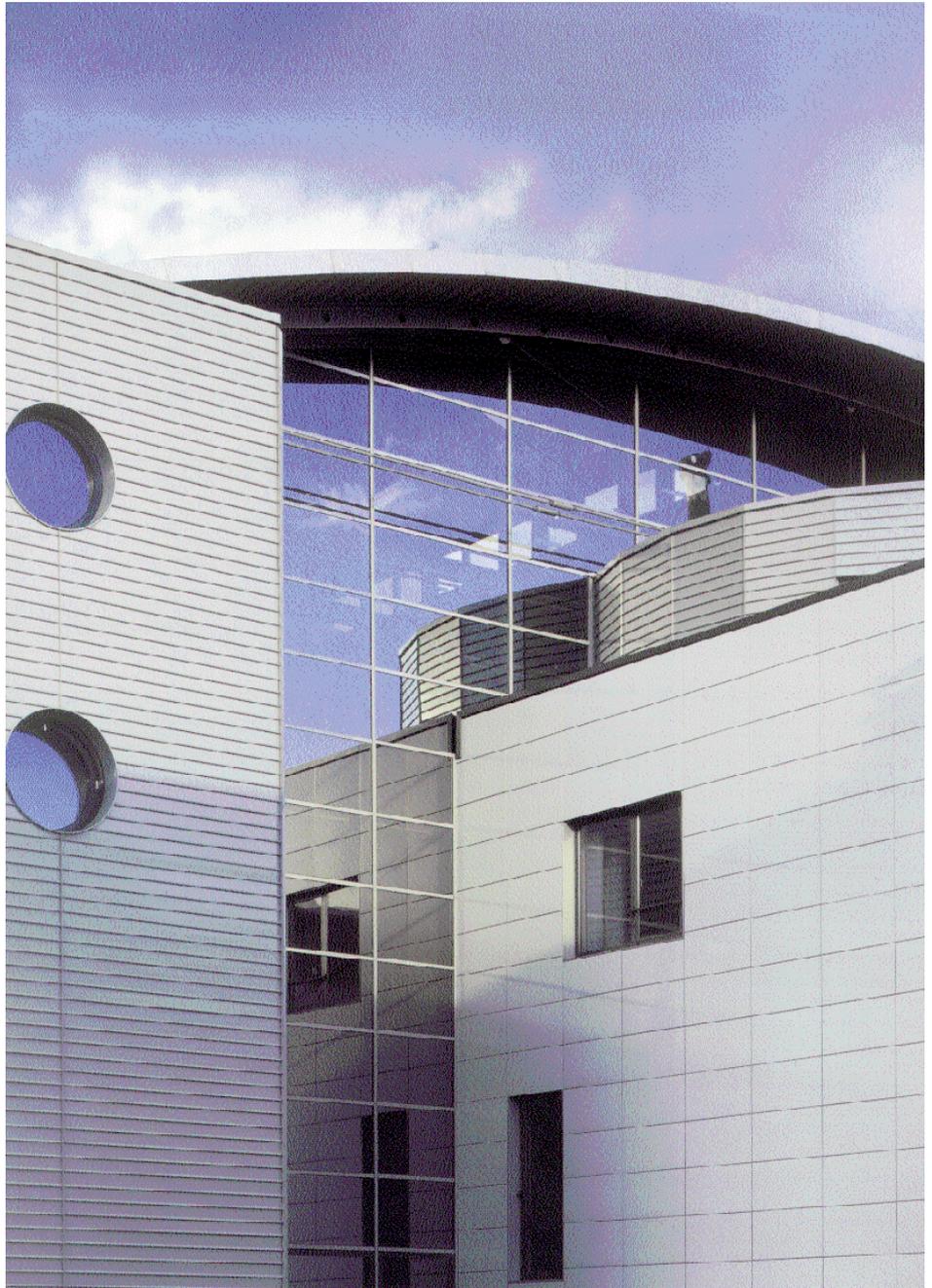
Für 2009 erwarten wir einen Rückgang der Industrieerträge. Allerdings gehen wir gemäß der bereits vorliegenden Bewilligungen von einem Anstieg der öffentlich geförderten Projekte aus, so dass wir dem schwierigen Jahr 2009 trotzdem positiv entgegensehen.

Eckhard Beyer



*Das Geheimnis des Erfolgs  
liegt in der Zielstrebigkeit.*

Benjamin Disraeli



**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 2008</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 Projektgruppen und Außenstellen</b>	<b>14</b>
<b>Netzwerke</b>	<b>18</b>
<b>Das Institut in Zahlen</b>	<b>22</b>
<b>Kuratorium und Gremien</b>	<b>24</b>
<b>Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick</b>	<b>25</b>
<b>Fraunhofer-Verbund Oberflächentechnik und Photonik VOP</b>	<b>26</b>
<b>Forschungs- und Entwicklungsangebote</b>	<b>28</b>
Füge- und Randschichttechnologien	28
Laserabtragen und -trennen, Systemtechnik	44
Thermische Beschichtungsverfahren	54
CVD-Dünnschichttechnologie	62
PVD- und Nanotechnologie	70
<b>Namen, Daten und Ereignisse</b>	<b>80</b>
Diplomarbeiten und Dissertationen	80
Besondere Ereignisse	82
Mitarbeit in Gremien	84
Preise des IWS 2008	85
Messebeteiligungen	86
<b>Patente und Marken</b>	<b>88</b>
<b>Veröffentlichungen</b>	<b>90</b>
<b>Tagungsvorträge</b>	<b>96</b>
<b>Informationsservice</b>	<b>102</b>
<b>Kontaktadressen und Anfahrt</b>	<b>103</b>
<b>Impressum</b>	<b>104</b>



## »Fraunhofer Project Center for Laser Integrated Manufacturing« in Wrocław gegründet



Dr. Angela Merkel wünscht Prof. Beyer Erfolg beim Aufbau des deutsch-polnischen Forschungszentrums

Am 24. September 2008 unterzeichneten die Technische Universität Wrocław und das Fraunhofer IWS im Beisein von Frau Dr. Angela Merkel einen Rahmenvertrag zur Gründung eines gemeinsamen »Fraunhofer Project Center for Laser Integrated Manufacturing«.

Nach Aussage von Frau Dr. Merkel nimmt das Project Center eine Vorreiterrolle für die deutsch-polnische Zusammenarbeit im Bereich der angewandten Forschung ein. Sie würdigt die Kooperation »eines exzellenten Photonik-Institutes Deutschlands mit einem der renommiertesten Produktionstechnik-Institute Polens« als wichtigen Baustein nachbarschaftlicher Beziehungen.

## Laser Institute of America zeichnet Professor Eckhard Beyer aus

Das Laser Institute of America (LIA) hat den höchsten Preis im Bereich der Lasertechnik, den nach dem Nobelpreisträger Arthur L. Schawlow benannten Award, am 22. Oktober 2008 Herrn Professor Eckhard Beyer zuerkannt. Mit dem Schawlow Award werden die Verdienste von Persönlichkeiten gewürdigt, die einen herausragenden Beitrag zur Anwendung von Lasern in Wissenschaft, Industrie oder Bildung geleistet haben.



Prof. Beyer wurde anlässlich der Jahrestagung des LIA während der ICALEO 2008 mit dem Schawlow Award 2008 ausgezeichnet

## 4. Internationaler Workshop »Faserlaser«

Am 5. und 6. November 2008 fand der vierte Internationale Faserlaser-Workshop im Internationalen Kongresszentrum Dresden statt, organisiert vom Fraunhofer IWS Dresden. In den letzten Jahren wurden Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet stetig vorangetrieben, dementsprechend hat auch die Zahl der Faserlaseranwendungen deutlich zugenommen. Ca. 340 Teilnehmer haben sich über die neuen Möglichkeiten des Einsatzes von Faserlasern in der Lasermaterialbearbeitung informiert.



Während des 4. Faserlaser-Workshops im Internationalen Kongresszentrum Dresden wurden neueste Entwicklungen präsentiert

## Innovatives Verfahren zur Herstellung von Airbagschutzhüllen gewürdigt

Mit einer Anerkennung im Rahmen des Bayerischen Innovationspreises 2008 wurde am 2. Juni 2008 ein neues, flexibles Verfahren zur Herstellung von Airbagschutzhüllen ausgezeichnet. Geehrt wurde die Schreiner Protech in Oberschleißheim. Die diesem neuartigen Verfahren zugrunde liegende Technologie- und Systementwicklung zum Laserschneiden und -fügen wurde vom Fraunhofer IWS durchgeführt.



## Weitere Industrieüberführungen von roboterbasierten Laseranlagen zum Härten und Auftragschweißen

Im Auftrag der ALOtec Dresden GmbH hat das Fraunhofer IWS Dresden im Frühjahr 2008 eine roboterbasierte Laserhärteanlage mit einem 6 kW-Diodenlaser für die Firma EMO in Celje (Slowenien) realisiert. Mit dem System werden gegenwärtig Werkzeuge für den Karosseriebau gehärtet. Das Fraunhofer IWS war als Unterauftragnehmer für die Technologieentwicklung und die Lieferung spezieller Sonderkomponenten zuständig.

Für die griechische Firma Roussakis Ship Repairs wurde im Oktober 2008 ein 6 kW-Diodenlaser sowie System- und Prozesstechnik des Fraunhofer IWS in eine Roboteranlage mit Dreh- / Schwenkachse zum Laserauftragschweißen integriert. Damit werden Reparaturen an diversen Schiffskomponenten durchgeführt. Eine hohe Flexibilität in der Roboteranlage wird durch unterschiedliche Pulverdüsenkonfigurationen aus der COAXn-Familie des Fraunhofer IWS gewährleistet.



Inbetriebnahme der roboterbasierten Laserhärteanlage in Slowenien

Laserauftragschweißen von Schiffskomponenten bei Roussakis Ship Repairs in Griechenland

## Temperaturregelsystem zum Löten von Solarzellen



Lötanlage der Firma teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH Freiberg mit integriertem Temperaturregelsystem des Fraunhofer IWS, oben: Optik mit Filterhalter

Beginnend im Jahr 2007 wurde in Kooperation des Fraunhofer IWS Dresden mit der Firma teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH Freiberg (bei Stuttgart) ein schnelles Mess- und Regelsystem für die Temperaturregelung entwickelt. Dabei wurde das ursprünglich für das Laserstrahlhärten entwickelte Messsystem für die Photovoltaik weiterentwickelt und auf das Weichlöten von Solarzellen übertragen. Auch im Jahr 2008 wurde dieses inzwischen abermals verbesserte System mehrfach in Anlagen der Firma teamtechnik in Betrieb genommen.

## Diamor®-Beschichtung auf thermischen Spritzschichten von Kugelventilen



Die Beschichtung der Kugeln von Kugelventilen wird derzeit in Kleinserie überführt

Die Ergebnisse eines gemeinsamen Forschungsprojektes mit der Firma KVT Kurlbaum GmbH wurden im Jahr 2008 erfolgreich in die Kleinserie überführt. Indem die thermisch gespritzte Hartmetallschicht der Kugel eines Kugelventils zusätzlich mit einer reibungsmindernden Diamor®-Deckschicht beschichtet wird, verringern sich die Reibwerte der Paarung auf etwa ein Drittel, und die Standfestigkeit der Kugelventile wird drastisch verbessert.

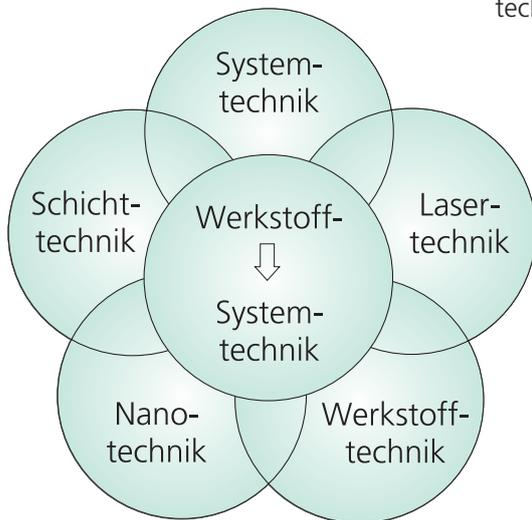




**Unsere Mission:** Die Problemstellungen unserer Kunden sind erst dann gelöst, wenn sie mit der erarbeiteten Lösung Geld verdienen. Wir lösen Probleme kundengerecht!

## 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 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 checked="" 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

mehrere Faserlaser, bis 8 kW-cw

Scheibenlaser, 5 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)

mobile Nd:YAG-Laser zur Flächenstrukturierung und zum Reinigen

mehrere Hochleistungs-Diodenlaser, 1 bis 10 kW

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

Excimerlaser (193 nm und 248 nm)

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

### 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 Magnetronputtern

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 atmosphärischen Plasmaspritzen (APS) und zum Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF) mit Pulvern und Suspensionen

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 (Zug-Druck: ±500 kN und ±100 kN; Torsion / Axial: 8 kN / 40 kN)
- mechanische Zug- / Druck-Prüfmaschine
- rechnergestütztes Mikrohärtesystem, 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

Impedanzspektrometer



3-Achs- und 5-Achs-CNC-Fräsmaschinen mit Laser-Bearbeitungsmodulen zur Komplettbearbeitung aus Laser-Auftragschweißen und Fräsen



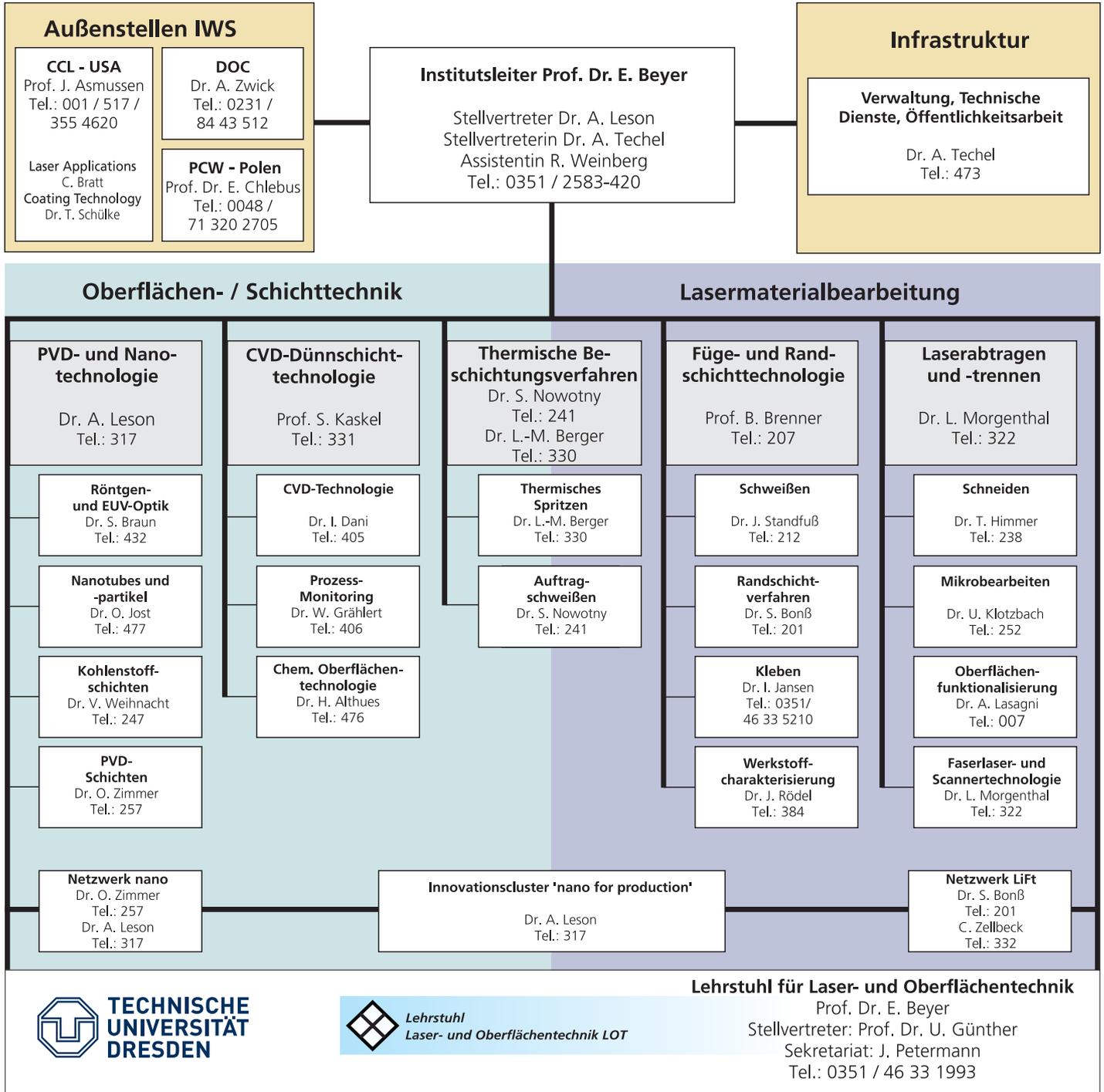
Laserscanning-Mikroskop LSM Pascal 5 zur hochpräzisen Charakterisierung und Analyse von Oberflächen im Mikro- und Nanometerbereich



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

2008 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
- Prof. Beyer: Lasersystemtechnik
- Prof. Beyer: Plasmen in der Fertigungstechnik
- Prof. Beyer: Rapid Prototyping
- Prof. Beyer: Laserrobotik / Lasertronik
- Dr. Leson: Nanotechnologie
- Prof. Schultrich: Dünnschichttechnologie
- Prof. Günther: Mikro- und Feinbearbeitung

 **Lehrstuhl**  
Laser- und Oberflächentechnik LOT

### Kooperation Fraunhofer IWS - TU Dresden

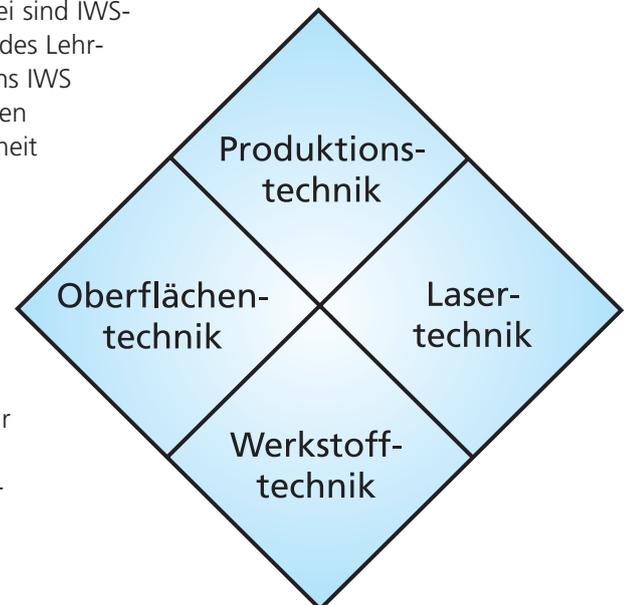
Durch eine Kooperationsvereinbarung ist die Zusammenarbeit zwischen dem IWS und der TU Dresden geregelt. Auf Basis einer gemeinsamen Berufung ist der Lehrstuhlinhaber, Prof. Beyer, gleichzeitig Leiter des Fraunhofer IWS. Hierbei gilt folgende Aufgabenteilung: Forschung und Lehre werden schwerpunktmäßig 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 Steel AG



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

Mit der Gründung des Dortmunder OberflächenCentrums bündelte die ThyssenKrupp Steel 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-Festkörperlasers 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 Project Center for Laser Integrated Manufacturing (PCW)

Gemeinsam die Zukunft gestalten - das ist das Ziel der deutschen und polnischen Ingenieure und Wissenschaftler, die im »Fraunhofer Project Center for Laser Integrated Manufacturing« (Fraunhofer-Projekt-Center für Ganzheitliche Fertigung) zusammenarbeiten. Am 24. September 2008 wurde im Beisein von Frau Dr. Angela Merkel das Forschungszentrum in Wrocław offiziell eröffnet.

In dem neuen Fraunhofer-Projekt-Center für Ganzheitliche Fertigung wollen deutsche und polnische Forscher ihr Know-how bündeln, um Rapid-Prototyping-Technologien weiterzuentwickeln und zu perfektionieren. Die Ingenieure des Fraunhofer IWS haben viel Erfahrung in der Entwicklung von Lasertechnologien, die Wissenschaftler von der TU Wrocław sind Spezialisten für Verfahrenstechnik und Produktion. Gemeinsam können sie in neue Technologiebereiche vordringen: Für die Entwicklung innovativer Prototyping-Techniken beispielsweise sind beide Kompetenzen notwendig.

Eine ganze Reihe gemeinsamer Projekte ist bereits geplant. Beispielsweise sollen durch Laserverfahren Strukturen aufgebaut werden, die in zwischen- und nachgeschalteten Arbeitsschritten in derselben Aufspannung mechanisch

endbearbeitet werden. Mit diesem und ähnlichen Projekten soll das Rapid-Prototyping zum Rapid-Manufacturing mit dem Ziel der individuellen Einzelproduktion durch generierende Verfahren erweitert werden.

Von Wrocław aus will das internationale Team neue Märkte erschließen: Potenzielle Kunden für innovatives Rapid-Prototyping sind Autozulieferer sowie Hersteller von Haushalts- und Elektrogeräten in Ost und West.

Die Partnerschaft mit der Wrocław University of Technology ist die erste Kooperation der Fraunhofer-Gesellschaft in Polen. Sie übernimmt damit eine Vorreiterrolle für die deutsch-polnische Zusammenarbeit im Bereich der angewandten Forschung.



**Prof. Dr. Edward Chlebus**  
 Institutsdirektor  
 TU Wrocław  
 Tel.: 0048 / 71 320 2705



**Dr. Jan Hauptmann**  
 Projektkoordination  
 Fraunhofer IWS  
 Tel.: 0 351 / 2583 236



Prof. Dr. Edward Chlebus, Prof. Dr. Eckhard Beyer und Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger im Gespräch mit Dr. Bogdan Dybala im Rapid-Prototyping-Labor der TU Wrocław (v.l.n.r.)



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



**Prof. Jes Asmussen**  
Center Director  
CCL / USA  
Tel.: 001 / 517 355 4620

Für die anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung ist der US-amerikanische Markt einer der wichtigsten internationalen Benchmarks und Innovationsmotoren. Aus diesem Grunde konzentriert das Fraunhofer IWS Dresden seine USA-Aktivitäten seit 1997 im »Fraunhofer-Center for Coatings and Laser Applications CCL«.

Das Fraunhofer-Center for Coatings and Laser Applications CCL spiegelt die Hauptaktivitäten des IWS, die Laser- und die Schichttechnologie, wider. Mit einem Jahresumsatz von 4,4 Mio. US-\$ ist das Center eines der umsatzstärksten Fraunhofer-Center in den USA. Seit 2003 wird das CCL von Dr. Jes Asmussen, Professor an der Michigan State University, geleitet. Seine bisherigen Arbeiten auf dem Gebiet der Diamantbeschichtung und -herstellung ergänzen in idealer Weise das Know-how des IWS auf dem Gebiet der Diamor®-Beschichtungen.

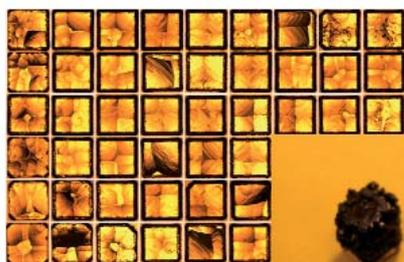
Das CCL hat zwei Divisions, die »Coating Technology Division« an der Michigan State University in East Lansing und die »Laser Applications Division« mit Sitz im Gebäude des Headquarters von Fraunhofer USA in Plymouth, Michigan.

### *Coating Technology Division*

Unter Leitung von Prof. Jes Asmussen und Dr. Thomas Schülke arbeiten in Lansing erfahrene Fraunhofer-Forscher und deutsche Studenten gemeinsam mit Fakultätsmitgliedern und Studenten der Michigan State University an neuen Lösungen auf folgenden Forschungsgebieten:

- Beschichtung mit amorphen diamantähnlichen Kohlenstoffschichten,
- chemische Gasphasenabscheidung von ultranano-, poly- und einkristallinen Diamanten,
- Diamantdotieren,
- physikalische Gasphasenabscheidung von amorphem Diamant.

Für die Beschichtung mit amorphen diamantähnlichen Kohlenstoffschichten kommt das im IWS Dresden entwickelte Laserarc®-Verfahren zum Einsatz. Seit einigen Jahren verbessert das CCL die Lebensdauer von Werkzeugen vor allem für die Aluminiumbearbeitung durch das Aufbringen der amorphen diamantähnlichen Kohlenstoffschichten. Bei der Beschichtung von Motor-, Antriebs- und Bremsenkomponenten kooperiert das Fraunhofer-Center eng mit dem Michigan State Formula Racing Team. Die Zusammenarbeit bietet dem Racing Team Wettbewerbsvorteile und den Forschern des CCL Hinweise zur Schichtoptimierung basierend auf höchsten realen Bauteilbeanspruchungen.



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



In den letzten Jahren konnte sich die Coating Technology Division in Lansing vor allem mit Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Synthese und Dotierung von einkristallinem Diamanten durch mikrowellen-basierte chemische Gasphasenabscheidung international etablieren.

Darüber hinaus wird als Folge der engen Einbindung der Gruppe in die Universitätsstruktur ein erweiterter Charakterisierungsservice für Materialzusammensetzung, Schicht- und Bauteilcharakterisierung angeboten.

*Laser Applications Division*

Die Lasergruppe des CCL ist in Plymouth (Michigan), in unmittelbarer räumlicher Nähe zur amerikanischen Autoindustrie von Detroit angesiedelt. Die Gruppe führt zahlreiche Projekte zum Laserstrahlschweißen von Bauteilen aus dem Antriebsstrang aus, insbesondere das Fügen von Differentialen, Getrieben und Antriebswellen. Für seine Entwicklungen zur Verbesserung der Dachfestigkeit von Super Trucks durch Laserstrahl-Schweißen erhielt das CCL im Jahr 2007 den Henry Ford Technology Award.

Die Entwicklung, Patentierung und Lizenzierung eines Verfahrens zum Laser-Auftragschweißen von Schichten höchster abrasiver Verschleißfestigkeit, basierend auf nahezu Millimeter großen synthetischen Diamantpartikeln und metallischem Binder, stellt ein Highlight der Forschungsarbeiten dar. Die Technologie findet Anwendung für Bohrausrüstungen in der Ölförderindustrie der USA und Kanadas.

Die enge Vernetzung mit dem Fraunhofer CCL bietet dem IWS mehrere Vorteile. Über Angebot und Nachfrage werden neue Trends und Entwicklungen in den USA schneller erkannt, wodurch die Entwicklungsrichtungen

im IWS beeinflusst werden. Durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den USA entsteht zusätzliches Know-how und eine erweiterte Kompetenz, welche der Akquisition auf dem deutschen und europäischen Markt zugute kommt. Durch einen zeitweisen Aufenthalt von IWS-Mitarbeitern in den USA werden Erfahrungen gesammelt, die dem Mitarbeiter während seiner gesamten beruflichen Laufbahn zugute kommen.



**Dr. Thomas Schülke**  
Leiter der Division  
Coating Technology  
001 / 517 432 8173



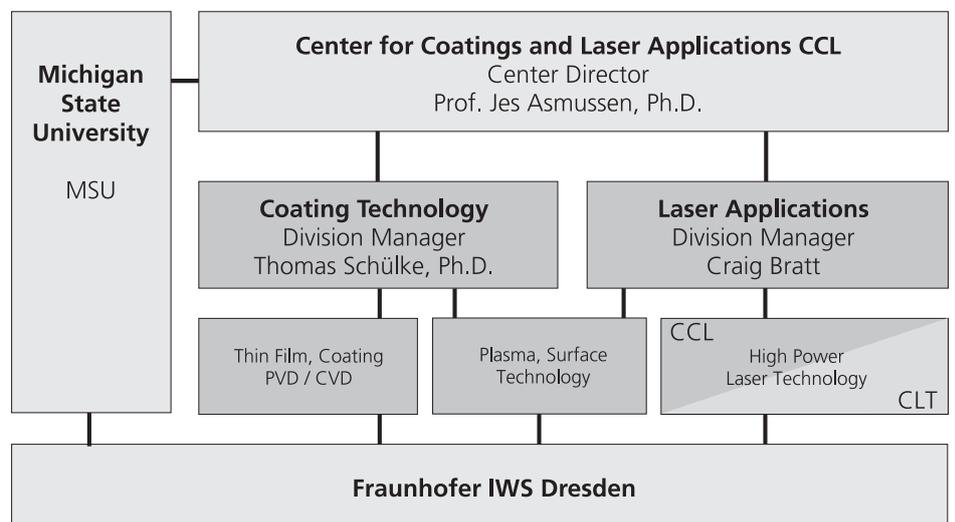
**Craig Bratt**  
Leiter der Division  
Laser Applications  
Tel.: 001 / 734 738 0550



Gebäude des CCL in East Lansing, Michigan



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





## Nanotechnologie-Kompetenzzentrum

### Projektkoordination

Dr. Andreas Leson  
Tel.: 0351 / 2583 317  
andreas.leson@iws.fraunhofer.de

Dr. Ralf Jäckel  
Tel.: 0351 / 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.

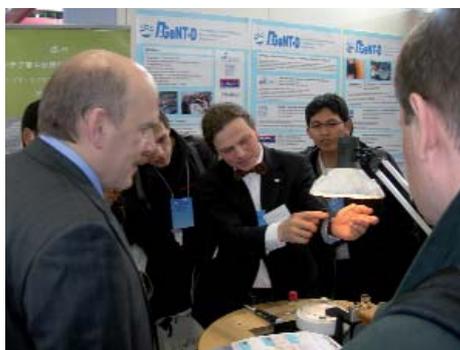
Zur konsequenten Erschließung dieser industriellen Anwendungsmöglichkeiten haben 51 Unternehmen, 10 Hochschulinstitute, 22 außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und 5 Verbände ihr Know-how gebündelt und sich im September 1998 zu einem Netzwerk zusammengeschlossen. Die Koordination dieses Netzwerkes,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

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

### Beteiligung des Dresdner Nanotechnologie-Kompetenzzentrums an der Messe Nanotech 2008 in Tokio

Für die weltgrößte Nanotechnologie-Messe »Nanotech Tokio 2008« vom 13. bis 15. Februar 2008 unterstützte das Nanotechnologie-Kompetenzzentrum die Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH für den Messeauftritt des Freistaates Sachsen. Die »Arbeitsgemeinschaft der Nanotechnologie-Kompetenzzentren in Deutschland« (AGeNT-D) war ebenfalls mit einem eigenen Stand in Tokio vertreten.

Mit 49 400 Besuchern an 3 Messetagen wurde ein neuer Besucherrekord aufgestellt. Im Rahmen des Auslandsmesseprogramms der Bundesrepublik Deutschland gab es bei der »Nanotech 2008« das dritte Mal eine vom Bundeswirtschaftsministerium geförderte deutsche Firmengemeinschaftsausstellung im Bereich der Nanotechnologie. Darüber hinaus fanden mehrere begleitende Veranstaltungen statt, z. B. ein von der Wirtschaftsförderung Sachsen organisiertes Seminar zum Thema »Highlights of German latest nanotechnology in Saxony presented by young scientists«. Mehrere Mitglieder unseres Nano-CC beteiligten sich aktiv mit Vorträgen an diesen Veranstaltungen.



Fachbesucher informieren sich auf dem Stand von AGeNT-D



Fraunhofer IWS und sächsische Unternehmen präsentieren Technologien und Produkte auf dem Stand der Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH



## 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, arbeiten Firmen und Forschungseinrichtungen im Innovationscluster »nano for production« zusammen. 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.

Neben Weiterbildungsmaßnahmen bilden gemeinsame Projekte zur Überführung wissenschaftlicher Ergebnisse in die Industrie den Kern der Arbeit des Innovationsclusters. Ein Beispiel dafür ist die Zusammenarbeit mehrerer Firmen und Forschungseinrichtungen unter Federführung der Firma Q-Cells zur Einführung atmosphärischer Plasmaprozesse in die Solarzellenfertigung. Im Rahmen dieser Kooperation sind bereits mehrere Einzelprojekte erfolgreich bearbeitet worden, der aktuelle Schwerpunkt liegt auf der Etablierung einer Vorserienproduktion mit dem neuen Verfahren, die im Verlauf des Jahres 2009 gestartet werden soll.

### »nano for production« auf der Hannover-Messe

Im Rahmen des Fraunhofer-Gemeinschaftsstandes auf der Hannover-Messe präsentierte »nano for production« gemeinsam mit sechs weiteren Innovationsclustern einem interessierten Fachpublikum die Ergebnisse seiner Arbeit. Zur Intensivierung bestehender und Knüpfung neuer Kontakte organisierte die sächsische Landesregierung unter Mitwirkung des Innovationsclusters »nano for production« einen sächsisch-japanischen Abend. Die Nanotechnologie war eines der Hauptthemenschwerpunkte.

### Nanofair und Nanofair Karriere Forum

Teilnehmer und Referenten aus ganz Europa, Japan, Nordamerika, Australien sowie Mexiko trafen sich im Kongresszentrum Dresden zu Fachvorträgen und Diskussionsrunden zum Thema Nanotechnologie. Die Fachvorträge wurden durch verschiedene themenbezogene Veranstaltungen umrahmt. So bot das »Nanofair Karriere Forum« am 10. März 2008 Studenten die Möglichkeit, sich über Berufsmöglichkeiten in dieser Branche zu informieren.



Prof. Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, auf dem Stand des Innovationsclusters »nano for production«

### Projektkoordination

Dr. Andreas Leson  
Tel.: 0351 / 2583 317  
andreas.leson@iws.fraunhofer.de

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

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



Nanofair Karriere Forum: aufmerksame Zuhörer bei den Fachvorträgen



## Laserintegration in die Fertigungstechnik Initiative LiFt



### Die Initiative

Sachsens Potenziale des Maschinen- und Anlagenbaus durch die Lasertechnik nachhaltig und flächendeckend erweitern und Wettbewerbsfähigkeit sichern - diesem Anspruch stellt sich die Initiative **LiFt**, die 2007 als Sieger aus dem Innovationswettbewerb »Wirtschaft trifft Wissenschaft« des Bundesverkehrsministeriums (BMVBS) hervorging.

Das Fraunhofer IWS Dresden kooperiert in **LiFt** mit der Hochschule Mittweida (FH) und dem Institut für innovative Technologien, Technologietransfer, Ausbildung und berufsbegleitende Weiterbildung (ITW) e.V. Chemnitz, um den Transfer entwickelter Technologien auf dem Gebiet der Lasermaterialbearbeitung in Innovationen, also in wirtschaftliche Anwendungen voranzutreiben.

### Projektziel

Ziel der Netzwerkstruktur ist es, Potenziale zu zeigen, Leistungen anzubieten und die erreichbaren Vorteile für die Maschinen- und Anlagenbauer sowie Fertiger aufzuzeigen. Vorteile können sein:

- **Zeit- und Kosteneinsparung** durch Verkürzung der Prozessketten,
- **höhere Effizienz** der Fertigungsverfahren und Produkte,
- höhere **Qualität, Marktfähigkeit** der Produkte,
- **Alleinstellungsmerkmal** technischen Höchststands.

Als Technologieentwickler und Wissensvermittler stehen die Projektpartner der Initiative **LiFt** den kleineren und mittelständischen Unternehmen aus Sachsen aber auch aus anderen Regionen anwendungsfallbezogen zur Verfügung.

### Integrationskonzepte

Die Anforderungen der Fertiger an die Optimierung ihrer Prozesskette sind verschieden. In der Kleinserienfertigung geht es häufig um maximale Flexibilität, in der Massenfertigung steht oft die Kostenoptimierung im Vordergrund. So unterschiedlich die Ansprüche sind, so verschieden sind die möglichen Integrationskonzepte:

- 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.

In fast allen Verfahrensgruppen eignet sich der Laser zur Integration in herkömmliche Fertigungsabläufe und damit zur Prozesskettenverkürzung.



Laserintegration in die Fertigungstechnik mit starken sächsischen Partnern



## Aktivitäten

Die Initiative LiFt wurde auf den Messen Intec in Leipzig und SIT in Chemnitz, der Hannover-Messe Industrie sowie der Fachmesse für Systemlösungen in der Laser-Materialbearbeitung Lasys vorgestellt. Gemeinsam mit dem Verband Deutscher Werkzeug- und Formenbauer stellte sich das LiFt-Team den Fachleuten auf der Messe Fakuma in Friedrichshafen dem interessierten Fachpublikum. Innovative Lösungen für den Werkzeugbau und ganzheitliche Lösungen für die gesamte Prozesskette wurden ebenfalls auf der Messe Euro mold vorgestellt.

Unter dem Motto »Prozesseffizienz durch Laserintegration« nahmen Ingenieure aus dem gesamten sächsischen Raum gern das Angebot an, sich zu den Möglichkeiten der Laserintegration in die moderne Fertigung zu informieren. Beim 5. Treffen des Automobilclusters Südwestsachsen wurde das Netzwerk vorgestellt, wie auch bei Veranstaltungen mit Ingenieurdienstleistern, z. B. zum Innovationsabend der Firma euro engineering.

Vom Konstrukteur über den Fertigungsplaner bis zum Geschäftsführer reicht das Interesse am Technologietransfer und auf dem Gebiet der Lasermaterialbearbeitung. Zu den Höhepunkten zählte auch der 7. Workshop »Industrielle Anwendungen von Hochleistungsdiodenlasern« im Fraunhofer IWS Dresden. Hier trafen sich Laserhersteller, Industrieanwender und Entwickler von Lasertechnologien, um unter anderem auch Erfahrungen mit dem Schwerpunkt Fertigungsintegration der Lasertechnologie auszutauschen.

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

## Bedarfsanalyse

Zur Erfassung der Möglichkeiten und Wünsche von potenziellen Laseranwendern wurde eine spezielle Datenbank entwickelt, die von allen Projektpartnern trotz ihrer jeweils eigenen IT-Richtlinien gemeinsam genutzt werden kann. Es besteht für Interessenten die Möglichkeit einer selbständigen, unkomplizierten Kontaktaufnahme zu den Projektpartnern. Mit einem einfach auszufüllenden Formular kann der Kunde schnell und problemlos sein technologisches Umfeld darstellen. In einem zweiten Schritt erfolgt die Kontaktierung durch die Laserfachleute.

## Beratung und Erprobung

Beratungen anhand von bereits realisierten Beispielen und individuellen Anforderungen im Einzelfall sind unabdingbar und gehören zu den Kernaufgaben des Projektes. Neben der Informations- und Beratungsleistung werden im Rahmen des Projektes auch Erprobungen in begrenztem Umfang durchgeführt.

## Projektkoordination

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

Dipl.-Ing. Claudia Zellbeck  
Tel.: 0351 / 2583 332  
claudia.zellbeck@iws.fraunhofer.de

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



Andreas Wessel-Terharn (BMVBS) und Wilfried Wascher (PTJ) während des 1. Statusseminars »Wirtschaft trifft Wissenschaft« am 12. / 13. November 2008 im IWS Dresden.



Die Initiative LiFt auf der Messe Fakuma

**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 2008 wie folgt auf:

**Mitarbeiter im Fraunhofer IWS**

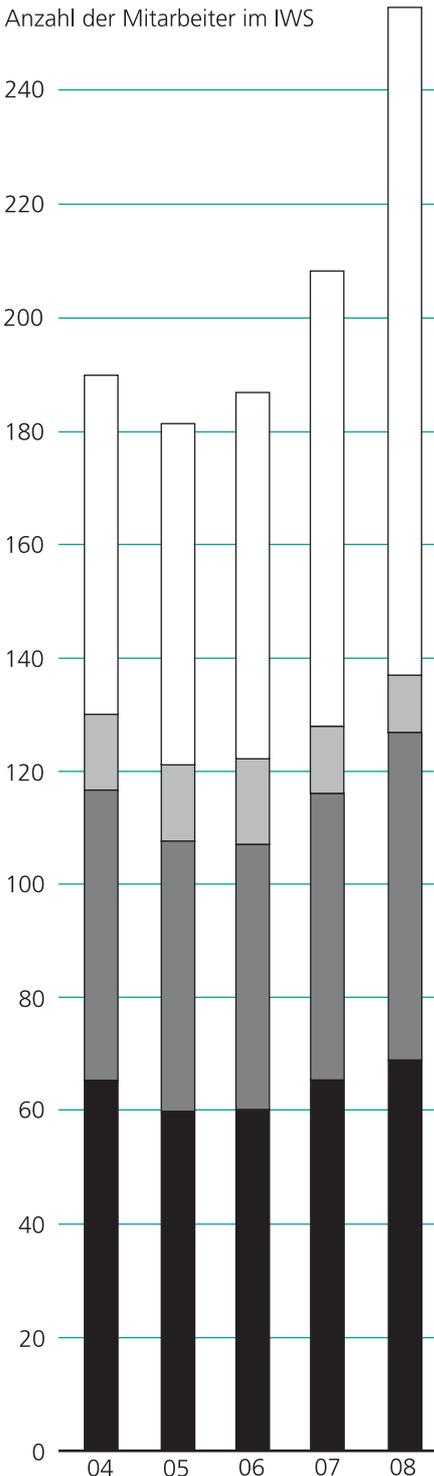
Personal	Anzahl
- Wissenschaftler	69
- Technische Angestellte	49
- Verwaltungsangestellte	9
<b>Lehrlinge</b>	<b>10</b>
<b>Wissenschaftliche Hilfskräfte</b>	<b>104</b>
<b>Mitarbeiter CCL USA</b>	<b>16</b>
<b>Gesamt</b>	<b>257</b>

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

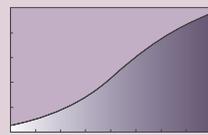
Personal	Anzahl
- Wissenschaftler	28
- Technische Angestellte	5
- Verwaltungsangestellte	1
<b>Studentische Hilfskräfte</b>	<b>17</b>
<b>Gesamt</b>	<b>51</b>

Gebäude	8400 m <sup>2</sup>
- 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

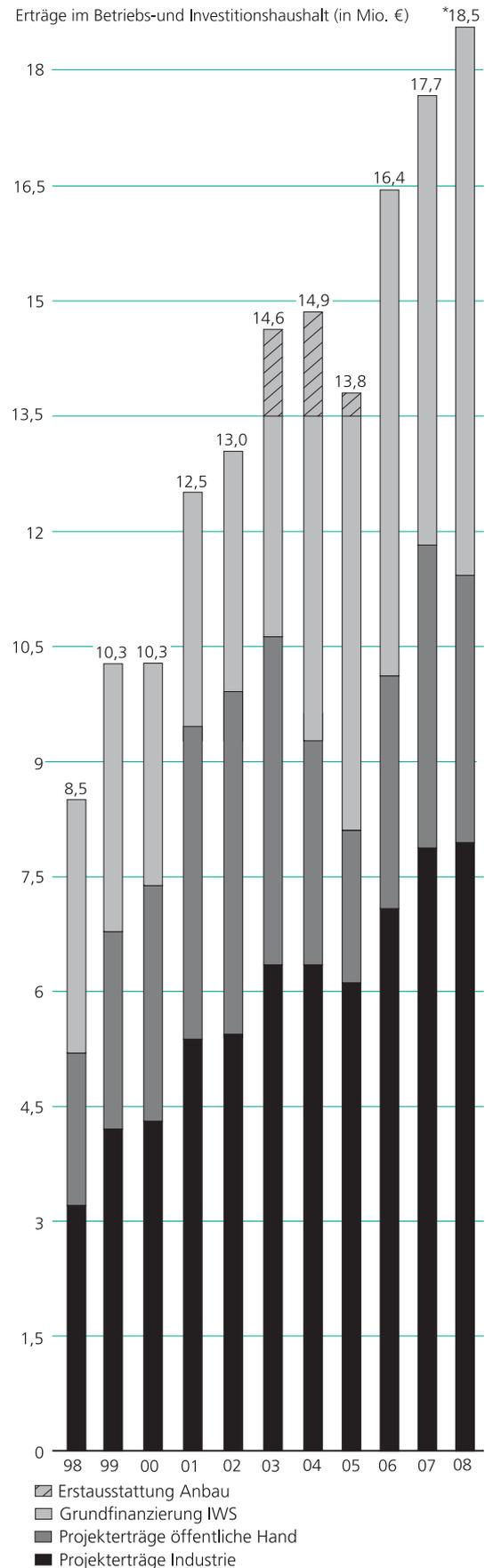
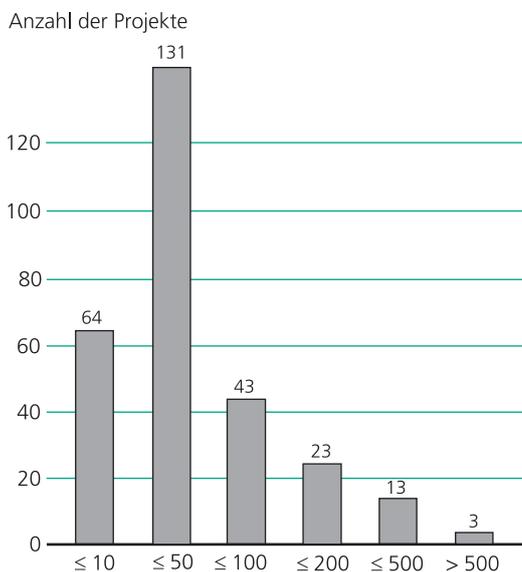


## Aufwendungen und Erträge 2008 (\*Stand Januar 2009)

	<b>Mio. €</b>	
<b>Aufwendungen Betrieb und Investitionen</b>	<b>18,5</b>	
<b>Betriebshaushalt</b>	<b>16,4</b>	
- Personalaufwendungen	8,3	
- Sachaufwendungen	8,1	
<b>Investitionshaushalt</b>	<b>2,1</b>	
	<b>Mio. €</b>	<b>%</b>
<b>Erträge 2008</b>	<b>18,5</b>	
<b>Betrieb</b>	<b>16,4</b>	
- Projekterträge aus der Industrie	7,7	47
- Projekterträge durch Bund, Land und EU	3,5	21
- Grundfinanzierung IWS / FhG-interne Progr.	5,2	32
<b>Investitionen</b>	<b>2,1</b>	
- Projekterträge aus der Industrie	0,1	
- Projekterträge durch Bund, Land und EU	-	
- Grundfinanzierung IWS	1,3	
- Strategische Investitionen	0,7	

## Projekte

Im Jahr 2008 wurden am IWS 277 Projekte durchgeführt. Die finanzielle Aufteilung der Projekte ist in der folgenden Grafik dargestellt. So wurden beispielsweise 131 Projekte mit einem finanziellen Volumen von 10 ... 50 T€ bearbeitet.



## 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

**U. Jaroni, Dr.**  
Mitglied des Vorstandes Division Auto der ThyssenKrupp Steel AG

**F. Junker, Dr.**  
Vorstand Produktionstechnik der Koenig & Bauer AG Werk Radebeul

**H. Kokenge, Prof.**  
Rektor der Technischen Universität Dresden

**T. G. Krug, Dr.**  
Managing Director Hauzer Techno Coating BV, Niederlande

**P. G. Nothnagel, MinR**  
Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit

**H. Riehl, MinR**  
Bundesministerium für Bildung und Forschung, Leiter des Referates Produktionssysteme und -technologien



Die 18. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 14. Februar 2008 im Fraunhofer IWS Dresden statt.

**I. Bey, Dr.**  
Forschungsmanagement Karlsruhe

**T. Fehn, Dr.**  
Geschäftsführer JENOPTIK Laser, Optik, Systeme GmbH

**D. Fischer**  
Geschäftsführer EMAG Leipzig Maschinenfabrik GmbH

**R. Ruprecht, Dr.**  
Leiter des Projektträgers Forschungszentrum Karlsruhe und des Bereichs Produktion und Fertigungstechnologien der Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

**R. Zimmermann, MR Dr.**  
Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst

## 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
Prof. Dr. S. Kaskel	Abteilungsleiter
Dr. L. Morgenthal	Abteilungsleiter

Gäste sind:

Prof. Dr. U. Günther	TU Dresden
Dr. U. Klotzbach	Geschäftsstellenleiter VOP
Dr. A. Wetzig	Abteilungsleiter (ab 2009)

## 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

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 57 Institute. 14 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,4 Milliarden Euro. Davon fallen 1,2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

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

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

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

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

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826), 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)

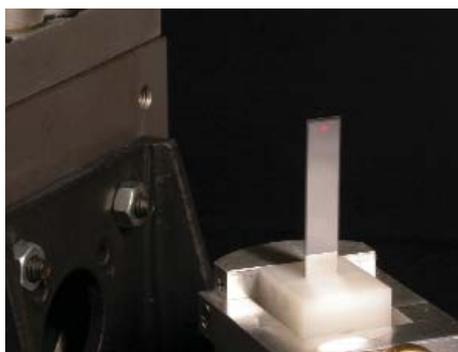
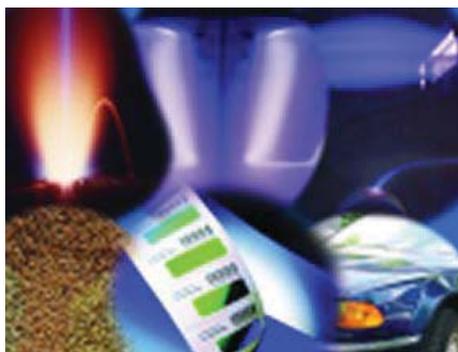
Physikalische Messtechnik  
[www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)

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.: 0351 / 2583 324  
 Fax: 0351 / 2583 300  
 eckhard.beyer@iws.fraunhofer.de

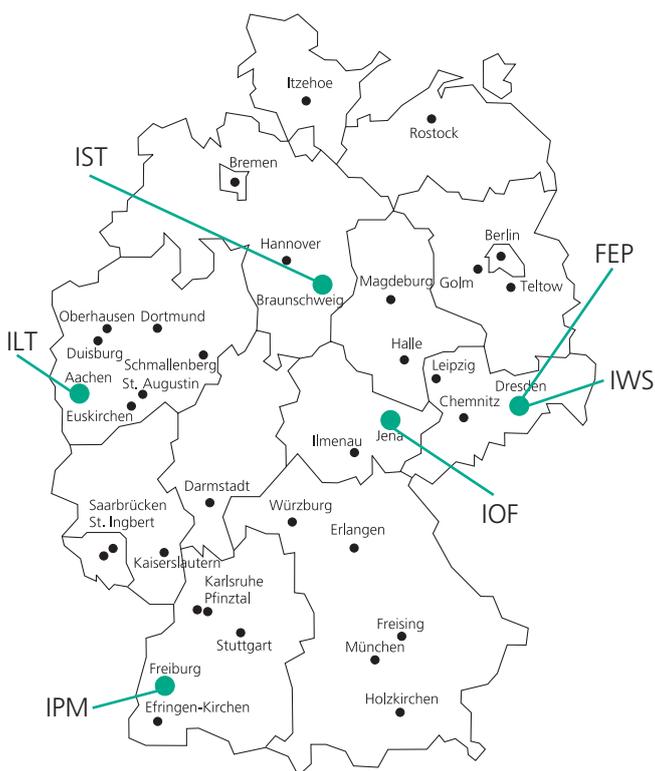
Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS  
 Winterbergstraße 28  
 01277 Dresden

**Geschäftsstelle:**

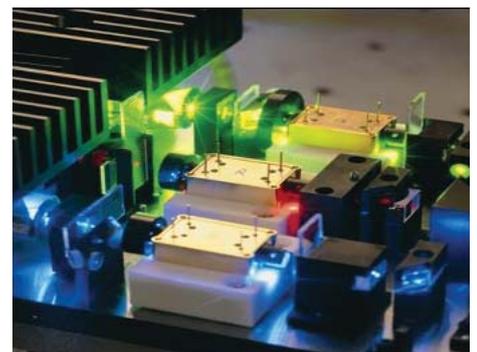
Dr. techn. Dipl.-Ing. Udo Klotzbach  
 Tel.: 0351 / 2583 252  
 Fax: 0351 / 2583 300  
 udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de

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:** Sie betonen immer, dass in Ihrer Abteilung viel Wert auf ganzheitliche Lösungen gelegt wird. Worin drückt sich das aus?

**Prof. Brenner:** Ja, in der Tat: Diese Formulierung drückt - in eine Kurzform gebracht - unsere Herangehensweise schlüssig aus. Für uns bedeutet das konkret, dass wir die drei wesentlichen Einflussfaktoren für eine effektive Herstellung von neuen und Nutzwertgesteigerten Produkten: Werkstoff - Technologie - Bauteilverhalten versuchen, in ihren eigenschaftsrelevanten Grundzügen zu erfassen und zielgerichtet auszunutzen.

Lassen Sie mich diese Vorgehensweise anhand eines unserer wichtigsten Tätigkeitsfelder - dem Laserstrahlschweißen von Antriebskomponenten für Pkw und Nkw - illustrieren. Hier schweißen wir mittlerweile erfolgreich Werkstoffe und Werkstoffkombinationen, an deren rissfreie Laserstrahlschweißbarkeit vor Jahren noch nicht zu denken war. Für solche Werkstoffkombinationen wie z. B. Stahl / Guss-eisen sind jedoch keine Kennwerte verfügbar, mit denen sich die statische und zyklische Belastbarkeit der Fügeverbindung beschreiben lässt. Das hängt damit zusammen, dass die Belastung mehrachsig ist, die Ausbildung der verbleibenden Eigenspannungen stark von der Bauteilgeometrie, den Schweißparametern, der Schweißnahtlage und der Schweißfolge abhängt und zudem ihr Einfluss auf statische und zyklische Bauteilfestigkeiten mit zunehmender Werkstofffestigkeit und Schweißnahtaufhärtung nicht abschätzbare Größenordnungen annimmt. Die in der Automobilindustrie und bei deren Zulieferern vorhandenen Getriebeprüfstände sind sehr teuer. Zudem sind in der Regel die Schweißnähte nicht versagenskritisch. Das führt zu einer nicht vertretbaren Unsicherheit bei der Auslegung von laserstrahlgeschweißten Antriebselementen, resultierend in deutlicher Überdi-

mensionierung, aber andererseits auch - wie wir aus Schadensanalysen wissen - zu unangenehmen Überraschungen während der Vorserienerprobung. Dem können wir ab 2009 abhelfen. Mit einer speziell konstruierten Torsions-Axial-Prüfmaschine sind wir in der Lage, Belastungsgrenzen und Festigkeitsreserven von getriebetypischen Laserstrahlschweißverbindungen realitätsnah zu prüfen und Bewertungskonzepte zur Auslegung optimiert geschweißter Powertrain-Komponenten zu entwickeln.

**Redaktion:** Was gibt es Neues von dem anderen Standbein - der Randschichtveredlung?

**Prof. Brenner:** Hier konnten wir im Jahr 2008 dank des Vertrauens unserer Kunden einen - so glauben wir - ganz wesentlichen Entwicklungsschritt gehen: die erfolgreiche Integration des Laserstrahlhärtens in Werkzeugmaschinen. Im konkreten Fall wurde ein Fertigungsnetz, bestehend aus zwei Stangendrehautomaten, einem zentralen Hochleistungsdiode-Laser, einer intelligenten Strahlweiche und einer zusätzlichen Laserhärtestation für Sondergeometrien konzipiert und zusammen mit den Projektpartnern realisiert und industriell eingeführt.

Das Laserstrahlhärten, in diesem Fall von Hydraulikkomponenten, erfolgt nahezu taktzeitparallel mit Hilfe der zweiten Spindel eines Stangendrehautomaten. Nach dem Laserstrahlhärten wird das Bauteil in der gleichen Anlage fertig bearbeitet. Wir halten diese erfolgreiche Lösung und ihre industrielle Bewährung für wesentlich, weil sie das Tor für eine Vielzahl von sehr kosteneffizienten Integrationsmöglichkeiten des Laserstrahlhärtens in spanende oder formgebende Werkzeugmaschinen aufstößt.



*Eine Herausforderung  
ist der beste Ansporn.  
Peter Ebeling*



**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)

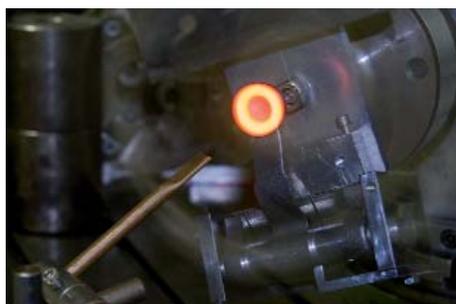


**Dr. Jens Standfuß**  
Gruppenleiter Schweißen  
(Tel. 2583 212,  
jens.standfuss@iws.fraunhofer.de)

### 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 verzuggefährdete 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.

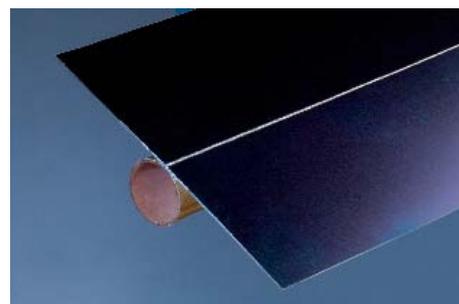


Verfahrensentwicklung zum beanspruchungsgerechten Laserstrahlhärten

### 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 Schweißbarkeit 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.



Laserstrahlgeschweißte AL-Cu-Verbindung für Solarpanel



**Dr. Johannes Rödel**  
Gruppenleiter Werkstoffcharakterisierung  
(Tel. 2583 384,  
johannes.roedel@iws.fraunhofer.de)

### Komplexe Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung

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.



**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:

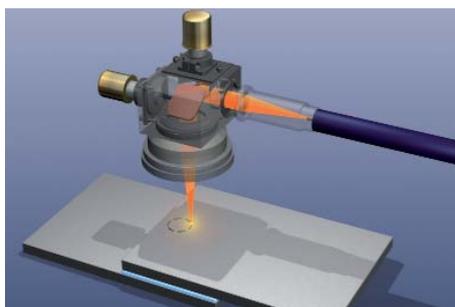
- Fügeflächenvorbehandlung mittels Plasma- und Lasertechniken und Charakterisierung der Oberfläche,
- konstruktives Kleben verschiedenster Materialien,
- Bestimmung der Klebfestigkeit und Alterungsuntersuchungen.

### Beispiele aus den Arbeiten 2008

1. Integration des Laserstrahlhärtens in Hochleistungsdrehautomaten 32
2. Temperaturregelung zum Laserlöten von Solarzellen 34
3. Kamerabasierte Überwachung geformter Laserstrahlen für das Laserstrahlhärten 35
4. Verfahrenstechnische Lösungen zum Laserstrahlschweißen im Bereich Antriebsstrang 36
5. Laserstrahlgeschweißte Steg-Schlitz-Verbindungen - neue Designmöglichkeiten für Leichtbaukonstruktionen 38
6. Lokale Laserverfestigung zur Verbesserung der Umformbarkeit von Karosseriebauteilen aus Stahl 39
7. Neuartige Torsions-Axial-Prüfmaschine zur Prüfung laserstrahlgeschweißter Getriebekomponenten 40
8. Automatisierte Erstellung von zweidimensionalen Mikrohärtemappings an randschichtgehärteten Bauteilen 42
9. Laser- und Plasmatechnologien zur Klebstellenvorbehandlung von Aluminium 43



Servohydraulische Torsions-Axial-Prüfmaschine in Aktion



Kombination von Remote-Laserschweißen und Kleben



## Integration des Laserstrahlhärtens in Hochleistungsdrehautomaten

### 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 außenstehender 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.

Bei einem der führenden Spezialisten für Antriebs- und Steuerungstechnologien bestand die Aufgabe, eine Außenfläche eines Ventils für die Mobilhydraulik partiell zu härten (Abb. 1). Die bisherige Technologie war das Induktionshärten mit anschließendem Anlassprozess im Ofen. Dazu wurden die Bauteile zunächst weich vorbearbeitet, dann wärmebehandelt und abschließend hart endbearbeitet. Der Materialdurchlauf betrug von der Stange Rohmaterial bis zum fertigen Ventil etwa 20 Stunden. Eine Reaktion auf



Abb. 1: Typische Anwendung für Mobilhydraulik der Bosch Rexroth AG

Nachfrageänderungen war entsprechend langsam möglich. Durch Lagerhaltung musste dies kompensiert werden. Zudem waren für die bisherigen Produktionsschritte, die eine losweise Bearbeitung erforderten, zahlreiche Logistikoperationen nötig. Es sollte im Rahmen einer Neuinvestition nach Lösungen gesucht werden, die bisherigen Nachteile zu überwinden, dabei jedoch die Qualität der Teile mindestens beizubehalten.

### Lösungsweg

In gemeinsamer Diskussion mit dem Auftraggeber und nach ersten Vorversuchen zum Laserstrahlhärten der Hydraulikkomponenten wurde die Integration des Laserstrahlhärtens in die Drehmaschinen, die die spanende Bearbeitung durchführen, favorisiert (Abb. 2). Da die Maschine eine Zweispindelanlage ist, wird fast während des gesamten Laserprozesses auf der Hauptspindel weiter gearbeitet. Durch druckluftgespülte Strahlengänge und Prozesskammern ist gesichert, dass der Laserprozess sicher während der laufenden Nasszerspanung ablaufen kann (Abb. 3). Mit der neuen Technologie werden Bauteile von der Stange bearbeitet. Erst erfolgt die Weichbearbeitung auf Haupt- und Gegenspindel und danach der Härteprozess und die Hartbearbeitung in der gleichen Aufspannung. Das Teil verlässt fertig bearbeitet die Maschine und wird der Montage zugeführt.

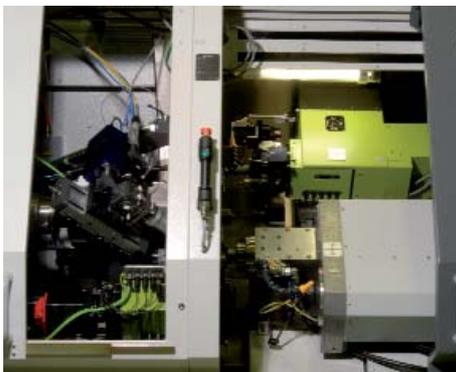


Abb. 2: Drehmaschine des Herstellers Benzinger mit integrierter Laseroptik im Antriebsraum (links)

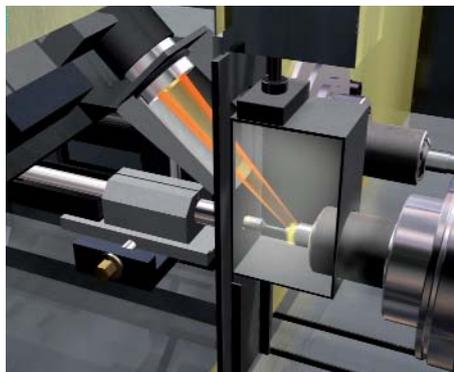


Abb. 3: Bild aus einer Prozessanimation, Situation während des Härteprozesses in pneumatisch zugestellter Schutzkammer, Laserstrahl und Druckluftdüse im Eingriff



## Prozessführung

Der Laserstrahlhärteprozess erfolgt mit einem fasergekoppelten Hochleistungsdiodenlaser unter Drehung des Bauteils. Damit wird eine ringförmige Härtezone ohne weiche Stelle am Umfang in einem Schuss gehärtet. Während des Prozesses wird die Oberflächentemperatur des Bauteils mit dem kamerabasierten Temperaturerfassungssystem »E-MAqS« (Abb. 5) ermittelt und dem Regler »LompocPro« zugeführt, der die Laserleistung schnell so regelt, dass die Temperatur während des Prozesses konstant ist. In der Fertigungslinie stehen zwei Drehmaschinen, die mit dem integrierten Härteprozess ausgestattet sind. Mit einer weiteren Anlage werden zur gleichen Baugruppe gehörende Teile unter Schutzgas gehärtet. Ein zentraler Laser wird über eine Strahlweiche auf die drei Anlagen verteilt. Eine intelligente Weichensteuerung kennt die Bearbeitungszeiten der Anlagen und übernimmt eine optimierte Strahlumschaltung, so dass Wartezeiten minimiert werden (Abb. 4). Der Regler

»LompocPro« ist ebenfalls nur einmal vorhanden. Er schaltet auf den jeweils durchzuführenden Prozess innerhalb kürzester Zeit um. Alle notwendigen Prozess- und Kalibrierdaten der Messsysteme sind entsprechend hinterlegt. Sämtliche Komponenten sind über Profibus miteinander verknüpft. Damit ist ein effizienter Austausch aller Befehle und Meldungen zwischen dem Laser, den Maschinen, der Weichensteuerung und der Regelung möglich.

## Ergebnisse

Für die auf den Drehmaschinen hergestellten Ventilkegel wird ein unlegierter Stahl verwendet. Die Härtezonentiefe beträgt die Hälfte der Bauteilwanddicke. Um die geforderte Härte trotz des geringen Materialvolumens unterhalb der Härtezone zu erreichen, wird die üblicherweise beim Laserstrahlhärten genutzte Selbstabschreckung durch Druckluft unterstützt, die während des Prozesses mit einer Düse in das Bauteil geblasen wird.

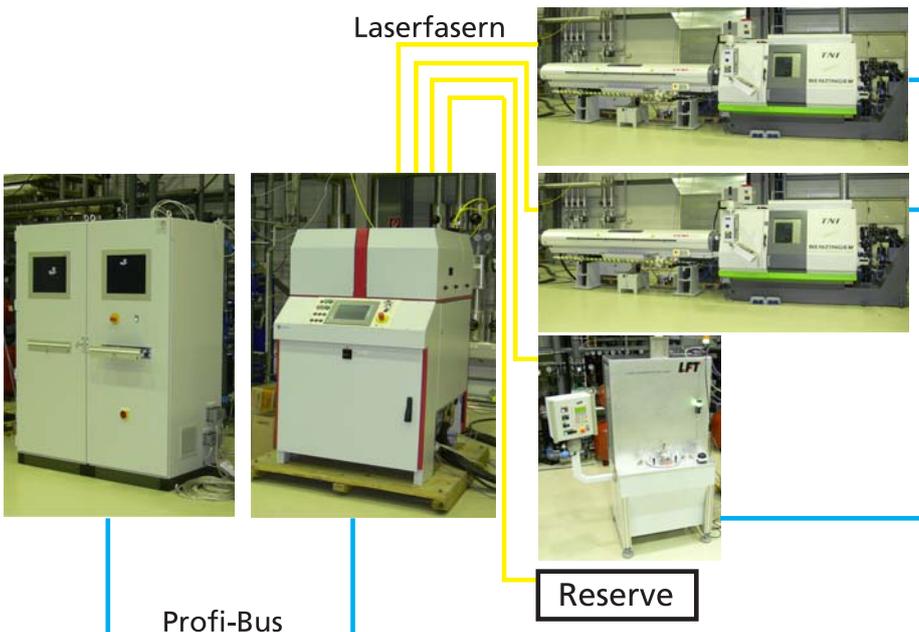


Abb. 5: Laseroptik mit Temperaturerfassungssystem »E-MAqS« im Antriebsraum der Drehmaschine

Ansprechpartner

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



Abb. 4: Anlagensystem, bestehend aus einem fasergekoppelten Hochleistungsdiodenlaser, Steuer-schrank für Laserweichensteuerung und Prozessregler »LompocPro« sowie den zwei Drehmaschinen und der Schutzgashärteanlage



## Temperaturregelung zum Laserlöten von Solarzellen

### Aufgabenstellung

Der Hochleistungslaser hat sich in der Industrie als optimales Werkzeug bei schnellen Wärmebehandlungs- und Fügeprozessen vielfach bewährt. In der Regel ist es erforderlich, eine bestimmte Bearbeitungstemperatur möglichst exakt einzuhalten, um die geforderte hohe Qualität der Bauteile reproduzierbar einstellen zu können. Problematisch erweist sich dabei, wenn die Absorption der Laserstrahlung aufgrund von unregelmäßigen Bauteiloberflächen schwankt oder bei komplexen Bauteilgeometrien unterschiedliche Wärmeableitung zu Temperaturschwankungen führt. Insbesondere beim Laserlöten ist der Bereich zwischen Schmelztemperatur des Lotes und dem Beginn der Überhitzung sehr eng begrenzt. Die Aufgabe war es deshalb, ein Temperaturmess- und Regelsystem zu entwickeln, das für die beim Weichlöten eingesetzten relativ niedrigen Löttemperaturen einsetzbar ist und gleichzeitig extrem schnelle Reaktionszeiten aufweist.

### Lösungsweg

Es wurden die 3 Hauptkomponenten Laser, Pyrometer und Regler speziell ausgewählt und teilweise weiterentwickelt, um extrem kurze Ansprechzeiten im gesamten Regelkreis technisch umsetzen zu können. Sie gewährleisten während der lokalen Wechselwirkung des Laserstrahls mit dem Bauteil auch bei hohen Vorschubgeschwindigkeiten eine optimale Ortsauflösung bei der Temperaturmessung und die entsprechend schnelle Reaktion auf Prozessstörungen im geschlossenen Regelkreis. Die Regelung basiert auf einem bewährten System des Fraunhofer IWS, welches um die erforderlichen Module zur Hochgeschwindigkeitsregelung und flexiblen Kennlinienerstellung sowie neue Schnittstellen für den Anschluss an die Bearbeitungsanlage

des Kunden erweitert wurden. Pyrometer und Regler sind in einem kompakten 19"-Industriegehäuse in den Maschinenkörper integriert. Der Anschluss der Pyrometeroptik erfolgt mittels Lichtleitfaser, das Temperatursignal kann damit störungsfrei über große Entfernungen übertragen werden. Die Pyrometeroptik lässt sich direkt am Laserbearbeitungskopf anschließen, spezielle Filtertechniken sind bereits integriert. Grundsätzlich können vergleichsweise geringe Bearbeitungstemperaturen selbst bei sehr hohen Messraten erfasst werden. Je nach Einsatzzweck lassen sich die Messbereiche auch zu wesentlich höheren Temperaturen hin erweitern (z. B. 1100–1450 °C zum Laserstrahlhärten).

### Anwendungsbeispiele

In enger Zusammenarbeit mit der Firma teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH in Freiberg a. N. wurde das System für den Einsatz zum Laserlöten von Solarzellen qualifiziert und wird seit 2008 in der industriellen Massenproduktion eingesetzt. Eine Besonderheit der Laserlötanlagen von teamtechnik ist dabei, dass sowohl Standard- als auch Rückseitenkontakt-Solarzellen gelötet werden können und sehr kurze Taktzeiten von 3 bzw. 4 Sekunden je Zelle erreicht werden. Die Anlagen wurden modular konzipiert, so dass verschiedene Lötprozesse und weitere Module zur Solarzellen-Behandlung integriert werden können. Das ist von besonderer Bedeutung, da die dynamischen Entwicklungen in der Photovoltaik, beispielsweise durch neue Halbleitermaterialien oder neue Schichtaufbauten, auf Seiten der Anlagentechnik eine schnelle Reaktionsmöglichkeit erfordern. Neben dem Laserlöten (Punkt- bzw. Vorschublöten) wird auch ein erhebliches Potenzial für den Einsatz des entwickelten Mess- und Regelsystems zum Kunststoffschweißen sowie zur Hochgeschwindigkeits-Laserwärmebehandlung von metallischen Werkstoffen (Härten, Weichglühen) gesehen.

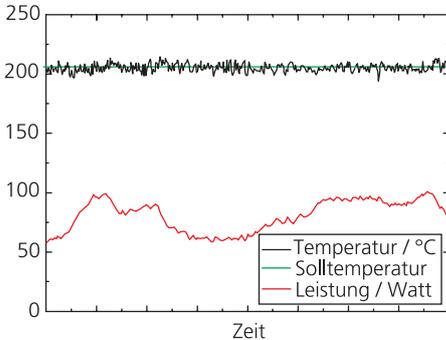


Abb. 1: Auszug aus Temperatur- und Laserleistungs-Zeit-Verlauf beim geregelten Laserlöten



Abb. 2: Entwickeltes Mess- und Regelsystem (19"-Einschub mit Pyrometeroptik an Lichtleitfaser)



Abb. 3: Laserlötanlage der Firma teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH in Freiberg a.N.

Ansprechpartner  
 Dipl.-Phys. Marko Seifert  
 Tel.: 0351 / 2583 204  
 marko.seifert@iws.fraunhofer.de



## Kamerabasierte Überwachung geformter Laserstrahlen für das Laserstrahlhärten

### Aufgabenstellung

Das Laserstrahlhärten mit geformten Laserstrahlen wird vielfach und ständig zunehmend im industriellen Umfeld eingesetzt. Die dabei erzeugten sehr großen Abmaße der bestrahlten Fläche von 100 x 10 mm<sup>2</sup> und mehr sind nicht vergleichbar mit anderen Laserprozessen. Konventionelle Geräte zur Laserstrahl diagnosis sind optimiert für die Untersuchung von Laserstrahlen von geringer Fleckgröße und somit nicht für die Analyse der Laserstrahlen beim Laserstrahlhärten anwendbar. Das trifft insbesondere für die Analyse gescannter Laserstrahlen zu, für die konventionelle Laserstrahl diagnosis geräte nicht geeignet sind. Für die Positionsgenauigkeit des für das menschliche Auge unsichtbaren Laserstrahls ist die Kenntnis über die Lage des Arbeitspunktes vor allem bei CAD-CAM geführten Prozessen von wesentlicher Bedeutung. Für eine sichere Prozessführung wäre die ständige Kontrolle des Laserstrahls, vor allem direkt während des Prozesses ein wesentlicher Fortschritt. Ein Gerät zur Vermessung und Abbildung des geformten Laserstrahls würde diese Probleme lösen.

### Lösungsweg

Unter Verwendung einer preiswerten Standard-CCD-Industriekamera wurde ein solches Modul aufgebaut (Abb. 2). Dabei wird ein sehr geringer Teil der Laserstrahlung über einen speziellen Strahlteiler aus dem Strahlweg ausgekoppelt und auf eine Mattscheibe projiziert. Durch die Wahl spezieller Bandpassfilter ist bei Diodenlasern mit mehreren Wellenlängen die Überwachung einzelner Laserwellenlängen sehr einfach möglich. Die Position der Projektionsscheibe kann verändert und damit die betrachtete Schnittebene des Laserstrahls eingestellt werden. Die Einstellung der Kameraparameter erfolgt vollständig über eine Software. Somit

können Zoom, Scharfstellung, Belichtungszeit optimal an die jeweilige Aufgabe angepasst werden.

### Ergebnisse

Mit diesem Aufbau ist es sehr einfach möglich, gescannte oder anderweitig geformte Laserstrahlen mit einer Leistung bis 6 kW und sehr großen Abmessungen zu analysieren. Durch sehr einfache Modifikationen ist es möglich, alle denkbaren Strahlabbildungsgrößen zu erfassen. Dabei kann mit sehr hoher Genauigkeit die Lage des Lasers im Raum, die Leistung und Intensitätsverteilung überwacht werden. Fehler bei der Justage des Lasers, des Arbeitspunktes der Bearbeitungsmaschine, Einflüsse durch optische Komponenten im Strahlengang vor allem der Strahlformung werden unmittelbar sichtbar. Die Darstellung des Laserstrahls erfolgt mittels 3D-Diagrammen (Abb. 1). Softwarefunktionen wie das Anzeigen eines Differenzbildes, das Berechnen von Flächenschwerpunkten, die Darstellung von Höhenlinien sowie das Speichern und Dokumentieren dieser Daten sind dabei weitere wichtige Werkzeuge für einen effektiven Einsatz. Der einfache Aufbau macht es möglich, dieses System nicht nur als externes Gerät zu verwenden, sondern direkt in bestehende Strahlformungseinheiten integrieren zu können (Abb. 3).

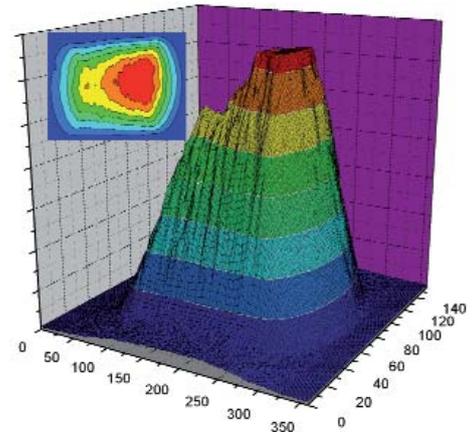


Abb. 1: 3D Strahlprofil darstellung eines gescannten Laserstrahls, fehlerhafte Kameraeinstellung und unsymmetrischer Verlauf sind erkennbar

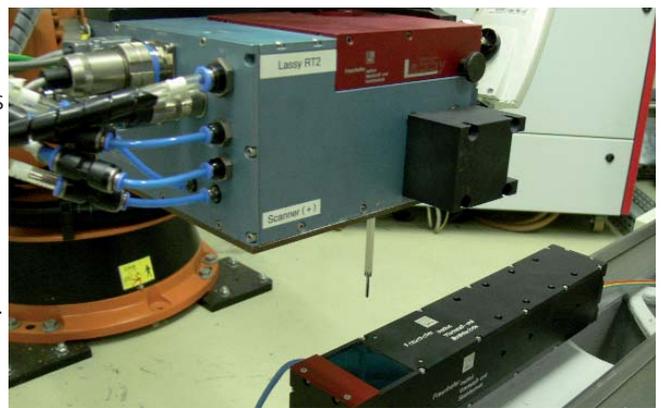


Abb. 2: Externes Strahl diagnosis system

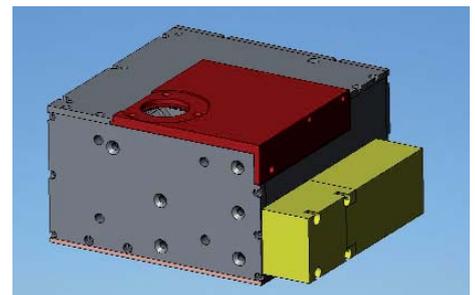


Abb. 3: Integration der Strahlüberwachung in eine Strahlformungseinheit

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jan Hannweber  
Tel.: 0351 / 2583 360  
jan.hannweber@iws.fraunhofer.de





## Verfahrenstechnische Lösungen zum Laserstrahlschweißen im Bereich Antriebsstrang

### Aufgabenstellung

Kraftübertragungselemente, bestehend aus Wellen und darauf mechanisch oder schweißtechnisch befestigten Kraftaufnahmeelementen wie Zahnradern, Nocken, Kupplungsteilen, Kardan-Gabeln o. ä. sind wesentliche Bauelemente im Bereich Getriebebau. Für den Einsatz moderner schweißtechnischer Fügeverfahren wie z. B. das Laserstrahlschweißen bestehen z. T. gravierende Beschränkungen, da diese Komponenten überwiegend aus schwer schweißbaren Vergütungs- bzw. Einsatzstählen hergestellt sind. Aus schweißtechnischer Sicht beeinflussen mehrere Faktoren dabei die Schweißbarkeit derartiger Bauteile (Abb. 1).

Für Anwendungen im Bereich des Getriebebaus sind insbesondere folgende Problemstellungen typisch:

- Werkstoffe mit stark eingeschränkter Schweißbarkeit sowie Mischverbindungen aus unterschiedlichen Werkstoffen (Abb. 2),
- Rissgefahr an steifen Bauteilen aufgrund Schrumpfbehinderung bei Axial- und Radialrundnähten,
- temperaturempfindliche Schweißnahtumgebung z. B. gehärtete Verzahnungen (Abb. 3), Lagerlaufflächen sowie
- hohe zyklische und dynamische Bauteilbelastbarkeit.

Für diese komplexen Aufgabenstellungen und fertigungstechnischen Randbedingungen sind werkstoff- und bauteilangepasste Lösungen erforderlich.

### Lösungsweg

Für das Fügen von Bauteilen aus dem Bereich Antriebsstrang besteht die Notwendigkeit verfahrensseitig werkstoffangepasste Laserschweißverfahren zu entwickeln, die das prozesssichere, rissfreie Schweißen der verwendeten Werkstoffe ermöglichen. Dies betrifft in erster Linie die Vermeidung von Kaltrissen an Werkstoffen mit hohem Kohlenstoffäquivalent und stark eingeschränkter Schweißbarkeit. Verfahrensseitig bieten sich dazu prinzipiell zwei Möglichkeiten. Durch den Eingriff in den Temperatur-Zeit-Zyklus besteht die Möglichkeit, das Umwandlungsverhalten der Werkstoffe zu beeinflussen und die Bildung spröder Phasen zu unterdrücken (Laserinduktionsschweißen). Zum anderen kann das Gefüge in der Schweißnaht durch den Einsatz von werkstoffangepassten Schweißzusatzwerkstoffen bzw. die Einstellung eines speziellen Mischungsverhältnisses beim Laserstrahlschweißen von Mischverbindungen gezielt eingestellt werden (Legierungsschweißen).

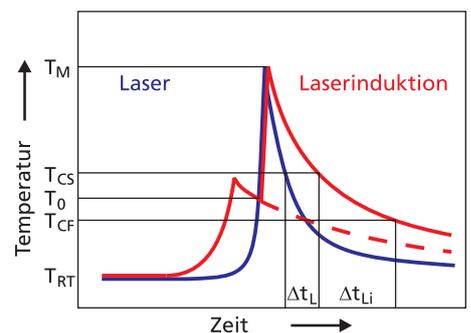


Abb. 4: Prinzip des Laserinduktionsschweißens



Abb. 1: Einflussfaktoren auf die Schweißbarkeit

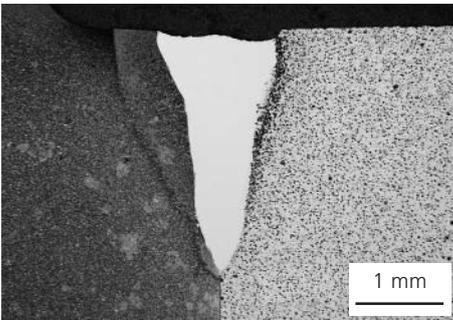


Abb. 2: Beispiel einer Mischverbindung aus Gusseisen und Einsatzstahl

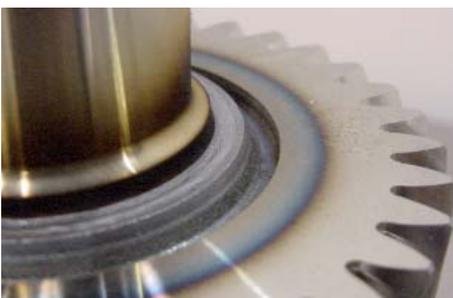


Abb. 3: Einsatzgehärtete Verzahnung in Schweißnahtnähe



## Ergebnisse

Die Kopplung des Laserstrahlschweißens mit einer lokalen induktiven Kurzzeitwärmebehandlung stellt eine Möglichkeit dar, martensitisch-härtbare Kohlenstoffstähle rissfrei mittels Laser zu verschweißen. Durch eine lokale prozessintegrierte induktive Kurzzeitvorwärmung kann bei hochkohlenstoffhaltigen Stählen die Martensitbildung und damit die Gefahr der Kalt-rissbildung unterdrückt werden (Abb. 4). Somit besteht die Möglichkeit, eine Vielzahl von unterschiedlichen vergütbaren, einsatz- oder induktionshärtbaren Stählen, die im Bereich Antriebsstrang eingesetzt werden, rissfrei zu verschweißen (Abb. 5).

Für eine Vielzahl von Bauteilen bestehen aber aus konstruktiver oder werkstofftechnischer Sicht Randbedingungen, die eine lokale induktive Erwärmung verbieten. Dies trifft zum Beispiel auf die Verbindung von Ausgleichsgetriebegehäusen aus Gusseisen mit einsatzgehärteten Zahnrädern zu. Hier besteht die Möglichkeit, durch den Einsatz von werkstoffangepassten Schweißzusatzwerkstoffen im Bereich der Schweißnaht ein duktiles und rissfreies Schweißgut zu erzeugen und auf

diesem Wege hochbelastbare Laserschweißverbindungen an konventionell nicht schweißgeeigneten Werkstoffen zu realisieren (Abb. 6).

Somit bestehen mit den entwickelten und industriell erprobten Verfahrensvarianten zum Laserstrahlschweißen mit einer prozessintegrierten induktiven Kurzzeitwärmebehandlung (Laserinduktion) sowie dem Einsatz von werkstoffangepassten Schweißzusatzwerkstoffen neue Möglichkeiten, eine Vielzahl von Bauteilen aus dem Bereich Antriebsstrang kostengünstig mittels Laser zu verschweißen und aufwendige mechanische Fügeverfahren abzulösen (Abb. 7).

Eine neue fertigungstechnisch vorteilhafte Lösung besteht in einem weiteren Verfahren zum rissfreien Schweißen von einsatzgehärteten Bauteilen ohne eine aufwändige Entfernung der Einsatzhärteschicht. Dazu wurde eine neue Kombination entwickelt: vor dem Laserschweißprozess mit Zusatzwerkstoff erfolgt der prozessintegrierte Laserabtrag der Einsatzschicht.

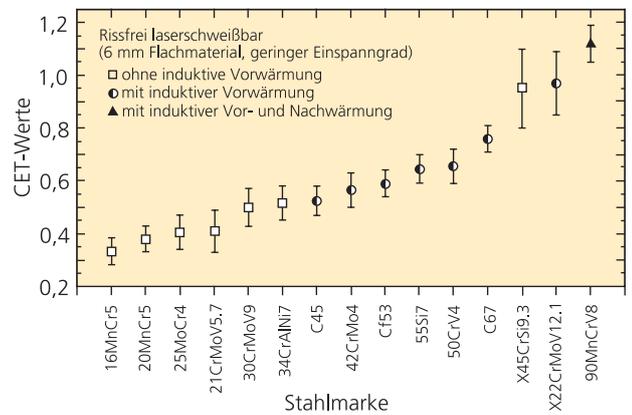


Abb. 6: Laserinduktion-Screening rissfrei schweißbarer Werkstoffe



Abb. 7: Laserstrahlschweißen mit Zusatzwerkstoff, Ausgleichsgetriebegehäuse (Gusseisen) mit Zahnrad (einsatzgehärteter Stahl)



Abb. 5: Anwendungsbeispiele Laserstrahlschweißen im Bereich Antriebsstrang

Ansprechpartner

Dr. Jens Standfuß  
Tel.: 0351 / 2583 212  
jens.standfuß@iws.fraunhofer.de





## Laserstrahlgeschweißte Steg-Schlitz-Verbindungen - neue Designmöglichkeiten für Leichtbaukonstruktionen

### Aufgabenstellung

Die Reduzierung von Gewicht und Materialeinsatz durch Leichtbaustrukturen wird besonders in der Automobil- und Luftfahrtindustrie vorangetrieben. Hierbei ist das Laserschweißen zur Herstellung räumlicher Strukturen fest etabliert. Technologische Probleme bezüglich der Realisierung qualitätsgerechter Fügeverbindungen ergeben sich jedoch z. B. beim Laserstrahlschweißen verdeckter T-Stoßverbindungen aus Feinblechen insbesondere hinsichtlich der Qualitätskontrolle von Einschweißtiefe und Festigkeit der Verbindung sowie der Laserstrahlpositionierung. Probleme bereitet u. a. die Gewährleistung eines technischen Nullspaltes sowie exakte laterale Blechpositionierung.

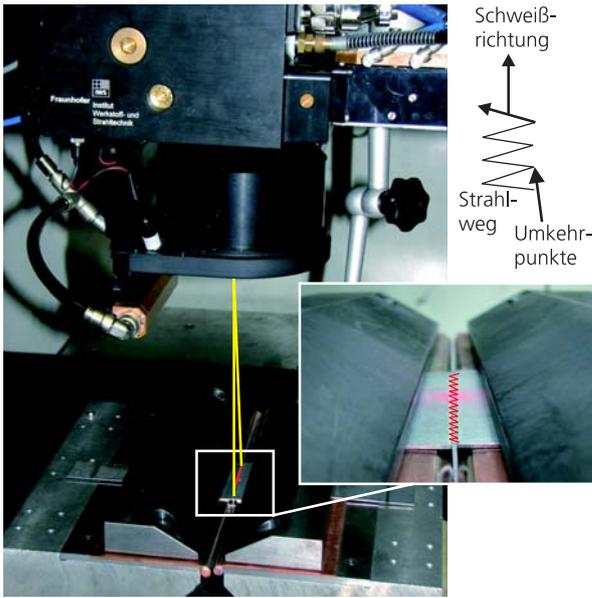


Abb. 1: Versuchsaufbau mit Strahlablenskoptik

### Lösungsweg

Diese Probleme können durch Steg-Schlitz Verbindungen überwunden werden, wobei an das Verfahren Laserstrahlschweißen Anforderungen wie hohe Spaltüberbrückbarkeit ohne den Einsatz von Schweißzusatz sowie hohe Vorschubgeschwindigkeiten gestellt werden. Durch die Anwendung von Laserstrahlschneiden und Laserstrahlschweißen bestehen neue Designmöglichkeiten. Über Steg-Schlitz-Verbindungen als Kombination von Form- und Stoffschluß lassen sich hochfeste, steife Leichtbaukonstruktionen kostengünstig darstellen (Abb. 3).

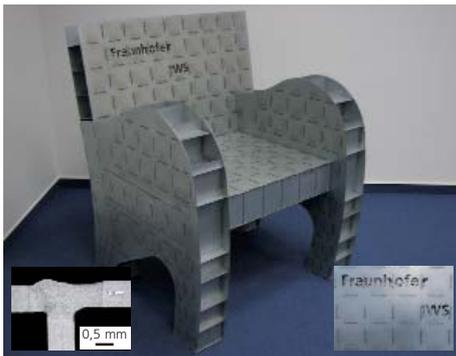


Abb. 2: Demonstrator: laserstrahlgewweißte Steg-Schlitz Konstruktion aus verzinktem Blech

### Ergebnisse

Der gezielt eingestellte Spalt zum besseren Zusammenbau der Strukturen muss überbrückt werden können. Dies wird mit einem hochfokussierbaren Faserlaser in Verbindung mit einer Strahlablenskoptik erreicht (Abb. 1). Durch Pendeln quer zur Vorschubrichtung kann das überstehende Material des Stegbleches für die Auffüllung voreingestellter Fügespalte gezielt genutzt werden.

Durch Abstimmung von Vorschubgeschwindigkeit, Strahldurchmesser und Pendelgeschwindigkeit konnten kontinuierliche, breite und defektfreie Schweißnähte erzeugt werden. Sehr gute Ergebnisse wurden bei sehr niedrigen Laserleistungen von nur 400 W bei Vorschubgeschwindigkeiten im Bereich von 1,5 m min<sup>-1</sup> und angepasster Pendelfrequenz von ca. 100 Hz erreicht. Eine Steigerung der Vorschubgeschwindigkeit wurde im zweiten Schritt durch Verwendung größerer Strahldurchmesser und höherer Laserleistung erreicht.

Insgesamt konnte mit diesem Verfahren Karosserieblech von 0,8 mm Dicke mit einer Schweißgeschwindigkeit von 3 m min<sup>-1</sup> und einem maximalen Fügespalt von 0,3 mm geschweißt werden. Zudem ist die Verwendung von Zinkbeschichteten Blechen möglich (Abb. 2).

Die Festigkeit der Verbindung erreichte durch die Nahtverbreiterung Grundwerkstoffniveau. Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse konnte auch für 1 mm starke Aluminiumbleche aus AL6082 gezeigt werden.

Ansprechpartner  
Dipl.-Ing. Renald Schedewy  
Tel.: 0351 / 2583 151  
renald.schedewy@iws.fraunhofer.de

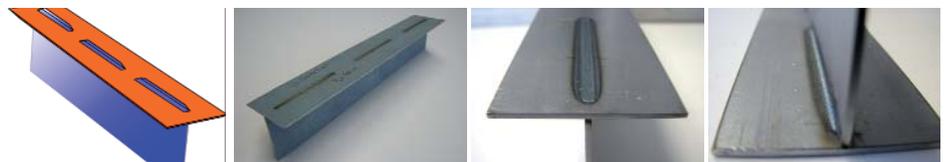


Abb. 3: Lasergeschnittene und -geschweißte Steg-Schlitz-Verbindung



## Lokale Laserfestigung zur Verbesserung der Umformbarkeit von Karosseriebauteilen aus Stahl

### Aufgabenstellung

Um den wachsenden Forderungen im Karosseriebau nach leichterer Konstruktion bei höherer Bauteilbeanspruchbarkeit Rechnung zu tragen, ist eine hohe Werkstofffestigkeit notwendig. Gleichzeitig ist eine gute Umformbarkeit gefordert, um die umformtechnische Realisierbarkeit und Crashsicherheit der Bauteile zu gewährleisten.

Aus diesen Anforderungen ergibt sich die Notwendigkeit der Erzeugung lokal veränderter Bauteileigenschaften, um die Umformbarkeit von Halbzeugen zu verbessern und die Bauteilbelastbarkeit im Betrieb zu erhöhen.

### Lösungsweg

Bei martensitisch härtbaren Karosserie-  
stählen bietet sich eine Wärmebehandlung mittels Laserstrahlung an, um eine lokale Werkstoffverfestigung in belastungskritischen Bereichen zu erzeugen.

Mit einem Faserlaser können schmale Einschweißungen mit, im Vergleich zum Grundwerkstoff, sehr hoher Aufhärtung hergestellt werden. Durch den Einsatz von Remote-Optiken zur schnellen Strahlablenkung ist dabei die Struktur der Wärmebehandlungszone flexibel einstellbar. Über eine Wärmebehandlung mittels Hochleistungsdi-  
odenlasers (HLDL) lassen sich relativ breite Härtespuren mit lokal angepasster Eigenschaftsverteilung erzielen (Abb. 2).

Mit dieser Methode soll flexibel auf Schwankungen in den Materialeigenschaften oder im Fertigungsprozess reagiert werden können, ohne aufwendige Werkzeugmodifizierungen vornehmen zu müssen.

### Ergebnisse

Mittels lokaler Laserbehandlung können für unterschiedliche Karosserie-  
stähle Aufhärtungen erzielt werden. Die absolute Spürhärte nimmt mit steigendem Kohlenstoffgehalt zu. In Relation zur Grundwerkstoffhärte sind aber auch für niedrigfeste Güten sehr hohe Aufhärtungen zu erreichen (Abb. 1).

Faserlasereinschweißungen weisen dabei eine extrem hohe Aufhärtung auf. Durch eine Remote-Optik sind Form und Anordnung der Nähte in großer Vielfalt herstellbar. Auf diese Weise können belastungsangepasste Eigenschaftsfelder in Karosseriebauteilen sehr präzise erzeugt werden. Zudem sind Härtingsstrukturen mit dem Faserlaser besonders flexibel und effektiv herstellbar.

Anhand von Modell-Tiefziehteilen wurde nachgewiesen, dass durch eine belastungsoptimierte Anordnung der Härtespuren in kritischen Bauteilbereichen der Werkstofffluss während des Ziehvorganges gesteuert und dadurch die Umformbarkeit des Bauteiles deutlich verbessert werden kann (Abb. 3).

Erste Bauteilschweißungen für industrielle Anwendungen wurden durchgeführt, um Ziehfehler in der Kleinserienfertigung zu vermeiden.

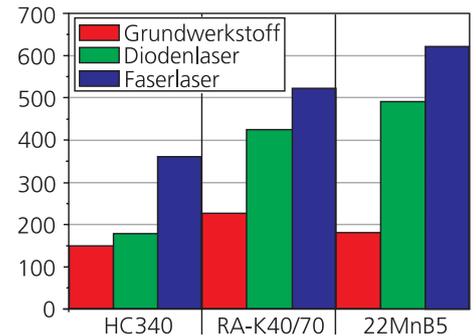


Abb. 1: Erreichbare maximale Spürhärten für unterschiedlich feste Stahlfeinblech-Werkstoffe

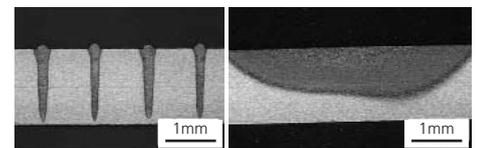


Abb. 2: Querschliffe von Faserlaserschweißnähten (links) und einer HLDL-Härtespur (rechts)

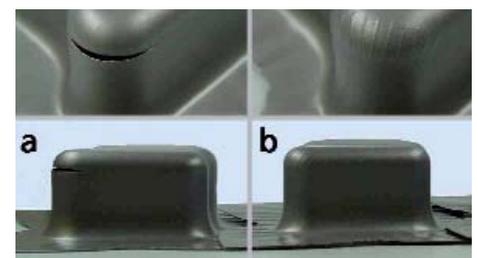


Abb. 3: Vermeidung des Bauteilversagens:  
a) gerissene Grundwerkstoffprobe,  
b) laserfestigte Probe ohne Riss bei gleicher Ziehtiefe

Ansprechpartner

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





## Neuartige Torsions-Axial-Prüfmaschine zur Prüfung laserstrahlgeschweißter Getriebekomponenten

### Aufgabenstellung

Bauteile für den Antriebsstrang von Pkw und Lkw bestehen häufig aus Paarungen von Einsatzstählen und mehrfach legierten Vergütungsstählen, welche durch den Einsatz fortgeschrittener Laserstrahlschweißverfahren, unter Umständen mit speziellem Zusatzwerkstoff und integrierter Wärmebehandlung, mittels Axial- oder Radial-Rundnähten rissfrei verschweißt werden. Derart geschweißte Getriebekomponenten, wie z. B. Welle-Zahnrad-Verbindungen, unterliegen im Fahrzeugbetrieb häufig einer kombinierten Torsions- und Biegebelastung. Für diesen Belastungsfall existieren derzeit weder zuverlässige Schwingfestigkeitskennwerte noch Auslegungsrichtlinien für Laserschweißverbindungen.

Bei der Prüfung der Bauteile auf Getriebeprüfständen oder in Testfahrzeugen versagen in der Regel nicht die Schweißnähte. Deshalb liefern solche kosten- und zeitintensiven Tests, obwohl sie für die Qualitätssicherung unverzichtbar sind, keine auslegungsrelevanten Schwingfestigkeitskennwerte für die Schweißverbindungen. Aus diesem Grund war es notwendig,

einen neuartigen Prüfstand zu entwickeln, mit welchem direkt die Schwingfestigkeit der Laserschweißverbindungen unter bauteilnaher Beanspruchung ermittelt werden kann. Dazu war auch die Entwicklung eines bauteilähnlichen Prüfkörpers (Abb. 1) erforderlich, bei welchem die Schweißnaht selbst das am höchsten beanspruchte und somit versagenskritische konstruktive Detail darstellt. Die Prüfmaschine sollte so gestaltet werden, dass die Belastungskomponenten Torsion und Biegung unabhängig voneinander in den Prüfling eingeleitet werden können. Über Versuche an Modellprüfkörpern hinaus sollte das Prüfsystem universell für Tests an anderen geschweißten Bauteilen, z. B. Antriebswellen und Rohren, einsetzbar sein.

### Lösungsweg

Die Entwicklung und Realisierung der Prüfmaschine erfolgte gemeinsam mit einem Prüfmaschinenhersteller [Fördermittel des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen 02PB2073)]. Auf der horizontal verlaufenden Maschinenachse sind an den beiden Enden der Drehzylinder und der Axialzylinder angeordnet (Abb. 2). Die spielfreie Entkopplung der beiden Belastungskomponenten Drehmoment und Axialkraft wird durch ein hydrostatisch gelagertes Querhaupt gewährleistet. Dies ermöglicht, die auf die Schweißnaht wirkenden Beanspruchungskomponenten zyklische Torsion und zyklische Biegung phasensynchron oder phasenverschoben miteinander zu verknüpfen. Die Probenspaneinrichtungen sind über hydrostatisch gelagerte Kardangelen an den Prüfachsen angebracht. Auf diese Weise kann trotz des für geschweißte Getriebekomponenten unvermeidlichen Verzugs eine nahezu lastfreie Einspannung des Prüfkörpers erfolgen. Erst dadurch wird

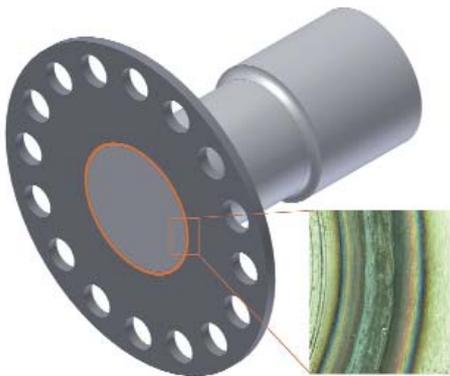


Abb. 1: Modellprüfkörper (Welle-Scheibe) mit Schweißnaht



Abb. 2: Torsions-Axial-Prüfmaschine



gewährleistet, dass die Beeinflussung der Schwingfestigkeit durch solche Faktoren wie Verzug, Einschweißtiefe, Randkerben, Endkrater, Schweißzusatzwerkstoff, Steifigkeit der Nahtumgebung und integrierte Wärmebehandlung präzise erfasst werden kann. Als Spannsysteme sind Keilspannzeuge für zylindrische Probenschäfte sowie Flansche mit einem Gewindelochraster vorhanden. Über den Drehzylinder können Drehmomente bis zu  $\pm 8$  kNm bei maximalen Drehwinkeln von  $\pm 50^\circ$  aufgebracht werden. In axialer Richtung sind Kräfte bis  $\pm 40$  kN bei maximalen Wegen von  $\pm 50$  mm realisierbar. Über beide Achsen können Belastungen mit Frequenzen bis zu 50 Hz übertragen werden. Als Prüfkörper sind Proben und Bauteile mit Durchmessern bis 300 mm und Längen bis 1250 mm geeignet. Es erfolgt eine Datenerfassung von Drehmoment, Drehwinkel, Axialkraft und Axialweg sowie der Dehnungen mittels applizierter Dehnmessstreifen bei Abtastraten bis zu 10 kHz.

## Ergebnisse

Nach der Übergabe der Prüfmaschine an das IWS wurde zunächst erfolgreich die Funktionalität der Maschine getestet und die Erreichung der angestrebten Leistungsparameter überprüft. Die Versuche dienen auch dazu, die Eignung des gewählten Modellprüfkörpers zu testen (Abb. 4). Es konnte gezeigt werden, dass es mit dem Design des Prüfkörpers gelungen ist, den Ort maximaler Beanspruchung und damit den Rissursprung tatsächlich in die Schweißverbindung (Schmelz- oder Wärmeeinflusszone) zu legen (Abb. 5).

Neben den belastungsseitigen Voraussetzungen erfüllt der Prüfkörper auch die schweißtechnischen Anforderungen an reale Bauteile hinsichtlich Einschweißtiefe und Wärmeableitungsbedingungen. Die Prüfkörper sind darüber hinaus einfach und kostengünstig herstellbar.

In einer ersten Versuchsserie wurden reine Torsions-Wechselversuche sowie kombinierte Torsions-Axial-Wechselversuche an laserstrahlgeschweißten Modellprüfkörpern mit Wellen aus 42CrMo4 und Scheiben aus 16MnCr5 durchgeführt. Die Ergebnisse sind als Wöhlerdiagramm in Abb. 3 dargestellt. Die aus der äußeren Belastung an der Schweißnaht resultierende Beanspruchung wurde als Vergleichsspannung mit Hilfe von FE-Rechnungen ermittelt. Wie die ersten Ergebnisse zeigen, ist für die kombinierte Torsions-Axial-Belastung infolge der in der Scheibe auftretenden Biegung eine deutliche Verringerung der Schwingfestigkeit im Vergleich zur reinen Torsion zu erwarten.

Mit der erfolgreichen Inbetriebnahme der Torsions-Axial-Prüfmaschine wurden im IWS wichtige prüftechnische Voraussetzungen für die zielgerichtete und umfassende Ausschöpfung des Leichtbaupotenzials laserstrahlgeschweißter Komponenten, insbesondere für Antriebe künftiger Generationen, geschaffen.

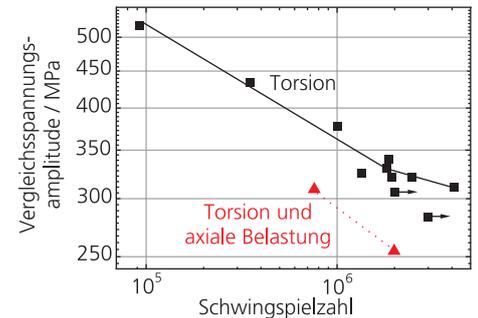


Abb. 3: Schwingfestigkeit von geschweißten Welle-Scheibe-Modellkörpern

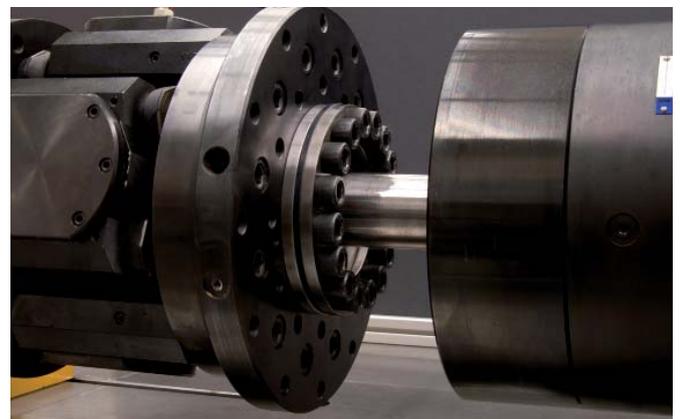


Abb. 4: Prüfkörper, Spannflansch und Kardangelk des Prüfsystems während eines Torsionsversuches

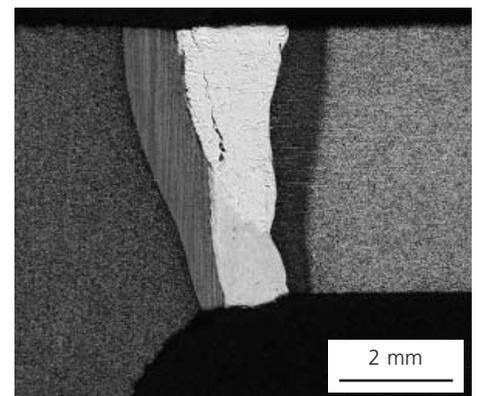


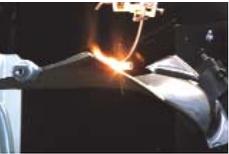
Abb. 5: Schliff durch die gerissene Schweißnaht eines Welle-Scheibe-Modellprüfkörpers nach Torsions-Axial-Belastung

Ansprechpartner

Dr. Jörg Bretschneider  
Tel.: 0351 / 2583 217

joerg.bretschneider@iws.fraunhofer.de





## Automatisierte Erstellung von zweidimensionalen Mikrohärtemappings an randschichtgehärteten Bauteilen

### Aufgabenstellung

Mit dem Laserstrahlhärten kann die Verschleißbeständigkeit von Bauteilen verbessert werden, wobei insbesondere mehrdimensional gekrümmte oder schwer zugängliche Flächen bearbeitbar sind oder eine nur selektive Härtung bestimmter Bereiche vorgenommen werden kann. Die moderne Systemtechnik gestattet zudem eine feinstufige Einstellung der gewünschten Härte und der Geometrie der gehärteten Zone. Die für die Prozesskontrolle üblichen Messungen der Oberflächenhärte und der Einhärtungstiefe sind vor allem bei Bauteilen mit komplizierten Formen oder speziellen gewünschten Härteverteilungen an der Oberfläche nicht mehr ausreichend für die Charakterisierung des Bearbeitungsergebnisses. Es bestand daher die Aufgabe, ein Messsystem zu entwickeln, mit dem die Mikrohärteverteilung automatisiert flächenhaft ermittelt und das Ergebnis in Form eines Mappings ausgegeben werden kann.

### Lösungsweg

Da für die flächenhafte Bestimmung von Härteverteilungen eine wesentlich höhere Messpunktzahl erforderlich ist als bei den üblichen Härteverläufen entlang einer Linie, ist der Einsatz eines automatischen Härtemesssystems erforderlich, das Eindrücke nach einem vorgegebenen Muster auf Bauteiloberflächen oder metallographische Schlitze setzt und durch spezielle Bildanalysealgorithmen ohne Bedieneingriff vermisst. Für derartige kommerziell verfügbare Systeme wurde eine neuartige Software entwickelt und eingesetzt, die sowohl vor der

eigentlichen Messung das Eindruckmuster für das speziell zur flächenhaften Härtebestimmung vorliegende Materialgebiet generiert, als auch, nach der Messung, die Daten aufbereitet und in Form farbcodierter Darstellungen oder als 3D-Diagramme ausgibt. In Analogie zur Familie der bekannten rastermikroskopischen Methoden, in der eine Vielzahl von physikalischen Eigenschaften von Festkörperoberflächen dargestellt werden kann, ist hier die Erstellung eines »Mikrohärtbildes« möglich.

### Ergebnisse

Im Softwaresystem werden entsprechend der zu vermessenden Materialgebiete die Positionen für die Härteeindrücke automatisch berechnet. Es kann zwischen einem regelmäßigen Messpunktraster oder kantenparalleler Anordnung der Messpunkte auf Isolinien - Linien gleichen Abstands von den Messfeldkanten (Abb. 1) - gewählt werden. Die Messpunktdichte und damit die Auflösung des zu messenden Mappings sind wählbar, wobei die normativen Forderungen hinsichtlich der Abstände der Härteeindrücke berücksichtigt werden. Für die auszugebende zweidimensionale Darstellung der Härteverteilung stellen die Messwerte Stützstellen dar, aus denen ein stetiges, lückenloses Mapping errechnet wird (Abb. 2). Wenn eine genügend hohe Messpunktzahl gewählt wird, können Glättalgorithmen ausgeführt werden und es kann über die bei der Härtemessung üblichen statistischen Schwankungen gemittelt werden. Dadurch sind auch kleine Härteänderungen oder Gradienten sicher messbar und über eine geeignete Wahl der Farben und der Spreizung der Farbskala sehr gut darstellbar.

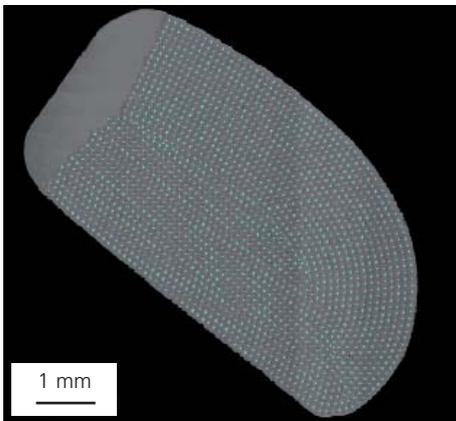


Abb. 1: Erzeugtes Isolinien-Muster der Härteeindrücke

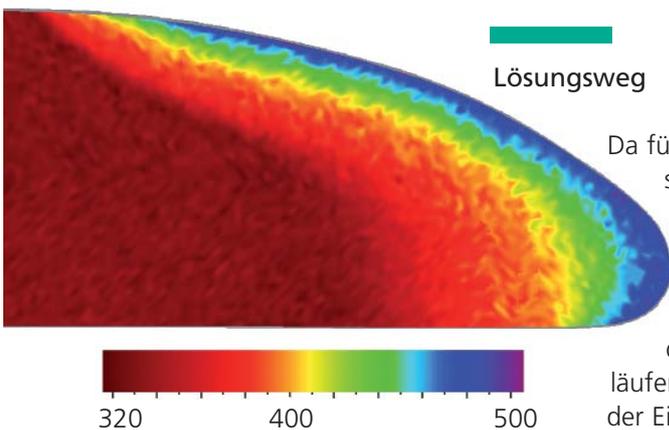


Abb. 2: Farbcodierte zweidimensionale Mikrohärteverteilung HV 0,1 einer lasergehärteten Turbinenschaufel



Ansprechpartner

Dr. Jörg Bretschneider  
Tel.: 0351 / 2583 217  
joerg.bretschneider@iws.fraunhofer.de



## Laser- und Plasmatechnologien zur Klebstellenvorbehandlung von Aluminium

### Aufgabenstellung

Die Oberfläche von Leichtmetallen besteht aus den entsprechenden Oxiden und Hydroxiden, beim Magnesium auch aus Carbonaten. Darauf befinden sich Wasserschichten und verschiedenste Kontaminationen (Schmutz, Korrosionsschutz, Schmiermittel). Sollen aus diesen Fügepartnern langzeitstabile Klebungen hergestellt werden, muss eine Oberflächenvorbehandlung erfolgen.

### Lösungsweg

Im Rahmen eines AiF-Projektes (AiF-Forschungsvorhaben-Nr. 14780BR) erfolgte die Untersuchung des Einflusses verschiedener Vorbehandlungsmethoden und Klebstoffe auf die Klebfestigkeiten ausgewählter Aluminiumlegierungen vor bzw. nach Alterung. Den Untersuchungsschwerpunkt bildete die Analyse und Charakterisierung der laser- und plasmavorbehandelten Oberflächen. Durch Variation der Bearbeitungsparameter (Intensität, Geschwindigkeit) sollte neben der notwendigen Reinigung der Oberflächen zusätzlich eine Verbesserung der materialspezifischen Adhäsionseigenschaften für den Klebprozess erzielt werden. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sollte den direkten Vergleich der Plasma- und Laservorbehandlung mit konventionellen Vorbehandlungsmethoden ermöglichen.

### Ergebnisse

Für die Untersuchungen wurde eine Auswahl gängiger Aluminiumlegierungen aus den Bereichen Automotive - Rohbau und dekorativer Zusammenbau zusammengestellt. Insbesondere die Materialien aus dem Bereich Rohbau weisen durch diverse Konversionsschutzschichten eine starke Kontamination der Oberfläche auf, die für das langzeitbeständige Kleben hinderlich sind. Während dicke Schichten mit

Atmosphärenplasma nur schwer oder gar nicht zu beseitigen sind, zeigen alle betrachteten Laserparameter durchweg gute Ergebnisse, wobei der positive Effekt mit der Intensität der Vorbehandlung noch verstärkt wird. Für die Vorbehandlung leicht verschmutzter Bauteile aus dem Bereich dekorativer Zusammenbau eignen sich dagegen beide Verfahren gleichermaßen gut. Kontaktwinkelmessungen zeigen, dass sich die Oberflächenenergien mit einer vorgeschalteten Plasmabehandlung verbessern. Dies beeinflusst positiv die Adhäsionseigenschaften und Alterungsbeständigkeit der Verbindung. Der Einsatz des Lasers bewirkt bei hohen Intensitäten neben der Reinigung der Oberfläche ein Wachstum der Oxidschichten.

Zur Bewertung der untersuchten Verfahren auf deren Wirtschaftlichkeit wurde an Demonstratoren (Abb. 1 und Abb. 2) beteiligter Unternehmen eine Investitionsrechnung mit anschließender Nutzwertanalyse durchgeführt. Die Auswertung zeigte, dass die Investitionskosten der Plasma- und Laseranlagentechnik für eine selektive Bauteilvorbehandlung bei ausreichender Flächenleistung meist deutlich höher liegen als gleichwertige konventionelle Verfahren (z. B. Sandstrahlen). Bezieht man weitere wirtschaftliche, technische, arbeitsphysiologische und umweltbezogene Kriterien in die Gesamtbetrachtung mit ein, wird das Ergebnis weitgehend relativiert. Demnach eignen sich die Plasma- und Laservorbehandlung besonders für mittlere bis große Bauteile, die einer selektiven Vorbehandlung an ausgewählten Fügepunkten bedürfen, auch bei höheren Investkosten.

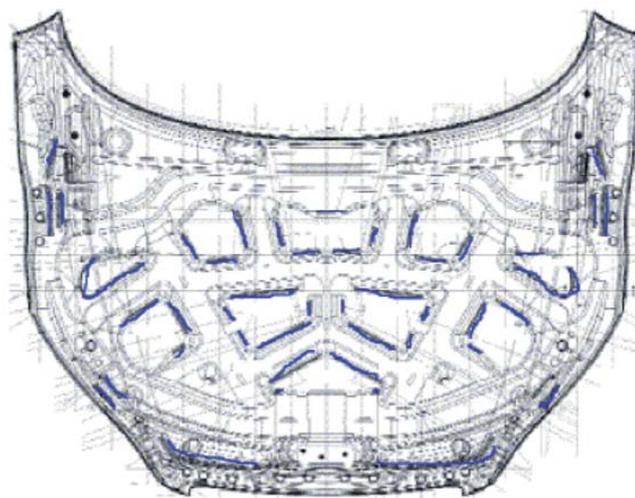


Abb. 1: Demonstrator »Frontklappe« für den Bereich PKW-Rohbau mit den blau markierten Vorbehandlungsflächen

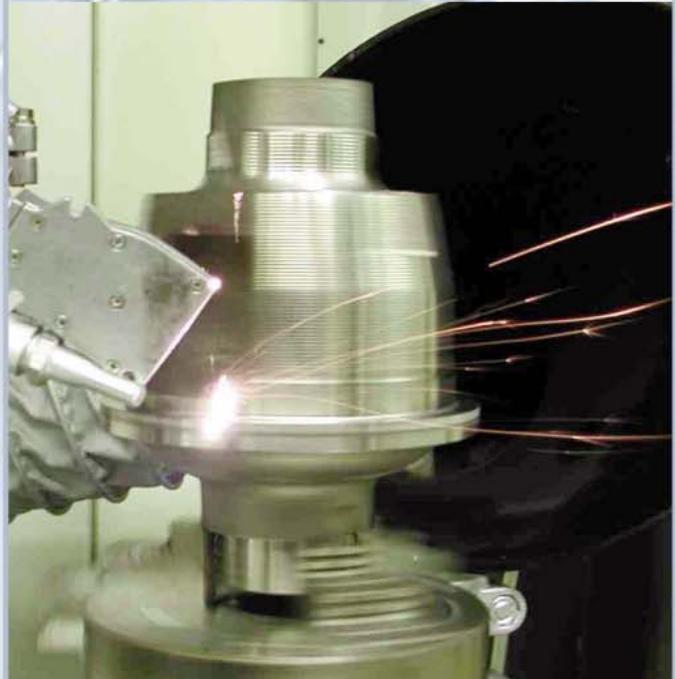
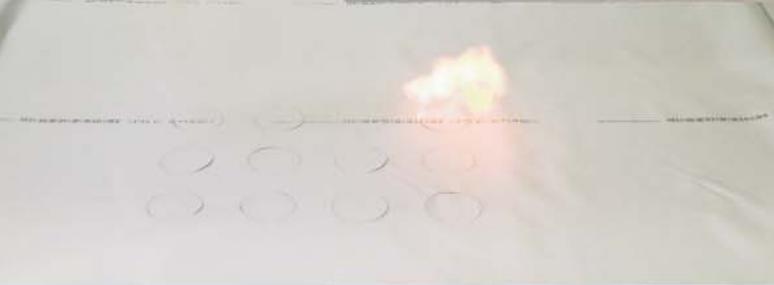
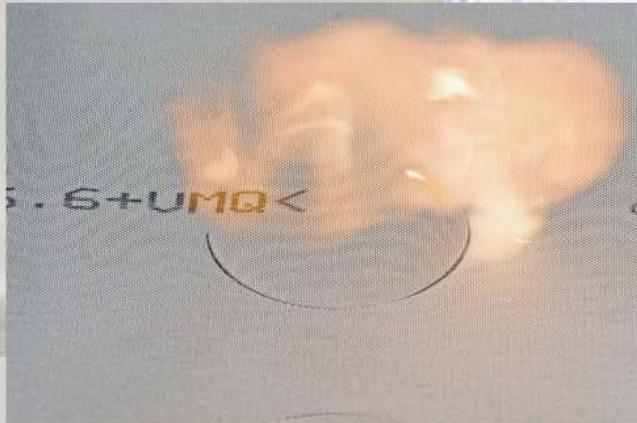
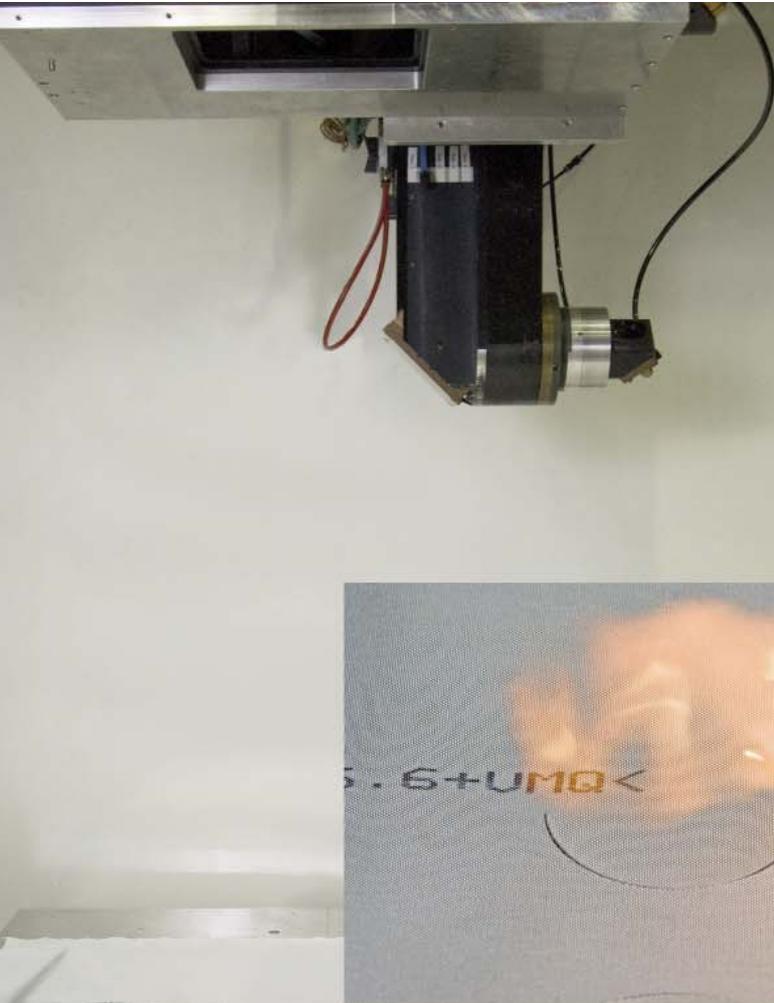


Abb. 2: Demonstrator »Zierleiste« aus dem Bereich dekorativer Zusammenbau

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Rico Rechner  
Tel.: 0351 / 46 33 9639  
rico.rechner@iof.mw.tu-dresden.de





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

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

**Dr. Morgenthal:** Durch den Einsatz von Grundmode-Faserlasern höherer Leistung konnten metallische Werkstoffe bis zu einer Materialstärke von 0,7 mm getrennt werden. Es ist anzunehmen, dass mit der Verfügbarkeit neuer brillanter Strahlquellen die trennbare Materialstärke weiter gesteigert werden kann. Im Jahr 2008 wurden mit einem am IWS installierten Scheibenlaser hoher Brillanz erste Schneidversuche im Dickblechbereich durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass hinsichtlich Qualität und Produktivität ähnlich gute Schneidergebnisse wie mit dem Faserlaser erzielt werden können.

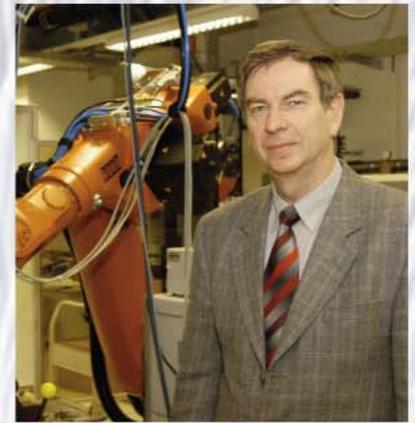
**Redaktion:** Welche Herausforderungen sehen Sie in Bezug auf die systemtechnischen Entwicklungen der Abteilung?

**Dr. Morgenthal:** Die Anwendungsmöglichkeiten von Remote-Techniken für die verschiedenen Laserbearbeitungstechnologien wie Schweißen, Schneiden aber auch Strukturieren und Oberflächenbehandeln sind bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. Die technologische Seite dieser Entwicklung, die im Wesentlichen auf immer höheren Prozessgeschwindigkeiten durch Laser mit besserer Strahlqualität und höherer Leistung bzw. Pulsenergie beruht, wird durch moderne Strahlquellen wie Scheiben- oder Faserlaser gut abgedeckt. Aufzuholen gilt es bei der Entwicklung von Bearbeitungsoptiken, integriert in Bearbeitungssysteme, die in der Lage sind, die möglichen hohen Prozessgeschwindigkeiten in eine präzise und effektive Bearbeitung von Bauteilen umzusetzen.

**Redaktion:** Die werkstoff- und lasertechnische Kompetenz des IWS nutzend, untersucht und entwickelt ihre Abteilung seit vielen Jahren Einsatzmöglichkeiten der Lasertechnik im Bereich der Restaurierung von Kunst- und Kulturgut. Welche neuen Ansatzpunkte sehen sie für dieses Geschäftsfeld?

**Dr. Morgenthal:** Die Entwicklung neuer Lasersysteme, insbesondere auf Basis des Faserlasers, hat in den letzten Jahren auch tragbare und autonome, d. h. vom Stromnetz unabhängige Faserlasersysteme hervorgebracht. Diese eignen sich hervorragend für den Feldeinsatz z. B. zum Laserstrahlreinigen von Kunst- und Kulturgütern. Eine dieser Entwicklungen wurde bereits in einem Projekt zur Reinigung der Grabkammer Nephertit in Ägypten erfolgreich getestet.

Die Anwendungsmöglichkeiten der Lasertechnik im Bereich Kunst- und Kulturgut sind jedoch vielfältiger. So arbeiten wir seit einigen Jahren mit der, durch Lasertechnik erzeugten, Terahertzstrahlung zur Sichtbarmachung und Analyse von verborgenen Wandmalereien oder bisher unerkannten Defekten. Beispielsweise finden sich noch heute in zahlreichen Kirchen Hinweise auf umfangreiche Wandmalereien, die noch nicht freigelegt wurden. Die zerstörungsfreie Enthüllung der ikonographischen Inhalte dieser Kunstwerke und die Erforschung der verschiedenen Etappen ihrer Entstehung sowie von Beschädigungen versprechen wesentliche Erkenntnisse über den Charakter und Verlauf ikonoklastischer Bewegungen und deren gesellschaftliche, religiöse und kulturelle Hintergründe während der verschiedenen Kulturkonflikte.



*Eine akzeptierte Idee  
verwandelt sich in Arbeit.*  
Günter F. Gross



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



**Dr. Lothar Morgenthal**  
Gruppenleiter Faserlaser- und  
Scannertechnologie  
(Tel. 2583 322,  
lothar.morgenthal@iws.fraunhofer.de)



**Dr. Thomas Himmer**  
Gruppenleiter Schneiden  
(Tel. 2583 238,  
thomas.himmer@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-Strahl- ablenkung 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)

### Laserstrahlschneiden

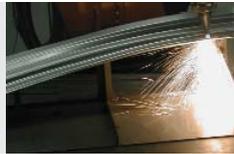
Für das Laserstrahlschneiden aller in der modernen Fertigung eingesetzter Werkstoffe stehen am IWS CO<sub>2</sub>-Laser und Festkörperlaser, insbesondere Faserlaser, unterschiedlicher Leistung und Strahlqualität zur Verfügung. Forschungsschwerpunkt ist die Technologieentwicklung, beispielsweise als Prozess- 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.



Prozessaufnahme des Hochgeschwindigkeitsschneidens mit »fliegendem« Düsensystem



**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.



**Dr. Andrés-Fabián Lasagni**  
 Gruppenleiter Oberflächenfunktionalisierung (seit Sept. 2008)  
 (Tel. 2583 007,  
 andres-fabian.lasagni@iws.fraunhofer.de)

### Topographisches Design

Mit den neuen Methoden zur Herstellung von 2- und 3-dimensionalen Mikro- und Nanostrukturen auf Polymeren, Metallen, Keramiken und Beschichtungen gelingt es, strukturierte Oberflächen zu erzeugen, die über makroskopische Bereiche hinweg Mikro- bzw. Nano-Merkmale aufweisen. Zusätzlich zur Topographie können auch die elektrischen, chemischen und / oder mechanischen Eigenschaften periodisch variiert werden. Diese strukturierten Oberflächen können unter anderem in der Biotechnologie, in der Photonik und in der Tribologie eingesetzt werden.

Wir bieten an:

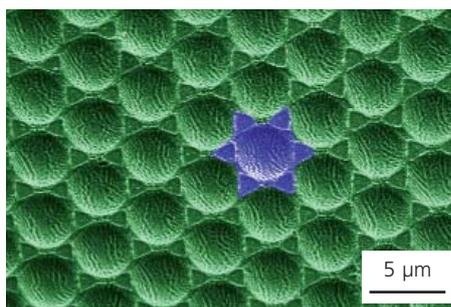
- Aufbau von 2- oder 3-dimensionalen Strukturen auf verschiedenen Materialien,
- Photopolymerisation, Abtragen und metallurgisches Strukturieren,
- Hochgeschwindigkeitsherstellung von hohen Strukturichten.

### Beispiele aus den Arbeiten 2008

1. Selektives Trennen von Werkstoffverbänden - hochproduktiv und flexibel durch Remote-Schneiden 48
2. Remote-Technik - der Laser schneidet und fügt am laufenden Band 49
3. Schnelles Laserschneiden durch hochdynamische Strahlableitoptiken 50
4. Großfeld-Remote-Bearbeitungsoptik für Hochleistungs-Faserlaser 51
5. Steigerung der Sensitivität von Lab-on-Chip-Systemen mittels Dielektrophorese 52
6. Micro-contact-printing - neue Möglichkeiten zum Generieren von Mikro- und Nanometerstrukturen 53



Mobile Anlage zur rutschhemmenden Ausrüstung von Natursteinen



Herstellung von periodischen Ordnungen auf Polymersubstraten für biotechnologische Anwendungen

## Selektives Trennen von Werkstoffverbänden - hochproduktiv und flexibel durch Remote-Schneiden

### Aufgabenstellung

Durch seine hervorragenden Strahleigenschaften bietet der Faserlaser ein enormes Potenzial zur Steigerung der Produktivität. Mithilfe der brillanten Strahlqualität des Faserlasers und einer Scanneroptik zur Strahlablenkung kann das zu trennende Material ohne die Unterstützung durch Schneidgas Schicht für Schicht verdampft werden. Bei geringen Materialdicken sind Geschwindigkeiten auf der Kontur bis über 200 m min<sup>-1</sup> erzielbar (Abb. 2). Doch gerade bei dünnem Material, z. B. Metallfolie, stellt sich oft das Problem der Handhabbarkeit der Schneidteile.

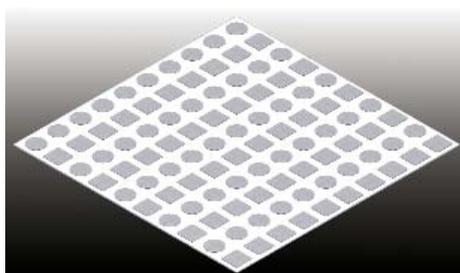


Abb. 1: Durch »Kiss-Cutting« erzeugte Fertigteile auf einem Trägermaterial

### Lösungsweg

Abhilfe kann das Verfahren »Kiss-Cutting« leisten. Grundlage dafür ist ein Werkstoffverbund aus dem zu trennenden Metall und einer Trägerschicht. Beide Materialien sind lösbar miteinander verbunden. Beim Trennvorgang wird lediglich die metallische Oberschicht bearbeitet. Die Trägerschicht bleibt unberührt. Anschließend wird die metallische Oberschicht von der Trägerschicht getrennt. Die geschnittenen Teile verbleiben dabei auf der Trägerschicht (Abb. 1).

### Ergebnisse

Durch den Einsatz der Remote-Schneidtechnologie ist es möglich, ein selektives Trennen des Materialverbundes zu erwirken. Zentrale Rolle spielt dabei der Mechanismus des Remote-Schneidens mit Faserlasern. Durch extrem hohe Intensitäten in der Fokusebene wird das zu schneidende Material über einen Verdampfungsmechanismus abgetragen. Im Gegensatz zum konventionellen Schneiden erfolgt der Austrieb des Schnittfugenmaterials also nach oben und nicht nach unten. Durch die gezielte Anwendung des Laserstrahls bei Auswahl der geeigneten Verfahrensparameter ist somit ein selektives Trennen des Verbundmaterials möglich. Die metallische Oberschicht wird entlang der gewünschten Kontur getrennt, während die Trägerschicht unversehrt bleibt.

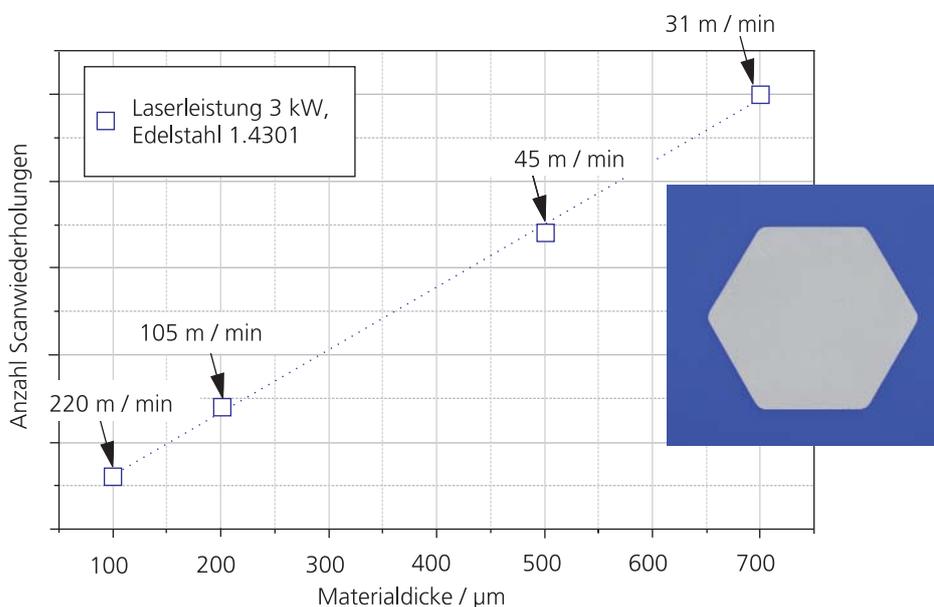


Abb. 2: Schneidgeschwindigkeiten auf der Kontur beim Remoteschneiden mit Faserlaser, Beispielgeometrie Sechseck



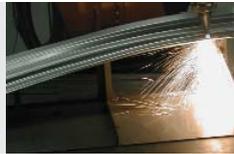
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Matthias Lütke

Tel.: 0351 / 2583 292

matthias.luetke@iws.fraunhofer.de

Durch Einsatz des Remote-Schneidens zum »Kiss-Cutting« können hohe Schneidgeschwindigkeiten mit großer Flexibilität einhergehen. Es wird eine minimale Wärmeinflusszone bei sehr guter Schnittqualität erreicht. Ein geringer Lärmpegel sowie das Erzeugen der Teile ohne Kantenverzug sind weitere Vorteile im Vergleich zu stanzen- den »Kiss-Cutting«-Verfahren.



## Remote-Technik - der Laser schneidet und fügt am laufenden Band

### Aufgabenstellung

Die konventionelle Fertigung von Airbagschutzhüllen aus Kunststoff-Vliesmaterial - sie nehmen Seiten- oder Kopfairbags im gefalteten Zustand auf - ist durch den Einsatz von Messerwerkzeugen für den Zuschnitt und das Vernähen zu einem Schlauch in einem separaten Fertigungsschritt wenig flexibel. Kunststoffe, in Form von Vlies, Gewebe oder Folien können aber auch sehr gut mittels Laserstrahlung geschnitten und gefügt werden. Dies waren die Ausgangspunkte für die Aufgabe, unter Nutzung modernster Lasertechnik ein flexibleres Produktionsverfahren und -system zu konzipieren und zu entwickeln. Dabei waren die strengen Anforderungen an dieses sicherheitsrelevante Bauteil zu erfüllen.

### Lösungsweg

Das neue Produktionsverfahren wurde als Endlosprozess konzipiert, bei dem in einem Anlagendurchlauf aus dem Vliesband fertige Airbagschutzhüllen entstehen sollten. Dabei erfolgt während des Materialtransports des Vlieses der Laserschnitt von Außenkontur und innen liegenden Schlitzten und Laschen für die spätere Befestigung der Hülle in der Karosse. Anschließend wird der Hüllenrohling gefalzt und durch ein angepasstes Laserfügen der aufeinanderliegenden Kanten zu einem Schlauch verbunden.

Da die Materialtransportgeschwindigkeiten in der Fertigungsanlage bis zu einigen Metern pro Sekunde betragen können, war der Einsatz von Hochleistungsscannern für die Strahlbewegung beim Schneiden und Schweißen unab-

dingbar. Die ortsgenaue Zuordnung der Laserschweißung zum Schnittbild der Hülle sichert eine eigens entwickelte und in die Anlagensteuerung integrierte Prozesssteuerung. Sie ermöglicht auch die Programmierung und Archivierung aller bauteilbezogenen Parameter.

### Ergebnisse

Aufbauend auf dieser Entwicklung neuer Fertigungsprozesse für die Airbagschutzhüllen wurde gemeinsam mit Maschinenbauern eine Produktionsanlage konstruiert und gebaut. Diese Produktionsanlage stellt heute im Geschäftsbereich ProTech der Schreiner Group GmbH & Co. KG Airbagschutzhüllen in einem einzigen Arbeitsgang her. Sie bedruckt das Vliesmaterial, schneidet es per Laser zu, falzt das Material und verschweißt die Schutzhülle per Laser. Neben der hohen Kosteneffizienz und Prozesssicherheit macht vor allem deren Flexibilität die neue Anlage besonders attraktiv.

So lassen sich zum Beispiel Schnitt- und Schweißkonturen völlig frei definieren. Die Umrüstung der Anlage auf verschiedene Airbagschlauchausführungen erfordert lediglich das



Abb. 2: Produktionsanlage im Geschäftsbereich ProTech der Schreiner Group GmbH & Co. KG zur Fertigung von Airbagschutzhüllen



Abb. 1: Seitenairbag mit Schutzhülle in einer VW-Passat-Karosserie

Einlegen der passenden Materialcharge und die Auswahl der vordefinierten Fertigungsparameter aus einer speziell dazu entwickelten Datenbank in der Steuerung.

Ansprechpartner

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

annett.klotzbach@iws.fraunhofer.de



## Schnelles Laserschneiden durch hochdynamische Strahlableitoptiken

### Aufgabenstellung

Obwohl das Laserschneiden schon einen breiten Einsatz gefunden hat, kann im Konturschnitt das hervorragende Schneidvermögen des Lasers aufgrund der begrenzten Dynamik der Schneidmaschinen nur zum Teil umgesetzt werden. Die modernen hochbrillanten Strahlquellen wie Faser- oder Scheibenlaser haben diese Situation insbesondere im Bereich dünner und mitteldicker Bleche weiter verschärft. Deshalb sind Lösungen gesucht, den Laserstrahl auf der Schneidkontur mit einer Bahngeschwindigkeit zu bewegen, die der laserleistungs- und blechdickenbedingten Schneidgeschwindigkeitsgrenze nahe kommt. Gleichzeitig müssen Konturgenauigkeit und Schneidkantenqualität die Vorgaben erfüllen.

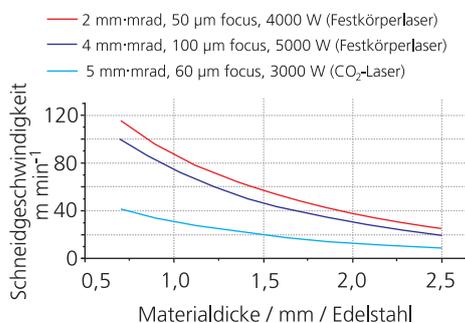


Abb. 1: Erreichbare Schneidgeschwindigkeiten mit verschiedenen Lasersystemen (im geraden Schnitt)

### Lösungsweg

In den Schneidkopf integrierte Zusatzachsen können beim Schneiden in Bereichen starker Ruck- / Beschleunigungsphasen unterstützend eingreifen und die Strahlbewegung übernehmen, während die trägen Hauptachsen der Maschine einer vereinfachten Bahn folgen. Das Arbeitsfeld der hochdynamischen Achsen (rot in Abb. 2) kann durch die überlagerte Bewegung mit den Hauptachsen in deren Arbeitsfeld (gelb) beliebig positioniert werden. Eine intelligente Bahnaufteilung sorgt dafür, dass alle Randbedingungen wie Arbeitsfeldgröße, Ruck, Beschleunigung und Geschwindigkeit

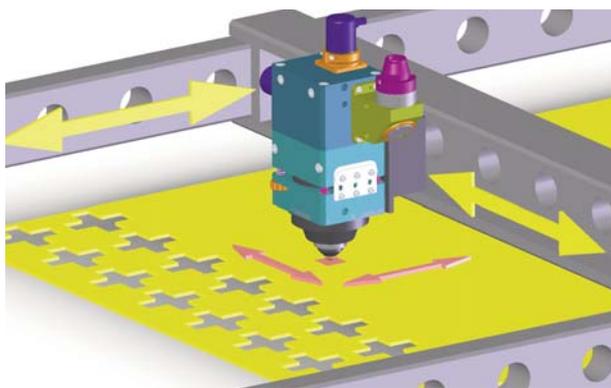


Abb. 2: CAD-Modell des gekoppelten Achssystems (gelb: Haupt-, rot: Zusatzachsen)

der Haupt- und Zusatzachsen eingehalten werden und eine zeitoptimierte Bahn für alle Achsen erzeugt wird.

### Ergebnisse

Für die Strahlauslenkung in der Schneidbearbeitungsoptik wurde eine am IWS entwickelte 2D-Spiegeloptik eingesetzt, welche den Laserstrahl synchronisiert mit einer separat angetriebenen Schneidgasdüse nahe am Prozess hochdynamisch bewegt. Die zu bewegende Masse für jede Zusatzachse kann durch Aufteilung der Bewegungen (Laserstrahl / Gasstrahl) auf unter 300 g gedrückt werden. Durch die enorme Reduzierung des Trägheitsmoments können Beschleunigungswerte von  $80 \text{ m s}^{-2}$  für die Zusatzachsen erreicht werden.

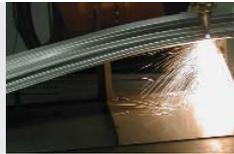
Mit dem entwickelten Prototyp zur Evaluierung der systemtechnischen und technologischen Grenzen konnten auf komplexen Schneidgeometrien über 60 % Bearbeitungszeit gegenüber dem konventionellen Schneiden ohne Zusatzachsen eingespart werden. Gleichzeitig wurde neben dieser enormen Steigerung der mittleren Schneidgeschwindigkeit eine deutliche Entlastung der Maschinenachsen erreicht.

Eine Anwendung dieser Lösung ist überall dort sinnvoll, wo in Blechen mittlerer Dicke (1 – 5 mm) komplexe Geometrien flexibel und hochproduktiv geschnitten werden müssen. Speziell für die Herstellung von Stator- oder Rotorsegmenten für den Motoren- und Generatorenbau ergibt sich hier eine Alternative für das hochproduktive, aber weniger flexible Stanzen oder das konventionelle Laserstrahlschneiden, das zwar flexibel, aber nicht so produktiv ist.



Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Florian Bartels  
Tel.: 0351 / 2583 233  
florian.bartels@iws.fraunhofer.de



## Großfeld-Remote-Bearbeitungsoptik für Hochleistungs-Faserlaser

### Aufgabenstellung

Scannersysteme sind eine Möglichkeit zur hochdynamischen Strahlführung für die Laserbearbeitung. Der Beschränkung des Arbeitsfeldes wird durch eine on-the-fly-Bearbeitung begegnet. Dies bedeutet neben einem höheren Hardwareeinsatz meist auch einen Verlust an Bedienkomfort. Mit den neuen Faserlasern und ihrer brillanten Strahlqualität steht ein weiterer Lösungsweg zur Verfügung. Die Großfeld-Remotebearbeitung mit Faserlasern ermöglicht Arbeitsfeldgrößen im Quadratmeterbereich bei Spotdurchmessern von unter 500 µm.

### Lösungsweg

Kernkomponente dieser Großfeld-Remote-Bearbeitungsoptik bildet ein kardanisch-gelagerter Ablenkspiegel in Kombination mit einer adaptiven Spiegeloptik. Mit einem Bauvolumen von 0,65 x 0,45 x 0,3 m<sup>3</sup> und einem Gewicht von unter 40 kg ist die Bearbeitungsoptik im Vergleich zu den bisherigen Großfeld-Remotesystemen sehr kompakt und lässt sich als »stand-alone«-System betreiben oder an einem Roboter problemlos montieren und bewegen (Abb. 1). Das System (Abb. 3) erlaubt neben der arbeitsfeldbedingten Korrektur des Arbeitsabstandes, eine zusätzliche Verschiebung der Fokusslage um +/-250 mm, bei einem Arbeitsabstand von zwei Metern. Damit ist die Optik zur 2½D-Bearbeitung bestens geeignet. Das maximal zu bearbeitende Volumen beträgt hierbei 1,5 x 1,5 x 0,5 m<sup>3</sup>.

Die Anpassung des Abbildungsmaßstabes ist über eine mechanische Verstell-einrichtung, welche den Bereich zwischen einem und zwei Metern Arbeitsabstand abdeckt, möglich.

Das Bearbeitungssystem ist mit Hilfe eines CAD/CAM-Tools programmierbar. Konturen können intuitiv und gra-

fisch unterstützt auf dem Bauteil erzeugt und in ein Bearbeitungsprogramm umgesetzt werden. Das automatisch erzeugte Programm enthält sowohl Bahninformation als auch Technologieparameter, wodurch das System in kürzester Zeit einsatzbereit ist.

### Ergebnisse

Als potenzielle Anwendungsgebiete der Großfeld-Remote-Bearbeitungsoptik SAO-m<sup>2</sup> 1.0x (3D) sind neben dem Laserstrahlschweißen auch die Kurzzeitwärmebehandlung großer Bauteilflächen zu nennen, wobei hier der Vorteil einer hohen Strahlungsabsorption durch den Einsatz eines Festkörperlasers ausgenutzt wird.



Abb. 1: Großfeld-Remote-Bearbeitungsoptik SAO-m<sup>2</sup> 1.0x (3D)

Erste Schweißtests im Applikationslabor konnten die Funktionalität sowohl hinsichtlich Abbildungsgüte als auch Laserspotdynamik nachweisen. So wurden beispielsweise Schweißstrukturen zur lokalen Materialverfestigung auf verzinktem Blech aufgebracht, um den nachfolgenden Umform-Prozess zu optimieren (Abb. 2). Durch die Minimierung der Positionierzeiten zwischen den Einzelschweißungen aufgrund der schnellen Strahlableitung konnte die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens unter Beweis gestellt werden.

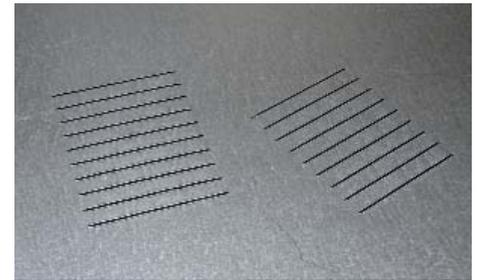


Abb. 2: Schweißstrukturen zur lokalen Materialverfestigung von verzinkten Blechen

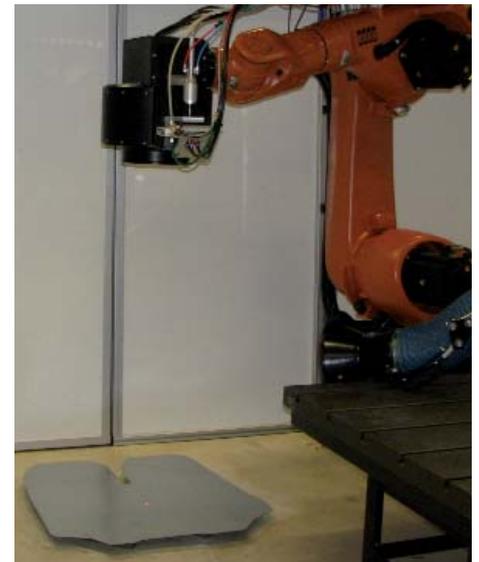


Abb. 3: Bearbeitungssystem bestehend aus Industrieroboter und Großfeld-Remote-Bearbeitungsoptik, Arbeitsabstand: 2 m; Arbeitsfeld: 1,5 x 1,5 x 0,5 m<sup>3</sup>

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Patrick Herwig  
Tel.: 0351 / 2583 199  
patrick.herwig@iws.fraunhofer.de



## Steigerung der Sensitivität von Lab-on-Chip-Systemen mittels Dielektrophorese

### Aufgabenstellung

Die Herausforderung für die Entwicklung moderner Lab-on-a-Chip-Systeme ergibt sich aus der sehr hohen geforderten Sensitivität. Diese ist notwendig, um auch in sehr kleinen Probevolumina von wenigen Mikrolitern noch geringste Konzentrationen verschiedenster Analyten bei größtmöglichem Signal-Rausch-Verhältnis nachweisen zu können. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, müssen neben immer empfindlicheren Messsystemen auch neue mikrofluidische Lösungsansätze entwickelt werden, mit deren Hilfe alle in der Probe enthaltenen Analytmoleküle in den Detektionsbereich des Sensors gelenkt und dort erfasst werden können.

### Lösungsweg

Die Ablenkung der Analytmoleküle erfolgt mittels Dielektrophorese (DEP). Dazu wird mit Hilfe von Elektroden, welche in das Mikrofluidiksystem integriert sind, ein inhomogenes elektrisches Feld erzeugt. Dieses induziert in den Analytmolekülen ein Dipolmoment, welches mit dem angelegten Feld wechselwirkt. Die Analytmoleküle erfahren eine Kraft und bewegen sich, je nach Feld und Dipolmoment, in Bereiche hoher (positive DEP) oder niedriger (negative DEP) Feldstärke. Abb. 1 zeigt schematisch den Aufbau eines solchen Systems.

Für die Simulation und Dimensionierung solcher Systeme wurde die am IWS etablierte Simulationsplattform, welche Strömungs-, Diffusions- und Bindungsvorgänge in Lab-on-a-Chip-Systemen beschreiben kann, um ein Modul zur Berechnung elektrischer

Felder und der daraus resultierenden Dielektrophoresekraft erweitert. Abb. 2 zeigt beispielhaft die Feldverteilung einer entsprechenden Elektrodenanordnung.

Als Referenz dient die am IWS etablierte Lab-on-a-Chip-Plattform, welche auf dem Oberflächen-Plasmonen-Resonanz-Verfahren basiert und unter anderem bereits erfolgreich zum Nachweis von Protein- oder DNA-Interaktionen eingesetzt wird.

### Ergebnisse

Mit dem entwickelten Simulationssystem ist es möglich, Mikrofluidiksysteme für Lab-on-a-Chip-Anwendungen durch Abschätzung der Bindungsquote für verschiedene Randbedingungen zu optimieren. Die Bindungsquote ist das Verhältnis von detektierten Analytmolekülen bezogen auf die Gesamtanzahl.

Die Elektrodengeometrie wurde dahingehend optimiert, dass die maximal mögliche Dielektrophoresekraft auf die Analytmoleküle wirkt. Dabei konnte gezeigt werden, dass das Messsignal durch dielektrophoretische Ablenkung der Analytmoleküle bei gleichen Randbedingungen um mehr als den Faktor 10 gesteigert werden kann.

Ausgehend von den Simulationsergebnissen wurde die Mikrofluidik der etablierten Lab-on-a-Chip-Plattform um ein Elektrodenystem zur Ablenkung der Analytmoleküle mittels Dielektrophorese erweitert und erste Versuche zur Charakterisierung durchgeführt. Als Modellsystem wurden funktionalisierte Latex-Nanopartikel unterschiedlicher Größe eingesetzt. Dabei konnten die Simulationsergebnisse bestätigt werden.

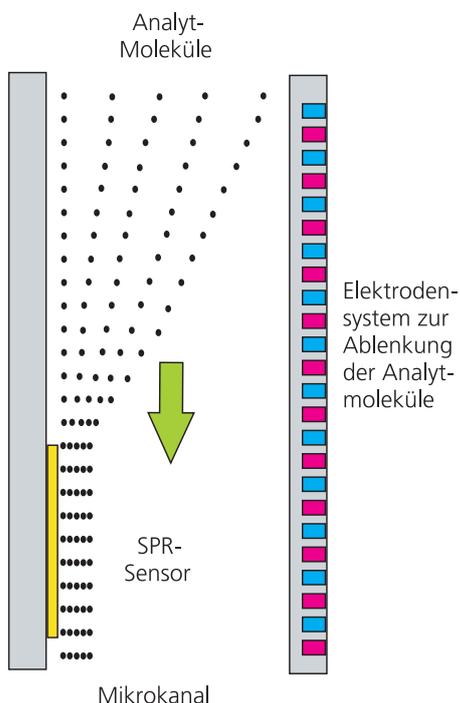


Abb. 1: Schematischer Aufbau des Mikrofluidiksystems

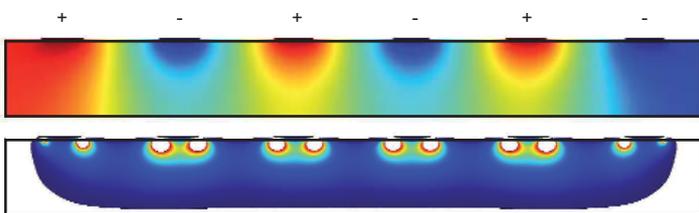
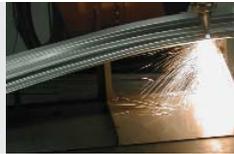


Abb. 2: Elektrische Feld- und Dielektrophoresekraftverteilung  
oben: Potentialfeld, unten: Gradientenfeld

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



## Micro-contact-printing - neue Möglichkeiten zum Generieren von Mikro- und Nanometerstrukturen

### Aufgabenstellung

Durch den zunehmenden Grad der Miniaturisierung werden Komponenten der Mikrosystemtechnik in ihrem Aufbau immer kleiner und komplexer. Dies gilt nicht nur für Prozessoren und Controller, sondern auch für Sensoren und Aktoren. Möglich wird die Miniaturisierung durch immer kleiner werdende Strukturbreiten bis in den Bereich von wenigen 10 nm. Realisierbar sind diese durch die Nutzung der optischen Lithographie, den Einsatz immer kürzerer Wellenlängen und die Verwendung optischer Hilfsmittel, wie sie beispielsweise bei der Prozessorfertigung mit 45 nm-Strukturen genutzt werden. Aufgrund der hohen technischen Anforderungen sowie der Tatsache, dass es sich um Subtraktionsverfahren handelt, ist die Fertigung solcher kleiner Strukturen mit hohen Kosten verbunden. Aus diesem Grund werden kostengünstigere Alternativen gesucht, die es ebenfalls ermöglichen, Strukturen im Mikro- und Nanometerbereich zu realisieren.

### Lösungsweg

Die Technik des  $\mu$ -Contact-Printings ( $\mu$ -CP) stellt einen solchen Ansatz dar, Oberflächenmodifikationen und Strukturelemente in dieser Größenordnung zu erzeugen. Dabei wird ein strukturierter Stempel in direkten mechanischen Kontakt mit dem Substrat gebracht. Als Stempelmaterial kommt in den meisten Fällen Polydimethylsiloxan (PDMS), ein transparentes Polymer, zum Einsatz. Für spezielle Anwendungen werden auch Stempel aus Quarzglas oder anderen geeigneten Materialien verwendet. Die Strukturierung des Polymers erfolgt durch Abformung von einem Master. Bedingt durch die zu erreichenden Strukturgrößen können für die Masterfertigung Bearbeitungsverfahren, wie das Laserstrukturieren für Geometrien im Mikrometerbereich

oder die Photo- und Elektronenstrahl-lithographie für Nanometerstrukturen zum Einsatz kommen.

Bei der Technik des  $\mu$ -CP werden Substanzen direkt über die Stempelstruktur auf das Substrat übertragen. Dafür muss der Stempel, im so genannten Ink-Prozess, mit den entsprechenden Substanzen benetzt werden. Danach wird mit Hilfe eines Querstromes überschüssiges, loses Material wieder entfernt und der Stempel aufgesetzt. In Abhängigkeit von den Materialeigenschaften von Substrat, Stempel und zu druckender Substanz, sowie den Stempelparametern verbleibt beim Abheben des Stempels ein dünner Materialfilm an den Kontaktstellen.

### Ergebnisse

Entsprechend unserer Zielstellung ließen sich in getrennten Detektionsbereichen eine Vielzahl eng aneinanderliegender Flächen mit unterschiedlichen Substanzen reproduzierbar bestempeln (Abb. 1). Um eine sichere Funktionalisierung zu gewährleisten, wurde pro Substanz eine eigene Stempelstruktur verwendet, die mittels Laserstrukturierung des Mastermaterials erzeugt wurde.

Mit Hilfe der vorgestellten Technik ist es möglich, kostengünstig und effizient Oberflächenstrukturierungen und -modifizierungen im Mikro- und Nanometerbereich durchzuführen.

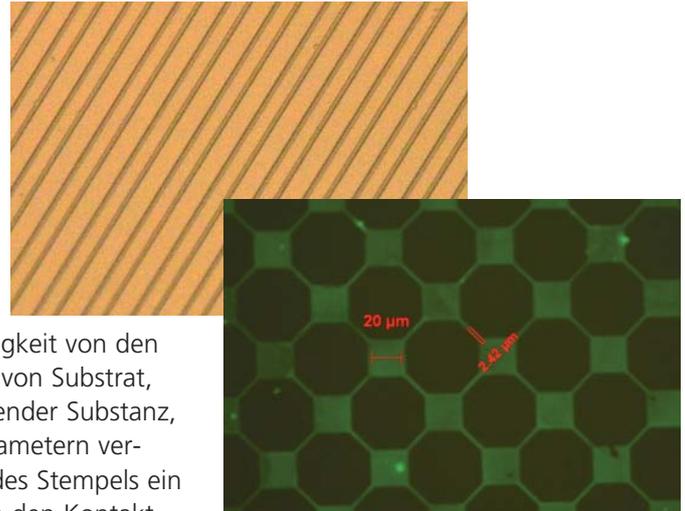


Abb. 1: Micro-contact-printing: links: abgeformte Linienstruktur mit 10  $\mu$ m Liniennaster rechts: Fluoreszenzbild einer gestempelten Struktur

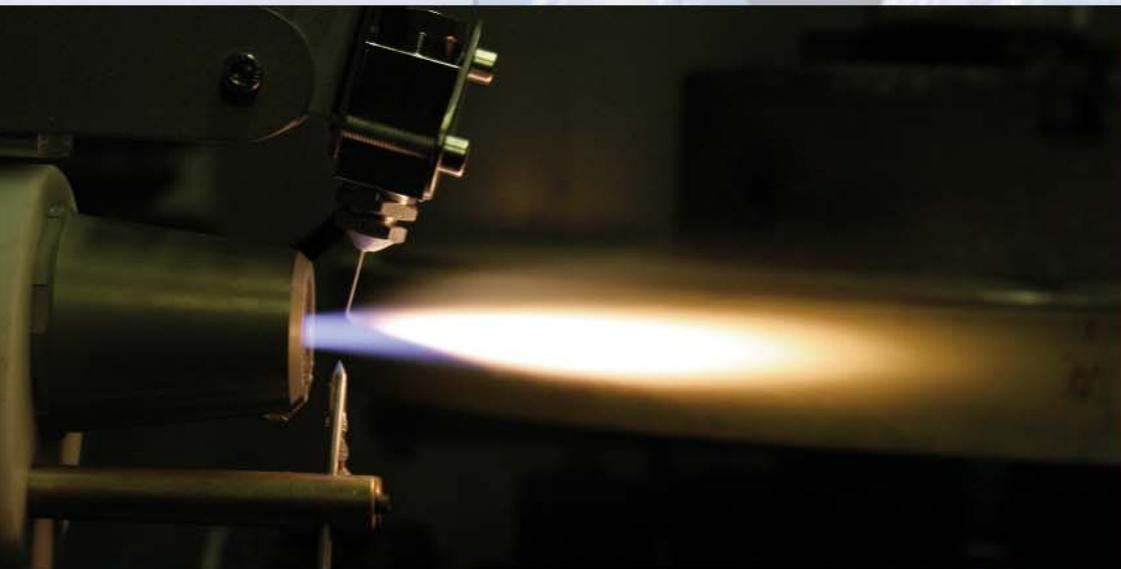
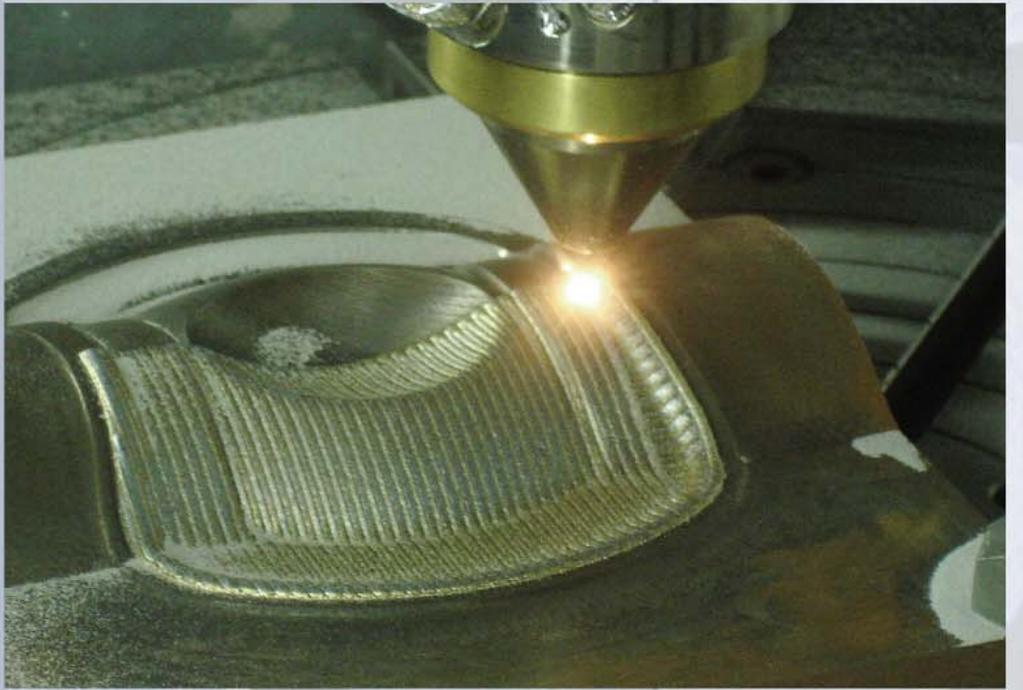


Abb. 2: Mikrostrukturierungsanlage

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Niels Schilling  
Tel.: 0351 / 2583 436  
niels.schilling@iws.fraunhofer.de





## Forschungs- und Entwicklungsangebot: Thermische Beschichtungsverfahren

**Redaktion:** Ihre Ankündigung im letzten Jahresbericht, neue systemtechnische Lösungen für das Auftragschweißen zu entwickeln, hat uns neugierig gemacht. Wie ist der Stand?

**Dr. Nowotny:** Mit dem erfolgreichen Abschluß eines Projekts im Rahmen der BMBF-Produktionsforschung konnten wir ein CNC-Fräszentrum präsentieren, das dem Nutzer sehr komfortable technologische Funktionen der Komplettbearbeitung aus Laser-Auftragschweißen und Fräsen im 3D-Bereich bietet. In Zusammenarbeit mit der Firma Arnold haben wir den Laser-Bearbeitungskopf direkt in die Original-Werkzeugaufnahme der Frässpindel integriert. Damit vergrößert sich der Arbeitsspielraum, die Programmierung wird erleichtert und es ist ein schneller Wechsel zwischen Fräs- und Laserbearbeitung möglich.

**Redaktion:** Was verbirgt sich hinter dem Laserbearbeitungskopf?

**Dr. Nowotny:** Die Maschine ist mit einem gut fokussierbaren 1,5 kW-Diodenlaser ausgerüstet, der über eine 400 µm-Faser mit der Bearbeitungsoptik gekoppelt ist. Die Zufuhr des Schweißpulvers erfolgt über Koaxial-Pulverdüsen. Unsere neueste Entwicklung, die COAX13, ist eine extrem lange und schlanke Düse mit kleinstmöglicher Störkontur. Sie wird bevorzugt bei Bauteilen mit stark eingeschränkter Zugänglichkeit eingesetzt, zum Beispiel bei der Turbinenreparatur.

**Redaktion:** Die Koaxialdüsen funktionieren aber nur mit Pulver, oder?

**Dr. Nowotny:** Genau. Auch wenn die Pulverausnutzung hohe Werte erreichen kann, ergeben sich wesentliche Einschränkungen. Wir haben deshalb nach Möglichkeiten gesucht, um auch Drähte richtungsunabhängig für Kontur-Auftragschweißungen zuführen zu können. Die Lösung besteht in einer neuen strahlformenden Optik, bei welcher der Schweißdraht exakt mittig in der Laserstrahlachse zugeführt wird.

**Redaktion:** Wie haben sich die Schwerpunkte beim Thermischen Spritzen entwickelt?

**Dr. Berger:** Bezüglich der Spritztechnik wurde über die Jahrzehnte ein sehr hohes technologisches Niveau erreicht, während in vielen Fällen die Werkstoffpalette seit rund 50 Jahren unverändert blieb. Um neue Anwendungen zu ermöglichen, muss auf der Werkstoffseite eine sehr hohe Forschungstiefe erreicht werden. Wir wollen uns in der nächsten Zeit vorrangig mit oxidkeramischen Werkstoffen aus dem System  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  und Hartmetallen beschäftigen.

**Redaktion:** Orientieren sich die Arbeiten dann nur noch auf die Werkstoffe?

**Dr. Berger:** Nein. In den letzten Jahren haben wir das Suspensionsspritzen etabliert. Diese neue Technologie verwendet an Stelle des Pulvers im APS und HVOF Suspensionen, die sich im Spritzprozess ganz anders verhalten und neue Möglichkeiten eröffnen.

**Redaktion:** Was ist genau geplant?

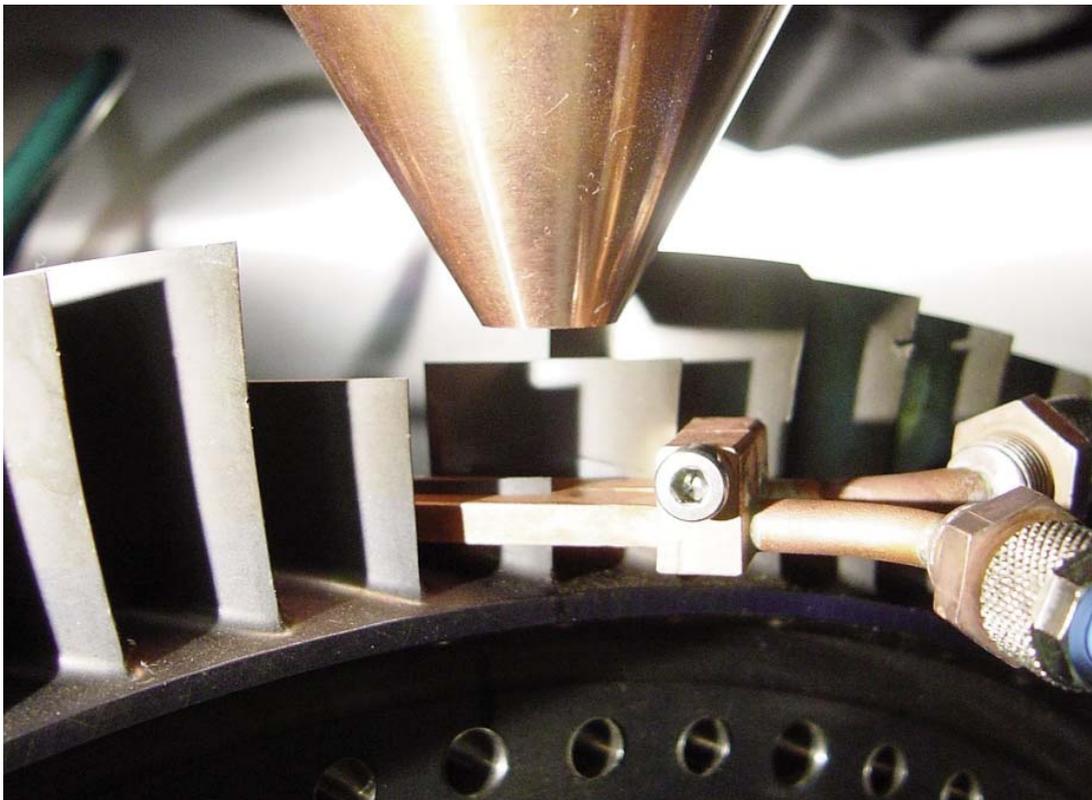
**Dr. Berger:** Prinzipiell setzen wir auf Multifunktionalität. Gerade das System  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  bietet überraschende Möglichkeiten. Hier gibt es sowohl elektrisch isolierende als auch elektrisch leitfähige Schichten. Beides wollen wir zu neuartigen funktionalen Schichtsystemen kombinieren, z. B. für Heizelemente, die nur aus gespritzten Schichten bestehen.

**Redaktion:** Und bei den Hartmetallschichten?

**Dr. Berger:** Hier wollen wir den breiten Schichteinsatz unter Ermüdungsbedingungen wie Rollkontakt ermöglichen. Dies galt bis vor Kurzem noch als unmöglich.



*Probleme sind verkleidete Möglichkeiten.  
Henry Ford I.*





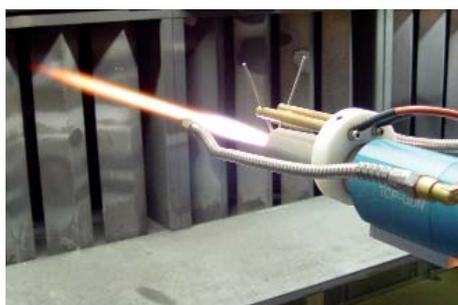
**Dr. Lutz-Michael Berger**  
Gruppenleiter Thermisches Spritzen  
(Tel. 2583 330,  
lutz-michael.berger@iws.fraunhofer.de)

### 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 das Flamm- und Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF) mit Pulvern und Suspensionen zur Verfügung.

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.



TopGun® HVOF-Pistole im Einsatz



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

### Beschichten, 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:

- Simulation von Auftragschweißprozessen,
- Beschichten und formgebendes Laser-Auftragschweißen mit höchster Präzision,
- Bearbeitungsköpfe und CAM-Software für die industrielle Nutzung der Lasertechnologie,
- Vor-Ort-Betreuung der Produktionseinführung in der Praxis.



Reparatur von Gasturbinenschaufeln durch Auftragschweißen mit Hochleistungs-Diodenlaser

### Beispiele aus den Arbeiten 2008

1. Simulation und Experiment zum Höchst-Präzisionsauftragschweißen mit dem Faserlaser 58
2. Prozeß- und Systemtechnik für das Laserstrahl-Auftragschweißen in der Triebwerksinstandsetzung 59
3. Thermisch gespritzte Hartmetallschichten für den Einsatz unter Rollermüdung 60
4. Elektrisch leitfähige keramische Schichten im System  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  61



## Simulation und Experiment zum Höchst-Präzisionsauftragschweißen mit dem Faserlaser

### Aufgabenstellung

Treibstoffeinsparung und Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes erfordern künftig höhere Wirkungsgrade und Leistungen stationärer Gas- und Flugturbinen. Dieses Ziel kann prinzipiell mit Hilfe höherer Heißgastemperaturen erreicht werden.

Um Schäden durch die damit verbundene hohe thermische Bauteilbelastung vorzubeugen, kommen bereits heute thermisch gespritzte Wärmedämmschichten, z. B. Yttrium-stabilisiertes Zirkondioxid (YSZ), zum Einsatz. Thermische und mechanische Lastwechsel können jedoch zum Versagen bis hin zum Abplatzen der Wärmedämmung führen, u. a. infolge von Oxidationsprozessen sowie aufgrund von Unterschieden der thermischen Dehnung zwischen der keramischen Schicht und den darunter liegenden metallischen Triebwerksteilen.

Mit Hilfe einer auf die Schichten abgestimmten filigranen Strukturierung der Bauteiloberfläche soll die Delaminationsgefahr durch geeignete Modifizierung der Spannungsverteilungen in der Schicht reduziert werden.

### Lösungsweg

Zur Strukturierung der Bauteiloberfläche bietet sich die Verwendung des Faserlasers mit höchster Strahlqualität an.

Aufgrund seiner exzellenten Strahlqualität lassen sich mit dem Faserlaser durch Laser-Pulverauftragschweißen sehr filigrane Strukturen bis zu reproduzierbaren Detailabmessungen von weniger als 70 µm auf Triebwerksteilen generieren (Abb. 2). Sie tragen dazu bei, die Haftung der Wärmedämmschichten durch Verklammerungseffekte und modifizierte Rissmuster zu verbessern.

### Ergebnisse

Während des schichtweisen Auftrags des keramischen Dämmmaterials durch thermisches Spritzen auf eine durch Laser-Auftragschweißen strukturierte Basisfläche ist die Ausbildung von Porositäten und Kavitäten möglich, die die Stabilität der Dämmschicht bei thermischer Wechselbelastung mitbestimmen.

Außerdem hat die Struktur Einfluss auf thermische Spannungen und ggf. Rissbildung in der Schicht. Aus diesem Grunde wurde am IWS ein Programm zur Vorhersage der Spritzschichtformation auf strukturierten Oberflächen entwickelt, um die Parameter der auftraggeschweißten Strukturen gezielt modifizieren zu können (Abb. 1). Die dazu benötigten Informationen zum Gleitverhalten der aufgespritzten Keramik während des Erstarrens werden aus dem Abgleich mit Schlibbildern gewonnen.

Die Simulation der Schichtbildung beim thermischen Spritzen hat das Verständnis der Wechselwirkung zwischen lasergenerierter Struktur und Keramikschicht verbessert. Diese Simulation bildet jetzt die Grundlage für die Optimierung der laserauftraggeschweißten Struktur mit Hilfe von numerischen Spannungsberechnungen und vergleichenden Experimenten. Hiermit können für verschiedene Strukturen Spannungsfelder berechnet und mit den beobachteten Rissmustern verglichen werden.

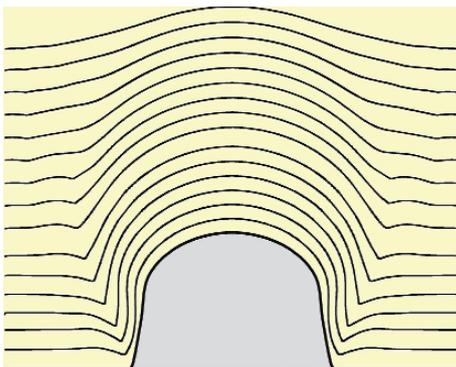


Abb. 1: Simulation der Schichtbildung beim thermischen Spritzen (gelb) auf laserauftraggeschweißte Oberflächen (grau)



Abb. 2: Mittels Faserlaser auftraggeschweißte Strukturierung einer Testprobe

 Ansprechpartner  
 Dipl.-Ing. Frank Brückner  
 Tel.: 0351 / 2583 452  
 frank.brueckner@iws.fraunhofer.de



## Prozeß- und Systemtechnik für das Laserstrahl-Auftragschweißen in der Triebwerksinstandsetzung

### Aufgabenstellung

Das Laser-Pulver-Auftragschweißen hat sich als Fertigungsverfahren zur schnellen und effizienten Reparatur von beschädigten Flugzeugtriebwerksteilen etabliert. In vergangenen Projekten, wie z. B. AWFORS und FLEXILAS konnte die Möglichkeit der Verarbeitung von Titan-Luftfahrtlegierungen nachgewiesen werden.

Das Ziel der hier vorgestellten Arbeiten bestand darin, eine für die ersten Verdichtungsstufen eines Flugzeugtriebwerkes bestimmte Blik zu reparieren. Deren Schaufeln unterliegen der höchsten Schadensgefahr durch angesaugte Fremdkörper und werden aufgrund ihrer Größe nicht vollständig regeneriert sondern nur teilweise aufgetragen. Der besondere Anspruch ergab sich aus der Tatsache, dass keine Möglichkeit der Kühlung und der Maskierung der Bearbeitungsstelle bestand. Zudem herrschte eine eingeschränkte Zugänglichkeit der zu bearbeitenden Regionen.

### Lösungsweg

In Zusammenarbeit mit der MTU Aero Engines GmbH wurden als Erweiterung des BMBF-Projekts FLEXILAS zunächst umfangreiche Untersuchungen zum Aufbau der gewünschten Geometrie durchgeführt.

Insbesondere bei der Fertigung der ersten Schweißlagen entsteht ein Wärmestau, der zum Anschmelzen der Schaufel und damit zur Zerstörung des Bauteils führen kann. Durch eine Reihe von Schweißversuchen konnte ein Wärmeregime erstellt werden, das den Auftrag der gewünschten Geometrie reproduzierbar ermöglichte (Abb. 2).

Der Prozess wurde in einer Argon-Atmosphäre durchgeführt, um Oxidation der reparierten Schaufeln weitestgehend zu vermeiden. Als Laserquelle kam ein 4,4 kW-Festkörperlaser zum Einsatz.

### Ergebnisse

Erwartungsgemäß bildete sich ein fehlerstellenfreies, für den Werkstoff charakteristisches, Gefüge in den übereinander geschweißten Einzellagen aus. Die Struktur ist dicht und feinkristallin. Durch epitaktisches Kristallwachstum von Schweißblage zu Schweißblage ergibt sich eine grobe Überstruktur (Abb. 3).

Die Ergebnisse zeigen, dass die Zugänglichkeit der zu reparierenden Regionen an diesen komplizierten Blik-Geometrien deutlich eingeschränkt ist. Aus diesem Grunde wurde während des Projekts die Pulverdüsenfamilie COAXn um die neue COAX13, eine sehr schlanke Ausführung, erweitert (Abb. 1). Mit einer Länge von 300 mm und einem Durchmesser von 31 mm lassen sich mit dieser Düse Reparaturen an Bliks mit Schaufelabständen von weniger als 20 mm durchführen. Das Pulver wird nicht über einen Ringspalt, sondern über speziell geformte und symmetrisch angeordnete Pulver/Gas-Kanäle zur Bearbeitungsstelle gefördert.

Derzeit werden die regenerierten Schaufeln beim Auftraggeber auf ihr Schwingverhalten untersucht.



Abb. 1: COAX13-Pulverdüse



Abb. 2: Reparierte Kantengeometrien an beschädigter Blik vor der Endbearbeitung

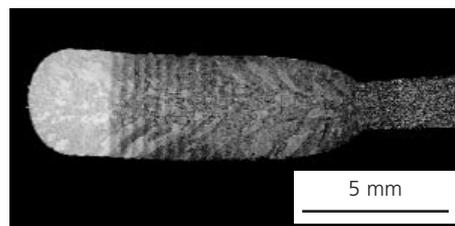


Abb. 3: Querschliff durch die aufgetragene Struktur, zu erkennen sind die Einzellagen und die lagenübergreifende Gefügestruktur

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Robert Münster  
Tel.: 0351 / 2583 188  
robert.muenster@iws.fraunhofer.de



## Thermisch gespritzte Hartmetallschichten für den Einsatz unter Rollermüdung

### Aufgabenstellung

Thermisch gespritzte Hartmetallschichten werden bis jetzt überwiegend zur Erhöhung des Widerstandes im Abrasions-, Erosions- und Reib-/Gleitverschleiß eingesetzt. Die Anwendung moderner Spritztechnologie (Hochgeschwindigkeitsflamspritzen - HVOF) in Kombination mit weiterentwickelten Beschichtungswerkstoffen besitzt das Potenzial, auch den Einsatz beschichteter Bauteile unter hohen Wälzbelastungen, z. B. in Leistungsgetrieben, zu ermöglichen.

### Lösungsweg

In einer **Wirtschaftsorientierten Strategischen Allianz (WISA)** innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft werden zusammen mit den Fraunhofer-Instituten IKTS, LBF und IWU neue Lösungsansätze erarbeitet, um die Leistungsgrenzen für thermisch gespritzte Schichten zu erweitern und so die Entwicklung neuer Anwendungen für hochbelastete Bauteile zu ermöglichen. In diesem Projekt wird die gesamte Technologieketten betrachtet und die Einflüsse auf die Anwendungseigenschaften hin untersucht. Im IWS steht hierbei die Entwicklung, Herstellung sowie die mikrostrukturelle Charakterisierung der thermisch gespritzten Schichten im Vordergrund.

### Ergebnisse

Ausgehend von Voruntersuchungen zum Wälzfestigkeitsverhalten von Rollenproben aus einsatzgehärtetem 16MnCr5, beschichtet mit WC-17%Co, wurden in den aktuellen Versuchsreihen die Untersuchungen mit ungehärtetem Substrat 16MnCr5, normalisiert, mit einer Härte von HB190 und den

kommerziell erhältlichen Beschichtungswerkstoffen WC-17%Co und WC-(W,Cr)<sub>2</sub>C-7%Ni, begonnen. Abb. 2 zeigt die Mikrostruktur der WC-(W,Cr)<sub>2</sub>C-7%Ni-Schicht. Die Proben wurden mit zwei unterschiedlichen Schichtdicken, 100 und 600 µm, mit einem HVOF-Verfahren gefertigt, so dass das Vergleichsspannungsmaximum unter Hertzscher Pressung unterhalb der Schicht im Substratwerkstoff (100 µm) oder in der Schicht (600 µm) liegt. Die Wälzfestigkeitsuntersuchungen wurden am Fraunhofer LBF Darmstadt in einem ZF-Rollenprüfstand mit einem Schlupf von -24 % und Getriebeöl SAE80 mit einer Temperatur im Wälzkontakt von 80 °C durchgeführt.

Die experimentellen Ergebnisse beschichteter Rollenproben zeigen, dass die Beschichtung zu einer höheren Beanspruchbarkeit gegenüber unbeschichteten Proben führt. Speziell mit der Schichtdicke von 600 µm wurden trotz Verwendung eines ungehärteten Substratwerkstoffs ertragbare Hertz'sche Pressungen erreicht, die einem einsatzgehärteten 16MnCr5 überlegen sind. Selbst nach 50 Mio. Überrollungen bei einer Hertz'schen Pressung von 2000 MPa zeigen die Proben keine nennenswerten Anzeichen von Verschleiß (Abb. 1). Bei einer weiteren Steigerung der Belastung erweist sich der relativ weiche Substratwerkstoff als versagensrelevant. Neben der weiteren Qualifizierung von unterschiedlichen Beschichtungswerkstoffen wird daher im weiteren Verlauf dieses Projektes auch der Einfluss der Substrathärte auf die Beanspruchbarkeit untersucht.

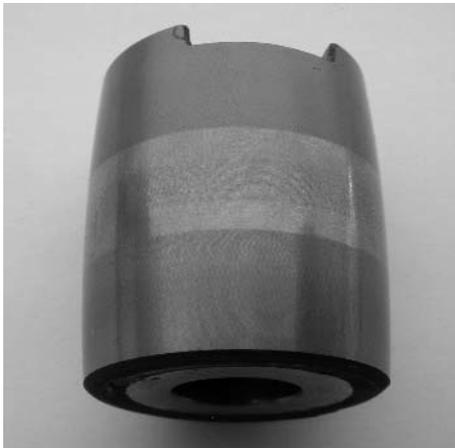


Abb. 1: WC-(W,Cr)<sub>2</sub>C-7%Ni-beschichtete Probe nach dem Rollermüdungstest ohne Schädigung

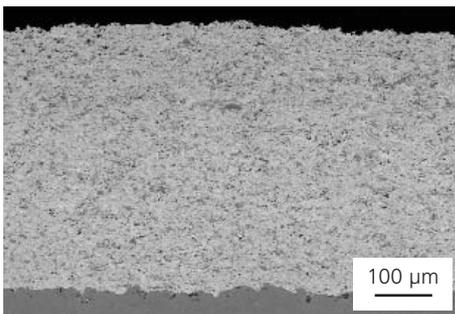


Abb. 2: Mikrostruktur der WC-(W,Cr)<sub>2</sub>C-7%Ni-Schicht für den Einsatz unter Rollermüdung (REM-Aufnahme)

Ansprechpartner



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



## Elektrisch leitfähige keramische Schichten im System $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$

### Aufgabenstellung

Obwohl thermisch gespritzte Schichten aus dem System  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  ein hohes Potenzial aufweisen, werden Schichten aus diesem System bislang kaum eingesetzt. Lediglich einige diskrete Mischungsverhältnisse im  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -reichen Gebiet werden kommerziell als Spritzwerkstoff angeboten. Das Forschungsziel eines von der AiF geförderten Vorhabens war daher die wissensbasierte Entwicklung von technisch nutzbaren Schichten der  $\text{TiO}_2$ -reichen Seite des Systems  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  mit der Struktur der Magnéli-Phasen. Im Vordergrund der Untersuchungen standen die tribologischen und die elektrischen Eigenschaften. Sogenannte Magnéli-Phasen auf der  $\text{TiO}_2$ -reichen Seite weisen als Besonderheit für oxidkeramische Werkstoffe eine elektrische Leitfähigkeit auf.

### Lösungsweg

Unter den vielfältigen Verfahren des thermischen Spritzens eignet sich insbesondere das atmosphärische Plasmaspritzen (APS) zur Verarbeitung von  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ -Werkstoffen. Darüber hinaus wurde als zweites Verfahren das Hochgeschwindigkeitsflamspritzen (HVOF) gewählt. Mit beiden Verfahren wurden Schichten aus dem gesamten System  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  hergestellt. Dafür wurden auf der  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -reichen Seite kommerzielle, und auf der  $\text{TiO}_2$ -reichen Seite fünf im Fraunhofer IKTS hergestellte experimentelle Spritzpulver verwendet. Die elektrischen Eigenschaften der Schichten wurden mit den Mikrostrukturen und Phasenveränderungen korreliert.

### Ergebnisse

Bei thermoanalytischen Untersuchungen an zwei der experimentellen Beschichtungspulver bis  $1500\text{ °C}$  konnte nachgewiesen werden, dass unter diesen Bedingungen kein Verlust an  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  auftritt, der mit Einschränkungen der Anwendbarkeit der Werkstoffe verbunden wäre. Nach entsprechenden Optimierungen konnten mit den beiden Spritzverfahren APS und HVOF homogene und porenarme Schichten hergestellt werden (Abb. 2). Durch die Spritzprozesse kommt es zu erheblichen Veränderungen der Phasenzusammensetzungen, die in einigen Pulvern vorhandene E-Phase und  $\text{TiCr}_2\text{O}_5$  wurden in den Schichten nicht gefunden.

Das Eskolait-Gitter ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) findet sich als alleinige Phase in den Schichten der  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -reichen Seite. In den APS-gespritzten Schichten kann Eskolait als Nebenphase bis hin zur Zusammensetzung  $76,5\% \text{ TiO}_2 - 23,5\% \text{ Cr}_2\text{O}_3$  nachgewiesen werden. Als Hauptbestandteile in den Schichten auf der  $\text{TiO}_2$ -reichen Seite finden sich Rutilmischkristalle und die Hochtemperatur-Magnéli-Phase (n-Phase).

Beim spezifischen Widerstand der Schichten ergibt sich eine Abhängigkeit der Eigenschaften vom  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Gehalt. Abb. 1 demonstriert diesen Zusammenhang für APS- und HVOF-gespritzte Schichten. Der spezifische Widerstand von HVOF-gespritzten Schichten ist dort, wo Werte für beide Verfahren vorliegen, etwas höher als der der APS-gespritzten Schichten. Die erwarteten niedrigen spezifischen Widerstände auf der  $\text{TiO}_2$ -reichen Seite und die Abhängigkeit von der Phasenzusammensetzung wurden bestätigt. Als hochtemperaturstabile, elektrisch leitfähige keramische Schichten besitzen sie ein hohes Anwendungspotenzial.

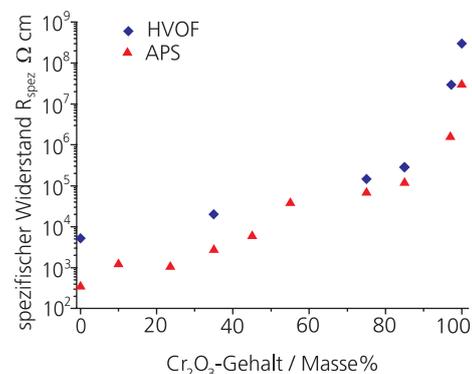


Abb. 1: Spezifischer Widerstand der APS- und HVOF-gespritzten Schichten in Abhängigkeit vom  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Gehalt

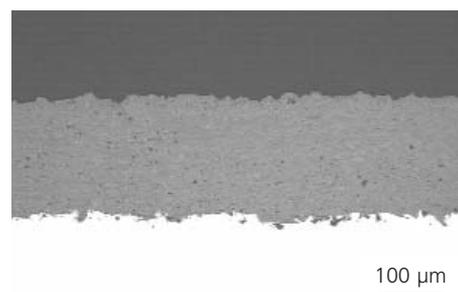


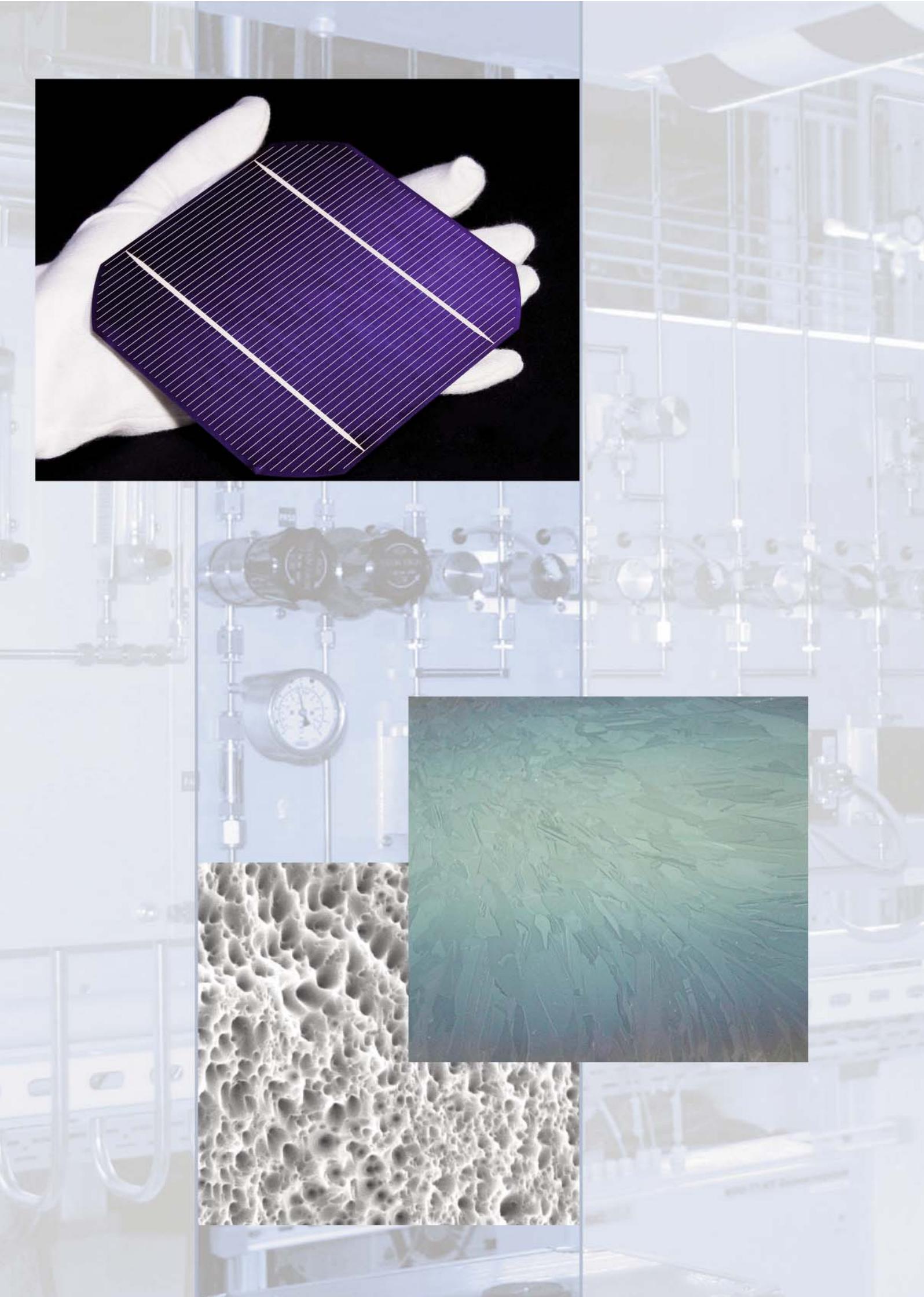
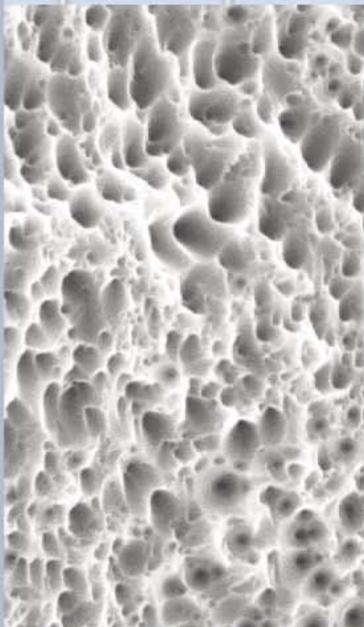
Abb. 2: Lichtmikroskopische Aufnahme der APS-gespritzten Schicht der Zusammensetzung 65/35.

Ansprechpartner

Dr. Lutz-Michael Berger  
Tel.: 0351 / 2583 330

lutz-michael.berger@iws.fraunhofer.de





## Forschungs- und Entwicklungsangebot: CVD-Dünnschichttechnologie

**Redaktion:** In Ihrer Abteilung werden CVD-Prozesse für großflächige Beschichtungen entwickelt. Welche Herausforderungen stehen für Sie im Vordergrund?

**Prof. Kaskel:** Neue Lösungen im Bereich der Dünnschichttechnik profitieren von einer parallelen Prozess- und Anlagenentwicklung. Wir sehen dabei insbesondere Herausforderungen und Lösungsansätze im Bereich der Photovoltaikindustrie, für die wir sowohl Anlagen als auch Prozesse neu konzipieren. Die Abteilung hat sich dabei auf chemische Gasphasenabscheidungen bei Atmosphärendruck fokussiert. Damit sehen wir eine Möglichkeit, dem wachsenden Kostendruck in der Solarindustrie zu begegnen und das sowohl im Bereich multikristalliner Solarzellen als auch in den sich nun stärker ausbreitenden Dünnschichtsystemen. Der Vorteil liegt auf der Hand: Während Vakuumtechniken durch die komplexe Anlagentechnik zu hohen Investitionskosten und hohem Platzbedarf führen, können kompakte Beschichtungsköpfe, die bei Atmosphärendruck arbeiten, einfach an das zu beschichtende Bauteil herangeführt werden und erlauben eine kontinuierliche Prozessführung.

**Redaktion:** Welche neuen Ergebnisse gibt es aus diesem Anwendungsgebiet der Photovoltaik?

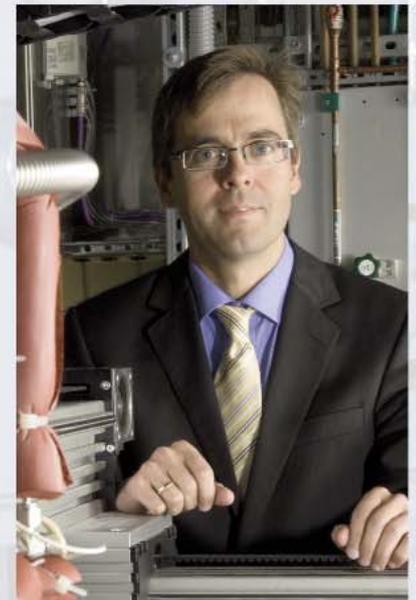
**Prof. Kaskel:** Im Jahr 2008 konnten wir die von uns entwickelte Arc-Technologie entscheidend verbessern. Wir sind damit heute in der Lage, homogene Beschichtungen mit bis zu 25 cm Breite in Durchlaufreaktoren zu realisieren. Die nächste Ausbaustufe wird im kommenden Jahr bis zu 60 cm breite Bauteile kontinuierlich beschichten können.

Für die Herstellung von Solarzellen haben wir einen kontinuierlichen Plasma-Ätzprozess entwickelt, der zu einem höheren Wirkungsgrad der Zellen führt. Unsere Antireflexbeschichtungen erhöhen die Lichteinkopplung. Im Vergleich zum etablierten Prozess ist bei diesem Verfahren kein Vakuum notwendig, so dass eine kontinuierliche Prozessierung möglich ist.

CVD-Methoden bei Atmosphärendruck bieten aber auch Vorteile in der Dünnschichtphotovoltaik. So haben wir im Jahr 2008 Prozesse zur Herstellung von transparenten leitfähigen Oxiden entwickelt, welche die Grundlage für die Dünnschichtzellen bilden.

**Redaktion:** Welche Rolle spielt das Monitoring in der Prozessentwicklung?

**Prof. Kaskel:** Unsere Prozesse wären nur halb so effizient, wenn wir nicht über modernste inline-Monitoringmethoden verfügen würden wie z. B. die Laserdiodenspektroskopie, um Spuren von Wasser in Prozessen nachweisen zu können. Mit diesen Methoden können wir den Nutzungsgrad von Precursoren stark optimieren. Zudem erlaubt das Monitoring, Prozesse sicher und umweltgerecht zu gestalten und die Emission von giftigen Substanzen zu verhindern. Im Jahr 2008 haben wir diesen Bereich stark ausgebaut, weil sich gezeigt hat, dass sich die von uns entwickelten Monitoringtechniken auch hervorragend zur Qualitätssicherung und Steuerung von Produktionsprozessen in der chemischen Industrie eignen. Das Spektrum reicht dabei von einfachen Trocknungsprozessen bis hin zur Herstellung von Nanopartikeln.



*Neue Herausforderungen  
sind wunderbare Gelegenheiten,  
Neues über sich selbst zu erfahren.  
Ernst Ferstl*



**Prof. Stefan Kaskel**  
Abteilungsleiter  
(Tel. 2583 331,  
stefan.kaskel@iws.fraunhofer.de)

#### Beispiele aus den Arbeiten 2008

1. Prozessmonitoring in der Solarzellenfertigung 68
2. Atmosphärendruckplasmen für großflächige Anwendungen in der Photovoltaik 69
3. Transparente Oxide (TCO) für Solarzellen 70
4. Ultrabarriereigenschaften werden endlich messbar! 71





**Dr. Ines Dani**  
Gruppenleiterin CVD-Technologie  
(Tel. 2583 405,  
ines.dani@iws.fraunhofer.de)



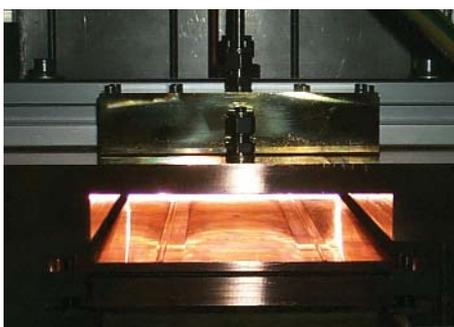
**Dr. Wulf Grählert**  
Gruppenleiter Prozess-Monitoring  
(Tel. 2583 406,  
wulf.graehlert@iws.fraunhofer.de)



**Dr. Holger Althues**  
Gruppenleiter Chem. Oberflächen-  
technologie  
(Tel. 2583 476,  
holger.althues@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.

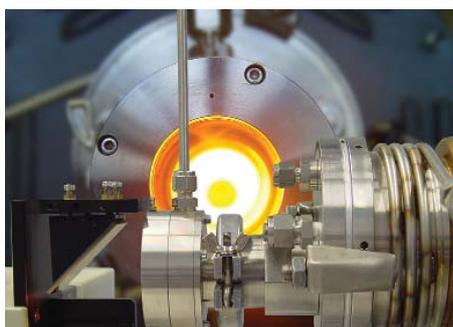


Blick in den Beschichtungsraum der ArJet-PECVD-Anlage

### 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.

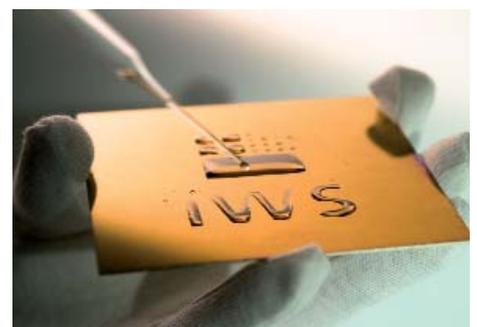
Weiterhin werden Bauteiloberflächen und Schichtsysteme mit spektroskopischen Methoden wie FTIR-Spektroskopie, Spektro-Ellipsometrie oder Raman-Mikroskopie charakterisiert.



FTIR-Monitoring von Hochtemperaturprozessen

### Chemische Oberflächentechnologie

An die Oberflächeneigenschaften und -funktionen vieler Werkstoffe und Materialien werden je nach Anwendung unterschiedlichste Anforderungen gestellt. Das reicht von Korrosions- oder Kratzschutzeigenschaften über Antifingerprint- oder selbstreinigende Effekte bis zur elektrischen Leitfähigkeit oder optischen Transparenz. An Oberflächen von Funktionselementen z. B. in elektronischen Bauteilen werden oft ganz spezielle Anforderungen gestellt. All diese Eigenschaften können durch das Auftragen funktioneller Schichten oder durch Oberflächenbehandlungen eingestellt werden. Für diesen Schritt sind preisgünstige Verfahren für ein kontinuierliches und großflächiges Prozessieren notwendig. In der Arbeitsgruppe Chemische Oberflächentechnologie werden entsprechende chemische gasphasenbasierte (CVD) und nasschemische Verfahren entwickelt, für die Generierung verschiedener Funktionen auf unterschiedlichen Materialoberflächen eingesetzt und miteinander kombiniert.



Hydrophil / hydrophob-strukturierte Oberfläche auf einem Edelstahlblech

## Prozessmonitoring in der Solarzellenfertigung

### Aufgabenstellung

Atmosphärendruck-Plasmaprozesse können unterschiedliche Verfahrensschritte in der Solarzellenfertigung als »Air-to-Air«-Durchlaufprozesse bedienen und gelten als chancenreich für die kommende Technologiegeneration. Sie besitzen ein hohes Potenzial, die derzeit genutzten nasschemischen Ätzschritte (Sägeschadenätzen, Texturierung, Kantenisolation, Phosphorsilikatglas- (PSG)-Ätzen) zu substituieren. Nicht-invasive inline-Messverfahren können dabei sowohl die Prozessentwicklung als auch eine spätere Prozesskontrolle effizient unterstützen.

### Ergebnisse

Die Auswertungen der inline-Messungen zeigten, dass - unabhängig vom verwendeten Ätzgas - das Reaktionsprodukt  $\text{SiF}_4$  die Schlüsselspezies der Ätzprozesse darstellt. Durch eine quantitative Auswertung der  $\text{SiF}_4$ -IR-Absorptionsbande und einer sich anschließenden Kalibrierung konnte die herkömmliche gravimetrische Bestimmung des Masseverlustes durch die inline-FTIR-Messungen ersetzt werden. Damit kann eine Berechnung wichtiger Prozessdaten wie die dynamische Ätzrate und die geätzte Dicke in Echtzeit d. h. ohne Probennahme erfolgen, bei einem Fehler von  $< 5\%$ . Ebenso kann mit Hilfe der inline-FTIR-Spektroskopie eine zuverlässige Überwachung des Phosphorsilikatglas-Ätzprozesses erfolgen. Die Konzentration der beim PSG-Ätzen gebildeten Phosphorverbindung  $\text{POF}_3$  kann anhand ihrer Absorptionsbande bei  $1418\text{ cm}^{-1}$  zuverlässig verfolgt werden, wobei das Unterschreiten von Schwellwerten zur Detektion des Endpunktes der PSG-Entfernung genutzt werden kann.

### Lösungsweg

Die FTIR-spektroskopischen inline-Messungen erfolgten im Abgasbereich, unmittelbar nach dem Plasmareaktor bei verschiedenen Ätzprozessen monokristalliner Siliziumwafer. Dabei wurde die chemische Zusammensetzung des Abgases in Abhängigkeit von den eingesetzten Ätzgasen und den Plasma-parametern untersucht. Anhand der Absorptionsspektren können Aussagen zur Prozesskinetik, Ätzgasausnutzung sowie über die Menge des geätzten Siliziums getroffen werden, woraus unmittelbar die relevanten Prozessparameter wie die geätzte Dicke sowie die dynamische Ätzrate berechnet werden können.

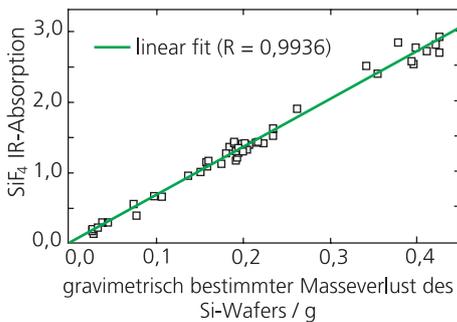


Abb. 1: Spektroskopische Kalibrierfunktion zur Bestimmung des Masseabtrags anhand der  $\text{SiF}_4$ -Konzentration

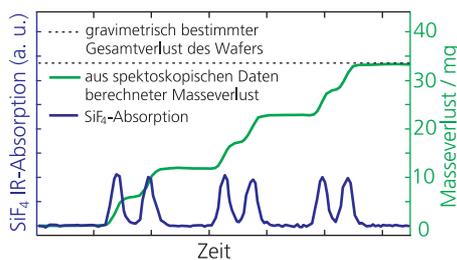


Abb. 2: FTIR-spektroskopische Bestimmung des durch Plasmaätzen verursachten Masseverlustes des Solarwafers in Echtzeit (der Wafer durchläuft mehrfach die Prozesszone)



Ansprechpartner

Dipl.-Chem. Matthias Leistner  
Tel.: 0351 / 2583 421

matthias.leistner@iws.fraunhofer.de

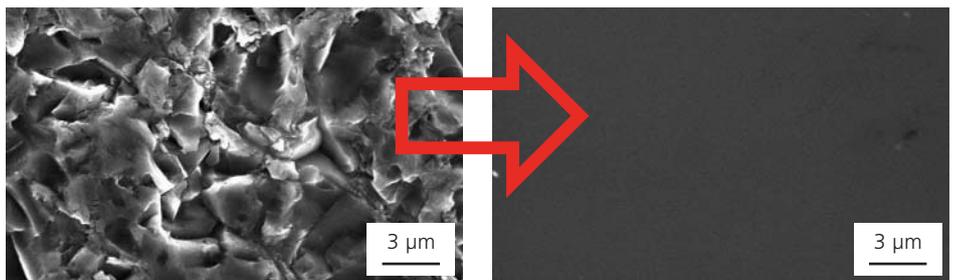


Abb. 3: Oberfläche eines Siliziumsolarwafers: links: mit Sägeschaden; rechts: nach dem Plasmaätzen



## Atmosphärendruckplasmen für großflächige Anwendungen in der Photovoltaik

### Aufgabenstellung

Kontinuierliche Fertigungsabläufe gewinnen in Anbetracht verbesserter Materialflüsse und verringerter Materialstärke der Wafer an Bedeutung. Durch die Einführung von inline-Plasmatechnologien für Ätz- und Beschichtungsschritte und dem Übergang von Vakuum- zu Atmosphärendruckprozessen kann ein vereinfachter Verfahrensablauf erzielt werden. Die Herausforderung besteht in der Entwicklung von großflächigen Plasmaquellen und Durchlaufreaktoren für einen Betrieb bei Atmosphärendruck.

### Lösungsweg

Es kommen zwei komplementäre Plasmaquellen für die Prozessierung von Wafern mit einer Größe von 156 x 156 mm<sup>2</sup> zum Einsatz: eine linear ausgedehnte Gleichspannungsbogenentladung (Abb. 2) und eine Mikrowellenplasmaquelle für Atmosphärendruck. Ein Gasgemisch aus Stickstoff und Argon strömt durch die Plasmaquellen. Die angeregten Plasmaspezies verlassen die Plasmaquelle und strömen in Richtung Substrat. Dort erfolgt die Zugabe des Ätzgases oder des schichtbildenden Precursors.

Als Ätzgase für Silizium werden die aus der Mikroelektronik bekannten Gase NF<sub>3</sub> und SF<sub>6</sub> verwendet; für die Abscheidung von Siliziumnitrid als Passivierungs- und Antireflexschicht werden sowohl Silan als auch ein metallorganischer Precursor und Ammoniak genutzt. Die Strömungsgeometrie in der Plasmaquelle und im Reaktor wird durch umfangreiche fluiddynamische Simulationen bestimmt (Abb. 3).

### Ergebnisse

Die Machbarkeit aller in Abb. 1 grün markierten Prozessschritte ließ sich im Labor erfolgreich nachweisen. Das am IWS entwickelte Verfahren zur Kantenisolation der Wafer bewies außerdem seine Wirksamkeit in mehreren industriellen Testserien. Dabei erfolgte die Behandlung der Wafer mit einem industriellen Standardprozess beim Industriepartner. Nur der Prozessschritt der Kantenisolation wurde am IWS durchgeführt, wobei der Emitter an der Rückseite des Wafers sowie an den Kanten plasmachemisch entfernt wurde. Die Ätzraten lagen bei Verwendung von NF<sub>3</sub> als Ätzgas im Bereich von 3,7 µm m<sup>-1</sup>. Im Wirkungsgrad übertrafen die so behandelten Solarzellen die mittels Laser kantenisolierten Referenzwafer um bis zu 1,6 % (rel.).

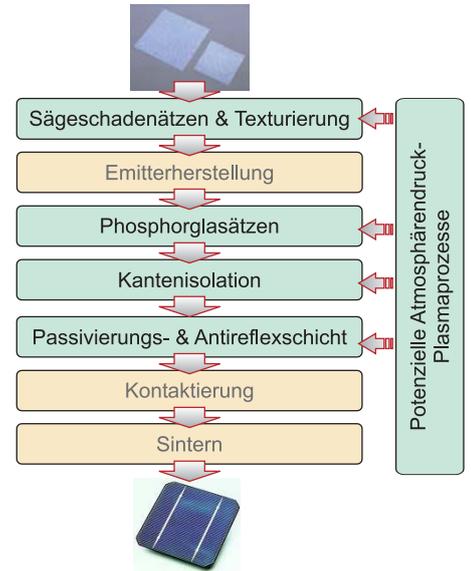


Abb. 1: Schematische Darstellung der Produktionskette von kristallinen Solarzellen; grün hervorgehoben die bisher untersuchten Prozessschritte



Abb. 2: Gleichspannungs-Lichtbogenplasmaquelle mit einer Arbeitsbreite von 250 mm

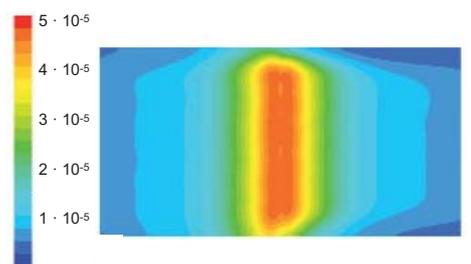


Abb. 3: Fluiddynamische Simulationsrechnung zur Schichtabscheidung innerhalb der Reaktionszone

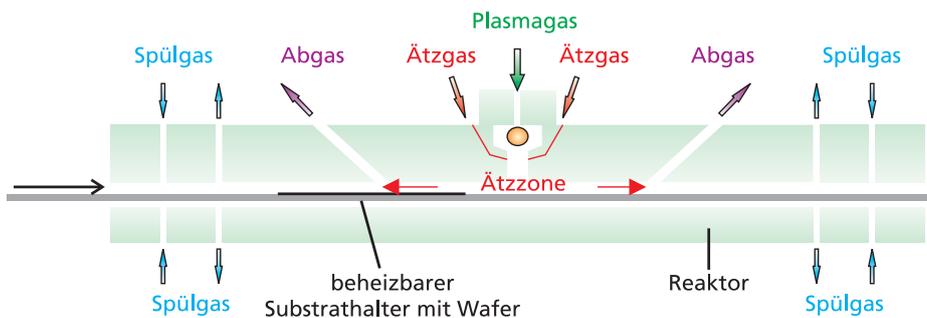


Abb. 4: Schematische Darstellung eines Atmosphärendruck-Reaktors zum plasmachemischen Ätzen

Ansprechpartner

Dr. Gerrit Mäder  
Tel.: 0351 / 2583 262  
gerrit.maeder@iws.fraunhofer.de



## Transparente leitfähige Oxide (TCO) für Solarzellen

### Aufgabenstellung

Transparente, leitfähige Oxide (TCO) finden breite Anwendung von beheizbaren Verglasungen bis zu transparenten Elektroden für Displays und Solarzellen.

Fluor-dotiertes Zinndioxid ( $\text{SnO}_2:\text{F}$ , FTO) stellt dabei eine preisgünstige Alternative zu dem viel verwendeten Zinn-dotierten Indiumoxid ( $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ , ITO) dar. Für die Anwendung in der Dünnschichtphotovoltaik ist neben der hohen elektrischen Leitfähigkeit und der hohen Transparenz eine definierte Oberflächentextur zur effizienten Licht-einkopplung durch Streueffekte erforderlich (Abb. 1).

### Lösungsweg

Im Fraunhofer IWS werden chemische Gasphasenabscheidungsverfahren bei Atmosphärendruck (AP-CVD) entwickelt (Abb. 2). Durch diese Verfahren

sind großflächige, kontinuierliche Beschichtungen ohne Einsatz kostenintensiver Vakuumanlagen möglich. Verschiedene Metalloxide, wie auch  $\text{SnO}_2:\text{F}$ , können mittels AP-CVD bei milden Temperaturen ( $< 400\text{ }^\circ\text{C}$ ) auf unterschiedlichen, auch temperaturempfindlichen Materialien, wie z. B. Vergütungsstähle, Aluminium oder vorgeformtes Glas, abgeschieden werden. Die Schichten können homogen, konformal und haftfest mit Dicken bis zu 1000 nm aufgetragen werden.

### Ergebnisse

Mit dem AP-CVD Verfahren erfolgte die Beschichtung verschiedener Substrate bei Abscheidetemperaturen zwischen  $200\text{ }^\circ\text{C}$  und  $350\text{ }^\circ\text{C}$  mit FTO. Die Schichten wurden auf ihre optischen, strukturellen und elektrischen Eigenschaften untersucht.

So wiesen beschichtete Gläser eine hohe diffuse Transmission von über 85 % im sichtbaren Wellenlängenbereich auf. Mittels Röntgendiffraktometrie wurde eine hohe Kristallinität (Rutil-Struktur) festgestellt. Durch AFM-Aufnahmen konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, sowohl glatte, als auch stark texturierte Schichten abzuscheiden. Die Variationsbreite der Oberflächenrauheiten lag im Bereich von  $R_a = 7\text{ nm}$  bis  $R_a = 40\text{ nm}$ . Die Flächenwiderstände wurden mittels 4-Punkt-Methode bestimmt und Werte von nur  $10\ \Omega / \square$  und spezifische Widerstände von  $10^{-3}\ \Omega\text{ cm}$  wurden ermittelt. Die FTO-Schichten haben auf Grund ihrer Eigenschaftskombinationen (Transparenz, Leitfähigkeit, einstellbare Oberflächentextur) ein hohes Potenzial zur Verwendung als Elektrodenmaterial für Photovoltaik- und Beleuchtungsanwendungen. Das AP-CVD-Verfahren ist dabei insbesondere für die Beschichtung großflächiger Substrate bei Temperaturen  $< 400\text{ }^\circ\text{C}$  geeignet.

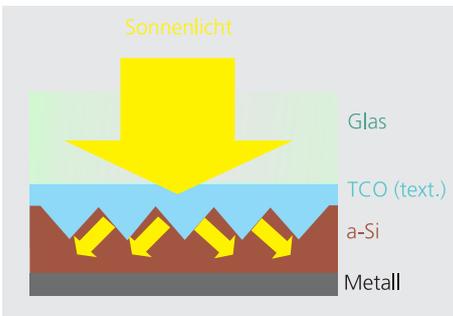


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer Dünnschicht-Solarzelle



Abb. 2: Beweglicher AP-CVD-Beschichtungskopf zur Abscheidung auf Substratgrößen bis  $300 \times 300\text{ mm}^2$



Ansprechpartner

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

thomas.abendroth@iws.fraunhofer.de



## Ultrabarriereigenschaften werden endlich messbar!

### Aufgabenstellung

Verpackungsmaterialien für Lebensmittel, Pharmazeutika sowie Verkapselungsmaterialien für elektronische Schaltungen und Bauelemente haben eine gemeinsame Funktion: neben dem rein mechanischen Schutz sollen sie vor allem die Produkte vor atmosphärischen Gasen wirksam schützen und somit deren Qualität, Haltbarkeit und Stabilität sichern und erhöhen. Zur Unterdrückung der sogenannten Gaspermeation - also dem Gastransport durch einen Feststoff - werden häufig flexible, z. T. beschichtete Materialien mit Barriereigenschaften, d. h. mit Permeationsraten von z. B.  $P < 10^{-2} \text{ g [H}_2\text{O] m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  eingesetzt. Gerade beim Einsatz von neuartigen technisch hochwertigen Anwendungen, wie z. B. flexible OLED-Displays (Abb. 2) werden extrem hohe Anforderungen an die Barrierschichten gestellt. Eine zur Evaluierung der Barrierewirkung geeignete Messtechnik mit Nachweisempfindlichkeiten von bis zu  $10^{-6} \text{ g [H}_2\text{O] m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  ist derzeit jedoch noch nicht verfügbar.

### Lösungsweg

Um Nachweisempfindlichkeiten zu realisieren, die deutlich unter denen kommerziell verfügbarer Permeationsmesssysteme liegen ( $P < 5 \cdot 10^{-4} \text{ g [H}_2\text{O] m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), wurde am IWS ein neuartiges Messkonzept entwickelt, das auf der Laserspektroskopischen Spurengasanalytik basiert. Neben der Fähigkeit, Gase im Ultraspurenbereich (ppb) sicher detektieren zu können, tritt aufgrund des optischen Messprinzips weder ein Sensor drift noch eine Hysterese durch Sättigung des Sensors auf. Zudem kann der Permeatentransport zum Sensor entfallen, da eine optimale Messdatenerfassung in unmittelbarer Nähe zur Probe möglich wird. Abhängig von den erwarteten Permeationsraten kann mit dieser Anordnung sowohl eine

klassische dynamische Messung, als auch - für höchste Empfindlichkeiten - eine statische Messung realisiert werden. Ein Parallelbetrieb mehrerer Permeationsmesszellen durch Umschalten einer Laserquelle erhöht weiterhin die Produktivität des Messsystems und vermeidet die bei der Umschaltung der Gasströme auftretenden Verschleppungseffekte.

### Ergebnisse

Das Permeationsmesssystem (Abb. 3) wurde zunächst für die Untersuchung der Wasserdampfdurchlässigkeit von (beschichteten) Folien konzipiert und getestet. Damit wird eine signifikante Verbesserung der Nachweisempfindlichkeit gegenüber herkömmlichen Geräten mit sicher nachweisbaren Permeationsraten von  $10^{-5} \text{ g [H}_2\text{O] m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  erreicht.

Abb. 1 zeigt eine typische Messkurve eines Ultrabarrierematerials. Nach der Konditionierungsphase erfolgt die Bestimmung der Hintergrundpermeation, die durch Desorptionsprozesse sowie kleinste Lecks verursacht wird. Mit der sich anschließenden Wasserinjektion in die Vorkammer erfolgt auch ein Anstieg der Wasserdampfkonzentration in der Messkammer, der durch die Permeationsrate des Barriermaterials bestimmt wird. Aus dem Konzentrationsanstieg kann, unter Berücksichtigung der Hintergrundpermeation, die Permeationsrate des Barriermaterials von  $3 \cdot 10^{-4} \text{ g [H}_2\text{O] m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  berechnet werden.

Eine Übertragung des Messprinzips und Messaufbaus auf weitere Permeationsgase ist durch die Wahl der Laserquelle möglich.

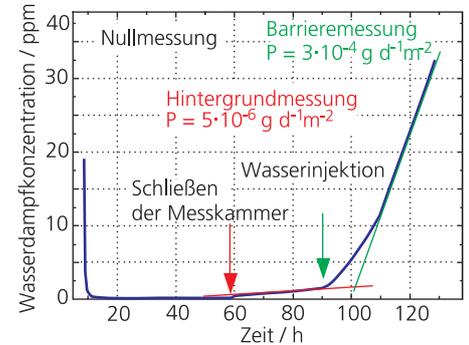


Abb. 1: Messkurve eines Ultrabarrierematerials, ermittelt durch statische Permeationsratenmessung,  $P = 3 \cdot 10^{-4} \text{ g [H}_2\text{O] m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

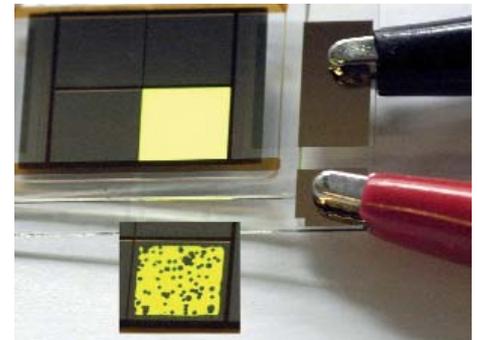


Abb. 2: OLED-Displays: mit (unten) und ohne (oben) Schädigung durch Feuchtigkeit

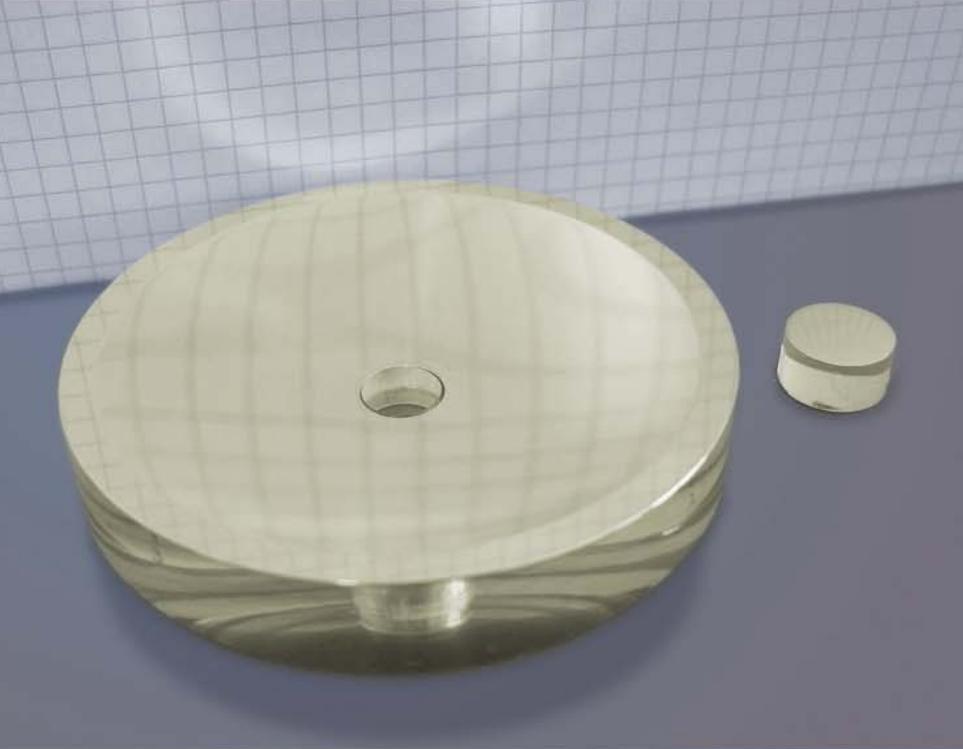
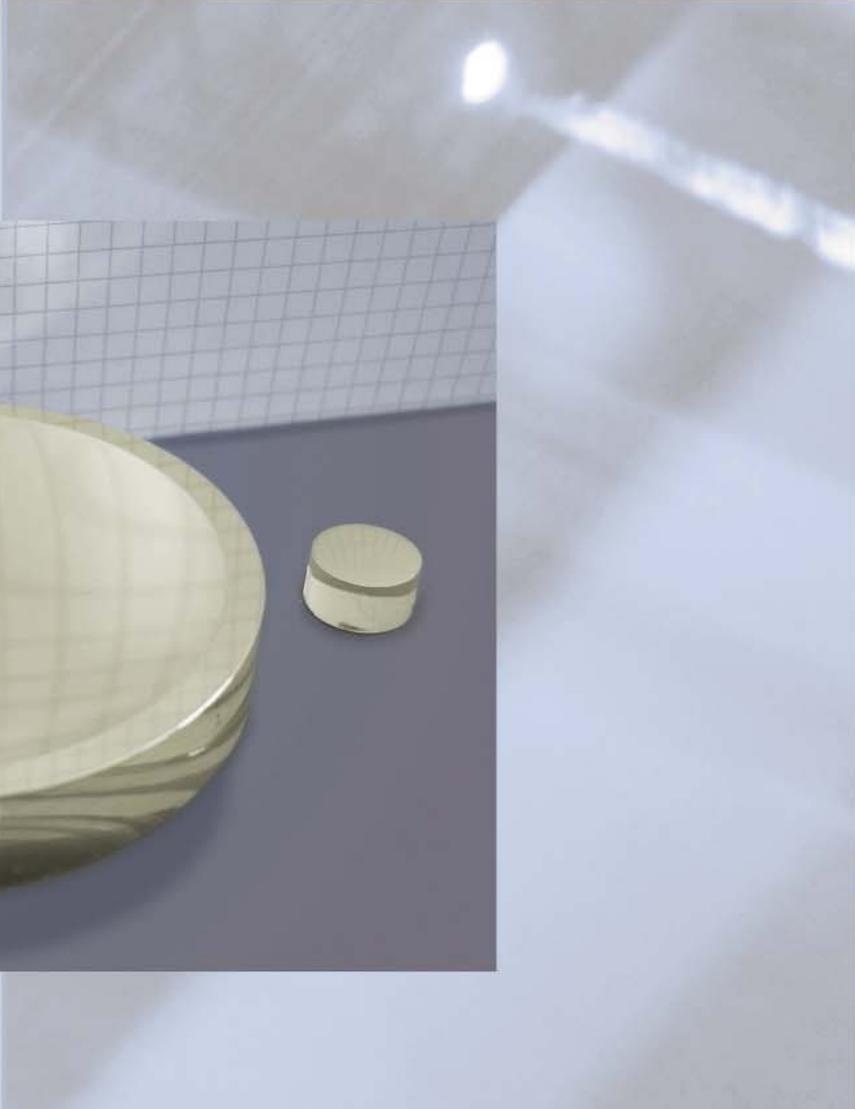


Abb. 3: Eingespannte Barrierefolie und geöffnetes Messsystem zur Bestimmung von Wasserdampfpermeationsraten mittels Laserdiodenspektroskopie

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Harald Beese  
Tel.: 0351 / 2583 356  
harald.beese@iws.fraunhofer.de





## Forschungs- und Entwicklungsangebot: PVD- und Nanotechnologie

**Redaktion:** Die Mitarbeiter in Ihrer Abteilung befassen sich mit den verschiedensten Aspekten und Anwendungen der PVD-Dünnschichttechnik. Welche besonderen Fortschritte hat es hierzu im Jahr 2008 gegeben?

**Dr. Leson:** Wir haben uns bei den klassischen Hartstoffschichten mit der Herstellung sehr dicker Schichten im Bereich größer 50 µm befasst. Üblicherweise werden solch dicke Schichten sehr inhomogen und neigen zur Ablösung. Durch ein spezielles Schichtdesign gelang es uns, dies zu verhindern. Damit lassen sich sehr dicke und zugleich glatte Schichten mit hoher Haftfestigkeit abscheiden, die sich mechanisch nachbearbeiten lassen. Interessante Anwendungen liegen bei der Herstellung von Maschinenkomponenten und Werkzeugen mit deutlich erhöhter Standzeit.

Bei den Kohlenstoffschichten konzentrieren wir uns weiterhin auf unsere Diamor®-Schichten, die aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften wie sehr hohe Härte und extrem niedrige Reibwerte ein besonders hohes Potenzial in der Automobilindustrie aufweisen. Im vergangenen Jahr gelang es uns, die Zuverlässigkeit von Diamor®-Schichtsystemen insbesondere unter extrem hohen Belastungen zu optimieren. Zusammen mit der von uns entwickelten Anlagentechnik liegen damit alle Voraussetzungen vor, um das hohe Potenzial der Schichten industriell zu nutzen.

**Redaktion:** Ihre Abteilung befasst sich darüber hinaus mit der Herstellung von einwandigen Kohlenstoffröhrchen, den so genannten Carbon Nanotubes. Wodurch heben sie sich von den vielen anderen Gruppen ab, die sich ebenfalls mit dem Thema befassen?

**Dr. Leson:** Wir haben ein Verfahren entwickelt, mit dem sich größere Mengen einwandiger Röhrchen in hoher Qualität herstellen lassen. Andere Gruppen und Hersteller konzentrieren sich dagegen auf die einfachere Herstellung mehrwandiger Röhrchen. Damit besitzen wir ein wichtiges Alleinstellungsmerkmal, denn die herausragenden Eigenschaften der Kohlenstoffröhrchen, die sie so interessant machen, lassen sich nur mit defektarmen einwandigen Röhrchen erzielen.

**Redaktion:** Neben den etablierten Themenfeldern, die in Ihrer Abteilung bearbeitet werden, haben Sie ja auch neue Themen aufgegriffen.

**Dr. Leson:** Ein besonders interessantes Thema, mit dem wir uns seit einiger Zeit intensiv befassen, stellen Reaktivmultischichten dar. Diese bestehen aus einem Nanometer-Schichtstapel zweier unterschiedlicher Materialien, die durch eine induzierte chemische Reaktion schlagartig Energie freisetzen können. Die Energiemenge kann durch die eingesetzten Materialien und die Dicke des Schichtstapels sehr genau dosiert werden. Gleiches gilt für die Reaktionsgeschwindigkeit, die ebenfalls exakt angepasst werden kann. In Verbindung mit Lötfolien lassen sich damit Bauteile hochpräzise fügen. Da die Wärme direkt im Fügespalt freigesetzt wird, ist zudem die thermische Belastung äußerst gering. Damit eignet sich dieses Verfahren insbesondere für die Mikroverbindungstechnik. Wir haben aber auch andere zukunftssträchtige Anwendungen im Blickpunkt, für die wir unterschiedliche Reaktivmultischichten entwickelt haben. Dabei profitieren wir von unserem Know-how bei der Multischichtabscheidung für EUV- und Röntgen-Optiken.



*Ideen halten sich nicht.  
Es muß etwas mit ihnen getan werden.  
Alfred North Whitehead*



**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:

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

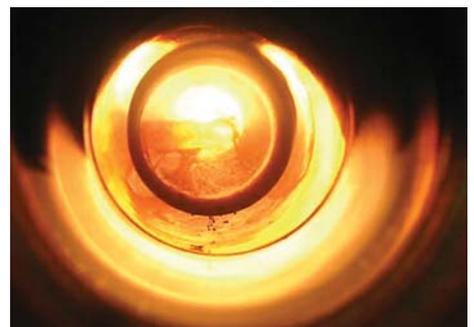


Spiegel mit Reflexionsbeschichtung

### 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 2008

1. Harte Schichten > 20 µm - neue Möglichkeiten für die Dünnschichttechnik 74
2. Optimierung hochbelasteter ta-C-Schichtsysteme 75
3. Nanometer-Reaktivmultischichten als präzise kontrollierbare Energiespeicher 76
4. Defektarme, sortenreine einwandige Carbon-Nanotubes mit definierten Eigenschaften für Anwendungsentwicklungen 77
5. Ionenstrahlbearbeitung optischer Oberflächen 78
6. Vielseitiges Diamor® - vom Zerspanen zur Grundlagenforschung 79



## Harte Schichten > 20 µm - neue Möglichkeiten für die Dünnschichttechnik

### Aufgabenstellung

Klassische Hartstoffschichten wie Nitride, Oxide und Kohlenstoffschichten werden mit PVD-Verfahren (physical vapor deposition) normalerweise in Dicken bis zu maximal 10 µm abgeschieden. Für spezielle Anwendungen sind Hartstoffschichten im Dickenbereich > 20 µm jedoch durchaus wünschenswert. Beispielsweise wären Maschinenkomponenten oder Werkzeuge mit deutlich erhöhten Standzeiten herstellbar. Auch ergibt sich aus einer größeren Schichtdicke die Möglichkeit, die Schichten nachzubearbeiten bzw. zu strukturieren.

Auf Grund von Eigenspannungen neigen dicke Schichten jedoch zu Ablösungen oder Rissbildung. Auch wird die Beschichtung mit zunehmender Dicke immer zeitaufwändiger und die Schichten werden inhomogener. Grund dafür ist das verstärkte Wachstum vorhandener Schichtdefekte, die sich bei PVD-Verfahren bisher nicht vollständig vermeiden lassen.

### Lösungsweg

Der Schlüssel zur Herstellung dicker Schichten mit PVD-Verfahren liegt demnach in der effektiven Behinderung des Wachstums vorhandener Defekte (z. B. Partikel bei der Arc-Beschichtung, dem bei diesen Untersuchungen eingesetzten Beschichtungsverfahren). Ein weiterer Punkt ist deren Einbettung in die Schichtstruktur, ohne diese zu stören.

Ausgangspunkt der Lösung ist der Gedanke, dass das Defektwachstum dann unterbrochen wird, wenn dieser mit einem anderen Werkstoff abgedeckt wird, der ein Wachstum in der Mikrostruktur des Defektes nicht zulässt. Somit ist eine Mehrlagenstruktur für eine Defektunterdrückung besonders sinnvoll. Untersuchungen mit verschiedenen Mehrlagenschichten zeigten, dass es möglich ist, das Wachstum vorhandener Defekte zu stoppen und eine nachfolgende Einebnung und Homogenisierung der Schichtstruktur zu erzielen (Abb. 1). Durch Minimierung der Einzellagendicken bis in den Nanometerbereich (Nanolayer) ist eine weitere Homogenisierung der Schichtstruktur möglich (Abb. 2).

### Ergebnisse

Unter Nutzung der Nanolayer-Schichtarchitektur wurden Schichten von mehr als 60 µm Dicke abgeschieden. Ein wichtiges Kriterium ist die mechanische Bearbeitbarkeit der Schichten (z. B. durch Schleifverfahren). Dies wurde an dick beschichteten Probekörpern aus Hartmetall demonstriert. In einen Probekörper wurde eine scharfe Kante eingeschleift, die einen Übergang von der Schicht zum Hartmetall hat, somit ist ein Vergleich möglich (Abb. 3). Die Kante im Schichtwerkstoff ist deutlich glatter und homogener als die im Hartmetall. Es sind keine Schichtschädigungen (z. B. Abplatzungen) und keine Defekte in der Schicht erkennbar. Die Schicht ist deutlich härter als das Hartmetall.

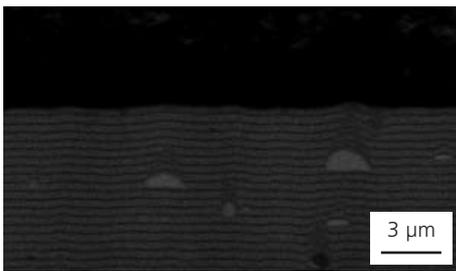


Abb. 1: Erfolgreiche Defekteinbettung und nachfolgende Schichteinebnung im System CrN/TiN,

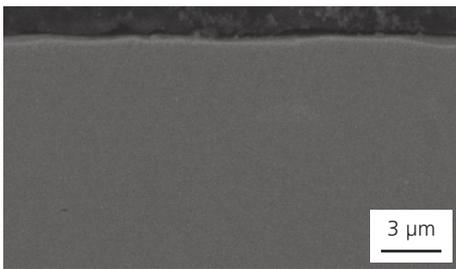


Abb. 2: Homogenisierung der Schichtstruktur durch Übergang zu Einzellagendicken von wenigen Nanometern (CrN/TiN)

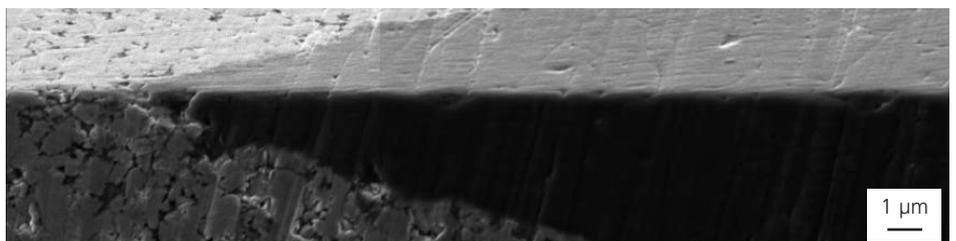


Abb. 3: Durch Schleifen hergestellte Kante im beschichteten Probekörper.



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



## Optimierung hochbelasteter ta-C-Schichtsysteme

### Aufgabenstellung

Diamantartige Kohlenstoffschichten (DLC) sind für ihre einzigartige Kombination von hoher Verschleißfestigkeit und niedriger Reibung bekannt und daher für zahlreiche Werkzeuge und Gleitkomponenten bereits im industriellen Einsatz. Problematisch sind jedoch hohe Druck-Eigenstressungen sowie die geringe Verformbarkeit der Schichten. Dadurch können bei höherer und vor allem dynamischer Belastung Schichtabplatzungen hervorgerufen werden. Die Anwendung von DLC-Schichten auf hochbelasteten Komponenten wie Zahnrädern ist daher Gegenstand der Forschungsarbeiten des Fraunhofer IWS.

### Lösungsweg

Bisherige Optimierungsansätze von a-C:H-basierten DLC-Schichten bestanden darin, durch eine Metall-dotierung die Schichtzähigkeit zu verbessern (Nachteile: höhere Reibung, höherer Verschleiß) bzw. durch eine Hartstoff-Unterschicht eine gewisse Stützwirkung zu erreichen (Nachteil: Zusatzaufwand).

Mit den am IWS entwickelten superharten ta-C-Schichten wird ein anderer Lösungsweg zur Erhöhung der Schichtstabilität verfolgt. Unter Vermeidung einer Reibwert erhöhenden Metall-Dotierung sowie zusätzlicher Grenzflächen im Schichtverbund wurden Schichtsysteme bestehend aus weichen grafitischen und harten diamantartigen Kohlenstofflagen entwickelt. Die Optimierung solcher Schichtsysteme erfolgte mit Unterstützung der Simulation von kritischen Spannungen im Schicht-Substrat-Verbund. Anhand der berechneten Spannungsverteilungen in verschiedenen vorgegebenen Schichtarchitekturen werden bei vorgegebener Belastung Schichtvarianten mit minimierten kritischen Spannungen herausgefunden.

### Ergebnisse

Zunächst erfolgte mit dem gepulsten Arc-Verfahren die Abscheidung von ca. 2,5 µm dicken ta-C und a-C-Schichten aus einer Graphitkathode. Durch Variation von Prozessparametern entstanden ta-C- bzw. a-C-Schichten mit unterschiedlichen Diamantbindungsanteilen, d. h. mit E-Modul-Werten zwischen 430 GPa und 180 GPa. Analog zum E-Modul verringerte sich die Druck-Eigenstressung der Schichten von 3 GPa auf 0,2 GPa.

Mit den gemessenen E-Modul- und Eigenspannungswerten erfolgte im nächsten Schritt die elastische Kontaktsimulation zur Ermittlung der optimalen Abfolge von harten und weichen Schichtlagen. Die berechneten Schichtstapel wurden anschließend auf Stahl-Testproben abgeschieden, um sie hinsichtlich ihrer Ermüdungsbeständigkeit zu charakterisieren. Dazu diente ein speziell entwickeltes Schwelllast-Tribometer, mit dem beschichtete Proben einer komplexen Beanspruchung aus dynamischer Pressung und oszillierender Gleitung unterliegen (Abb. 2).

Bei einer vorgegebenen mittleren Pressung erfolgte die Belastung der Proben bis zu einer Zyklenzahl, bei der es zu einer signifikanten Schichtschädigung kam. Abb. 1 zeigt die resultierenden Kennlinien einer optimierten ta-C/a-C-Mehrlagenschicht im Vergleich zu einer Standard-ta-C-Schicht in einer Wöhler-Darstellung. Es ist eine deutliche Steigerung der Belastbarkeit um ca. einen Faktor 100 in allen Lastbereichen erkennbar. Die Anwendung der optimierten Schichtsysteme erfolgt z. B. auf hochbelasteten Zahnrädern.

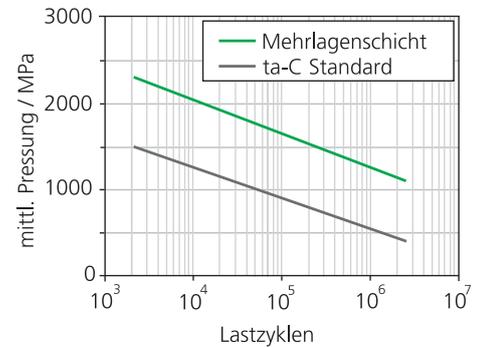


Abb. 1: Belastbarkeit zweier Schichttypen im Schwelllast-Tribometer (Wöhler-Darstellung)

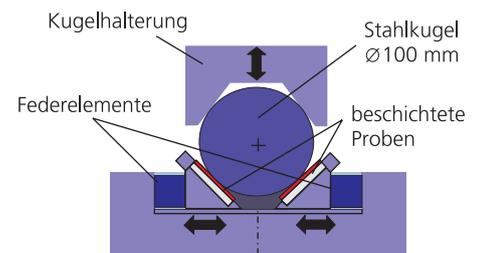


Abb. 2: Schematischer Aufbau des Schwelllast-Tribometers zur Charakterisierung der Belastbarkeit von Schichten unter geschmierten Bedingungen



Abb. 3: Mit einem optimierten ta-C / a-C-Mehrlagenschichtsystem beschichtetes Zahnrad

### Ansprechpartner

Dr. Volker Weihnacht  
Tel.: 0351 / 2583 247  
volker.weihnacht@iws.fraunhofer.de



## Nanometer-Reaktivmultischichten als präzise kontrollierbare Energiespeicher

### Aufgabenstellung

Zahlreiche industrielle Prozesse erfordern eine sehr definierte und kurzzeitige Freigabe von Energie. Beispielsweise darf beim Fügen von wärmpfindlichen Bauteilen nur sehr kurzzeitig die für das Herstellen der Verbindung notwendige Temperatur beaufschlagt werden, um eine Schädigung der Komponenten oder thermischen Verzug zu vermeiden.

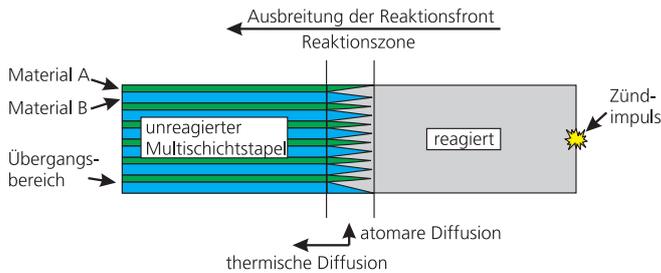


Abb. 1: Schematischer Aufbau- und Funktionsweise von Reaktivmultischichten

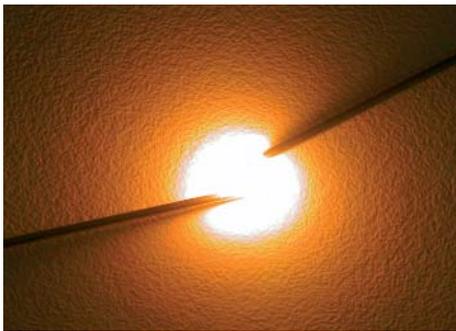


Abb. 2: Elektrische Zündung einer Reaktivmultischicht



Abb. 3: Freistehende Ni/Al-Reaktivmultischicht  
Dicke: 25 µm, Durchmesser: 50 mm

### Lösungsweg

Eine äußerst kontrollierbare Möglichkeit der Energiespeicherung und -freigabe bieten Nanometer-Multischichten. Bestehen diese aus Materialien, bei deren chemischer Verbindung Energie freigesetzt wird, kann durch den konkreten Aufbau der Reaktivmultischicht die Energiemenge präzise gesteuert und auf die jeweilige Anwendung ausgerichtet werden. Seit 2007 beschäftigt sich das Fraunhofer IWS in Dresden neben der Abscheidung hochpräziser Nanometermultischichten für Röntgen- und EUV-Optiken auch mit der Herstellung von Reaktivmultischichten (RMS). RMS bestehen aus mehreren hundert bis zu einigen tausend 10 - 100 nm dicken Einzelschichten von mindestens zwei unterschiedlichen Materialien, die exotherm miteinander reagieren (Abb. 1). Zur Herstellung der RMS mit Gesamtdicken von bis zu 100 µm werden physikalische Gasphasenabscheidungsverfahren wie Magnetron- und Ionenstrahl-Sputter-Deposition genutzt. Die RMS können dabei direkt auf die entsprechenden Bauteile beschichtet oder als freistehende Folien erzeugt werden, um eine hohe Flexibilität in der Anwendung zu erreichen.

In RMS ist eine definierte Menge chemischer Energie gespeichert, welche als lokale Wärmequelle genutzt werden kann. Nach Zündung der RMS durch eine externe Energiequelle, wie z. B. einen elektrischen Funken (Abb. 2) oder einem Laserpuls, wird eine atomare Interdiffusion der Multischichtmaterialien unter Freisetzung von Energie angeregt. Es kommt zur Ausbildung einer fortschreitenden Reaktionsfront, aus der in sehr kurzer Zeit eine hohe Wärmemenge in einem räumlich eng begrenzten Gebiet freigesetzt wird. Der Einsatz einer lokalen Wärmequelle in Form schnell reagierender Multischichtfolien zur Herstellung von Lötverbindungen minimiert den Wärme- und Spannungseintrag in angrenzende Bauteile, da die Wärme direkt im Fügespalt freigesetzt wird und eine äußere Erwärmung nicht mehr notwendig ist.

### Ergebnisse

Durch gezieltes Design der RMS können Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Reaktionsfront, freigesetzte Wärmemengen und maximal erreichbare Temperaturen beeinflusst werden. So können lokal Temperaturen von bis zu 2000 °C sowie Ausbreitungsgeschwindigkeiten von 2 - 20 m s<sup>-1</sup> erreicht werden. Neben der Weiterentwicklung bekannter Materialkombinationen wie Ni/Al oder Ti/Al werden im IWS derzeit alternative Materialsysteme untersucht, um ein möglichst breites Spektrum freisetzbarer Energien zu erhalten und neue Einsatzfelder wie z. B. den Einsatz von RMS zum Hartlöten zu eröffnen. Besonderer Wert wird auch auf die Aufskalierung der Beschichtungstechnik, sowie das Erzeugen großflächiger und freistehender reaktiver Folien gelegt (Abb. 3).



Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Georg Dietrich  
Tel.: 0351 / 2583 287  
georg.dietrich@iws.fraunhofer.de



## Defektarme, sortenreine einwandige Carbon-Nanotubes mit definierten Eigenschaften für Anwendungsentwicklungen

### Aufgabenstellung

Kohlenstoff-Nanoröhren (Carbon Nanotubes, CNTs) sind hoch interessant wegen ihrer zahlreichen Eigenschaftsrekorde. Um die besonderen Eigenschaften nutzen zu können, ist es jedoch in fast jedem Fall erforderlich, CNTs in Werkstoffverbünde zu integrieren. Besonders interessant ist es, wenn die gewünschten Eigenschaften von Basiswerkstoffen mit geringsten Zugaben von CNTs entscheidend verbessert werden können (z. B. elektrische Leitfähigkeit), während andererseits weitere Eigenschaften derselben Basiswerkstoffe (z. B. Transparenz) nahezu unverändert bleiben.

### Lösungsweg

Tatsächlich wurden sehr viele der außergewöhnlichen Eigenschaften, für die CNTs bekannt sind, nur mit einwandigen CNTs mit Durchmessern  $< 2$  nm erreicht, wobei hier in der Vergangenheit vor allem CNTs aus verdampfungsbasierten Verfahren überzeugen konnten. Daher hat das IWS ein lichtbogenbasiertes Verfahren zur Herstellung einwandiger CNTs in größeren Mengen entwickelt. Das Fraunhofer IWS ist derzeit der einzige Hersteller von nennenswerten Mengen einwandiger CNTs für Anwendungsentwicklungen in Deutschland.

### Ergebnisse

Die hergestellten einwandigen, ca. 1,2 nm durchmessenden CNTs sind sortenrein (keine mehrwandigen CNTs). Das Syntheseprodukt hat einen hohen CNT-Anteil von über 80 % (Abb. 1). Unsere einwandigen CNTs weisen bei vergleichbaren Eigenschaften je Röhren z. T. weniger als 1/1000 des Gewichtes mehrwandiger CNTs auf. Dies kann - da so nur geringe Mengen CNT für erhebliche Eigenschaftsände-

rungen benötigt werden - einen erheblichen Kosten- und Eigenschaftsvorteil für Werkstoffverbünde darstellen. Eine vollständige Oxidationsstabilität bei 550 °C sowie ein sehr hohes G / D-Peakhöhenverhältnis von ca. 20 : 1 in Raman-Spektren deuten zudem auf eine sehr niedrige Defektdichte auf den CNTs hin. Dies wird sich besonders bei Werkstoffverbünden, bei denen es auf große Festigkeits- und / oder Leitfähigkeitssteigerungen ankommt, auswirken. Zurzeit können auf Wunsch 10-100g-batches dieses hochqualitativen Materials für Forschungszwecke zur Verfügung gestellt werden.

### Anwendung von CNT-Schichten als transparente Elektrode

Besondere Eigenschaftskombinationen werden beobachtet, wenn die einwandigen CNTs als Dünnschicht eingesetzt werden. Die Auftragung der CNTs auf Oberflächen kann aus einer wasserbasierten Dispersion erfolgen (z. B. Sprühbeschichtung). Nach der Trocknung werden Schichten erhalten, die aus einem dünnen Netzwerk der CNTs aufgebaut sind (Abb. 2). Diese Schichten mit einer Dicke von 50 - 100 nm besitzen eine hohe Transparenz ( $> 70 - 85$  %), elektrische Leitfähigkeit (Schichtwiderstand 1 - 50  $k\Omega / \square$ ) und durch die Netzwerkstruktur eine hohe Flexibilität. Vergleichbare Eigenschaften sind mittels Leitruß oder auch mehrwandiger CNTs nicht erreichbar. Das Verfahren ist besonders geeignet, große Flächen, auch temperatursensible Substrate, zu beschichten. So können Polymerfolien mit einer transparenten, leitfähigen Beschichtung ausgestattet und beispielsweise als Elektrode für den Aufbau von flexiblen Elektrolumineszenzfolien eingesetzt werden (Abb. 3). Mögliche Anwendungsbereiche sind Elektroden für die Photovoltaik, weitere Beleuchtungsanwendungen sowie Einsatz in Dünnschichtlautsprechern.

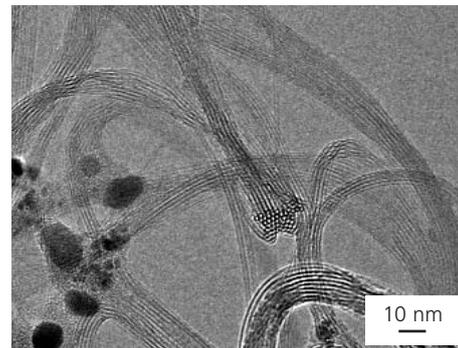


Abb. 1: Produkt mit  $> 80$  % einwandigen defektarmen Kohlenstoff-Nanoröhren, direkt nach dem Syntheseprozess

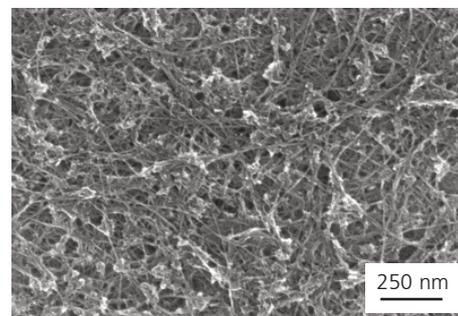


Abb. 2: Dünnschicht aus einwandigen CNTs



Abb. 3: Elektrolumineszenz-Bauteile mit transparenten Elektroden aus einwandigen CNTs

#### Ansprechpartner

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



Dr. Holger Althues  
Tel.: 0351 / 2583 476  
holger.althues@iws.fraunhofer.de



## Ionenstrahlbearbeitung optischer Oberflächen

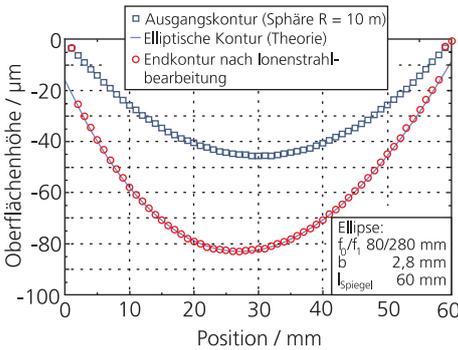


Abb. 1: Oberflächenprofile eines elliptischen Röntgenspiegels vor und nach der Bearbeitung

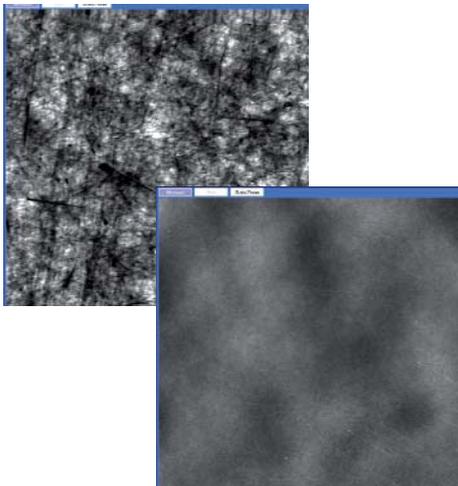


Abb. 2: AFM-Aufnahmen (20 x 20 μm<sup>2</sup>) der Quarz-Oberfläche vor (oben) und nach der Ionenstrahlbearbeitung (unten)

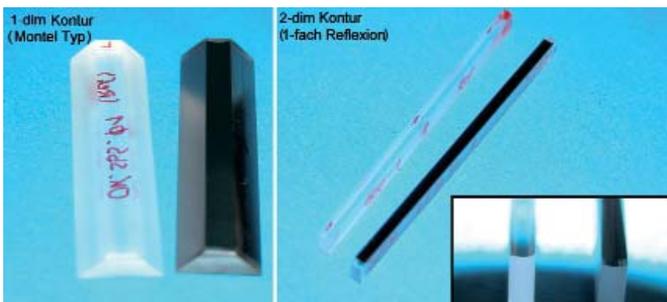


Abb. 3: Beispiele von 1- und 2-dimensional gekrümmten Röntgenspiegeln, jeweils vor und nach Ionenstrahlbearbeitung und -beschichtung

### Aufgabenstellung

Optische Oberflächen stellen höchste Anforderungen an die Bearbeitungstechniken, mit denen sie geformt, geglättet oder auch beschichtet werden. Konturtreue und Oberflächenrauheit sind wichtige Parameter und insbesondere für Röntgenoptiken schwierig realisierbar. Typische Röntgenspiegel weisen z. B. eine 2-dimensional gekrümmte, asphärische Kontur auf, die meist aus ebenen oder sphärischen Ausgangssubstraten (Silizium oder Quarzglas) gefertigt werden. Die Mikrorauheiten dieser entstehenden Oberflächen, aber auch der nachfolgenden Beschichtungen müssen dabei in der Größenordnung von 0,1 nm liegen, um ausreichende Reflektivitäten der Spiegel zu gewährleisten.

### Lösungsweg

Ionenstrahlen eignen sich wegen ihrer definierten und reproduzierbaren Wechselwirkung mit Festkörpern, bei gleichzeitig geringer Eindringtiefe, in besonderer Weise für die Bearbeitung von optischen Oberflächen. Dabei reichen die Möglichkeiten vom formgebenden Abtrag (Konturierung) über die Oberflächenpolitur und -reinigung bis hin zu ionengestützter Beschichtung.

In der Ionenstrahl-Sputteranlage »IonSys 1600« können alle oben genannten Bearbeitungsschritte zur Herstellung von (Röntgen-) Optiken in einer Anlage erfolgen, da hier einerseits ein primärer Ionenstrahl zum Zerstäuben des Beschichtungsmaterials

eingesetzt wird, andererseits ein zweiter, sogenannter Assiststrahl direkt auf das zu bearbeitende Substrat gerichtet ist. Zwischenbelüftungen und damit verbundene Oberflächenveränderungen werden dadurch vermieden. Die für jeden Prozessschritt spezifische Ionenenergie und -rate kann durch die zwei ECR-Ionenquellen im Bereich zwischen 50 und 2000 eV gezielt und stabil eingestellt werden. Aufgrund des auf linearen Ionenquellen beruhenden Anlagenkonzeptes können auch großflächige Substrate bis zu 500 x 200 mm<sup>2</sup> optischer Fläche homogen und reproduzierbar bearbeitet und beschichtet werden.

### Ergebnisse

Abb. 1 zeigt das mittels Lasertriangulation gemessene sphärische Ausgangsprofil eines 1-dimensional gekrümmten Quarzglas-Spiegels ( $R = 10\text{ m}$ ) sowie die nach der Bearbeitung erzielte elliptische Endkontur. Aus den Messdaten lässt sich ein Winkeltangentenfehler von  $\Delta\theta < 0,01^\circ$  ( $0,2\text{ mrad}$ ) zur Zielfigur abschätzen. Dieser Fehler entspricht etwa der Halbwertsbreite der Reflexionsmaxima (Bragg-Peaks) der nachfolgend aufgetragenen Multischicht.

Abb. 2 stellt die Anfangs- und Endrauhheiten dieser Quarzglasoberfläche in AFM-Aufnahmen gegenüber. Durch die Bearbeitung und Beschichtung der Optik sinkt die Mikrorauheit deutlich von 0,73 nm auf 0,26 nm (für 20 x 20 μm<sup>2</sup> AFM-Scanlänge). Abb. 3 zeigt Beispiele verschiedener, in der »IonSys 1600« prozessierter Röntgenoptiken.

**Ansprechpartner**  
 Dipl.-Phys. Peter Gawlitza  
 Tel.: 0351 / 2583 431  
 peter.gawlitza@iws.fraunhofer.de



## Vielseitiges Diamor® - vom Zerspanen zur Grundlagenforschung

### Aufgabenstellung

Das Paul-Scherrer-Institut (PSI) befasst sich als Großforschungseinrichtung der Schweiz unter anderem mit der Untersuchung von Neutronen. Es kann z. B. durch die Messung der Eigenschaften des Neutrons überprüft werden, ob unsere Vorstellungen von dem, was die Welt im Innersten zusammenhält, korrekt sind. So macht das Standardmodell der Teilchenphysik für die Größe des elektrischen Dipolmoments des Neutrons (nEDM) andere Vorhersagen als die supersymmetrische Erweiterung dieses Modells. Um zwischen den beiden Modellen unterscheiden zu können, muss das nEDM aber mit einer um zwei Größenordnungen höheren Genauigkeit gemessen werden als bisher. Für eine solch hochpräzise Messung ist eine große Zahl ultrakalter Neutronen (UCN, Neutronen mit einer kinetischen Energie unter 300 neV, entsprechend einer Geschwindigkeit von rund  $7 \text{ m s}^{-1}$ ) notwendig, die nicht auf einmal erzeugt werden kann. Die UCN müssen also gesammelt und zwischengespeichert werden. Dies geschieht in einem Speichergefäß, dessen Wände eine hohe Reflektivität für UCN besitzen müssen, um die Verluste möglichst gering zu halten. Hierfür sind Materialien mit einem hohen Fermi-Potenzial wie z. B. Beryllium oder Berylliumoxid geeignet. Die Verarbeitung des Berylliums und seines Oxides ist aber problematisch, da sie bei der Inkorporation in der Lunge hochtoxisch sind. Für den Aufbau des neuen Speichergefäßes am PSI musste also ein Wandmaterial mit hoher Reflektivität für UCN gefunden werden, welches in der Handhabung unproblematisch ist.

### Lösungsweg

Diamor®, eine am Fraunhofer IWS entwickelte wasserstofffreie Kohlenstoffschicht, hat sich aufgrund seiner hohen Härte und seiner geringen Reibung in einer Vielzahl von Anwendungen als Verschleißschutz bewährt. Ursache für die Härte ist der große  $sp^3$ -Bindungsanteil, welcher zugleich ein hohes Fermi-Potenzial bewirkt. Daher wurden in einer Großkammer-vakuumanlage des IWS in der Dortmunder Außenstelle des Institutes auf Folien aus PET und Aluminium (Abb. 2) sowie Konstruktionsbauteilen Diamor® mit dem gepulsten Hochstrombogen abgeschieden und vom PSI untersucht. Hierzu wurden aus den Folien kleine Speichergefäße gefertigt, mit UCN befüllt und deren Speicherzeit resp. die Verlustrate (definiert als Verlustwahrscheinlichkeit pro Wandkollision) bestimmt.

### Ergebnisse

Messungen des PSI zeigen, dass die Verlustraten von Diamor® auf Alufolie und PET-Folie signifikant niedriger sind als diejenigen von DLC-Schichten, welche mit dem PLD-Verfahren abgeschieden wurden und auch niedriger als die von Berylliumschichten auf Aluminium. Diese guten Ergebnisse konnten mit einem größeren Speichergefäß aus beschichteter PET-Folie reproduziert werden. Daher wurden bereits erste Konstruktionsbauteile mit Diamor® beschichtet (Abb. 1) und beschlossen, die Einzelteile für das große Speichergefäß für die nEDM-Kollaboration (Höhe: 2,85 m, Seitenlänge: 0,87 m) im Jahr 2009 ebenfalls mit Diamor® zu beschichten, wofür die Großkammeranlage des IWS mit einem Nutzdurchmesser von 1,2 m und einer Nutzhöhe von ca. 0,9 m die besten Voraussetzungen bietet.



Abb. 1: Vier mit Diamor® beschichtete Seitenwände eines kleineren Speichergefäßes (aus Aluminiumvollmaterial gefräst) im Design der großen Speicherflasche des nEDM-Experiments



Abb. 2: Zwei auf Edelstahlblechen aufgespannte und mit Diamor® beschichtete PET-Folien nach der Beschichtung in der Großkammeranlage

Ansprechpartner

Dr. Thomas Stucky  
Tel.: 0231 / 844 3888  
thomas.stucky@iws.fraunhofer.de





## Diplomarbeiten

- A. Bandowski  
(Technische Universität Dresden)  
»Erarbeitung technologischer Varianten für die Kühlschmierstoffreinigung«
- M. Busch  
(Technische Universität Dresden)  
»Vorbehandlung und Prozessparameter zum Wachstum von leitfähigen CVD-Diamantschichten und Empfehlung einer Markteintrittsstrategie«
- F. Fräßdorf  
(Technische Universität Dresden)  
»Fertigungsgerechte Bauteilgestaltung - Eigen- und Fremdmotorenanalyse«
- R. Freigang  
(Technische Universität Dresden)  
»Evaluation einer Methodik zur Systemanalyse anhand einer Fallstudie am Beispiel des Laserauftragschweißens«
- S. Glinka  
(Hochschule Bochum)  
»Ermittlung von Verbesserungspotenzialen beim Hybridschweißen von Feinkornbaustählen durch den Einsatz eines 8 kW-Faserlasers und geeigneter Optiken«
- A. Grafe  
(Technische Universität Dresden)  
»Reproduzierbare Preformfertigung für textilverstärkte Kunststoffe durch Kleb- und Laserfixierung«
- J. Grübler  
(Hochschule Mittweida (FH))  
»Untersuchungen zur optisch-spekroskopischen Bestimmung der Permeabilität von Ultrabarrierematerialien«
- M. Haehnel  
(Technische Universität Dresden)  
»Steuerung für ein konfokales Laser-Scanning-Mikroskop mit einer lateralen Auflösung im Submikrometer-Bereich«
- S. Hampsch  
(Technische Universität Dresden)  
»Parameteroptimierung beim Glattwalzen zylindrischer Proben bis zu einer Härte von 55 HRC im Einstech- und Durchlaufverfahren«
- C. Haschlar  
(Technische Universität Dresden)  
»Qualifizierung und Entwicklung eines Systems zur automatisierten Geometrieerfassung für das Laser-Präzisions-Auftragschweißen«
- H. Hillig  
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))  
»Herstellung von karbidhaltigen Verschleißschutzschichten auf Bohrkronen mittels Laser-Pulver-Auftragschweißen«
- H. Höfer  
(Technische Universität Dresden)  
»Laserschweißbare Leichtbau-Bewegungseinheit für die Zweikopf-Laserschneidanlagen der TruLaser Serie 7000«
- C. Jordan  
(Technische Universität Dresden)  
»Verfahrensoptimierung zur Herstellung thermisch gespritzter Hartmetallschichten zum Einsatz unter Rollermüdung«
- F. Kaulfuß  
(Technische Universität Dresden)  
»Experimentelle Untersuchungen zur Abscheidung von bearbeitbaren PVD - Hartstoffschichten«
- C. Kowanda  
(Technische Universität Dresden)  
»Untersuchungen zur Überführung der Schneidtechnologie von 2D-Wasserabrasivstrahlen von holzartigen Werkstoffen«
- M. Krätzsich  
(Technische Universität Dresden)  
»Laserinduktionsschweißen von hochfesten Feinkornbaustählen«



S. Langner  
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))  
»Technologieentwicklung zur Einbringung nanopartikelhaltiger Suspensionen in den thermischen Spritzprozess«

S. Makowski  
(Technische Universität Dresden)  
»Anwendungsnahe Charakterisierung von ta-C-Schichten«

A. Naumann  
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))  
»Datengestützte Strategieentwicklung auf dem Gebiet der Nanotechnologie«

M. Pfennig  
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))  
»Prozessentwicklung zur Reparatur von Triebwerksverdichterschaufeln aus Udimet 720«

R. Puschmann  
(Technische Universität Dresden)  
»Onlinemessung der Schichtdicke thermisch gespritzter Schichten«

J. Richter  
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))  
»Untersuchungen zum Remote-Laserstrahlschneiden«

J. Richter  
(Hochschule Mittweida (FH))  
»Entwickeln und Optimieren einer Technologie zum reproduzierbaren Fügen von Keramiken und Kunststoffen mittels Laserstrahlung«

U. Richter  
(Technische Universität Dresden)  
»Dissoziation von Stickstoff an nanoskaligen Metallpartikeln«

T. Rönnefahrt  
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))  
»Konstruktive Weiterentwicklung von Strahlteileroptiken zum Laser-Auftragschweißen mit Pulver und Draht«

D. Ruhland  
(Hochschule Bochum)  
»Ermittlung geeigneter Strahlkaustiken von Faserlasern hoher Strahlqualität für das Tiefschweißen im Stahlbau«

J. Spatzier  
(Technische Universität Dresden)  
»Herstellung und Charakterisierung von karbidhaltigen Verschleißschichten mittels Laser-Pulver-Auftragschweißen«

B. Süß  
(Berufsakademie Sachsen, Staatliche Studienakademie Dresden (BA))  
»Prototypische Entwicklung einer kamerabasierten Prozessüberwachung für das Laser-Pulver-Auftragschweißen«

H. Teuber  
(Berufsakademie Sachsen, Staatliche Studienakademie Dresden (BA))  
»Wissenschaftliche Untersuchung verschiedener Aspekte bei der Produktion von 3D-Stereofilmen im Vergleich zu herkömmlicher 2D-Videotechnik anhand beispielhaft erstellter Filmszenen«

T. Weinrich  
(Technische Universität Dresden)  
»Entwicklung komplexer prozessnaher Urformwerkzeuge zur Untersuchung und Bewertung der Eignung der MELATO-Technologie für den Lederfaserguss«

## Dissertationen

G. Göbel  
(Technische Universität Dresden)  
»Erweiterung der Prozessgrenzen beim Laserstrahlschweißen heißbrissgefährdeter Werkstoffe«

G. Mäder  
(Technische Universität Dresden)  
»Atmosphärendruck-Plasma-Beschichtungsreaktoren«

H. Nizard  
(Technische Universität Dresden)  
»Untersuchung photokatalytischer Beschichtungsmaterialien. Abscheidungsmethoden, Charakterisierung der photokatalytischen Aktivität und Optimierung der Beschichtungsprozesse«

A. Ohnesorge  
(Technische Universität Dresden)  
»Bestimmung des Aufmischgrades beim Laser-Pulver-Auftragschweißen mittels laserinduzierter Plasmaspektroskopie (LIPS)«

## Stipendien

F.-L. Toma  
Docteur en Sciences pour l'Ingénieur  
Humboldt-Stipendium  
(bis Ende August 2008)



## Besondere Ereignisse

### 31. Januar 2008

Kolloquium »Neue Materialien, innovative Prozesse und ihre Anwendungen« zu Ehren des 63. Geburtstages von Dr. habil. Volkmar Hopfe

### 12. – 13. Februar 2008

TAW-Symposium »Thermisches Beschichten mit laserbasierten Fertigungsverfahren« der Technischen Akademie Wuppertal e.V. in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IWS und der Rofin Sinar GmbH in Dresden

### 10. März 2008

»Nachwuchsforum« - Veranstaltung im Rahmen der »Nanofair 2008« (Organisator: Fraunhofer IWS Dresden)

### 11. – 12. März 2008

6. Internationales Nanotechnologie-Symposium »Nanofair - Neue Ideen für die Industrie« im Int. Kongresszentrum Dresden (Mitorganisator: Fraunhofer IWS Dresden)

### 13. März 2008

»Nanotechnologies for Energy and Energy Efficiency« – Veranstaltung im Rahmen der »Nanofair 2008« (Organisator: Fraunhofer IWS Dresden)

### 17. April 2008

»Tag der Luft- und Raumfahrt« des Bundesverbandes der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (BDLI) e.V. und des Kompetenzzentrums Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen / Thüringen e.V. im Fraunhofer IWS Dresden

### 22. - 23. April 2008

Workshop »Lasersysteme & Photovoltaik« des Carl-Hanser-Verlages in Fellbach bei Stuttgart (Mitorganisator: Fraunhofer IWS Dresden)

### 24. April 2008

Beteiligung des Fraunhofer-Institutszentrums am bundesweiten »Girls Day«

### 16. Mai 2008

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

### 24. – 25. Juni 2008

7. Workshop »Industrielle Anwendungen von Hochleistungsdiodenlasern« im Fraunhofer IWS Dresden

### 04. Juli 2008

Beteiligung des Fraunhofer-Institutszentrums an der »Langen Nacht der Wissenschaften« der Landeshauptstadt Dresden



Teilnahme des Sächs. Ministerpräsidenten Prof. Georg Milbradt am »Tag der Luft- und Raumfahrt« des BDLI e.V. (17. April 2008)



**25. Juli 2008**

»Technology Day« in Bozen (Italien) - Veranstaltung der Steinbeis Technology Group und des TIS innovation park Bozen; gleichzeitig Vertragsunterzeichnung des Fraunhofer IWS Dresden mit 8 weiteren europäischen Partnern zur Zusammenarbeit auf den Gebieten des Technologie- und Wissenstransfers, der Aus- und Weiterbildung sowie des Expertenaustausches

**24. September 2008**

Feierliche Eröffnung des „Fraunhofer Project Center for Laser Integrated Manufacturing“ an der Technischen Universität Wroclaw im Beisein der Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel; Frau Dr. Merkel erhielt am selben Tag die Ehrendoktorwürde der TU Wroclaw

**14. Oktober 2008**

DPS-Kundentag 2008 »Faszination 4D« im Fraunhofer IWS Dresden

**17. Oktober 2008**

Workshop »Oberflächentechnik in der Produktion - Schichten in geschmierten und ungeschmierten Systemen« der Zeitschrift »Metalloberfläche« und des Fraunhofer IWS Dresden

**27. Oktober 2008**

2. Deutsch-Britisches Nanoforum »Commercialising Future Technologies for Energy and Automotive Applications« in London (Mitorganisator: Fraunhofer IWS Dresden)

**05. – 06. November 2008**

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

**12. – 13. November 2008**

Statusseminar »Wirtschaft trifft Wissenschaft« des Projektträgers Jülich im Fraunhofer IWS Dresden (Organisator des Seminars: Fraunhofer IWS Dresden)

**27. – 28. November 2008**

Workshop »Laborquellen für kurze Wellenlängen« der European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research (COST) im Fraunhofer IWS Dresden (Organisatoren: AXO Dresden GmbH und Fraunhofer IWS 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.

**18. und 20. Oktober 2008**

»Optische Dünnschichtsysteme«

**04., 06., 11., 13. November 2008**

»Verfahren zur Abscheidung dünner Schichten«



Herr Andreas Wessel-Terharn (Bundesverkehrsministerium) eröffnete den 7. Workshop »Industrielle Anwendungen von Hochleistungsdiodenlasern« (24. / 25. Juni 2008)



Dreidimensionale Präsentation des InFoAutos zur Langen Nacht der Wissenschaften (04. Juli 2008)



Lange Nacht der Wissenschaften im Fraunhofer IWS Dresden (04. Juli 2008)



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 Materialforschungs-  
verbundes Dresden e.V.

Prof. E. Beyer:  
Mitglied des Dresdner Gesprächskrei-  
ses der Wirtschaft und der Wissen-  
schaft e.V.

Prof. E. Beyer:  
Mitglied der Sachsenberg-Gesellschaft  
e.V.

Prof. E. Beyer:  
Mitglied des Bundesverbandes mittel-  
ständische Wirtschaft e.V.

Prof. E. Beyer:  
Mitglied der Europäischen Forschungs-  
gesellschaft »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 Euro-  
pean 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 Chemi-  
sche 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 »Rand-  
schichtbehandlung und Kurzzeit-  
austenitisierung«

Prof. B. Brenner:  
Mitglied Gutachterausschuss der AiF

Dr. I. Jansen:  
Mitglied der Gesellschaft für Chemi-  
sche Technik und Biotechnologie e.V.  
(DECHEMA), Fachsektion Klebtechnik

Dr. I. Jansen:  
Mitglied des Industriearbeitskreises  
»Intlaskleb« des BMBF

Dr. R. Jäckel:  
Arbeitskreis »Messe- und Öffentlich-  
keitsarbeit« des Materialforschungs-  
verbundes Dresden e.V.

Dr. G. Kirchhoff:  
Arbeitsausschuss »Schallemissions-  
analyse« der DGzFP

A. Kluge:  
Sprecher der Rechnerbetreiber in der  
Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. A. Leson:  
Mitglied des Advisory Board der Zeit-  
schrift »NanoS«

Dr. A. Leson:  
Sprecher des Nanotechnologie-Kompe-  
tenzzentrums »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

## Mitarbeit in Gremien

Dr. L.-M. Berger:  
Gemeinschaft Thermisches Spritzen  
(GTS) e.V.

Dr. L.-M. Berger:  
European Powder Metallurgy  
Association

Prof. E. Beyer:  
Mitglied des Präsidiums der Fraun-  
hofer-Gesellschaft

Prof. E. Beyer:  
Sprecher des Fraunhofer-Verbundes  
Oberflächentechnik und Photonik



Dr. A. Leson:  
Vorstandsmitglied der Arbeitsgemein-  
schaft der Nanotechnologie-Kompe-  
tenzzentren 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 Cen-  
ter for Micro- and Nanoreliability e.V.

Dr. A. Leson:  
Vorstandsmitglied der Europäischen  
Forschungsgesellschaft »Dünne Schich-  
ten« e.V.

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

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

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

## Preise des IWS 2008

### 1. Beste innovative Produktidee

Jan Hannweber, Stefan Kühn,  
Michael Melde, Sven Bretschneider  
»Traps - eine neuartige Laserschutz-  
wand«

### 2. Beste wissenschaftlich-technische Leistung

Michael Leonhardt,  
Dr. Carl-Friedrich Meyer  
»Modifizierung der Ionenkinetik zur  
Optimierung der mittels Laser-Arc-  
Modul (LAM) abgeschiedenen Koh-  
lenstoffschichten auf 3D-Maschi-  
nenkomponenten«

### 3. Beste wissenschaftliche Leistung eines Nachwuchswissenschaftlers

Florian Bartels  
»Steigerung der Dynamik von Laser-  
schneidanlagen durch Zusatzachs-  
systeme auf Basis hochdynamischer  
Strahlablenskoptiken«

### 4. Herausragende studentische Leistung

Frank Brückner  
»Simulationsgestützte Optimierung  
von mit dem Faserlaser auftragge-  
schweißten filigranen Interfacestruk-  
turen zur Verbesserung der Haftung  
plasmagespritzter Wärmedämm-  
schichten«

Sebastian Thieme  
»Flexilas - Innovative Laserstrahl-  
Präzisionstechnologie zum Auftrags-  
schweißen mit zentraler Draht-  
zufuhr«

Frank Kaulfuß  
»Experimentelle Untersuchungen  
zur Abscheidung von bearbeitbaren  
PVD-Hartstoffschichten«

Patrick Grabau  
»Optimierung einer Lichtbogenplas-  
maquelle für plasmachemische  
Ätzprozesse«

### 5. Sonderpreis

Kerstin Zenner  
»Herausragende Arbeiten zur  
Visualisierung von wissenschaftlich-  
technischen Prozessen«



F. Bartels bei der Verleihung des Institutspreises  
für die beste wissenschaftlich-technische Lei-  
stung



Für ihre herausragenden Arbeiten zur Visualisie-  
rung erhielt K. Zenner einen Sonderpreis



## Messebeteiligungen

### Messe Nanotech 2008 Tokio, Japan, 13. - 15. Februar 2008

Auf der weltgrößten Nanotechnologiemesse »Nanotech Tokio 2008« beteiligten sich das Nanotechnologie-Kompetenzzentrum »Ultradünne funktionale Schichten« und das Fraunhofer IWS Dresden zum dritten Mal an dem Stand der Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH. 522 Aussteller aus 23 Staaten präsentierten in drei Messehallen an der Nanotech auf dem Messegelände »Tokio Big Sight«; mit 49 400 Besuchern 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. Außerdem war das Nano-Kompetenzzentrum auf dem Stand von AGeNT, der Arbeitsgemeinschaft der Nanotechnologie-Kompetenzzentren in Deutschland, vertreten.

### Intec 2008 Leipzig, 26. - 29. Februar 2008

Das Fraunhofer IWS Dresden war auf der »Intec – 11. Fachmesse für Fertigungstechnik, Werkzeugmaschinen- und Sondermaschinenbau« auf drei Ständen vertreten:

- ALOTec Dresden GmbH und IWS Dresden zeigten Technologien zum Laserstrahlschneiden und -härten auf dem Stand der Fa. Reis GmbH & Co. KG Maschinenfabrik Oberburg.
- Die Initiative LiFt (Laserintegration in die Fertigungstechnik) war auf dem Gemeinschaftsstand der Industrie- und Handelskammer Südwestsachsen vertreten.
- Die Arbeitsgruppe Kleben präsentierte ihr Portfolio auf dem Gemeinschaftsstand »Forschung für die Zukunft« der TU Dresden.

### Messe Lasys 2008 Stuttgart, 04. - 06. März 2008

Die neue internationale Fachmesse für Systemlösungen in der Lasermaterialbearbeitung »Lasys 2008« fand auf dem neuen Stuttgarter Messegelände statt. Das Fraunhofer IWS Dresden demonstrierte erstmals das Laser-Remote-Schneiden an metallischen Werkstoffen. Mit Hilfe einer roboterbasierten Laseranlage und Scanneroptik kann aus 100 µm dickem Edelstahlblech eine Lochmatrix (100 Kreise vom Durchmesser 6,5 mm) in weniger als 2 Sekunden geschnitten werden. Gegenüber dem Ausschneiden mit klassischer Anlagentechnik mit Linearantrieben bedeutet das eine Produktivitätssteigerung um nahezu 1000 %.

### Hannover-Messe Industrie 2008, 21. - 25. April 2008

Im Bereich der Zuliefererindustrie »Subcontracting« präsentierte das IWS in Halle 5 Technologien und Anwendungen mit Faserlasern der neuesten Generation für die Lasermaterialbearbeitung am Beispiel des Laserstrahlhärtens, wobei beim Härten mit Faserlasern insbesondere die punktuelle Härtung von Präzisionsbauteilen interessant ist. Größere Flächen können durch den Einsatz von Scanneroptiken gehärtet werden.

Am Gemeinschaftsstand »Forschung für die Zukunft« in Halle 2 zeigten das Fraunhofer IWS und der Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik der TU Dresden innovative Lösungen zum Kleben von Glas und Textilien sowie zur Inkorporation von Carbon-Nanotubes in Klebstoffe.

Der Innovationscluster »nano for production« war auf dem Stand der Fraunhofer-Gesellschaft in Halle 2 vertreten.



Die Initiative LiFt war auf der Intec auf dem Gemeinschaftsstand der IHK Südwestsachsen vertreten



Präsentation von Innovationen in der Klebtechnik auf der Hannover-Messe 2008, Halle 2



**Internationale Luft- und Raumfahrttausstellung ILA 2008 Berlin, 27. Mai - 01. Juni 2008**

Das IWS beteiligte sich zum dritten Mal an der ILA auf dem Gelände des Schönefelder Flughafens. Der Gemeinschaftsstand wurde von der Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH mit Unterstützung des Kompetenzzentrums Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen / Thüringen e.V. organisiert. Vorgestellt wurden Technologieentwicklungen zum Laserstrahlschweißen von Flugzeugrumpfstrukturen sowie zur Charakterisierung der mechanischen, thermischen und tribologischen Eigenschaften von laserbehandelten Luftfahrtrelevanten Bauteilen.

**Messe O&S 2008 Stuttgart, 03. - 05. Juni 2008**

Die Internationale Fachmesse für Oberflächenbeschichtungen O&S war ebenfalls eine Erstveranstaltung auf dem neuen Stuttgarter Messegelände, hervorgegangen aus der Galvanica. Das Fraunhofer IWS zeigte Exponate aus den Bereichen Reibungsminderung und Photovoltaik. Aufgrund der Vielschichtigkeit der Aussteller gab es auch Anfragen über die ausgestellten Exponate hinaus; dies führte zu einem regen Erfahrungsaustausch.



Impressionen von der ersten »O&S« in Stuttgart

**Plasma Surface Engineering PSE 2008 Garmisch-Partenkirchen, 15. - 19. September 2008**

Das Fraunhofer IWS Dresden beteiligte sich auch an der konferenzbegleitenden Ausstellung zur 11. Internationalen Konferenz »Plasma Surface Engineering« in Garmisch-Partenkirchen. Ausgestellt wurde die Laser-Arc-Beschichtungstechnologie und deren Anwendungen insbesondere im Bereich des Verschleißschutzes.

**Messe Euroblech 2008 Hannover, 21. - 25. Oktober 2008**

Auf der Internationalen Technologie-messe für Blechbearbeitung Euroblech 2008 beteiligte sich das IWS zum vierten Mal. Auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand in Halle 11 wurden vom IWS insbesondere Exponate zu vier Themen ausgestellt:

- Laser-Remote-Schneiden von dünnen Blechen und Faserlaserschneiden von dicken Blechen,
- Laserschweißen von Karosseriebauteilen,
- Laserschweißen von Leichtmetallen für Fahrzeug- und Flugzeugbau,
- LiFt - Laserintegration in die Fertigungstechnik

**Messe Parts2clean 2008 Stuttgart, 28. - 30. Oktober 2008**

Das IWS präsentierte auf dieser Messe im Rahmen des Gemeinschaftsstandes der Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik eine Systemtechnik-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.

**Messe Euromold 2008 Frankfurt / M., 03. - 06. Dezember 2008**

Auf der Branchenmesse zum Formen-, Modell- und Werkzeugbau sowie zur Gießereitechnik war das fünfschichtige, computergesteuerte Fräszentrum, in dem ein Laser-Modul in die Werkzeugaufnahme einer Frässpindel integriert wurde, Hauptanziehungspunkt. Diese Maschine für die Komplettbearbeitung kann damit das dreidimensionale Auftragschweißen mit einem 1,5-Kilowatt-Diodenlaser und das Endbearbeiten der Bauteile mittels 5-Achs-Fräsen in einer Werkzeugeinspannung kostensparend realisieren.



Das Laser-Remote-Schneiden von dünnen Blechen wurde auf der Euroblech 2008 live durchgeführt



Der Gemeinschaftsstand des Freistaates Sachsen auf der Luftfahrtmesse ILA 2008 zeigte sich im neuen Design des Freistaates

## Schutzrechtsanmeldungen 2008

- [P01]** T. Abendroth, H. Althues, S. Kaskel, I. Dani  
*"Verfahren zur Herstellung photokatalytisch aktiver Titandioxidschichten"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2008 052 098.5
- [P02]** F. Bartels, L. Morgenthal, T. Schwarz, T. Himmer  
*"Vorrichtung und Verfahren zum schneidenden Bearbeiten von Werkstücken mit einem Laserstrahl"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2008 027 524.7
- [P03]** H. Beese, W. Grählert, V. Hopfe  
*"Vorrichtung und Verfahren zur Bestimmung der Permeationsrate mindestens eines Permeaten, durch ein eine Diffusionssperre bildendes Element"*  
 Anmelde-Az.: PCT/DE2008/000904
- [P04]** E. Beyer, P. Pfohl  
*"Vorrichtung und Verfahren zur Bearbeitung von Bauteilen"*  
 Anmelde-Az.: PCT/DE2008/000581
- [P05]** E. Beyer, I. Jansen  
*"Verfahren zum stoffschlüssigen Verbinden von Teilen mit einem Klebstoff"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2008 025 891.1
- [P06]** E. Beyer, A. Mahrle  
*"Verfahren zum Schmelzschnitten von Werkstücken mit Laserstrahlung"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2008 053 397.1
- [P07]** B. Brenner, V. Fux, K. Merz  
*"Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von metallischen Verbundwerkstoffen und Verbund-Halbzeugen"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2008 036 435.5
- [P08]** S. Bretschneider, M. Melde, J. Hannweber, S. Kühn  
*"Laserschutzwandelement für eine Umhausung bei Laserbearbeitungsanlagen"*  
 Anmelde-Az.: PCT/EP2008/006528
- [P09]** P. Grabau, J. Roch, V. Hopfe, I. Dani  
*"Verfahren und Vorrichtung zum Zünden eines Lichtbogens"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2008 018 589.2
- [P10]** T. Himmer, F. Bartels, L. Morgenthal  
*"Vorrichtung und Verfahren zum Schneiden von Werkstücken mit einem Laserstrahl"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2008 025 044.9
- [P11]** T. Himmer, F. Bartels, T. Schwarz, L. Morgenthal  
*"Vorrichtung zur Bearbeitung von Werkstücken mit einem zweidimensional auslenkbaren Energiestrahle"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2008 032 830.8
- [P12]** T. Himmer, F. Bartels, L. Morgenthal, M. Lütke  
*"Vorrichtung und Verfahren zum Laserstrahlschneiden"*  
 Anmelde-Az.: PCT/DE2008/001458
- [P13]** O. Jost  
*"Aktorelement sowie seine Verwendung"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2008 039 757.1
- [P14]** S. Kaskel, C. Schrage  
*"Beleuchtungselement und Verfahren zu seiner Herstellung"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2008 039 756.3
- [P15]** A. Klotzbach, L. Morgenthal, D. Pollack, F. Kretzschmar  
*"Verfahren zum Texturieren polymerer Monofile"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2008 037 317.6
- [P16]** A. Klotzbach, V. Fleischer, T. Schwarz, L. Morgenthal, B. Schirdewahn  
*"Verfahren und Vorrichtung zum Schweißen von mindestens zwei Lagen eines polymeren Materials mit Laserstrahlung"*  
 Anmelde-Az.: EP 08 017 757.9
- [P17]** M. Lütke, L. Morgenthal, T. Himmer, E. Beyer  
*"Verfahren zur trennenden Bearbeitung von Werkstücken mit einem Laserstrahl"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2008 027 130.6
- [P18]** M. Märzc, M. Leistner, V. Hopfe, W. Grählert, I. Dani, B. Schultrich  
*"Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung von Kohlenstoff-Nanoröhren oder Fullerenen"*  
 Anmelde-Az.: DE 10 2008 033 660.2

- [P19]** C.-F. Meyer  
"Anordnung zur Ausbildung von Beschichtungen auf Substraten im Vakuum"  
Anmelde-Az.: PCT/DE2008/000727
- [P20]** C.-F. Meyer  
"Anode für die Bildung eines Plasmas durch Ausbildung elektrischer Bogenentladungen"  
Anmelde-Az.: PCT/DE2008/000728
- [P21]** C.-F. Meyer  
"Vorrichtung und Verfahren zur Ausbildung von Beschichtungen auf Substraten innerhalb von Vakuumkammern"  
Anmelde-Az.: PCT/DE2008/001650
- [P22]** A. Meyer-Plath, M. Jäger, F. Sonntag  
"Sensor für elektrophysiologische Untersuchungen an lebenden Zellen und Verfahren zu seiner Herstellung"  
Anmelde-Az.: DE 10 2008 056 277.7
- [P23]** S. Nowotny, S. Scharek  
"Bearbeitungskopf mit integrierter Pulverzuführung zum Auftragschweißen mit Laserstrahlung"  
Anmelde-Az.: US 12/219,149, GB 0815191.2
- [P24]** F. Sonntag, F. Mehringer  
"Flusskanalsystem und Verfahren zum Anbinden von Analyten an Liganden"  
Anmelde-Az.: PCT/DE2008/000404
- [P25]** F. Sonntag, F. Mehringer, N. Schilling, M. Jäger  
"Zellkulturmesssystem und Verfahren für vergleichende Untersuchungen an Zellkulturen"  
Anmelde-Az.: PCT/DE2008/001348
- [P26]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, C.C. Stahr, T. Naumann, S. Langner  
"Thermisch gespritzte Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Schichten mit einem hohen Korundgehalt ohne eigenschaftsmindernde Zusätze und Verfahren zu ihrer Herstellung"  
Anmelde-Az.: DE 10 2008 026 101.7
- [P27]** V. Weihnacht  
"Verschleißschutzbeschichtung für auf Reibung beanspruchte Oberflächen von Bauteilen sowie Verfahren zur Ausbildung"  
Anmelde-Az.: DE 10 2008 022 039.6

## Schutzrechtserteilungen

- [P28]** E. Beyer, L. Morgenthal, A. Klotzbach, V. Fleischer  
"Vorrichtung und Verfahren zur Bearbeitung von Werkstücken mittels Laserstrahlung"  
Erteilungs-Nr.: DE 10 2004 045 408 B4
- [P29]** S. Bretschneider, M. Melde, J. Hannweber, S. Kühn  
"Laserschutzwand für eine Umhausung bei Laserbearbeitungsanlagen"  
Erteilungs-Nr.: DE 10 2007 038 780 B3
- [P30]** I. Dani, W. Grähler, V. Hopfe, G. Mäder  
"Vorrichtung und Verfahren zur optischen Detektion von in Abgasen chemischer Prozesse enthaltenen Stoffen"  
Erteilungs-Nr.: EP 1 751 521 B1
- [P31]** T. Himmer, F. Bartels, L. Morgenthal, M. Lütke  
"Vorrichtung und Verfahren zum Laserstrahlschneiden"  
Erteilungs-Nr.: DE 10 2007 042 490 B3
- [P32]** V. Hopfe, G. Mäder, D. Rogler, C. Schreuders  
"Verfahren und Vorrichtung zur großflächigen Beschichtung von Substraten bei Atmosphärendruckbedingungen"  
Erteilungs-Nr.: DE 102 39 875
- [P33]** U. Klotzbach, E. Hensel, K. Krautz, E. Beyer  
"Wandelement zum Schutz vor Laserstrahlung"  
Erteilungs-Nr.: DE 10 2006 036 500 B8
- [P34]** U. Krzywinski, H. Rödel, I. Jansen  
"Verfahren zur Strukturfixierung von textilen Flächengebilden für Hochleistungs-Faserverbundbauteile und ein nach diesem Verfahren hergestelltes textiles Flächengebilde"  
Erteilungs-Nr.: DE 10 2007 032 904
- [P35]** E. Lopez, I. Dani, V. Hopfe, R. Möller, M. Heintze  
"Verfahren zum selektiven plasmachemischen Trockenätzen von auf Oberflächen von Silicium-Wafern ausgebildetem Phosphorsilikatglas"  
Erteilungs-Nr.: DE 10 2006 042 329 B4

- [P36]** G. Mäder, D. Rogler, V. Hopfe, S. Krause, R. Spitzl  
"Mikrowellenplasmaquelle"  
Erteilungs-Nr.: DE 10 2004 060 068
- [P37]** B. Schultrich, D. Schneider  
"Identifikationselement"  
Erteilungs-Nr.: DE 10 2006 017 155 B4
- [P38]** F. Sonntag  
"Mikrofluidische Anordnung zur Detektion von in Proben enthaltenen chemischen, biochemischen Molekülen und/oder Partikeln"  
Erteilungs-Nr.: DE 10 2006 024 355 B4
- [P39]** A. Uelze, T. Himmer  
"Bauteil mit miteinander verbundenen plattenförmigen Elementen sowie ein Verfahren zu deren Herstellung"  
Erteilungs-Nr.: DE 102 14 055 B4

- RV** = Rezensierte Veröffentlichung
- [L01]** H. Althues, S. Kaskel  
*"Kleine Helfer sparen intelligente Energie"*  
 Kunststoffe 98 (2008) 9, S. 134-137
- [L02]** H. Althues, P. Pötschke, G.-M. Kim, S. Kaskel  
*"Structure and Mechanical Properties of Transparent ZnO/PBDMA Nanocomposites"*  
 J. Nanosci. Nanotechnol. (accepted)
- [L03]** J. Asmussen, T.A. Grotjohn, T. Schuelke, M.F. Becker, M.K. Yaran, D.J. King, S. Wicklein, D.K. Reinhard  
*"Multiple Substrate Microwave Plasma-assisted Chemical Vapor Deposition Single Crystal Diamond Synthesis"*  
 Applied Physics Letters 93 (2008) 3, Art. 031502, S. 3
- [L04]** A. Ay, V.M. Swope, G.M. Swain  
*"The Physicochemical and Electrochemical Properties of 100 and 500 nm Diameter Diamond Powders Coated with Boron-doped Nanocrystalline Diamond"*  
 Journal of the Electrochemical Society 155 (2008) 10, S. B1013-B1022
- [L05]** R. Banndorf, W. Diehl, U. Heckmann, H. Holescek, U. Klotzbach, S. Kondruweit-Reinema, A. Leson, M. Metzner, A. Pflug, O. Zimmer  
*"Thesen und Trends - Mit funktionalen Oberflächen in die Zukunft"*  
 Vakuum in Forschung und Praxis 20 (2008) 4, S. 14
- [L06]** H. Beese, W. Grählert, R. Grübler, P. Kaspersen, A. Bohman  
*"Optisch-spektroskopische Bestimmung der Permeabilität von Ultrabariere-materialien"*  
 Fachtagung "Optische Analysentechnik in Industrie und Umwelt" (2008), (VDI-Berichte 2047), 2008 S. 113-120
- [L07]** H. Beese, S. Kaskel  
*"Prozessgasanalytik mittels Laserdiodespektroskopie"*  
 CHEManager 22 (2008) S. 17
- [L08]** L.-M. Berger, K. Lipp, C. Jordan, U. May, T. Naumann  
*"Rolling Contact Fatigue of HVOF-Sprayed WC-Based Hardmetal Coatings"*  
 Euro PM2008, International Powder Metallurgy Congress & Exhibition, Proceedings, (2008), Mannheim, Germany, Shrewsbury, U.K.: European Powder Metallurgy Association, 1 (2008) S. 205-212, ISBN 978 1 899072 03 3
- [L09]** L.-M. Berger, S. Saaro, C. Jordan, T. Naumann, M. Kašparova, F. Zahálka  
*"HVOF-Sprayed WC-(W,Cr)<sub>2</sub>C-Ni Coatings and Their Properties"*  
 International Thermal Spray Conference & Exhibition (ITSC 2008), Conference Proceedings, June 2008, Maastricht, Netherlands, Düsseldorf: DVS-Verlag GmbH, (2008) (CD-ROM), ISBN 978-3-87155-979-2, S. 229-234
- [L10]** L.-M. Berger, S. Saaro, T. Naumann, M. Kašparova, F. Zahálka  
*"Microstructure and Properties of HVOF-sprayed WC-(W,Cr)<sub>2</sub>C-Ni Coatings"*  
 Journal of Thermal Spray Technology 17 (2008) 3, S. 395-403
- [L11]** L.-M. Berger, S. Saaro, T. Naumann, M. Wiener, V. Weihnacht, S. Thiele, J. Suchánek  
*"Microstructure and Properties of HVOF-sprayed Chromium Alloyed WC-Co and WC-Ni Coatings"*  
 Surface and Coatings Technology 202 (2008) 18, S. 4417-4421
- [L12]** L.-M. Berger, S. Saaro, M. Woydt  
*"WC-(W,Cr)<sub>2</sub>C-Ni – die "unbekannte" Hartmetallschicht"*  
 Thermal Spray Bulletin, 1 (2008) S. 39-42, ISSN 1866-6248
- [L13]** 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"*  
 Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Conference on Surface Modification Technologies, September, 2007, Paris, France, Eds.: T.S. Sudarshan, M. Jeandin. (2008), Valar Docs, S. 469-478 ISBN 978-0-9817065-0-4
- [L14]** L.-M. Berger, C.C. Stahr, S. Saaro, S. Thiele, M. Woydt  
*"Dry Sliding Wear Properties of Thermal Spray Coatings in the TiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> System"*  
 Proc. Friction, Wear and Wear Protection, April, 2008, Aachen, Tagungsband
- [L15]** L.-M. Berger, C. C. Stahr, S. Saaro, S. Thiele, M. Woydt, N. Kelling  
*"High Temperature Tribology up to 7.5 m/s of Thermally Sprayed Coatings of the TiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> System and (Ti,Mo)(C,N)-Ni(Co)"*  
 49. Tribologie-Fachtagung, September (2008), Göttingen, Aachen: Gesellschaft für Tribologie (GfT), (2008) Band I, S. 22/1-22/12, ISBN-10: 3-00-019670-6, ISBN-13: 978-3-00-019670-6
- [L16]** L.-M. Berger, F.-L. Toma, C.C. Stahr  
*"Thermally Sprayed Titanium Oxide Coatings – A Truly Multifunctional Coating Solution"*  
 Proc. APNFM, Januar 2008, Dresden,
- [L17]** E. Beyer  
*"High Power Laser Materials Processing - New Developments and Trends"*  
 3<sup>rd</sup> Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics (PICALO) 2008, Proceedings (CD-ROM), ISBN-Nummer: 978-0-912035-89-5
- [L18]** E. Beyer, T. Himmer, M. Lütke, F. Bartels, A. Mahrle  
*"Cutting with High Brightness Lasers"*  
 Stuttgarter Lasertage (SLT'08), Tagungsband inkl. CD-ROM, S. 29
- [L19]** E. Beyer, M. Lütke, T. Himmer  
*"Remote-Schneiden mit brillanten Strahlquellen"*  
 Münchener Kolloquium, Innovationen für die Produktion, Tagungsband S. 361-370, ISBN-10: 3-8316-0844-X, ISBN-13: 978-3-8316-0844-7
- [L20]** S. Bonß  
*"Laserstrahlhärten – Integration in die Fertigung ermöglicht schlanke Prozesse"*  
 HTM Z. Werkst. Wärmebeh. Fertigung 63 (2008) 3, S. 147-153
- [L21]** S. Bonß, J. Hannweber, U. Karsunke, M. Seifert, B. Brenner, E. Beyer  
*"Integrated Heat Treatment – Comparison of Different Machine Concepts"*  
 3<sup>rd</sup> Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics Peking (PICALO) 2008, VR China, Tagungsband
- [L22]** B. Brenner  
*"Development of New Laser Welding Technologies and Their Industrial Use in Germany"*  
 Keynote presentation, AILU Technology Workshop "Welding and Cutting with Fibre-Delivered Laser Beams", TWI Cambridge (UK), 2008, Workshop-CD

- [L23]** B. Brenner, S. Bonß  
*"Hochleistungsdiodenlaser als Werkzeug"*  
 7. Workshop "Industrielle Anwendungen von Hochleistungsdiodenlasern", IWS Dresden, 2008, Workshop-CD, ISBN 978-3-8167-7663-5
- [L24]** B. Brenner, D. Dittrich, J. Standfuß, B. Winderlich, J. Liebscher, J. Hackius  
*"Laserstrahlschweißtechnologien für innovative integrale Rumpfschalen ziviler Großraumflugzeuge"*  
 DVS-Berichte, DVS Media GmbH Düsseldorf, Band 250, S. 49-54
- [L25]** B. Brenner, J. Hackius, J. Standfuß, D. Dittrich, B. Winderlich, J. Liebscher  
*"Laser Beam Welding of Aircraft Fuselage Structures"*  
 27<sup>th</sup> International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO 2008), Temecula (CA), Proceedings paper # 1801, S. 838-845
- [L26]** B. Brenner, A. Jahn, J. Standfuß  
*"Improved Formability and Crash Performance of Laser-Welded Structures Made of High Strength Multiphase-Steels"*  
 9<sup>th</sup> European Automotive Laser Application Conference (EALA 2008), Bad Nauheim, Tagungsband
- [L27]** B. Brenner, J. Standfuß, U. Stamm, D. Dittrich, A. Jahn, B. Winderlich  
*"Perspektiven für den Metalleichtbau in der Fahrzeug- und Luftfahrtindustrie durch fortgeschrittene Laserstrahlschweißverfahren"*  
 12. Dresdner Leichtbausymposium „Innovationsquelle Leichtbau“, Tagungsband
- [L28]** P. Bringmann, O. Rohr, J. Wehr, I. Jansen  
*"Cr<sup>6+</sup>-free Hybrid Coatings as Potential Pre-Treatment for Structural Adhesive Bonding"*  
 Euradh 2008 / Adhesion '08, 10<sup>th</sup> Internat. Conf. Sci. & Techn. Adh. (2008) Oxford, UK, S. 105-109
- [L29]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Numerical and Experimental Investigation of Thermal Stresses and Distortions in the Induction Assisted Laser Cladding"*  
 Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Pacific International Conference on Application of Lasers and Optics (PICALO 2008), Paper 206, S. 88-93
- [L30]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Reduction of Thermally Induced Distortion in Laser Cladding"*  
 Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Thermal Forming and Welding Distortion, Bremen (2008)
- [L31]** R. Dietsch, A. König, J. Ziemer  
*"Multischicht-Röntgenoptiken: Präzision im Nanometerbereich"*  
 Fokus Technologie: Chancen erkennen - Leistungen entwickeln (2008) S. 349-364, Hrg.: H.-J. Bullinger, ISBN 978-3-446-41739-9
- [L32]** D. Dittrich, E. Beyer, B. Brenner, J. Standfuß, B. Winderlich, J. Hackius  
*"Progress in Laser Beam Welding of Aircraft Fuselage Panels / Skin-Skin-Connections"*  
 27<sup>th</sup> International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO 2008), Temecula (CA), USA, Proceedings paper # 1804, S. 863-871
- [L33]** D. Dittrich, B. Brenner, B. Winderlich, G. Kirchhoff, J. Hackius  
*"New Weld Seam Design for Advanced Joining Techniques to Improve Safety and to Reduce Structural Weight"*  
 Aircraft Structural Design Conference, Liverpool (UK) (2008) Proceedings
- [L34]** J. Drechsel, S. Weinhold, J. Bachale, R. Ebert, H. Exner, S. Bonß, C. Zellbeck  
*"Initiative LiFt - Lasertechnologie-integration in die Fertigungstechnik"*  
 Laser Magazin 6 (2008) S. 40-41
- [L35]** J. Dubský, P. Chráska, 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: Key Activities in the Global Knowledge Economy, The 16<sup>th</sup> International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering (IFHTSE) Congress, Brisbane, Australien 2007, S. 62. ISBN 978 1 876855 31 2
- [L36]** J. Dubský, P. Chráska, B. Kolman, C. C. Stahr, L.-M. Berger  
*"Formation of Corundum Phase in Plasma Sprayed Alumina"*  
 Journal "Materials Technology: Advanced Performance Materials", Maney Publishing, London, UK
- [L37]** S. Eckert, S. Nowotny, A. Mehlhorn, A. Klöden, D. Kochan  
*"Laserauftragsschweißen im Werkzeugbau"*  
 Der Stahlformenbauer 25 (2008) 5, S. 96-104
- [L38]** H.-J. Fecht, A. Leson, B. Michel, M. Werner  
*"Advanced Adhesives Based on Carbon Nanotube Technology"*  
 mst-news No. 3/08, Juni 2008, S. 28-29
- [L39]** V. Fux, K. Merz, B. Brenner  
*"Laser-Walzplattieren erzeugt attraktive Werkstoffpaarungen"*  
 Maschinenmarkt (2009) 5, S. 42-45
- [L40]** P. Gawlitza, S. Braun, G. Dietrich, M. Menzel, S. Schädlich, A. Leson  
*"Ion Beam Sputtering of Multilayer X-Ray Optics"*  
 Annual meeting of Spie Optics & Photonics, San Diego, USA, (2008), proceedings of SPIE 7077-2
- [L41]** L. Girdauskaite, S. Krzywinski, H. Rödel, R. Böhme, I. Jansen  
*"Complex Shaped Dry Textile Preforms for High Quality Composites"*  
 2<sup>nd</sup> Aachen-Dresden International Textile Conference, (2008) Dresden
- [L42]** L. Girdauskaite, S. Krzywinski, H. Rödel, R. Böhme, I. Jansen  
*"Possibilities for the Production of Complex Shaped Dry Textile Preforms for High Quality Composites"*  
 8<sup>th</sup> AUTC conference, (2008) Biella, Italien, Vorträge mit Proceedings
- [L43]** G. Göbel  
*"Erweiterung der Prozessgrenzen beim Laserstrahlschweißen heißbrissgefährdeter Werkstoffe"*  
 Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, 2008, Zugl.: Dresden, TU, Diss., 2007, ISBN 3-8167-7671-X ISBN 978-3-8167-7671-0
- [L44]** G. Göbel, J. Standfuß, B. Brenner  
*"Engspaltschweißen mit hohem Aspektverhältnis"*  
 Laser und Produktion, Spezial: Faserlaser, Sonderheft 2008, S. 20-22

- [L45]** W. Grählert  
*"Laserdiodenspektroskopie: ein selektives hoch empfindliches Werkzeug zur Spurengasanalytik"*  
 Ingenieurwissenschaften 5 (2008) S. 6
- [L46]** W. Grimm, V. Weihnacht  
*"Super Hard Carbon Coatings Deposited by Pulsed DC-Arc-Process"*  
 11<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE 2008)  
 Garmisch-Partenkirchen, Tagungsband PSE 2008, S. 94
- [L47]** U. Heckmann, R. Bandorf, W. Diehl, H. Holeczek, U. Klotzbach, S. Kondruweit-Reinema, A. Leson, M. Metzner, A. Pflug, O. Zimmer  
*"Produktionstechnik für funktionale Oberflächen: Perspektiven, Forschungs- und Handlungsbedarf"*  
 wt Werkstattstechnik online 98 (2008) 6, S. 481-485
- [L48]** P. Herwig  
*"Materialbearbeitung hoch reflektiver Werkstoffe"*  
 Laser-Magazin (2008) 5, S. 9-11
- [L49]** S. Houdková, F. Zahálka, M. Kašparová, L.-M. Berger  
*"Tribological Behaviour of Thermally Sprayed Coatings at Elevated Temperatures"*  
 International Thermal Spray Conference & Exhibition (ITSC 2008), Conference Proceedings, Düsseldorf: DVS-Verlag GmbH, (2008), CD, S. 1497-1502, ISBN 978-3-87155-979-2
- [L50]** D. Hrunski, A. Gordijn, U. Stickelmann, T. Kilper, W. Appenzeller, W. Grählert, H. Beese  
*"Analysis and Minimization of Plasma Process Instabilities During Thin Silicon Films Deposition"*  
 Photovoltaics International, 4 (2008)
- [L51]** A. Jahn, M. Krätzsich, B. Brenner  
*"Laserstrahlschweißen hochfester Feinkornbaustähle mit werkstoffangepasster Temperaturführung"*  
 DVS-Bericht, DVS Media GmbH  
 Düsseldorf, Band 250, S. 215-220
- [L52]** A. Jahn, M. Krätzsich, B. Brenner  
*"Induction Assisted Laser Beam Welding of HSLA Steel Sheets"*  
 International Scientific Colloquium "Modelling for Electromagnetic Processing", (2008), Proceedings S. 195-200
- [L53]** I. Jansen, J.-S. Pap, R. Rechner  
 "8. Kolloquium Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik"  
 8. Kolloquium Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik, (2008), Frankfurt, Vorträge mit Proceedings, S. 38-41
- [L54]** I. Jansen, P. Pötschke, F. Wehnert  
*"Integration of Carbon Nanotubes into Adhesives"*  
 Euradh 2008 / Adhesion '08, 10<sup>th</sup> Internat. Conf. Sci. & Techn. Adh. 2008, Oxford, UK, S. 355-359
- [L55]** I. Jansen, R. Rechner  
*"Einsatz des Diodenlasers zur Kantenleimung"*  
 7. Workshop "Industrielle Anwendung von Hochleistungsdiodenlasern" (2008) IWS Dresden, Vorträge mit Proceedings
- [L56]** RV I. Jansen, D. Schneider, R. Haßler  
*"Laser-Acoustic, Thermal and Mechanical Methods for Investigations of Bond Lines"*  
 International Journal of Adhesion & Adhesives 29 (2009) S. 210-216
- [L57]** J. Kaspar, J. Bretschneider, S. Bonß, B. Winderlich, B. Brenner  
*"Laser Nitriding: A Promising Way to Improve the Cavitation Erosion Resistance of Components Made of Titanium Alloys"*  
 Symp. On Friction, Wear and Wear Protection, Aachen, (2008), (im Druck)
- [L58]** D. King, M. K. Yaran, T. Schuelke, T.A. Grotjohn, D. K. Reinhard, J. Asmussen  
*"Scaling the Microwave Plasma-Assisted Chemical Vapor Diamond Deposition Process to 150-200 mm Substrates"*  
 International Conference on New Diamond and Nano Carbons (NDNC 2007) Proceedings : Amsterdam : Elsevier, 2008, S. 520-524 (Diamond and related materials 17. 2008, Nr. 4-5)
- [L59]** U. Klotzbach  
*"Schnelligkeit und Präzision"*  
 Mikroproduktion (2008) 2, S. 26-29
- [L60]** U. Klotzbach, M. Panzner, G. Wiedemann  
*"Potential and Limitations of Laser Technology in Restoration of Metallic Objects of Art and Cultural Heritage"*  
 Materials and corrosion 59 (2008) 3, S. 220-227
- [L61]** S. Kühn  
*"Neue aktive Laserschutzwand für Laser höchster Brillianz"*  
 Laser-Magazin (2008) 2, S. 28-29
- [L62]** S. Kühn  
*"Aktiver Laserschutz mit Heißeleiter"*  
 Photonik No. 4 (2008), S. 13
- [L63]** S. Kühn, J. Hannweber, B. Brenner, E. Beyer  
*"A Novel Active Laser Safety Shield"*  
 27<sup>th</sup> International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO 2008), Proceedings paper # 208, S. 113-116
- [L64]** D. Lepski, F. Brückner  
*"Laser Cladding"*  
 Chapter 8 of the book by J.M. Dowden (Ed.) „The Theory of Laser Materials Processing“, Canopus Publishing Limited, Bristol, (im Druck)
- [L65]** A. Leson  
*"Neue-Nano-Ideen für die Industrie"*  
 Konstruktion, 3 (2008) IW12
- [L66]** A. Leson  
*"Nanotechnologie - Von der Vision zur Wirklichkeit"*  
 Forschung / Karriere / Kompetenz Nanotechnologie aktuell, IWV, 1 (2008) S. 50-53
- [L67]** A. Leson  
*"Zukunftsthema Nanotechnologie"*  
 Ingenieure in Sachsen 01 (2008) S. 10-11
- [L68]** D. Linaschke, M. Leistner, G. Mäder, W. Grählert, I. Dani, S. Kaskel  
*"In-line Plasma-chemical Etching of Crystalline Silicon Solar Wafers at Atmospheric Pressure"*  
 Eingereicht in IEEE

- [L69]** D. Linaschke, M. Leistner, G. Mäder, W. Grähler, I. Dani, S. Kaskel  
*"In-line Plasma-chemical Etching of Crystalline Silicon Solar Wafers at Atmospheric Pressure and FT-IR Spectroscopic Process Control"*  
 Photovoltaics International, 4 (2008) S. 47 - 53
- [L70]** S. Lipfert, S. Braun, P. Gawlitza, J. Schmidt, A. Leson  
*"Inner Coating of EUV Collector Shells"*  
 11<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE2008) Tagungsband PSE 2008, S. 332
- [L71]** S. Lipfert, P. Gawlitza, S. Braun, A. Leson  
*"Application of Large Ion Beam Technology for Optical Coatings"*  
 11<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE2008) Tagungsband PSE 2008, S. 157
- [L72]** M. Lütke  
*"Aus der Faser in die Ferne: Laser-Remote-Schneiden mit dem Faserlaser"*  
 Photonik 40 (2008) 1, S. 12
- [L73]** M. Lütke, T. Himmer  
*"Fein- und Dickbleche Schneiden mit dem Faserlaser"*  
 Laser und Produktion, Spezial: Faserlaser, Sonderheft 2008, S. 18-19
- [L74]** M. Lütke, T. Himmer  
*"Remote-Schneiden mit dem Faserlaser ermöglicht hohe Konturgeschwindigkeiten"*  
 Maschinenmarkt, Ausgabe 41 (2008), S. 100-102
- [L75]** M. Lütke, A. Mahrle, T. Himmer, L. Morgenthal, E. Beyer  
*"Remote-Cutting – A Smart Solution Using the Advantages of High Brightness Lasers"*  
 27<sup>th</sup> ICALEO 2008, Tagungsband, Paper 2005
- [L76]** G. Mäder  
*"Atmosphärendruck-Plasma-Beschichtungsreaktoren"*  
 Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2008 Zugl.: Dresden, Univ., Diss., 2008 ISBN 3-8167-7656-6 ISBN 978-3-8167-7656-7
- [L77]** A. Mahrle, F. Bartels, E. Beyer  
*"Theoretical Aspects of the Process Efficiency in Laser Beam Cutting with Fibre Lasers"*  
 Proceedings of the 27<sup>th</sup> International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO), 2008, Paper 2006
- [L78]** A. Mahrle, E. Beyer  
*"Derivation of Optimal Processing Parameters for Conduction Mode Laser Beam Welds by Simulation"*  
 Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics, Paper P223, S. 936-941
- [L79]** P. Marsik, P. Verdonck, D. Schneider, D. de Roest, S. Kaneko, M. R. Baklanov  
*"Spectroscopic Ellipsometry and Ellipsometric Porosimetry Studies of CVD Low-k Dielectric Films"*  
 In: Arwin, H.: Papers presented at the 4<sup>th</sup> International Conference on Spectroscopic Ellipsometry, (ICSE4), Stockholm, Sweden, 2007, Weinheim: Wiley-VCH, 2008, S.1253-1256, (Physica status solidi. (c), Current topics in solid state physics, (2008), Nr.5)
- [L80]** J.J. Narendra, T.A. Grotjohn, J. Asmussen  
*"Microstripline Applicators for Creating Microplasma Discharges with Microwave Energy"*  
 Plasma sources science & technology 17 (2008) 3, Art. 035027, S. 11
- [L81]** S. Nowotny, S. Scharek, S. Thieme, R.A. Gnann  
*"FLEXILAS – Laser-Präzisionstechnologie zum Auftragschweißen mit zentrischer Werkstoffzufuhr"*  
 DVS-Berichte Band 250, S. 318-322, DVS Media GmbH, Düsseldorf, 2008
- [L82]** B. van Pham, H.-A. Bahr, U. Bahr, H. Balke, H.-J. Weiß  
*"Global Bifurcation Criterion for Oscillatory Crack Path Instability"*  
 Physical Review. E 77 (2008) 6, Art. 066114, S. 10
- [L83]** B. Pollakowski, B. Beckhoff, B. F. Reinhardt, S. Braun, P. Gawlitza  
*"Speciation of Deeply Buried TiOx Nanolayers with Grazing-Incidence X-Ray Fluorescence Combined With a Near-Edge X-Ray Absorption Fine-Structure Investigation"*  
 Physical Review B 77 (2008) 23, Art. 235408, S. 11
- [L84]** L. Prager, P. Marsik, L. Wennrich, M. R. Baklanov, S. Naumov, L. Pistol, D. Schneider, J. W. Gerlach, P. Verdonck, M. R. Buchmeiser  
*"Effect of Pressure on Efficiency of UV Curing of CVD-Derived Low-K Material at Different Wavelengths"*  
 European Workshop on Materials for Advanced Metallization (MAM 2008), In: Schulz, S.E.: Proceedings of the Workshop: A single-session workshop devoted to materials research, materials properties and interactions, 2008, Dresden Amsterdam : Elsevier, 2008, S. 2094-2097, (Microelectronic engineering 85.2008, Nr.10)
- [L85]** M. Raaif, F.M. El-Hossary, N.Z. Negm, S. M. Khalil, A. Kolitsch, D. Höche, J. Kaspar, S. Mändl, P. Schaaf  
*"CO<sub>2</sub> Laser Nitriding of Titanium"*  
 Journal of Physics. D. Applied Physics 41 (2008) 8, S. 8
- [L86]** R. Rechner, I. Jansen  
*"Laservorbereitung von Leichtmetallen vor dem Kleben"*  
 6. Praxisseminar Kleben, (2008) Jena, Vorträge mit Proceedings
- [L87]** M. Reichmann, O. Throl, J. Rank, V. Uhlig, E. Beyer, G. Walter  
*"Kontrolliertes Entbindern in mikrowellen-unterstützten Thermoprozessanlagen"*  
 Elektrowärme International 3 (2008), S. 203-209
- [L88]** R. Schedewy, E. Beyer, B. Brenner, A. Grimm, D. Dittrich, J. Standfuß  
*"Laser Beam Welding of High Stiffness Light Weight Structures Generated by Scanned Fiber Laser"*  
 27<sup>th</sup> International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics, (ICALEO) Temecula (CA), USA, 2008, Proceedings paper # 609, S. 332-339
- [L89]** H.-J. Scheibe, M. Leonhard, A. Leson, C.-F. Meyer, T. Stucky, V. Weihnacht  
*"Abscheidung superharter Kohlenstoffschichten mittels Laser-Arco® auf dem Weg vom Labor in die industrielle Serienfertigung"*  
 Vakuum in Forschung und Praxis 20 (2008) 6, S. 26-31

- [L90]** H.-J. Scheibe, V. Weihnacht, T. Stucky  
*"Verschleisschutz - Extrem harte Kohlenstoffschichten unter Fertigungsbedingungen abscheidbar"*  
 Maschinenmarkt. MM, das Industriemagazin (2008) 25, S. 22-24
- [L91]** D. Schneider, E. Hensel, A. Leson  
*"Testing Thin Films and Surfaces"*  
 NanoS Guide 2008, Wiley-VCH Verlag, S. 20-26
- [L92]** D. Schneider, A. Leson  
*"Evaluating Thin Films and Material Surfaces by the Surface Acoustic Wave Technique LAwave"*  
 MicroCar 2008, Micromaterials and Nanomaterials, 8 (2008)
- [L93]** B. Schultrich, V. Weihnacht  
*"Tribologisches Verhalten von harten und superharten Kohlenstoffschichten"*  
 Vakuum in Forschung und Praxis 20 (2008) 1, S. 12-17
- [L94]** C. C. Stahr, L.-M. Berger, M. Herrmann, D. Deska  
*"Corrosion of Alumina-Based Coatings"*  
 International Thermal Spray Conference & Exhibition (ITSC 2008), Conference Proceedings, Düsseldorf: DVS-Verlag GmbH, (2008), CD, S. 374-377, ISBN 978-3-87155-979-2
- [L95]** C. C. Stahr, L.-M. Berger, M. Herrmann, D. Deska  
*"Korrosion thermisch gespritzter Schichten auf der Basis von Aluminiumoxid"*  
 Tagungsband zum 11. Werkstofftechnischen Kolloquium in Chemnitz, (2008) Schriftenreihe "Werkstoffe und werkstofftechnische Anwendungen", Band 31, Herausgeber: B. Wielage, Chemnitz: TU Chemnitz, (2008) S. 115-122, ISBN: 978-3-00-025648-6, ISSN: 1439-1597
- [L96]** C. C. Stahr, L.-M. Berger, S. Thiele  
*"Mikrostruktur und Eigenschaften HVOF-gespritzter Schichten im System TiO<sub>2</sub> - Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>"*  
 Materialwissenschaft und Werkstofftechnik 39 (2008) 1, S. 24-28
- [L97]** C. C. Stahr, L.-M. Berger, S. Thiele, S. Saaro  
*"Thermally Sprayed TiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coatings with Multifunctional Properties"*  
 International Thermal Spray Conference & Exhibition ITSC 2008, Conference Proceedings, Düsseldorf: DVS-Verlag GmbH, (2008), CD, S. 1114-1119, ISBN 978-3-87155-979-2
- [L98]** C. C. Stahr, L.-M. Berger, F.-L. Toma  
*"Keramische Schichten im System Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> - ausgewählte Entwicklungstendenzen"*  
 Tagungsband zum 4. GTV Kolloquium Thermisches Spritzen (2008), Luckenbach, Hrg.: A. Schwenk, Luckenbach: GTV-Verschleiss-Schutz GmbH, (2008) S. 56-63, ISSN 1610-0530
- [L99]** C. C. Stahr, L.-M. Berger, F.-L. Toma, M. Herrmann, D. Deska, G. Michael  
*"Korrosion thermisch gespritzter Schichten auf der Basis von Aluminiumoxid"*  
 Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 39 (2008) 12, S. 892-896
- [L100]** J. Standfuß, U. Stamm, G. Göbel, S. Schrauber, B. Brenner  
*"Future Powertrain Welding Applications Driven by Fiber Lasers"*  
 ALAW 2008, Automotive Laser Application Workshop 2008, Plymouth (MI), USA, Tagungsband
- [L101]** O. Stelling, N. Ellendt, V. Uhlenwinkel, P. Krug, O. Keßler, H.-W. Zoch, B. Commandeur  
*"Einfluss des primär ausgeschiedenen Mg<sub>2</sub>Si-Anteils sowie dessen Verteilung auf die Eigenschaften von sprühkompaktierten AlMgSiCu-Legierungen"*  
 Härtereitechnische Mitteilungen: HTM 63 (2008) 5, S. 276-283
- [L102]** T. Stucky, V. Weihnacht, S. Bräunling  
*"Potenzial von ta-C-Schichten für die Trockenumformung"*  
 Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. -EFDS- ; Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik -IST-, Braunschweig ; Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik -IWS-, Dresden: Kohlenstoffschichten- Tribologische Eigenschaften und Verfahren zu ihrer Herstellung. 3. EFDS Workshop 2008, Dortmund, S. 10
- [L103]** A. Techel  
*"Mit dem Laser Energie sparen"*  
 Laser + Produktion 2008, S. 12-14
- [L104]** A. Techel, L.-M. Berger, V. Weihnacht  
*"Hart im Nehmen"*  
 Metalloberfläche (mo), 62 (2008) 9, S. 30-32, ISSN 0026-0797
- [L105]** A. Techel, C. Zellbeck  
*"Im Blickpunkt - Deutschlands Elite-Institute - Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden"*  
 ISSN 1614-8185
- [L106]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, D. Jacquet, D. Wicky, I. Villaluenga, Y. R. de Miguel, J. S. Lindeløv  
*"Vergleichende Untersuchungen zu den photokatalytischen Eigenschaften von thermisch gespritzten Titanoxidschichten aus Pulvern und Suspensionen"*  
 Tagungsband zum 11. Werkstofftechnischen Kolloquium in Chemnitz, Schriftenreihe "Werkstoffe und werkstofftechnische Anwendungen", Band 31, Hrg.: B. Wielage, Chemnitz: TU Chemnitz (2008) S. 107-114, ISBN: 978-3-00-025648-6, ISSN: 1439-1597
- [L107]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, T. Naumann, S. Langner  
*"Microstructures of Nanostructured Ceramic Coatings Obtained by Suspension Thermal Spraying"*  
 Surface and Coatings Technology 202 (2008) 18, S. 4343-4348
- [L108]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, T. Naumann, S. Langner  
*"Characterisation of Ceramic Nanostructured Coatings Prepared by Thermal Spraying of Suspensions"*  
 International Thermal Spray Conference & Exhibition (ITSC 2008), Conference Proceedings, Düsseldorf: DVS-Verlag GmbH, (2008), CD, S. 429-434, ISBN 978-3-87155-979-2
- [L109]** F.-L. Toma, G. Bertrand, D. Klein, C. Meunier, S. Begin  
*"Development of Photocatalytic Active TiO<sub>2</sub> Surfaces by Thermal Spraying of Nanopowders"*  
 Journal of Nanomaterials. Online unter <http://www.hindawi.com/journals/jnm/index.html> 2008 (2008), Art. 384171, S. 8

- [L110]** A.M. Urbanowicz, B. Meshman, D. Schneider, M. R. Baklanov  
*"Stiffening and Hydrophilisation of SOG Low-K Material Studied by Ellipsometric Porosimetry, UV Ellipsometry and Laser-Induced Surface Acoustic Waves"*  
 Physica status solidi. A, 205 (2008) 4, S. 829-832
- [L111]** V. Weihnacht  
*"Mechanisch-tribologisch angepasste ta-C-basierte-Schichtsysteme"*  
 In: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. -EFDS- ; Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik -IST-, Braunschweig ; Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik -IWS-, Dresden: Kohlenstoffschichten- Tribologische Eigenschaften und Verfahren zu ihrer Herstellung. 3. EFDS Workshop 2008, Dortmund, S. 9
- [L112]** V. Weihnacht, A. Brückner  
*"Optimized ta-C-Based Coating Systems for Lubricated Conditions"*  
 Seminar HANSER-Verlag "Funktionale Schichten", Fellbach, März, 2008, Tagungsband
- [L113]** V. Weihnacht, A. Brückner  
*"Optimized ta-C-Based Coating Systems for Lubricated Conditions"*  
 Workshop "Friction, Wear and Wear protection", Aachen, 2008, Tagungsband
- [L114]** V. Weihnacht, A. Brückner, S. Bräunling  
*"ta-C beschichtete Werkzeuge für die Trockenumformung von Aluminiumblechen"*  
 Vakuum in Forschung und Praxis 20 (2008) 3, S. 6-10
- [L115]** V. Weihnacht, A. Brückner, S. Bräunling  
*"Diamantartige Kohlenstoffschichten mit Potenzial zur Trockenumformung"*  
 Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung (Kolloquium)  
 In: Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V., EFB: Intermezzo der Werkstoffe. Die Chance der Wahl für Konstrukteure und Planer, EFB, 2008, S. 47-52
- [L116]** V. Weihnacht, H.-J. Scheibe  
*"Friction and Wear Behaviour of Modified Diamondlike Carbon Films"*  
 16th International Colloquium Tribology Stuttgart, Januar, 2008, Tagungsband
- [L117]** V. Weihnacht, H.-J. Scheibe, A. Leson  
*"ta-C and Modified ta-C:X Films for Demanding Tribological Applications"*  
 11th International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE2008) Garmisch-Partenkirchen, September 2008, Tagungsband PSE 2008, S. 90
- [L118]** B. Weller, I. Jansen, S. Tasche  
*"Adhesive Joints with Acrylates in Glass Structures"*  
 Euradh 2008 / Adhesion '08, 10th Internat. Conf. Sci. & Techn. Adh., September 2008, Oxford, UK, S. 309-312
- [L119]** S. Winkler, S. Braun, P. Gawlitza, D. C. Meyerl  
*"Fabrication and Characterization of Multilayered Thermal Barrier Coatings"*  
 11th International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE2008) Garmisch-Partenkirchen, Tagungsband PSE 2008, S. 310
- [L120]** W. L. Xu, J.-S. Pap, J. Bronlund  
*"Design of a Biologically Inspired Parallel Robot for Foods Chewing"*  
 IEEE transactions on industrial electronics 55 (2008) 2, S. 832-841
- [L121]** W.L. Xu, D.J. Torrance, B.Q. Chen, J. Potgieter, J.E. Bronlund, J.-S. Pap  
*"Kinematics and Experiments of a Life-Sized Masticatory Robot for Characterizing Food Texture"*  
 IEEE transactions on industrial electronics 55 (2008) 5, S. 2121-2132
- [L122]** O. Zimmer, F. Kaulfuß  
*"Hard Coatings with Elevated Film Thickness Prepared by PVD"*  
 11th International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE2008), Tagungsband PSE 2008, S. 537
- [L123]** Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Dresden  
*"4. Internationaler Workshop "Faserlaser" 2008, CD-ROM, 5.-6. November 2008, Fraunhofer IWS Dresden"*  
 Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008  
 ISBN 978-3-8167-7853-0
- [L125]** Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik -IWS-, Dresden  
*"7. Workshop "Industrielle Anwendungen von Hochleistungs-Diodenlasern" 2008, CD-ROM, 24. bis 25. Juni 2008 in Dresden"*  
 Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2008  
 ISBN 978-3-8167-7663-5

**EV** = Eingeladene Vorträge

- [T01]** T. Abendroth, H. Althues, S. Kaskel  
*"Abscheidung von photokatalytisch aktiven Titandioxidschichten bei niedrigen Temperaturen mittels Atmosphärendruck CVD"*  
 4. Thüringer Grenz- und Oberflächentage, Jena, September 2008
- [T02]** T. Abendroth, H. Althues, S. Kaskel  
*"Chemische Dampfphasenabscheidung (CVD) von funktionellen Oxidschichten auf Polymeroberflächen bei Atmosphärendruck"*  
 16. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium, Dresden, Oktober 2008
- [T03]** H. Althues, T. Abendroth, I. Dani, S. Kaskel  
*"Atmospheric Pressure PECVD for Cost-Saving, Continuous Deposition of Thin Films"*  
 7<sup>th</sup> International Conference on Coatings on Glass & Plastics, Eindhoven/Veldhoven, Niederlande, Juni 2008
- [T04]** H. Beese, W. Grählert, J. Grübler, P. Kaspersen, A. Bohman  
*"Optisch-spektroskopische Bestimmung der Permeabilität von Ultrabariere-materialien"*  
 6<sup>th</sup> Conference on Optical Analysis Technology (OPTAM), Leverkusen, September 2008
- [T05]** H. Beese, E. Lopez, W. Grählert, I. Dani, V. Hopfe  
*"Characterisation of Photovoltaic Production Processes by Infrared Spectroscopy"*  
 1<sup>st</sup> European Conference on Process Analytics and Control Technology (EUROPACT), Frankfurt/M., 22.-25. April 2008
- [T06]** **EV** L.-M. Berger  
*"Thermisch gespritzte Beschichtungslösungen für die Antriebstechnik"*  
 Forschungsvereinigung Antriebstechnik des VDMA, Frankfurt/M.  
 17. Januar 2008
- [T07]** **EV** L.-M. Berger  
*"Neue Möglichkeiten für thermisch gespritzte Hartmetallschichten"*  
 Thermisches Spritzen 3-Ländereck des Schweizer Verbandes für Schweisstechnik, Basel, 28. Oktober 2008
- [T08]** L.-M. Berger, K. Lipp, C. Jordan, U. May, T. Naumann  
*"Rolling Contact Fatigue of HVOF-Sprayed WC-based Hardmetal Coatings"*  
 International Powder Metallurgy Congress & Exhibition, Mannheim, 29. September - 1. Oktober 2008,
- [T09]** L.-M. Berger, S. Saaro  
*"Oxidation of (Ti,Mo)(C,N)-Based HVOF-Sprayed Hardmetal Coatings"*  
 International Conference on the Science of Hard Materials, Montego Bay, Jamaica, 10.-14. März 2008,
- [T10]** L.-M. Berger, S. Saaro, C. Jordan, T. Naumann, M. Kašparova, F. Zahálka  
*"HVOF-Sprayed WC-(W,Cr)<sub>2</sub>C-Ni Coatings and Their Properties"*  
 International Thermal Spray Conference & Exhibition, Maastricht, Niederlande 2.-4. Juni 2008
- [T11]** L.-M. Berger, C.C. Stahr, S. Saaro, S. Thiele, M. Woydt  
*"Dry Sliding Wear Properties of Thermal Spray Coatings in the TiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> System"*  
 Friction, Wear and Wear Protection, Aachen, 9.-11. April, 2008
- [T12]** L.-M. Berger, C.C. Stahr, S. Saaro, S. Thiele, M. Woydt, N. Kelling  
*"High Temperature Tribology up to 7.5 m/s of Thermally Sprayed Coatings of the TiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> System and (Ti,Mo)(C,N)-Ni(Co)"*  
 49. Tribologie-Fachtagung, Göttingen, 22.-24. September 2008
- [T13]** L.-M. Berger, V. Weihnacht, S. Saaro, R. Schwetzke  
*"Microstructure and Dry Sliding Wear Properties of HVOF-Sprayed Hardmetal Coatings with Thin Film Topcoats"*  
 Nordtrib 2008, 13<sup>th</sup> Nordic Symposium on Tribology, Tampere, 10.-13. Juni 2008
- [T14]** E. Beyer  
*"High Power Laser Materials Processing - New Developments and Trends"*  
 3<sup>rd</sup> Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics (PICALO 2008), Peking, China, 16.-18. April 2008
- [T15]** E. Beyer, T. Himmer, M. Lütke, F. Bartels, A. Mahrle  
*"Cutting with High Brightness Lasers"*  
 Stuttgarter Lasertage (SLT'08), Stuttgart, 4.-6. März 2008
- [T16]** E. Beyer, M. Lütke, T. Himmer  
*"Remote-Schneiden mit brillanten Strahlquellen"*  
 Münchener Kolloquium, Innovationen für die Produktion, München, 9. Oktober 2008
- [T17]** S. Bonß  
*"LiFt - Laserintegration in die Fertigungstechnik"*  
 SIT – Ingenieurtag, Chemnitz, 27. Juni 2008
- [T18]** S. Bonß  
*"LiFt - Prozesseffizienz durch Laserintegration"*  
 Innovationabend der Firma euro-engineering, Chemnitz, 25. September 2008
- [T19]** S. Bonß, J. Hannweber, U. Karsunke, S. Kühn, M. Seifert, E. Beyer, G. Drollinger  
*"Prozesskettenverkürzung durch integriertes Laserstrahlhärten in Drehmaschinen"*  
 Härterei-Kolloquium 2008, Wiesbaden, 8.-10. Oktober 2008
- [T20]** S. Bonß, J. Hannweber, U. Karsunke, S. Kühn, M. Seifert, E. Beyer, G. Drollinger  
*"Integrated Laser Beam Hardening in Turning Machines for Process Chain Reduction"*  
 27<sup>th</sup> International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO 2008), Temecula (CA), USA, 20.-23. Oktober 2008
- [T21]** S. Bonß, J. Hannweber, U. Karsunke, M. Seifert, B. Brenner, E. Beyer  
*"Integrated Heat Treatment - Comparison of Different Machine Concepts"*  
 3<sup>rd</sup> Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics (PICALO 2008), Peking, China, 16.-18. April 2008
- [T22]** S. Braun  
*"Application of Nanometer Precision Coatings for EUV Lithography and X-Ray Analytics"*  
 NanoTech 2008, Tokyo, Japan, 13.-15. Februar 2008

- [T23]** S. Braun  
*"High Precision Nanoscaled Coatings for Optics"*  
 Seminars and Lab tours "Nanotechnologies for Energy and Energy Efficiency" Dresden, 13. März 2008
- [T24]** S. Braun, P. Gawlitza, M. Menzel, S. Schädlich, A. Leson  
*"Figuring of Superpolished Substrates by High-Precision Coatings"*  
 9th International Conference on the Physics of X-ray Multilayer Structures (PXRMS), Montana, USA, 3.-7. Februar 2008
- [T25]** S. Braun, S. Schädlich, A. Leson  
*"Multilayer Laue Lenses: A New Approach for Nanometer Focusing and X-Ray Microscopy"*  
 4th Workshop on "Advanced Nanomaterials", Wrocław, Polen, 27.-28. Oktober 2008
- [T26]** S. Braun, E. Zschech, W. Yun  
*"Nano-Röntgentomographie für Prozesskontrolle und Fehleranalyse in der Halbleiterindustrie"*  
 Industrielle Computertomographie Tagung, Wels, Österreich, 27.-28. Februar 2008
- [T27]** B. Brenner  
*"Neue Laserstrahlschweißverfahren in Forschung und Industrie"*  
 BIC-Fachforum „Trends und Entwicklungen in der Laserbearbeitung – Neue Möglichkeiten für Unternehmen der Region“, Zwickau, 19. Januar 2008
- [T28]** B. Brenner  
*"Development of New Laser Welding Technologies and Their Industrial Use in Germany"*  
 Keynote presentation, AILU Technology Workshop "Welding and Cutting with Fibre-Delivered Laser Beams", TWI Cambridge, UK, 20. Februar 2008
- [T29]** B. Brenner  
*"Neueste laserbasierte Fügeverfahren in Forschung und Industrie"*  
 Materialforschungstag des Materialforschungsverbundes Dresden, „Effizienter Leichtbau durch einsetzgerechte Werkstoffauswahl“(Intec 2008), Leipzig, 29. Februar 2008
- [T30]** B. Brenner  
*"Aktuelle Entwicklungen zum Laserstrahlschweißen schwer schweißbarer Werkstoffe"*  
 Studentenkongress im Rahmen der Großen Schweißtechnischen Tagung, Dresden, 17. November 2008
- [T31]** B. Brenner, S. Bonß  
*"Hochleistungsdiodenlaser als Werkzeug"*  
 7. Workshop „Industrielle Anwendungen von Hochleistungsdiodenlasern“, IWS Dresden, 24.-25. Juni 2008
- [T32]** B. Brenner, J. Hackius, J. Standfuß, D. Dittrich, B. Winderlich, J. Liebscher  
*"Laser Beam Welding of Aircraft Fuselage Structures"*  
 27th International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO 2008), Temecula (CA), USA, 20.-23. Oktober 2008
- [T33]** B. Brenner, A. Jahn, J. Standfuß  
*"Improved Formability and Crash Performance of Laser-Welded Structures Made of High Strength Multiphase-Steels"*  
 9th European Automotive Laser Application Conference (EALA 2008), Bad Nauheim, 31. Januar - 1. Februar 2008
- [T34]** B. Brenner, J. Standfuß, U. Stamm, D. Dittrich, A. Jahn, B. Winderlich  
*"Perspektiven für den Metalleichtbau in der Fahrzeug- und Luftfahrtindustrie durch fortgeschrittene Laserstrahlschweißverfahren"*  
 12. Dresdner Leichtbausymposium „Innovationsquelle Leichtbau“, Dresden, 12.-14. Juni 2008
- [T35]** P. Bringmann, O. Rohr, J. Wehr, I. Jansen  
*"Cr<sup>6+</sup>-free Hybrid Coatings as Potential Pre-Treatment for Structural Adhesive Bonding"*  
 Euradh 2008 / Adhesion '08, 10th Internat. Conf. Sci. & Techn. Adh. Adh., Oxford, UK, 3.-5. September 2008
- [T36]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Simulation of Induction Assisted Laser Cladding and Experimental Validation"*  
 21th Meeting on Mathematical Modelling of Materials Processing with Lasers, Igl, Österreich, 16.-18. Januar 2008
- [T37]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Induktiv unterstütztes Laser-Pulver-Auftragsschweißen - Simulation und Experimente"*  
 WLT Summer School 2008, Stuttgart, 3. März 2008
- [T38]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Numerical and Experimental Investigation of Thermal Stresses and Distortions in the Induction Assisted Laser Cladding"*  
 3rd Pacific International Conference on Application of Lasers and Optics (PICALO 2008), Peking, China, 16.-18. April 2008
- [T39]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Reduction of Thermally Induced Distortion in Laser Cladding"*  
 2nd International Workshop on Thermal Forming and Welding Distortion, Bremen, 22.-23. April 2008
- [T40]** J. Chen, E. Louis, F. Bijkerk, C. J. Lee, R. Kunze, H. Schmidt, D. Schneider, R. Moors  
*"Characterization of EUV Induced Carbon Films Using Laser-Generated Surface Acoustic Waves"*  
 Diamond 2008, Sitges, Spain, 2008, 7.-11. September 2008
- [T41]** EV I. Dani  
*"Atmospheric Pressure Plasmas for the Manufacturing of Solar Cells"*  
 New Technologies and Processes for the Photovoltaic Industry Conference, Turin, November 2008
- [T42]** I. Dani, E. López, B. Dresler, D. Linaschke, H. Beese, V. Hopfe, S. Kaskel  
*"Atmospheric Pressure Plasma Processes for Photovoltaics"*  
 Nanofair 2008, Workshop energy, Dresden
- [T43]** I. Dani, E. Lopez, B. Dresler, J. Roch, G. Mäder, P. Grabau, V. Hopfe  
*"Kontinuierliche Prozessierung von kristallinen Si-Solarwafern durch plasma-chemisches Ätzen und Beschichten bei Atmosphärendruck"*  
 XV. Erfahrungsaustausch "Oberflächentechnologie mit Plasma- und Ionenstrahlprozessen", Mühlleithen, 4.-6. März 2008

- [T44]** I. Dani, G. Mäder, J. Roch, P. Grabau, B. Dresler, D. Linaschke, S. Tschöcke, E. López, V. Hopfe  
*"Equipment for Atmospheric Pressure Plasma Processing"*  
 Eleventh International Conference on Plasma Surface Engineering, Garmisch, September 2008
- [T45]** C. Demuth, A. Mahrle, E. Beyer  
*"Partikelbasierte numerische Verfahren zur Prozesssimulation in der Laser-materialbearbeitung – Potenzial, Methodik und Implementierung"*  
 WLT-Summerschool, Stuttgart, 3. März 2008
- [T46]** G. Dietrich, P. Gawlitza, S. Braun, A. Leson  
*"Ionenstrahlputtern von Kohlenstoff - Möglichkeiten und Grenzen bei der Herstellung hochpräziser (Multi-) Schichten"*  
 Erfahrungsaustausch "Oberflächentechnologien mit Plasma- und Ionstrahlprozessen", Mühlleiten, 4.-6. März 2008
- [T47]** G. Dietrich, P. Gawlitza, S. Braun, A. Leson  
*"Reactive Nanometer Multilayers as Tailored Heat Sources for Joining Techniques"*  
 4th Workshop on "Advanced Nanomaterials", Wroclaw, Polen, 27.-28. Oktober 2008
- [T48]** D. Dittrich, E. Beyer, B. Brenner, J. Standfuß, B. Winderlich, J. Hackius  
*"Progress in Laser Beam Welding of Aircraft Fuselage Panels / Skin-Skin-Connections"*  
 27th International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO 2008), Temecula (CA), USA, 20.-23. Oktober 2008
- [T49]** D. Dittrich, B. Brenner, B. Winderlich, G. Kirchhoff, J. Hackius  
*"New Weld Seam Design for Advanced Joining Techniques to Improve Safety and to Reduce Structural Weight"*  
 Aircraft Structural Design Conference, Liverpool, UK, 14.-16. Oktober 2008
- [T50]** D. Dittrich, B. Brenner, B. Winderlich, J. Standfuß, J. Liebscher, J. Hackius  
*"Laserstrahlschweißtechnologien für innovative integrale Rumpfschalen ziviler Großraumflugzeuge"*  
 Große Schweißtechnische Tagung, Dresden, 17.-19. September 2008
- [T51]** B. Dresler, J. Roch, I. Dani, V. Hopfe, M. Heintze, R. Möller, M. Kirschmann, J. Frenck, R. Dahl  
*"Silicon Nitride Produced by Atmospheric Pressure Microwave PECVD"*  
 23th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spanien, September 2008
- [T52]** B. Dresler, J. Roch, I. Dani, V. Hopfe, B. Leupolt, A. Poruba, R. Barinka, M. Kirschmann, J. Frenck  
*"Atmospheric Pressure Microwave PECVD of Silicon Nitride Layers for Passivation of Solar Wafers"*  
 11th International Conference on Plasma Surface Engineering, Garmisch-Partenkirchen, 15.-19. September 2008
- [T53]** P. Gawlitza, S. Braun, G. Dietrich, M. Menzel, S. Schädlich, A. Leson  
*"Ion Beam Sputtering of Multilayer X-Ray Optics"*  
 Annual Meeting of Spie Optics & Photonics, San Diego, USA, 10.-14. August 2008
- [T54]** P. Gawlitza, G. Dietrich, S. Braun, A. Leson  
*"Smoothing of Surface Roughness by Ion Beam Deposition and Etching"*  
 9th International Conference on the Physics of X-ray Multilayer Structures Montana, USA, 3.-7. Februar 2008
- [T55]** L. Girauskaite, S. Krzywinski, H. Rödel, R. Böhme, I. Jansen  
*"Possibilities for the Production of Complex Shaped Dry Textile Preforms for High Quality Composites"*  
 8th AUTEK Conference, Biella, Italien, 24.-26. Juni 2008
- [T56]** L. Girauskaite, S. Krzywinski, H. Rödel, R. Böhme, I. Jansen  
*"Complex Shaped Dry Textile Preforms for High Quality Composites"*  
 2nd Aachen-Dresden International Textile Conference, Dresden, 4.-5. Dezember 2008
- [T57]** P. Grabau, G. Mäder, I. Dani, V. Hopfe  
*"Electrical Characterisation of a Linearly extended Arc Discharge at Atmospheric Pressure"*  
 11th International Conference on Plasma Surface Engineering, Garmisch-Partenkirchen, 15.-19. September 2008
- [T58]** W. Grähler, H. Beese, P. Kaspersen, A. Bohman  
*"TraceScout - an Advanced Sensor System for In-line Monitoring of Special Gases in Semiconductor Industry"*  
 1st European Conference on Process Analytics and Control Technology, Frankfurt / M., 22.-25. April 2008
- [T59]** W. Grähler, M. Leistner, D. Linaschke, I. Dani  
*"Infrarotspektroskopische Charakterisierung photovoltaischer Produktionsprozesse"*  
 9. Wörlitzer Workshop Diagnostik & Prozesskontrolle bei der Herstellung von Solarzellen, Wörlitz, 17. Juni 2008
- [T60]** W. Grähler, M. Leistner, M. März, O. Jost, V. Hopfe, S. Kaskel  
*"In-situ Monitoring of the Synthesis of Single-wall Carbon Nanotubes (SWCNT) Using FT-NIR Spectroscopy"*  
 Nanofair, Dresden, 11.-12. März 2008
- [T61]** W. Grimm, V. Weihnacht  
*"Super Hard Carbon Coatings Deposited by Pulsed DC-Arc-Process"*  
 11th International Conference on Plasma Surface Engineering, Garmisch-Partenkirchen, 15.-19. September 2008
- [T62]** L. Haubold, M. Becker, T. Schuelke, C. Kleemann, H. Scheibe, C. Hinüber, R. Friedrichs, E. Hoeffing, M. Baumann  
*"JB-4-ta-C:X for Biomedical Implants"*  
 SVC 2008, Chicago, USA, 19.-24. April 2008
- [T63]** EV T. Himmer, M. Lütke, L. Morgenthal  
*"Cutting Applications for High Brightness Lasers"*  
 XIII International Conference on Laser Optics 2008, St. Petersburg, Russland, Juni 2008,
- [T64]** T. Himmer, M. Lütke, L. Morgenthal  
*"Potential des Remote-Laserstrahl-schneidens in der Fertigungstechnik"*  
 DPS Kundentage 2008 – Faszination 4D, Dresden, Oktober 2008,
- [T65]** EV T. Himmer, M. Lütke, L. Morgenthal, E. Beyer, C. Bratt  
*"Remote Cutting with High Brightness Lasers"*  
 XXXII Conference on Production Engineering 2008, Novi Sad, Serbien September 2008

- [T66]** V. Hopfe, I. Dani, E. López, B. Dresler, M. Heintze, R. Möller, H. Wanka, A. Poruba, R. Barinka, M. Kirschmann, J. Frenck  
*"Atmospheric Pressure Plasmas for Coating and Etching of Solar Wafers"*  
 11<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering, Garmisch-Partenkirchen, 15.-19. September 2008
- [T67]** **EV** V. Hopfe, D. W. Sheel  
*"Atmospheric Pressure Plasmas for Crystalline Silicon Photovoltaics"*  
 51<sup>st</sup> SVC Annual Technical Conference, Chicago, 19.-24. April 2008
- [T68]** **EV** V. Hopfe, D. W. Sheel, R. Moeller  
*"Nanostructured c-Si Photovoltaic Cells by Atmospheric Pressure Plasma Processing"*  
 International Conference on Functional Nanocoatings, Budapest, 30. März - 2. April 2008
- [T69]** Š. Houdková, F. Zahálka, M. Kašparová, L.-M. Berger  
*"Tribological Behaviour of Thermally Sprayed Coatings at Elevated Temperatures"*  
 International Thermal Spray Conference & Exhibition, Maastricht, Niederlande, 2.-4. Juni 2008,
- [T70]** A. Jahn, M. Krätzsich, B. Brenner  
*"Laserstrahlschweißen hochfester Feinkornbaustähle mit werkstoffangepasster Temperaturführung"*  
 Große Schweißtechnische Tagung, Dresden, 17.-19. September 2008
- [T71]** A. Jahn, M. Krätzsich, B. Brenner  
*"Induction Assisted Laser Beam Welding of HSLA Steel Sheets"*  
 International Scientific Colloquium "Modelling for Electromagnetic Processing", Hannover, 27.-29. Oktober 2008
- [T72]** I. Jansen, J.-S. Pap, R. Rechner  
*"8. Kolloquium Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik"*  
 Frankfurt, 26.-27. Februar 2008
- [T73]** I. Jansen, R. Rechner  
*"Einsatz des Diodenlasers zur Kantenleimung"*  
 7. Workshop "Industrielle Anwendung von Hochleistungsdiodenlasern", IWS Dresden, 24.-25. Juni 2008,
- [T74]** J. Kaspar, J. Bretschneider, S. Bonß, B. Winderlich, B. Brenner  
*"Laser Nitriding: A Promising Way to Improve the Cavitation Erosion Resistance of Components Made of Titanium Alloys"*  
 Symp. On Friction, Wear and Wear Protection, Aachen, 9.-11. April 2008
- [T75]** A. Klotzbach  
*"Introduction to Remote Welding / Cutting Systems"*  
 27<sup>th</sup> International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO 2008), Temecula (CA), USA, 20.-23. Oktober 2008
- [T76]** A. Klotzbach, M. Leminski, J. Standfuß, R. Schedewy, A. Mahrle, F. Brückner  
*"Zukünftige Industrieanwendungen für brillante Laserquellen und deren Qualifizierung unter Nutzung der Strahlendiagnostik"*  
 3. Primes Workshop, Pfungstadt, 9.-10. September 2008
- [T77]** S. Kühn, J. Hannweber, B. Brenner, E. Beyer  
*"A Novel Active Laser Safety Shield"*  
 27<sup>th</sup> International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO 2008), Temecula (CA), USA, 20.-23. Oktober 2008
- [T78]** M. Leistner, M. März, W. Grählert, V. Hopfe, O. Jost, S. Kaskel  
*"In-situ Monitoring of Single-Wall Carbon Nanotubes (SWCNT) Synthesis Using FT-NIR Spectroscopy"*  
 1<sup>st</sup> European Conference on Process Analytics and Control Technology (EUROPACT), Frankfurt / M., 22.-25. April 2008
- [T79]** D. Lepski, F. Brückner  
*"The Physics of Laser Cladding"*  
 21. Meeting on Mathematical Modeling of Materials Processing with Lasers, Igls, Österreich, Januar 2008
- [T80]** **EV** A. Leson  
*"Current Research and Technology Transfer at the Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology"*  
 Center of Condensed Matter of the Mexican Autonomous National University, Ensenada, Mexiko, 30. April 2008
- [T81]** **EV** A. Leson  
*"More Moore"*  
 Gastvorlesung Universität Osaka Osaka, Japan, 23. Juli 2008
- [T82]** A. Leson  
*"Dünnschichttechnologie - Verfahren, Anwendungen, Perspektiven"*  
 Fraunhofer Technologiezentrum: "Wirtschaftliches Potential der Nanotechnologien", Würzburg, 15.-16. Oktober 2008
- [T83]** A. Leson  
*"Nanostructured Carbon Layers for Wear Resistance and Friction Reduction"*  
 2<sup>nd</sup> British-German Nanotech Forum "Commercialising Future Technologies for Energy and Automotive Applications", London, GB, 27. Oktober 2008
- [T84]** A. Leson, M. Leonhardt, C.-F. Meyer, H.-J. Scheibe, V. Weihnacht  
*"Deposition of Super Hard and Smooth ta-C Films by Filtered Laser-Arc"*  
 European Vacuum Coaters Symposium Anzio, Italien, 29. September - 2. Oktober 2008
- [T85]** **EV** A. Leson, M. Leonhardt, C.-F. Meyer, H.-J. Scheibe, V. Weihnacht  
*"Hard Nanostructured Carbon Coatings - Technology and Applications"*  
 RusNanoTech'2008 Nanotechnology International Forum, Moskau, Russland, 3.-5. Dezember 2008
- [T86]** A. Leson, H.-J. Scheibe, V. Weihnacht  
*"Nanostructured Carbon Coatings - Technology and Applications"*  
 MiNaT2008, Stuttgart, 8. Oktober 2008
- [T87]** S. Lipfert, S. Braun, P. Gawlitza, J. Schmidt, A. Leson  
*"Inner Coating of EUV Collector Shells"*  
 11<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering, Garmisch-Partenkirchen, 15.-19. September 2008
- [T88]** S. Lipfert, P. Gawlitza, S. Braun, A. Leson  
*"Application of Large Ion Beam Technology for Optical Coatings"*  
 11<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering, Garmisch-Partenkirchen, 15.-19. September 2008

- [T89]** E. López, I. Dani, V. Hopfe, M. Heintze, R. Möller, H. Wanka, H. Nußbaumer, R. Dahl, A. Poruba, R. Barinka, M. Kirschmann, J. Frenck  
*"Plasma Enhanced Chemical Etching at Atmospheric Pressure for Crystalline Silicon Wafer Processing"*  
 23<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spanien, September 2008
- [T90]** E. López, B. Dresler, G. Mäder, S. Krause, I. Dani, V. Hopfe, M. Heintze, R. Möller, H. Wanka, M. Kirschmann, J. Frenck, A. Poruba, R. Barinka, R. Dahl, H. Nussbaumer  
*"Plasma Enhanced CVD and Plasma Chemical Etching at Atmospheric Pressure for Continuous Processing of Crystalline Silicon Solar Wafers"*  
 51<sup>st</sup> SVC Annual Technical Conference, Chicago, USA, 19.-24. April 2008
- [T91]** E. López, D. Linaschke, H. Beese, G. Mäder, I. Dani, V. Hopfe, M. Kirschmann, J. Frenck  
*"Plasma Chemical Etching for In-line c-Si Solar Cell Processing at Atmospheric Pressure"*  
 11<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering, Garmisch-Partenkirchen, 15.-19. September 2008
- [T92]** M. Lütke, A. Mahrle, T. Himmer, L. Morgenthal, E. Beyer  
*"Remote-Cutting – A Smart Solution Using the Advantages of High Brightness Lasers"*  
 27<sup>th</sup> International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO 2008), Temecula (CA), USA, 20.-23. Oktober 2008
- [T93]** A. Mahrle, F. Bartels, E. Beyer  
*"Theoretical Aspects of the Process Efficiency in Laser Beam Cutting with Fibre Lasers"*  
 27<sup>th</sup> International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO 2008), Temecula (CA), USA, 20.-23. Oktober 2008
- [T94]** A. Mahrle, E. Beyer  
*"Derivation of Optimal Processing Parameters for Conduction Mode Laser beam Welds by Simulation"*  
 3<sup>rd</sup> Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics, Peking, China, 16.-18., April 2008 (Postervortrag)
- [T95]** C.-F. Meyer, H.-J. Scheibe  
*"Filtered Laser-Arc: A New Technology for Deposition of Smooth ta-C Films"*  
 ICMCTF 2008, San Diego, USA, 28. April – 2. Mai 2008
- [T96]** S. Nowotny  
*"Industrielle Lösungen für das Laserstrahl-Auftragschweißen"*  
 TAW-Symposium Thermisches Beschichten mit laserbasierten Fertigungsverfahren, IWS Dresden, 12.-13. Februar 2008
- [T97]** S. Nowotny, S. Scharek, A. Schmidt, F. Kempe  
*"Systemtechnische Lösungen für die Praxis des Auftragschweißens mit Diodenlasern"*  
 7. Workshop "Industrielle Anwendungen von Hochleistungsdiodenlasern", IWS Dresden, 24.-25. Juni 2008
- [T98]** S. Nowotny, S. Scharek, S. Thieme, R.A. Gnann  
*"Flexilas - eine neue Dimension der Laser-Materialbearbeitung mit Zusatzwerkstoffen"*  
 Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung 2008, Karlsruhe, 11.-12. März 2008
- [T99]** S. Nowotny, S. Scharek, S. Thieme, R.A. Gnann  
*"Flexilas: Laser-Auftragschweißen mit zentrischer Drahtzufuhr"*  
 Die Verbindungs Spezialisten, Große Schweißtechnische Tagung, Dresden, 17.-19. September 2008
- [T100]** L. Prager, P. Marsik, J. W. Gerlach, M. R. Baklanov, S. Naumov, L. Pistol, D. Schneider, L. Wennrich, P. Verdonck, M. R. Buchmeise  
*"Effect of Pressure on Efficiency of UV Curing of CVD-Derived Low-K Material at Different Wavelengths"*  
 European Workshop on Materials for Advanced Metallization (MAM 2008), Dresden, 2.-5. März 2008
- [T101]** R. Rechner, I. Jansen  
*"Laservorbehandlung von Leichtmetallen vor dem Kleben"*  
 6. Praxisseminar Kleben, Jena, 12. Februar 2008
- [T102]** R. Schedewy, E. Beyer, B. Brenner, A. Grimm, D. Dittrich, J. Standfuß  
*"Laser Beam Welding of High Stiffness Light Weight Structures Generated by Scanned Fiber Laser"*  
 27<sup>th</sup> International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO 2008), Temecula (CA), USA, 20.-23. Oktober 2008
- [T103]** H.-J. Scheibe, A. Leson, V. Weihnacht  
*"Pulsed Arc Deposition of Modified ta-C Films, Tribological Properties and Applications"*  
 HIPIMS Days, Venlo, Niederlande, 7.-8. Juli 2008
- [T104]** H.-J. Scheibe, V. Weihnacht, A. Leson  
*"Friction and Wear Behaviour of Modified ta-C Films"*  
 ICMCTF 2008, San Diego, USA, 28. April - 2. Mai 2008
- [T105]** D. Schneider, A. Leson  
*"Evaluating Thin Films and Material Surfaces by the Surface Acoustic Wave Technique LAwave"*  
 MicroCar 2008, Leipzig, 27. Februar 2008
- [T106]** C. C. Stahr, L.-M. Berger, M. Herrmann, D. Deska  
*"Corrosion of Alumina-Based Coatings"*  
 International Thermal Spray Conference & Exhibition, 2.-4. Juni 2008, Maastricht, Niederlande
- [T107]** C. C. Stahr, L.-M. Berger, M. Herrmann, D. Deska, F.-L. Toma  
*"Korrosion thermisch gespritzter Schichten auf der Basis von Aluminiumoxid"*  
 11. Werkstofftechnischen Kolloquium in Chemnitz, 1.-2. Oktober 2008
- [T108]** C. C. Stahr, L.-M. Berger, S. Thiele, S. Saaro  
*"Thermally Sprayed TiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coatings with Multifunctional Properties"*  
 International Thermal Spray Conference & Exhibition, 2.-4. Juni 2008, Maastricht, Niederlande
- [T109]** EV C. C. Stahr, L.-M. Berger, F.-L. Toma  
*"Keramische Schichten im System Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> – ausgewählte Entwicklungstendenzen"*  
 4. GTV Kolloquium Thermisches Spritzen, Luckenbach, 5. September 2008,

- [T110]** J. Standfuß, U. Stamm, G. Göbel, S. Schrauber, B. Brenner  
*"Future Powertrain Welding Applications Driven by Fiber Lasers"*  
 Automotive Laser Application Workshop 2008 (ALAW 2008), Plymouth (MI), USA, 13.-15. Mai 2008
- [T111]** T. Stucky, V. Weihnacht, S. Bräunling  
*"Potential von ta-C-Schichten für die Trockenumformung"*  
 3. Workshop "Kohlenstoffschichten - tribologische Eigenschaften und Verfahren zu ihrer Herstellung", Dortmund, 4. Juni 2008
- [T112]** A. Techel  
*"Lasersysteme und Photovoltaik – eine Einführung"*  
 Lasersysteme und Photovoltaik, Fellbach/Stuttgart, 22.-23. April 2008
- [T113]** A. Techel  
*"Technologievorsprung durch Laser- und Oberflächentechnik"*  
 Fokus Technologie, Stuttgart, 30.-31. Oktober 2008
- [T114]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, D. Jacquet, D. Wicky, I. Villaluenga, Y.R. de Miguel, J.S. Lindeløv  
*"Comparative Study on the Photocatalytic Behaviour of Titanium Oxide Thermal Sprayed Coatings from Powders and Suspensions"*  
 2<sup>nd</sup> International Workshop on Suspension and Solution Thermal Spraying, Tours, 5.-7. Juni 2008
- [T115]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, D. Jacquet, D. Wicky, I. Villaluenga, Y. R. de Miguel, J. S. Lindeløv  
*"Vergleichende Untersuchungen zu den photokatalytischen Eigenschaften von thermisch gespritzten Titanoxidschichten aus Pulvern und Suspensionen"*  
 11. Werkstofftechnischen Kolloquium, Chemnitz, 1.-2. Oktober 2008
- [T116]** F.-L. Toma, L.-M. Berger, T. Naumann, S. Langner  
*"Characterisation of Ceramic Nanostructured Coatings Prepared by Thermal Spraying of Suspensions"*  
 International Thermal Spray Conference & Exhibition, 2.-4. Juni 2008, Maastricht, Niederlande
- [T117]** S. Tschöcke, I. Dani, V. Hopfe  
*"Kontinuierliche Großflächenbeschichtung von transparenten, kratzbeständigen SiO<sub>2</sub>-Schichten mittels DC-Arc-PECVD bei Atmosphärendruck"*  
 4. Thüringer Grenz- und Oberflächentage, Jena, September 2008
- [T118]** V. Weihnacht  
*"Nanostructured Carbon Coatings for Wear Resistance and Friction Reduction"*  
 Seminars and Lab tours "Nanotechnologies for Energy and Energy Efficiency" Dresden, 13. März 2008
- [T119]** V. Weihnacht  
*"Mechanisch-tribologische Anpassung durch ta-S-basierende Schichtsysteme"*  
 3. Workshop "Kohlenstoffschichten - tribologische Eigenschaften und Verfahren zu ihrer Herstellung", Dortmund, 4. Juni 2008
- [T120]** V. Weihnacht  
*"Amorphe Kohlenstoffschichten und deren tribologische Eigenschaften"*  
 Institutskolloquium MPA TU Darmstadt Darmstadt, 19. Juni 2008
- [T121]** V. Weihnacht  
*"Diamantartige Kohlenstoffschichten mit Potenzial zur Trocken-Blechumformung"*  
 1. Workshop "Oberflächen für die Produktion - dünne Schichten in geschmierten und ungeschmierten Systemen", Dresden, 17. Oktober 2008
- [T122]** V. Weihnacht, A. Brückner  
*"Optimized ta-C-Based Coating Systems for Lubricated Conditions"*  
 Seminar Hanser-Verlag "Funktionale Schichten", Fellbach, 11.-12. März 2008
- [T123]** V. Weihnacht, A. Brückner  
*"Optimized ta-C-Based Coating Systems for Lubricated Conditions"*  
 Workshop "Friction, Wear and Wear protection", Aachen, 9.-11. April 2008
- [T124]** V. Weihnacht, A. Brückner, S. Bräunling  
*"Diamantartige Kohlenstoffschichten mit Potenzial zur Trockenumformung"*  
 EFB-Kolloquium, Dresden, 3.-4. April 2008
- [T125]** V. Weihnacht, H.-J. Scheibe  
*"Friction and Wear Behaviour of Modified Diamondlike Carbon Films"*  
 16<sup>th</sup> International Colloquium Tribology, Stuttgart, 15.-17. Januar 2008
- [T126]** V. Weihnacht, H.-J. Scheibe, A. Leson  
*"ta-C and Modified ta-C:X Films for Demanding Tribological Applications"*  
 11<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering, Garmisch-Partenkirchen, 15.-19. September 2008
- [T127]** B. Weller, I. Jansen, S. Tasche  
*"Adhesive Joints With Acrylates in Glass Structures"*  
 Euradh 2008 / Adhesion '08, 10<sup>th</sup> Internat. Conf. Sci. & Techn. Adh., Oxford, UK, 3.-5. September 2008
- [T128]** S. Winkler, S. Braun, P. Gawlitza, D. C. Meyer  
*"Fabrication and Characterization of Multilayered Thermal Barrier Coatings"*  
 11<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering, Garmisch-Partenkirchen, 15.-19. September 2008
- [T129]** O. Zimmer  
*"Hard Coatings Thicker Than 20 Microns - an Experimental Study"*  
 HIPIMS Days, Venlo, Niederlande, 7.-8. Juli 2008
- [T130]** O. Zimmer; F. Kaulfuß  
*"Hard Coatings with Elevated Film Thickness Prepared by PVD"*  
 11<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering, Garmisch-Partenkirchen, 15.-19. September 2008

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® - Multigasensor zur in-situ-Überwachung und Regelung industrieller Gasphasenprozesse
- Flexible Oberflächenbehandlung mit plasmachemischen Prozessen bei Atmosphärendruck
- Transparente Kratzschutz- und Korrosionsschichten durch Atmosphärendruck-PECVD
- Atmosphärendruck-Plasmaverfahren zum Ätzen und Beschichten von Solarwafern für die Silizium-Photovoltaik

## 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
- E-MAqS - Ortsauflösend messendes Temperaturerfassungssystem
- Dynamisches Strahlformungssystem zur industriellen Laserrandschichtveredelung - LASSY
- Werkstoffprüfung sichert Produktqualität

## Bereich Systemtechnik / Laser-abtragen und -trennen

- Faserlaser: Technologien und Anwendungen
- lasertronic® - Systeme aus dem Fraunhofer IWS Dresden
- Formgenaues Hochgeschwindigkeits-Laserschneiden
- Laserstrahlabtragen dünner Deckschichten
- Mikrostrukturierung von Keramiken mit Excimerlasern
- Remote-Schneiden von Airbaggewebe
- Reinigen mit cw-Laserstrahl - lasertronic SAO

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 2006
- den Jahresbericht 2007
- einen weiteren Jahresbericht 2008

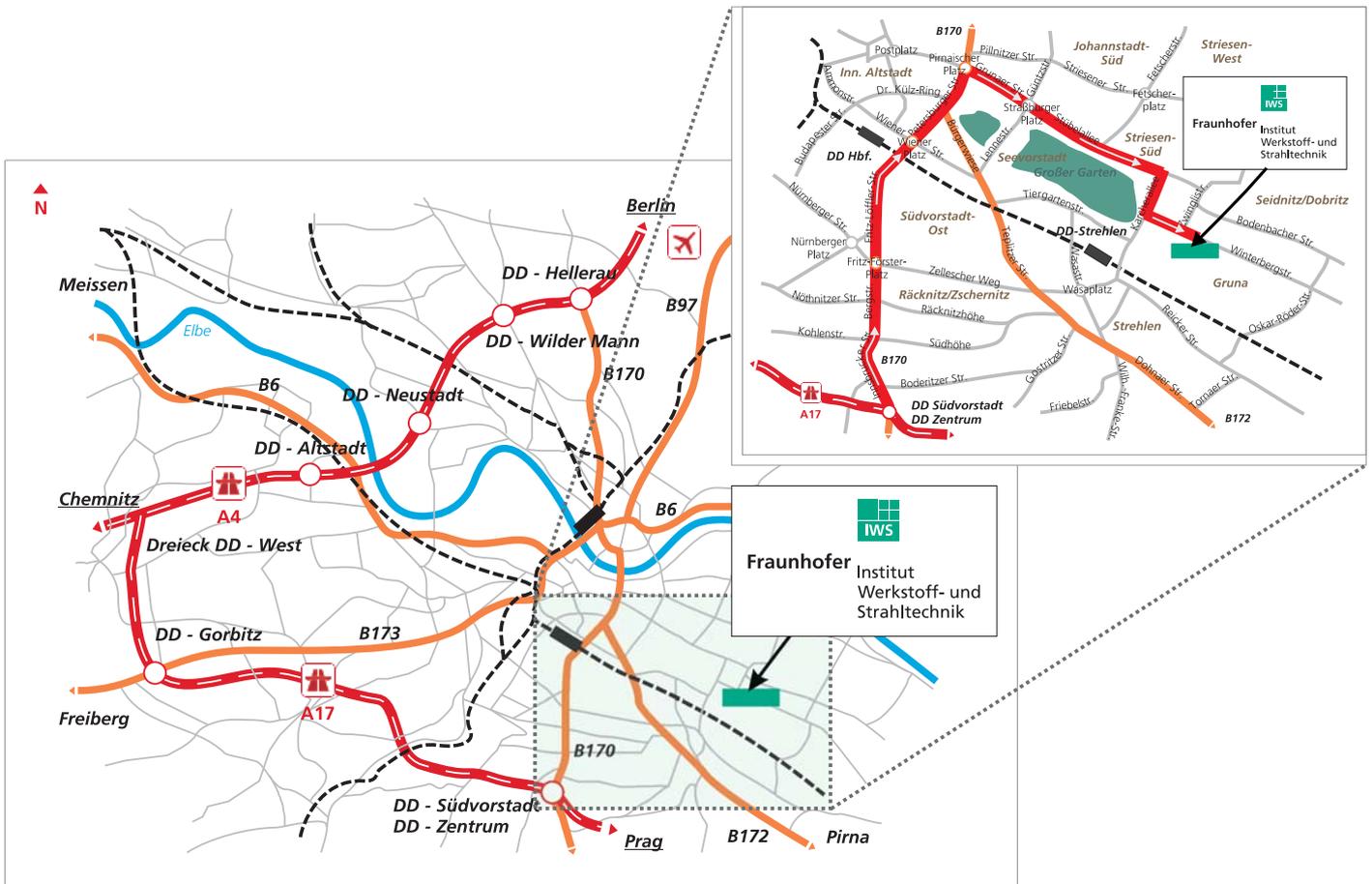
Adresse:

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. 6 (o. li.):	Fraunhofer IWS / TU Wrocław
	S. 7 (o. mi.):	teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH Freiberg
	S. 28 (o.)	EMAG Lasertech GmbH Salach / Heubach
	S. 34 (Abb. 3):	teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH Freiberg
	S. 43 (Abb. 2): S. 49 (Abb. 2): alle anderen Abb.:	Erbslöh AG Schreiner Group GmbH & Co. KG Fraunhofer IWS Dresden

© Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden 2009

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.