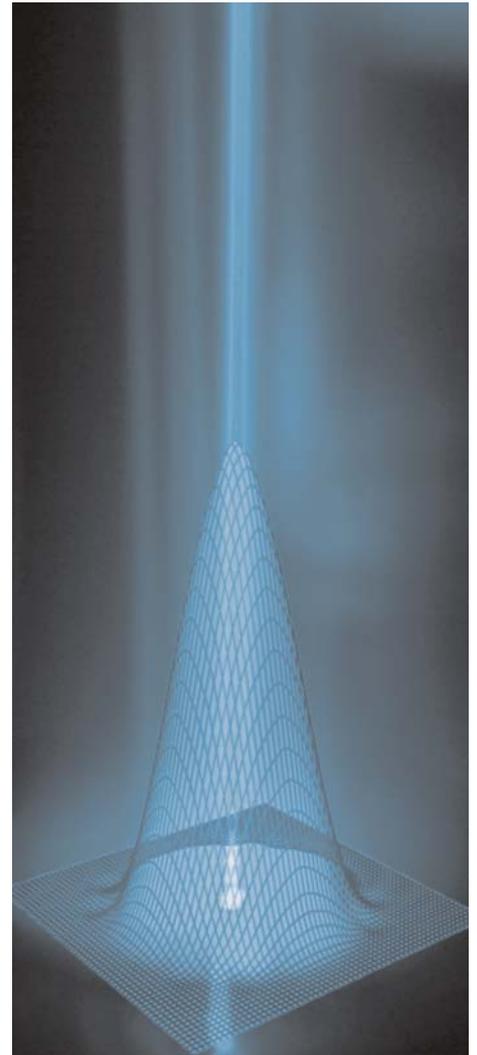




**Fraunhofer** Institut  
Werkstoff- und  
Strahltechnik

IWS - Fraunhofer - Preis 1967 · IWS - Fraunhofer - Preis 1998 · IWS - Fraunhofer - Preis 2000 · IWS - Fraunhofer - Preis 2006

# Jahresbericht 2006



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



**Fraunhofer** Institut  
Werkstoff- und  
Strahltechnik

# Jahresbericht 2006





## Vorwort

Das Jahr 2006 war durch eine konjunkturelle Erholung der deutschen Wirtschaft gekennzeichnet. Hierdurch ergab sich für das IWS ein starker Anstieg der Aufträge aus der Industrie. Die Industrieerträge konnten um über 15 % gesteigert werden. Auch das Volumen der öffentlich geförderten Projekte stieg um 10 - 15 % gegenüber 2005.

2006 ist es uns wiederum gelungen, eine Reihe von neuen am IWS entwickelten Verfahren in die Produktion zu überführen. Besonders hervorzuheben ist die Integration unseres Laser-Arc-Verfahrens zur Herstellung diamantähnlicher Schichten in eine kommerzielle Beschichtungsanlage und deren Transfer in die Industrie. Darüber hinaus konnten mehrere Laser-Remote-Anlagen zum Schneiden und Schweißen sowie eine Laserhärte- und eine Laserinduktions-Anlage in die industrielle Nutzung überführt werden.

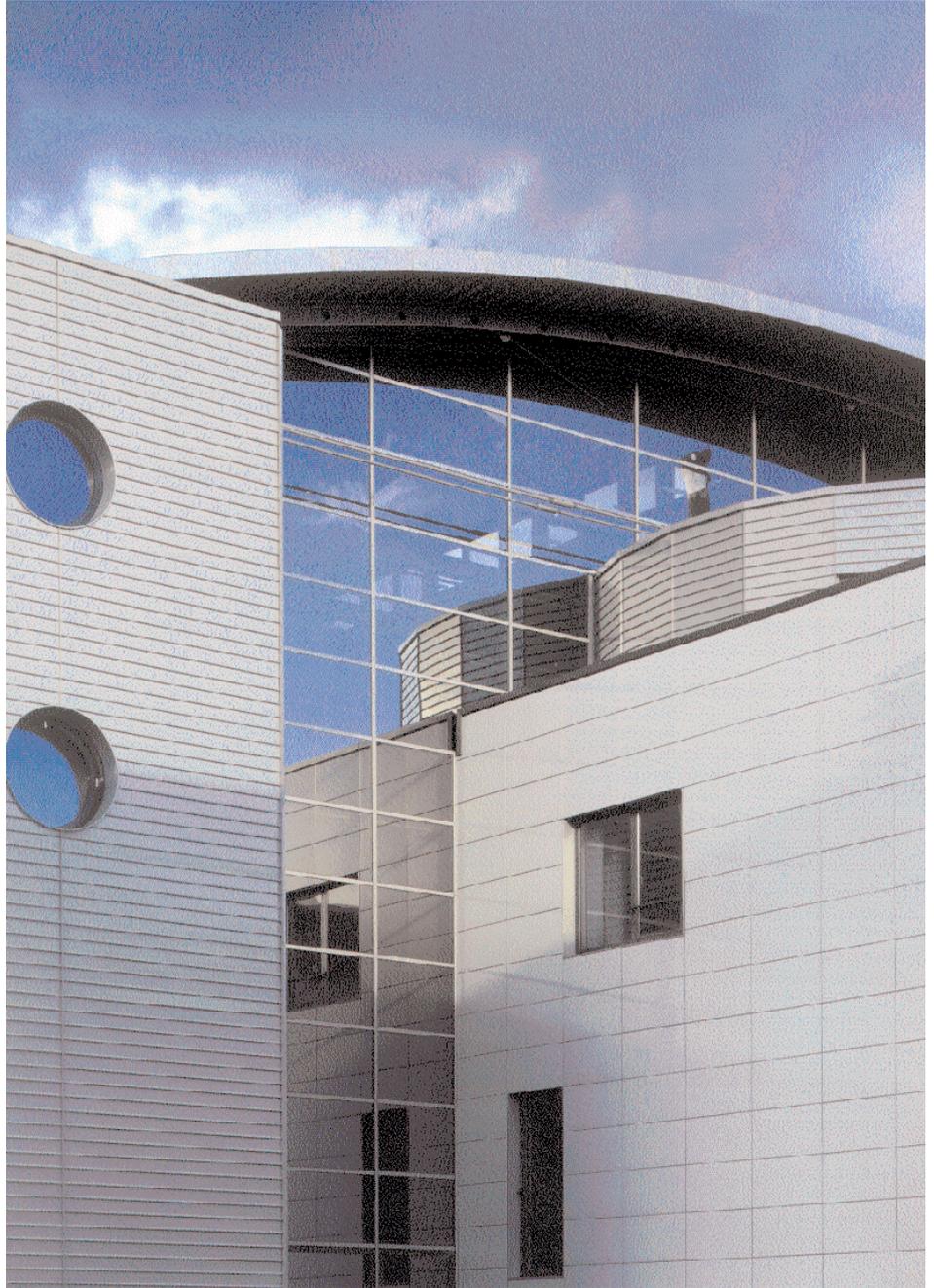
Mitarbeiter des IWS haben 2006 zum vierten Mal in neun Jahren einen Fraunhofer-Preis erhalten. Ausgezeichnet wurde ein Verfahren zum Härten von Metallen durch nanodisperse Ausscheidungen und dessen Industrieüberführung.

Ein weiteres Highlight des Jahres 2006 war die Eröffnung unseres Innovationsclusters »nano for production«. Dieses Cluster wird vom Land, dem BMBF, der Industrie und der FhG unterstützt. Die Nanotechnik wird damit die zukünftigen Arbeiten des IWS noch stärker als bisher beeinflussen.

Nach einem überaus erfolgreichen Jahr 2006 gehen wir sehr optimistisch in das Jahr 2007.



*Die Fähigkeit zur Innovation  
entscheidet über unser Schicksal.*  
Roman Herzog



**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>Prolog</b>	<b>3</b>
<b>Inhalt</b>	<b>5</b>
<b>Highlights im Jahr 2006</b>	<b>6</b>
<b>Das Institut im Profil</b>	<b>8</b>
Kurzporträt	8
Organisation und Ansprechpartner	10
Anbindung an die TU Dresden	11
Zentren und externe Projektgruppen	12
Ausstattung	16
<b>Das Institut in Zahlen</b>	<b>18</b>
<b>Kuratorium und Gremien</b>	<b>20</b>
<b>Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick</b>	<b>21</b>
<b>Fraunhofer-Verbund Oberflächentechnik und Photonik VOP</b>	<b>22</b>
<b>Forschungs- und Entwicklungsangebote</b>	<b>24</b>
Füge- und Randschichttechnologien	24
Laserabtragen und -trennen, Systemtechnik	38
Thermische Beschichtungsverfahren	48
CVD-Dünnschichttechnologie	56
PVD-Dünnschichttechnologie	64
Röntgen- und EUV-Optik	72
Marketing	80
Simulation und Grundlagen	84
<b>Namen, Daten und Ereignisse</b>	<b>87</b>
Diplomarbeiten und Dissertationen	87
Vorlesungen und Mitarbeit in Gremien	88
Preise des IWS 2006	89
Besondere Ereignisse	90
Messebeteiligungen	91
<b>Patente und Marken</b>	<b>93</b>
<b>Veröffentlichungen</b>	<b>94</b>
<b>Tagungsvorträge</b>	<b>98</b>
<b>Informationsservice</b>	<b>105</b>
<b>Kontaktadressen und Anfahrt</b>	<b>106</b>



Prof. Dr. Frieder Meyer-Krahmer (Staatssekretär im BMBF) während der Eröffnung des Nanotechnologie-Innovationsclusters »nano for production«

## »Nano for production« Eröffnung des Nanotechnologie-Innovationsclusters

Am 27. November 2006 fand im Beisein des Staatssekretärs im BMBF, Prof. Dr. Frieder Meyer-Krahmer, und der Staatssekretärin in der Sächsischen Staatskanzlei, Andrea Fischer, die Eröffnung des Nanotechnologie-Innovationsclusters »nano for production« am Fraunhofer IWS Dresden statt. An der Eröffnung nahmen 100 hochrangige Vertreter aus Industrie, Forschung und Politik teil.



Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger (Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft) während der Eröffnung des Nanotechnologie-Innovationsclusters »nano for production«



Teilnehmer am 2. Faserlaser-Workshop im Kongresszentrum Dresden

## 2. Workshop »Faserlaser«

Am 5. und 6. Juli 2006 fand der zweite Faserlaser-Workshop im Internationalen Kongresszentrum Dresden statt. In der relativ kurzen Zeit seit dem 1. Workshop (22.11.2005) wurden Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet stetig vorangetrieben, dementsprechend hat auch die Zahl der Faserlaser-Anwendungen deutlich zugenommen. Ca. 300 Teilnehmer haben sich über die neuen Möglichkeiten informiert.

## Fraunhofer-Preis 2006 für Prof. B. Brenner und F. Tietz

Turbinenschaufeln sind enormen Belastungen ausgesetzt. Ein neues Verfahren sorgt dafür, dass ihre Lebensdauer in der Dampfturbine erhöht werden kann. Inzwischen hat das Verfahren seine industrielle Feuertaufe überstanden und bewährt sich in 23 großen Dampfturbinen in Kraftwerken in Deutschland, Europa und dem Nahen und Fernen Osten. Für ihre Entwicklungen zum »Randschichtaushärten durch lokales Erzeugen von nanoskalierten Ausscheidungen - ein neues Verfahren zum Verschleißschutz von ausscheidungshärtbaren Werkstoffen« erhalten Prof. Dr. Berndt Brenner und Dipl.-Ing. Frank Tietz einen Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2006.



Die Preisträger Prof. B. Brenner und F. Tietz an der Härteanlage



Anlage zum Laserinduktionsschweißen von Hohlwellen (oben) und Schweißprozess (unten) bei GETRAG Neuenstein (Hersteller: EMAG Laser Tec)

### Induktiv unterstütztes Laserstrahlschweißen - IWS-Verfahrensentwicklung für die industrielle Fertigung

Mit der Anlageninbetriebnahme bei GETRAG Neuenstein wurde im Dezember 2006 eine weitere nach der Technologie des Laserinduktionsschweißens arbeitende Anlage in die industrielle Fertigung überführt. Es werden Hohlwellen für PKW nach einem im IWS entwickelten Verfahren gefertigt.



TraceScout - Multigassenssor

### TraceScout - Multigassenssor zur Qualitätskontrolle von hochreinen Prozessgasen

Die Produktion von integrierten Schaltkreisen erfordert den Einsatz von mehr als 30 hochreinen Prozessgasen für den Einsatz in Ätz-, Abscheide-, Oxidations-, Dotierungs- und Inertisierungsschritten. Spurenverunreinigungen im ppm- und ppb-Bereich bestimmen dabei entscheidend über Qualität und Ausbeute der prozessierten Wafer und bedürfen somit einer strengen Qualitätskontrolle. Im Rahmen des EU-Projekts ASSYST wurde in Zusammenarbeit mit den Firmen Intega Hans J. Jehl GmbH und Norsk Elektro Optikk (Norwegen) ein Sensorsystem zum simultanen Spurengasnachweis von Wasserdampf, Sauerstoff oder Kohlenwasserstoffen in hochreinen unverdünnten Spezialgasen wie Silan, Ammoniak oder HCl entwickelt und im industriellen Einsatz getestet.

### Laser-Arc-Modul für die industrielle Abscheidung von superharten Kohlenstoffschichten (ta-C)

Superharte amorphe Kohlenstoffschichten (ta-C) stellen die neue Generation reibungsarmer und verschleißfester Schutzschichten für Komponenten und Werkzeuge dar. Mit der Integration des Laser-Arc-Moduls LAM400 in die industrielle Beschichtungsanlage FlexiCoat 1000® der Hauzer Techno Coating (NL) und deren Übergabe an einen führenden Automobilzulieferer wurde ein entscheidender Schritt zur umfassenden industriellen Einführung der ta-C-Schichten auf der Basis der Laser-Arc-Technologie vollzogen.



FlexiCoat 1000® Beschichtungsanlage der Firma Hauzer Techno Coating mit integriertem Laser-Arc-Modul LAM400



## Unser Ziel:

## Problemstellungen kundengerecht lösen!

Diese sind erst dann gelöst, wenn unser Kunde mit der erarbeiteten Lösung Geld verdient. Hieran arbeiten wir.

*Se vogliamo che tutto rimanga come è,  
bisogna che tutto cambi.*

*Wenn wir wollen,  
dass alles bleibt, wie es ist,  
dann ist es nötig,  
dass alles sich verändert.*

Giuseppe Tomasi di Lampedusa

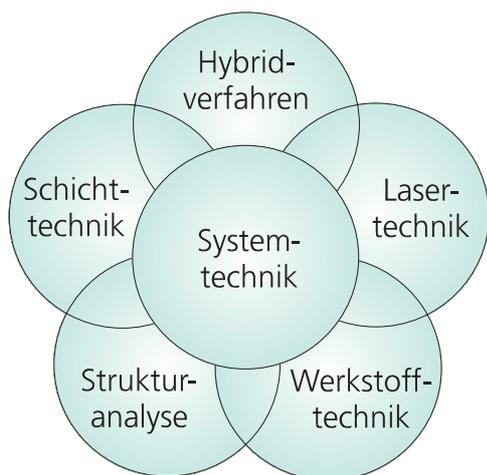
### Kurzporträt

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik betreibt anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung auf den Gebieten der Laser- und Oberflächentechnik.

Schwerpunkte sind:

- das Laserstrahlfügen, -trennen und -abtragen,
- die Oberflächenbehandlung sowie
- das Aufbringen von dünnen Schichten zur Vergütung von Oberflächen.

Durch die enge Zusammenarbeit mit Anlagen- und Systemanbietern können wir unseren Kunden *Problemlösungen aus einer Hand* anbieten. Diese beruhen auf neuartigen Konzepten. Als Basis hierfür dient die Gesamtbetrachtung des Bearbeitungssystems, des Verfahrens sowie des Bauteilverhaltens. Die Ausstattung des Fraunhofer IWS erlaubt es, Ihr Problem mit modernster Anlagentechnik zu bearbeiten. Darüber hinaus ist es uns möglich, Pilotanlagen zu installieren und die erarbeiteten Problemlösungen an Nullserien zu erproben.



Hauptarbeitsgebiete des Fraunhofer IWS, welche es uns erlauben, Ihnen Problemlösungen aus einer Hand anzubieten

### Lasertechnik

- Laserstrahlschweißen und -löten
- Laserstrahlhärten, -umschmelzen und -auftragschweißen
- Laseroberflächenveredelung mit Zusatzwerkstoffen (Legieren, Dispergieren)
- Reparaturbeschichten
- Rapid-Prototyping-Verfahren
- Laserstrahlschneiden und -trennen
- Abtragen und Reinigen (für restauratorische und technische Zwecke)
- Laserfeinbearbeitung
- Mikrostrukturieren, Gravieren und Markieren

Eine Besonderheit des Fraunhofer IWS sind die Erfahrungen in der Strahl- und Schichttechnik in Kombination mit fundiertem Werkstoff-Know-how, verbunden mit der Möglichkeit einer umfassenden Werkstoffcharakterisierung. Um Ihnen optimierte Lösungen anbieten zu können, beschäftigen wir uns neben der Strahltechnik auch mit alternativen Techniken. Dies führt zu sogenannten *Hybridverfahren*, bei denen die Vorteile der Lasertechnik mit den besonderen Eigenschaften anderer Verfahren zu einer kostengünstigen Lösung kombiniert werden.

### Schichttechnik

- Dünnschichttechniken auf der Basis von Laser-, Vakuumbogen-, Sputter-, CVD- und Elektronenstrahlverfahren
- Schichtsysteme und Verfahren zur Beschichtung mit karbidischen, nitridischen und oxidischen Hartstoffen
- Beschichtungen mit superhartem amorphem Kohlenstoff
- Nanometer-Multischichten für röntgenoptische Komponenten
- Atmosphärendruck-Plasma-CVD
- Plasmaspritzen



## Hybridverfahren

- Induktiv unterstütztes Laserstrahlschweißen
- Plasmaunterstützte Laserstrahlbearbeitung (Schweißen, Schmelzen)
- Laserunterstütztes Plasmaspritzen
- Abscheidung dünner Schichten durch Kombinationen von Laser-, Vakuumbogen-, Elektronenstrahl- und CVD-Verfahren
- Modellierung von Kurzzeit-Wärmebehandlungsprozessen

## Werkstofftechnik

- Charakterisierung von strahltechnologisch behandelten Werkstoffen und Bauteilen
- Verschleiß- und Ermüdungstests
- Mechanische, tribologische und optische Schichteigenschaften
- Bestimmung der Thermoschockfestigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit von Keramiken
- Schadensfallanalysen

## Strukturanalyse

- Metallographische Gefügecharakterisierung
- Strukturbestimmung mittels Elektronenmikroskopie (REM, TEM)
- Charakterisierung von Oberflächeneigenschaften mit optischer Spektroskopie

## Systemtechnik

- Entwicklung von Systemkomponenten, u. a. High-Speed-Strahlbewegung, flexible Strahlformung und Schweißnahtsensorik
- Prozesstechnische Optimierung von Laserbearbeitungsanlagen
- Prozessdiagnostik für PVD- und CVD-Verfahren
- Beschichtungsmodule für Atmosphärendruck-Plasma-CVD- und PVD-Verfahren

## Angebot

Problemlösungen aus einer Hand:  
Wir bieten Ihnen unsere Dienstleistungen auf folgenden Gebieten an:

- Beratungen,
- Machbarkeitsstudien,
- Durchführung von FuE-Arbeiten,
- Verfahrenserprobungen,
- Systementwicklungen, zusammen mit unseren Partnern,
- Aufbau und Betrieb von Pilotanlagen,
- Werkstoff- und Bauteilprüfung,
- Schadensfallanalysen sowie die
- Ausbildung von Wissenschaftlern, Ingenieuren, Anlagenbedienern und Laboranten.

## Verträge

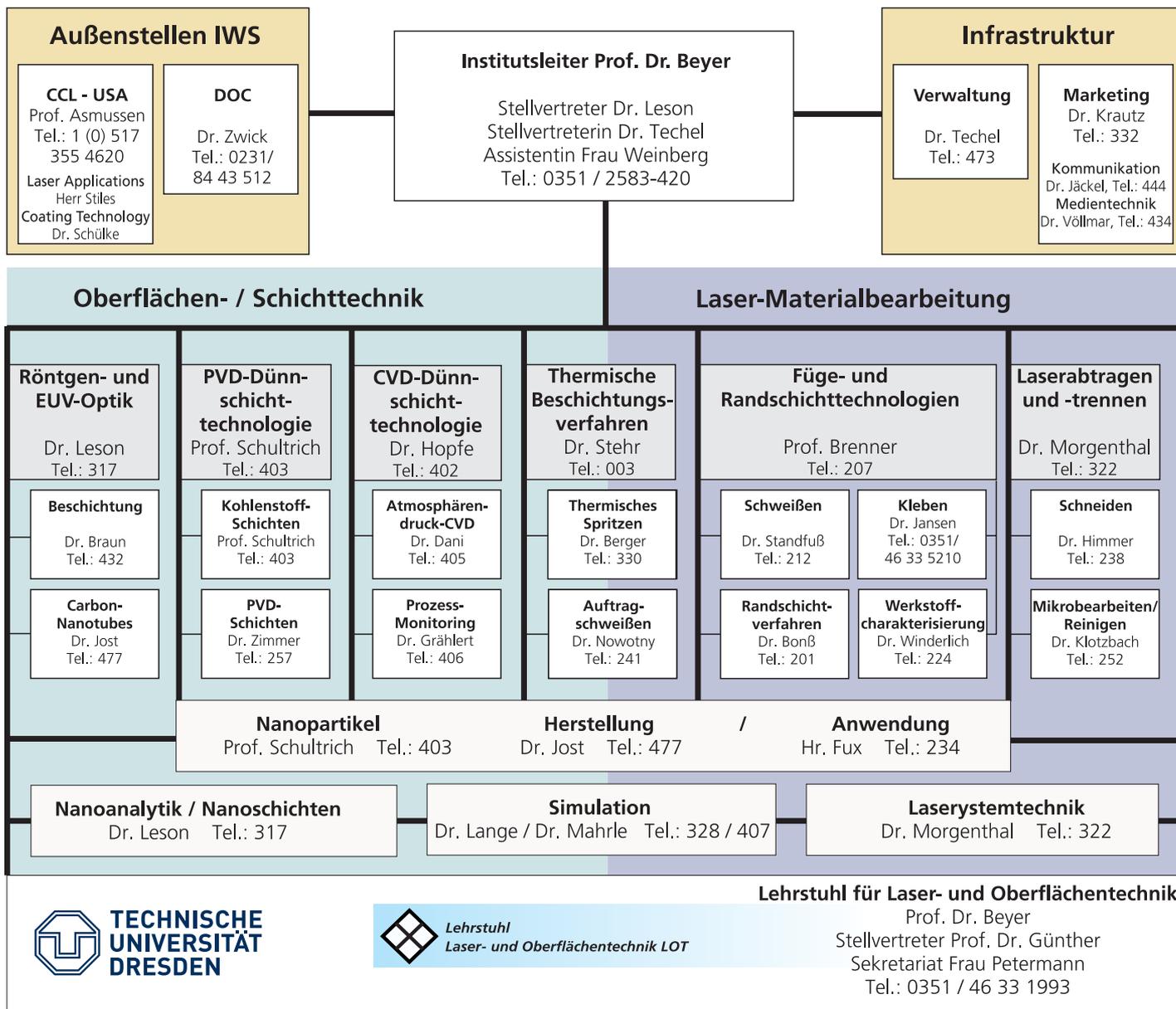
Das Fraunhofer IWS bietet Ihnen Dienstleistungs- sowie Werkverträge an und garantiert Ihnen bei Bedarf strikte Vertraulichkeit.

Geschäftsfelder	Kernarbeitsgebiete				
	Laser-Bearbeitungsverf.	Beschichtungsverfahren	Werkstofftechn./Analytik	Simulationstechnik	Systemtechnik
Fügen					
Schweißen	■		□	□	□
Löten	■		□		□
Kleben		■	□		□
Trennen	■				□
Oberflächentechnik					
Abtragen / Reinigen	■		□	□	□
Verschleißschutz	■	■	□	□	□
Reparatur	■				□
Reibungsminderung		■	□		□
Oxidationsschutz	■	■	□		□
Funktionsschichten		■	□		□
Mikrotechnik	■	■	□		□
Optik					
Röntgen-, EUV-Spiegel		■	□	□	□
IR-Optik			□	□	□
Rapid-Prototyping, Rapid-Tooling	■		□		□
Prozess-Monitoring	■	■			□

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



# Organisation und Ansprechpartner



## Gastfirmen im Fraunhofer IWS:

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



## Anbindung an die TU Dresden

### Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik

2006 waren am Lehrstuhl 33 Mitarbeiter beschäftigt. Die Drittmittelträge lagen über 1,0 Mio. €.

Der Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik ist tragende Säule des Institutes für Oberflächentechnik und Fertigungsmesstechnik (ab 1. Oktober 2006 Oberflächen- und Fertigungstechnik) der Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden. Die durchgeführten Projekte sind stärker grundlagenorientiert und ergänzend zu den Arbeiten des IWS angelegt. Die Arbeitsgruppen behandeln folgende Themen:

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

Folgende Vorlesungen wurden angeboten:

- Prof. Beyer: Fertigungstechnik II
- Prof. Beyer: Lasergrundlagen / Lasersystemtechnik
- Prof. Beyer: Plasmatechnik
- Prof. Beyer: Rapid Prototyping
- Prof. Beyer: Laserrobotik / Lasertronik
- Dr. Leson / Prof. Beyer: Oberflächen-technik / Nanotechnologie
- Prof. Schultrich: Dünnschicht-technologie

### 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.

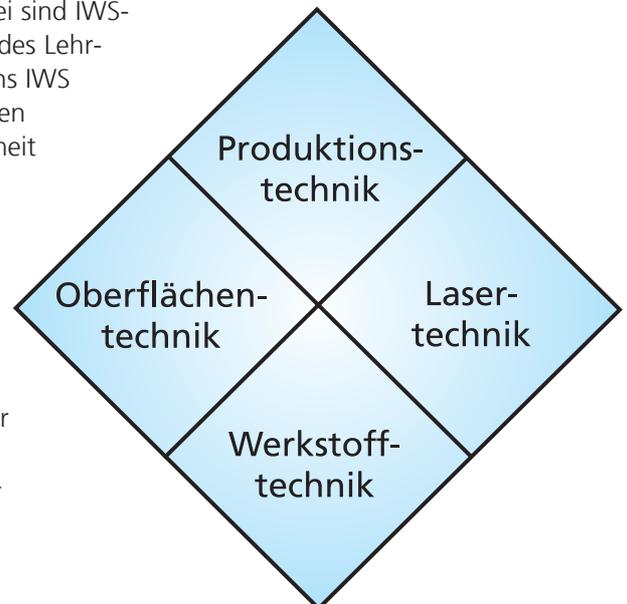
Vorteile für das IWS:

- 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

*Die Forschung lebt vom Austausch des Wissens.*  
Albert Einstein



**Lehrstuhl  
Laser- und Oberflächentechnik LOT**



CD zur Vorlesung Lasertechnik



CD zur Vorlesung Fertigungstechnik II



## Zentren und externe Projektgruppen

*Chi più sa, più dubita.*

*Je mehr man weiß,  
desto mehr zweifelt man.  
Papst Pius II.*

### 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 wenige 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.

Wesentliche Schwerpunkte bilden die Organisation und Durchführung von Veranstaltungen und Workshops sowie die Vermittlung von kompetenten Ansprechpartnern. Darüber hinaus sind Beteiligungen an Fachmessen, eine aktive Öffentlichkeitsarbeit sowie Fragen der Aus- und Weiterbildung wichtige Aktivitätsschwerpunkte.

### Internationales Symposium Nanofair 2006

Das internationale Symposium »Nanofair 2006 - Neue Ideen für die Industrie« fand zum 5. Mal im November 2006 in Karlsruhe statt. Damit hat sich diese Veranstaltung in kurzer Zeit zu einem führenden Vortrags- und Diskussionsforum der Nanotechnologie in Europa entwickelt, das einen besonderen Schwerpunkt auf die Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Wirtschaft und damit die angewandte Forschung und Entwicklung legt.

Angesichts der Bedeutung hatte die Bundesministerin für Bildung und Forschung Dr. Annette Schavan die Schirmherrschaft für die Veranstaltung übernommen. Mehr als 200 Teilnehmer aus Wissenschaft und Industrie nutzten die Gelegenheit, um sich über neueste Entwicklungen und Produkte der Nanotechnologie zu informieren, und zu angeregten Fachdiskussionen. Die Themenschwerpunkte der Tagung lagen auf den Gebieten Elektronik, Werkstoffe, Oberflächen, Optik, Automobilindustrie und Biowissenschaften. Ergänzt wurde das Symposium durch eine begleitende Fachausstellung, an dem sich das Fraunhofer IWS und das Nanotechnologie-Kompetenzzentrum beteiligte. Die nächste Nanofair wird am 11. und 12. März 2008 in Dresden stattfinden.



Präsentation der Landeshauptstadt Dresden auf der Nanofair 2006 in Karlsruhe



## Deutschlandjahr in Japan und Messe »Nanotech 2006« in Tokio

Im Rahmen des Deutschlandjahres in Japan 2005 / 2006 beteiligte sich das IWS an verschiedenen Aktivitäten des Freistaates Sachsen. Das Nanotechnologie-Kompetenzzentrum organisierte im Auftrag der Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH den Messeauftritt des Freistaates auf der weltgrößten Nanotechnologie-Messe »Nanotech Tokio 2006« vom 21. bis 23. Februar 2006.

Mit 45868 Besuchern an drei Messetagen wurde ein neuer Besucherrekord aufgestellt. 385 Aussteller beteiligten sich in 3 Messehallen an der Nanotech; dabei wurden 120 ausländische Aussteller und 265 inländische Aussteller gezählt. Unter den ausländischen Ausstellern kamen die meisten aus Europa, davon 29 aus Großbritannien und 25 aus Deutschland.

Die »Nanotech 2006« wurde vom Bundesaußenminister Dr. Frank-Walter Steinmeier und seiner Parlamentarier- und Unternehmerdelegation am ersten Messetag besucht. Den Messerundgang des Ministers, der sich insbesondere für die sächsischen Exponate interessierte, leitete Prof. Dr. Karl Leo von der TU Dresden, gleichzeitig stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer IPMS Dresden und Mitglied des Nanotechnologie-Kompetenzzentrums.

Im Rahmen der »Nanotech 2006« fanden mehrere begleitende Veranstaltungen statt. Besonders zu nennen sind der Workshop »Germany - Europe's No. 1 Nanotechnology Market«, organisiert von Invest in Germany, sowie das deutsch-japanische Expertentreffen »From Nanomaterials to Innovation«.

Mehrere Mitglieder unseres Nano-CC beteiligten sich aktiv mit Vorträgen an diesen Veranstaltungen.



Besuch des deutschen Außenministers Dr. Frank-Walter Steinmeier auf dem Stand des Freistaates Sachsen und des Nanotechnologie-Kompetenzzentrums (v.l.n.r. Dr. Andreas Leson, Fraunhofer IWS und Nano-CC; Karin Heidenreich, Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH; Dr. Frank-Walter Steinmeier, Bundesaußenminister; Prof. Dr. Karl Leo, TU Dresden und Nano-CC)

## Australisch-Deutscher Workshop zur Nanotechnologie 2006

Aktuelle Forschungsergebnisse und neue Kooperationsansätze bildeten die Schwerpunkte des bilateralen Seminars mit deutschen und australischen Teilnehmern am 23. und 24. November 2006, das im Umfeld der Nanofair stattfand und vom Fraunhofer IWS organisiert und gestaltet wurde. Inhaltliche Schwerpunkte waren die Themen Nanomaterialien, Nanopartikel und Nanoelektronik, deren aktueller Stand jeweils von australischer und deutscher Seite vorgestellt wurde. Die australischen Teilnehmer nutzten zudem die Möglichkeit, ihre Ergebnisse zugleich bei der Nanofair-Konferenz zu präsentieren.



*The reasonable man  
adapts himself to the world.  
The unreasonable one persists  
in trying to adept the world to himself.  
Therefore, all progress  
depends on the unreasonable man.*

*Der vernünftige Mensch passt sich der Welt an.  
Der Unvernünftige versucht immerfort  
die Welt sich anzupassen.  
Deshalb hängt der Fortschritt  
von dem unvernünftigen Menschen ab.*  
George Bernard Shaw

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



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

Mit der Gründung des Dortmunder OberflächenCentrums unter Beteiligung der Fraunhofer-Gesellschaft bündelte die ThyssenKrupp Stahl AG (TKS) 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 Bearbeitbarkeit, wie die Fraunhofer-Projektgruppe für die Laserschweißbeugung zeigen konnte. Außerdem wurden Hybrid- und Kombinationsprozesse entwickelt, insbesondere das Hybrid-schweißen von hochfesten Stahlbaukomponenten aber auch die Kombinationen aus Reinigen und Schweißen als auch aus Schweißen und Nachverzinken.

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.

Die breite Palette dieser Verfahren, die sich teilweise untereinander kombinieren lassen, bietet zusammen mit dem Know-how der beteiligten Fraunhofer-Institute die Gewähr, dass der Kunde, sei es TKS, ein TKS-Kunde oder ein anderes Unternehmen, die technisch und wirtschaftlich optimale Problemlösung bekommt. Mit Hilfe eines mobilen 4 kW-Festkörperlasers ist es sogar möglich, Verfahrensentwicklungen aber auch »Trouble shooting« direkt beim Industriekunden zu realisieren und mit Hilfe von bis zu 75 m langen Lichtleitkabeln produktionsnah umzusetzen.



Gebäude des Dortmunder OberflächenCentrums



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



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



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

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

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

### Laser Applications Division

2006 war ein weiteres sehr ereignisreiches Jahr für die Lasergruppe des CCL in Plymouth, Michigan. Die räumliche Nähe zu Detroit führte zu einer engen Zusammenarbeit mit der amerikanischen Autoindustrie. Die Gruppe führte zahlreiche Projekte zum Laserstrahlschweißen von Bauteilen aus dem Antriebsstrang fort, insbesondere für das Fügen von Differentials, Getrieben und Antriebswellen. Außerdem wurden Technologien zum Laser-MIG-Schweißen von hochfesten Stählen für Pkw-Karosserien entwickelt.

Weitere Höhepunkte waren:

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

### Coating Technology Division

Die Dünnschichtgruppe des CCL ist in East Lansing, Michigan zu Hause. Durch die Zusammenarbeit mit der Michigan State University wurde das Technologiespektrum der Gruppe erheblich erweitert. Neben den bereits zuvor angebotenen PVD-Technologien gehören jetzt auch mikrowellen-basierte CVD- und Materialbearbeitungstechnologien zum Arbeitsbereich des CCL in East Lansing. Darüber hinaus wird als Folge der engen Einbindung der Gruppe in die Universitätsinfrastruktur ein erweiterter Charakterisierungsservice (Materialzusammensetzung, Elektronenmikroskopie, Nanoindenter, AFM) sowie die Entwicklung von Prozessen zur Fertigung von mikro-elektro-mechanischen Systemen (MEMS) angeboten.

Betriebshaushalt 2006	3,14 Mio. \$
Personalaufwendungen	1,50 Mio. \$
Sachaufwendungen	1,64 Mio. \$



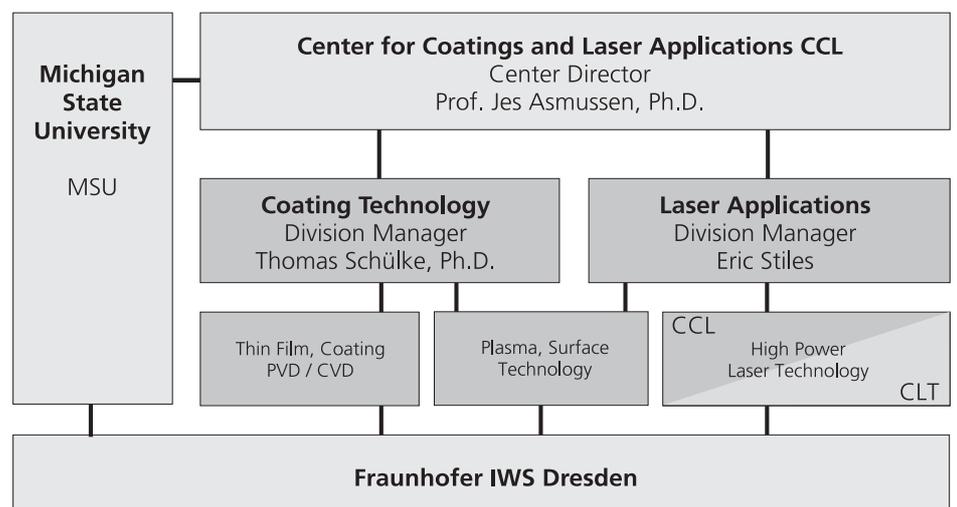
[www.ccl.fraunhofer.org](http://www.ccl.fraunhofer.org)



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



Gebäude des CCL in East Lansing, Michigan





## Ausstattung

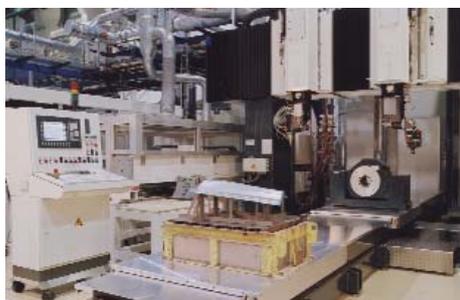
*Facts do not cease to exist  
because they are ignored.*

*Tatsachen hören nicht auf zu existieren,  
nur weil man sie ignoriert.*

Aldous Leonard Huxley



Blick in die Technikumshalle des IWS



Hochgeschwindigkeits-3D-Laser-Schneidanlage mit Linearantrieben



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

### Laserstrahlquellen

mehrere Faserlaser bis 4 kW-cw und 1 kW-pm

mehrere CO<sub>2</sub>-Laser, 2 bis 6 kW (HF-angeregt)

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

Nd:YAG-Lasersysteme mit Pulslängen im ms-, ns- und ps-Bereich für die Feinbearbeitung, OPO-Systeme

mehrere Hochleistungs-Diodenlaser, 1,4 bis 6,0 kW

TEA-CO<sub>2</sub>-Laser

Excimerlaser (193 nm und 248 nm)

frequenzvervielfachte Nd:YAG-Laser (532 und 355 nm)

gepulster Nd:YAG-Laser mit OPO

### 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>, zwei 4,5 kW-CO<sub>2</sub>-Laser

mehrere CNC-Laser-Bearbeitungsanlagen mit bis zu 8 Achsen, Geschwindigkeiten bis 20 m min<sup>-1</sup>, Arbeitsraum 2,4 x 1,8 x 0,6 m<sup>3</sup> bzw. 4 x 3 x 1,5 m<sup>3</sup>, CO<sub>2</sub>-Laserstrahlquellen 2,5 bis 6 kW

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

Präzisionsanlagen (Genauigkeitsklasse 5 µm) mit 5 bzw. 4 CNC-Achsen, mit CO<sub>2</sub>-Laserstrahlquelle bis 6 kW

CO<sub>2</sub>-Nd:YAG-Kombinationsanlage (2 bzw. 3 kW) mit 4 CNC-Achsen für Präzisionsbeschichtung

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

Schneidanlagen mit Linearantrieben bis 300 m min<sup>-1</sup> Vorschub und CO<sub>2</sub>-Laserstrahlquelle bis 2,5 kW

universelle Excimerlaser-Mikrostrukturierungsanlage

### Beschichtungsanlagen

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

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

Anlagen zur plasmagestützten CVD-Beschichtung bei Atmosphärendruck (6 kW Mikrowelle, 30 kW dc-Arc)

Anlagen zur Abscheidung von Ultra-präzisions-Vielfachschichten mittels PLD, Ionenstrahlputtern und Magnetronputtern

Kombinations-Beschichtungsanlage [Elektronenstrahl (40 kW) und Hochstrombogen]

Anlagen zum atmosphärischen (auch mit Laserunterstützung) und zum Vakuum-Plasmaspritzen mit Roboterhandhabung (APS, LAAPS, VPS)

Anlage zum Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF)

Anlage zum Plasma-Pulver-Auftragschweißen (PTA, 6 kW)

### Spezielle Komponenten

statische und flexible dynamische Strahlformungssysteme für Laserleistungen bis 10 kW



CNC- bzw. sensorgesteuerte Drahtförderer für das Laserschweißen

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

modulares Pulverdüsensystem COAXn zum Laserstrahl-Präzisionsauftragschweißen

Prozessüberwachungssysteme für das Thermische Spritzen, Laserstrahl-Auftragschweißen und Laserschweißen

Softwarepaket zur DCAM Offline-Programmierung von Robotern und CNC-Maschinen für alle thermischen Beschichtungsverfahren

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

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

UV/VIS-, FTIR- und NIR-Diodenlaser-Spektrometersysteme zur Diagnostik von Prozessgasen und -plasmen

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

### Spezielle Bearbeitungsanlagen

mobiler 4 kW-Nd:YAG-Laser im Container

transportabler Nd:YAG-Laser mit 5 · 10<sup>7</sup> Watt Pulsspitzenleistung (Pulsdauer 6 ns, max. Pulsfrequenz 20 Hz) mit Gelenkarm-Strahlübertragung und Zoomoptik für Reinigungsarbeiten im Außeneinsatz

durchstimmbares Laserbearbeitungssystem (Wellenlänge 400 ... 2000 nm, > 100 mJ) mit flexiblem Strahlarm und CNC-Bauteilbewegung für das Abtragen dünner Schichten

Laserbearbeitungsstation mit Industrieroboter und CO<sub>2</sub>-Slab-Laser

CNC-Bearbeitungszentren zum 5-Achs-Fräsen sowie Laser- und Plasma-Auftragschweißen

mobile Anlage zur rutschhemmenden Ausrüstung verlegter Böden (mit diodengepumptem Nd:YAG-Laser)

### Messgeräte

Ausrüstung zur Gefügeanalyse einschließlich Präparationstechnik:

- Metallographie
- Transmissionselektronenmikroskopie
- Rasterelektronenmikroskopie

Ausrüstung zur Werkstoffprüfung:

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

Laserakustik-Messsysteme zur Bestimmung des E-Moduls von Schichten

Laserschock-Messsystem mit Hochgeschwindigkeitspyrometer

Ausrüstung zur Oberflächen- und Schichtanalyse:

- 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 $\alpha$ )

Röntgendiffraktometer (MoK $\alpha$ )

optisches 3D-Koordinatenmesssystem



Vakuum-Plasmaspritzanlage



Anlage zur Abscheidung von Nanometermulti-schichten auf Großflächen



Anlage zur Abscheidung von nitridischen Hartstoffschichten

Nur mit dem Unmöglichen als Ziel  
kommt man zum Möglichen.  
Miguel de Unamuno

## 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 2006 wie folgt auf:

### Mitarbeiter im Fraunhofer IWS

<b>Personal</b>	<b>107</b>
- Wissenschaftler	60
- Technische Angestellte	39
- Verwaltungsangestellte	8
<b>Lehrlinge</b>	<b>15</b>
<b>Wissenschaftliche Hilfskräfte</b>	<b>65</b>
<b>Mitarbeiter CCL USA</b>	<b>13</b>
<b>Gesamt</b>	<b>200</b>

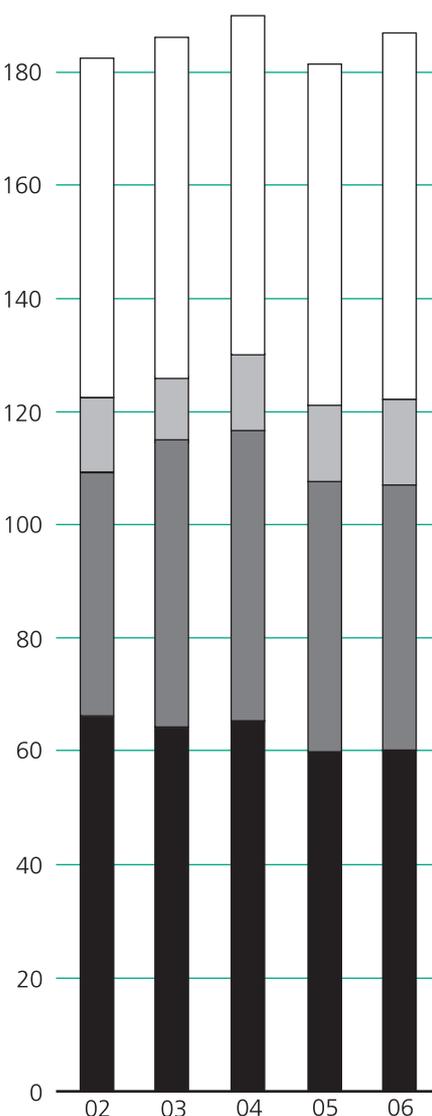
### Mitarbeiter am Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik der TU Dresden

<b>Personal</b>	<b>33</b>
- Wissenschaftler	20
- Technische Angestellte	12
- Verwaltungsangestellte	1
<b>Studentische Hilfskräfte</b>	<b>19</b>
<b>Gesamt</b>	<b>52</b>

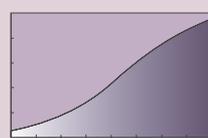
<b>Gebäude</b>	<b>8400 m<sup>2</sup></b>
- Technikumshallen	2000 m <sup>2</sup>
- Laborräume	3070 m <sup>2</sup>
- Büroräume	2630 m <sup>2</sup>
- Infrastrukturräume	700 m <sup>2</sup>

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

Anzahl der Mitarbeiter im IWS



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



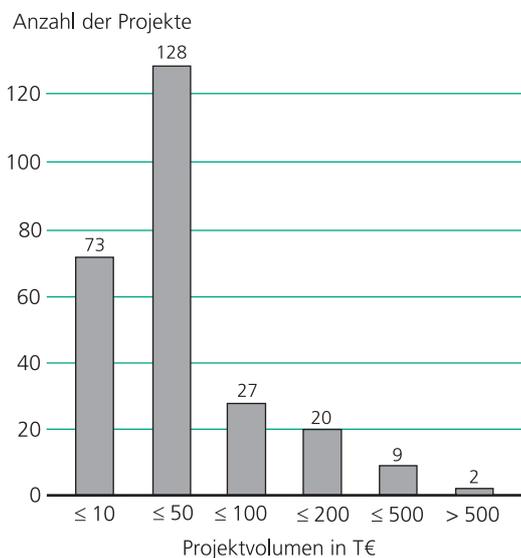
## Aufwendungen und Erträge 2006 (vorläufiges Ergebnis\*)

\* Nachkalkulation noch nicht erfolgt

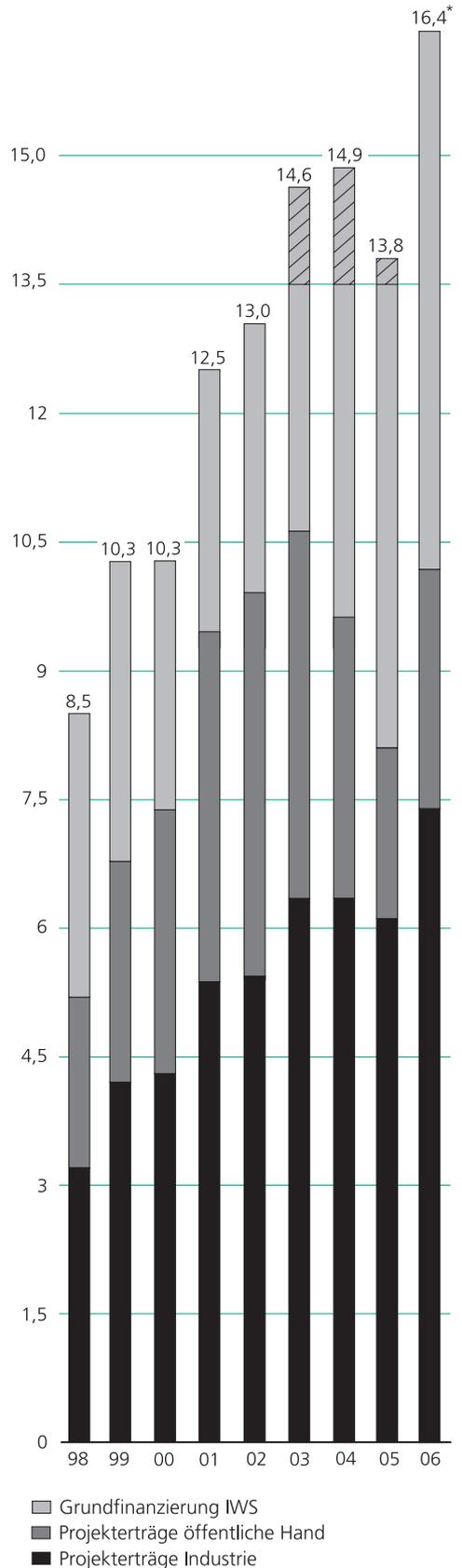
	<b>Mio. €</b>	
<b>Aufwendungen Betrieb und Investitionen 2006</b>	<b>16,4</b>	
<b>Betriebshaushalt</b>	<b>14,2</b>	
- Personalaufwendungen	6,4	
- Sachaufwendungen	7,8	
<b>Investitionshaushalt</b>	<b>2,2</b>	
	<b>Mio. €</b>	<b>%</b>
<b>Erträge 2006</b>	<b>16,4</b>	
<b>Betrieb</b>	<b>14,2</b>	
- Projekterträge aus der Industrie	7,1	50
- Projekterträge durch Bund, Land und EU	2,8	20
- Grundfinanzierung IWS	4,3	30
<b>Investitionen</b>	<b>2,2</b>	
- Projekterträge aus der Industrie	0,3	
- Projekterträge durch Bund, Land und EU	0,0	
- Grundfinanzierung IWS	1,3	
- Strategische Investitionen	0,6	

## Projekte

Im Jahr 2006 wurden am IWS 259 Projekte durchgeführt. Die Aufteilung der Projekte nach ihrem finanziellen Volumen ist in der folgenden Grafik dargestellt. So wurden beispielsweise 128 Projekte mit einem finanziellen Volumen von 10 ... 50 T€ bearbeitet.



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



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

Leiterin des Referates Produktionssysteme und -technologien des Bundesministerium für Bildung und Forschung

## **D. Fischer,**

Geschäftsführer EMAG Leipzig Maschinenfabrik GmbH

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

Mitglied des Vorstandes Division Auto der ThyssenKrupp Stahl AG (Kurator seit dem 01. Juli 2006)

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

Vorstand Produktionstechnik der Koenig & Bauer AG Werk Radebeul

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

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit (Kurator seit dem 01. Juli 2006)

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

Geschäftsführer des VDI-Technologiezentrum GmbH

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

Institut für Werkstoffwissenschaft der Technischen Universität Dresden

## **F. Schmidt, MD Dr.**

Staatssekretär im Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (bis April 2006)

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

Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst

Die 16. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 9. Februar 2006 im Fraunhofer IWS Dresden statt.

## **Institutsleitungsausschuss (ILA)**

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

Mitglieder des ILA sind:

Prof. Dr. E. Beyer	Institutsleiter
Dr. A. Leson	Stellv. Institutsleiter
Dr. A. Techel	Stellv. Institutsleiterin Verwaltungsleiterin (ab Sept. 2006)
Dr. S. Wilhelm	Verwaltungsleiter (bis August 2006)
Prof. Dr. B. Brenner	Abteilungsleiter
Dr. V. Hopfe	Abteilungsleiter
Dr. L. Morgenthal	Abteilungsleiter
Dr. S. Nowotny	Abteilungsleiter (bis Juni 2006)
Prof. Dr. B. Schultrich	Abteilungsleiter
Dr. G. C. Stehr	Abteilungsleiter (ab Juni 2006)

Gäste sind:

Dr. S. Bonß	WTR-Vertreter
Prof. Dr. U. Günther	Lehrstuhlvertreter
Dr. C. Krautz	Marketing
Dr. W. Grählert	Betriebsrat
Dr. S. Schädlich	QM-Beauftragter

## **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

## **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.**

Director Production Planning MB Cars der DaimlerChrysler AG

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

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



## Die Fraunhofer-Gesellschaft

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

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

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

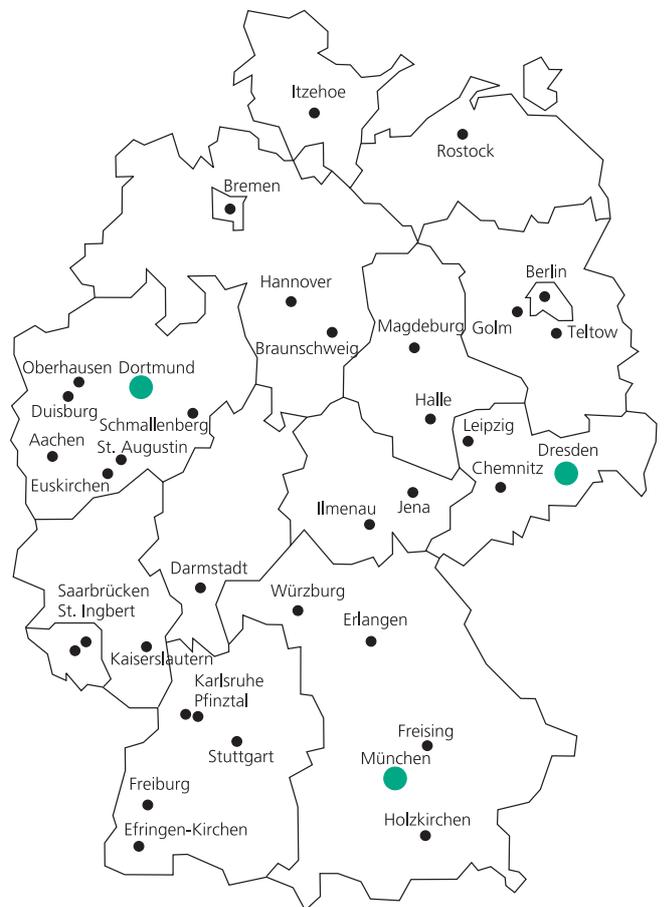
Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 56 Institute, an 40 Standorten in ganz Deutschland. 12 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,2 Milliarden €. Davon fallen mehr als 1 Milliarde € auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

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

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

*Wir brauchen etwas Neues.  
Wir müssen lernen,  
in neuen Situationen  
neu nachzudenken.*

Bertolt Brecht





## Fraunhofer Verbund Oberflächentechnik und Photonik

### Kompetenz durch Vernetzung

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

### Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

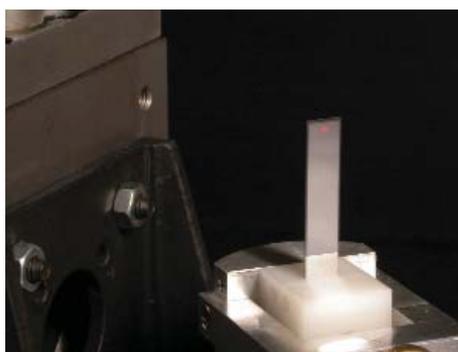
Das Fraunhofer IPM entwickelt optische Systeme für die Spektroskopie und Laserbelichtungstechnik. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Verwirklichung hochdynamischer Systeme. Neben der schnellen Laseransteuerung sind dafür besondere Kompetenzen bei der Signalverarbeitung gefragt. So wurden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

### Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

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

### Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

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



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

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



### Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

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

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

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

### Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

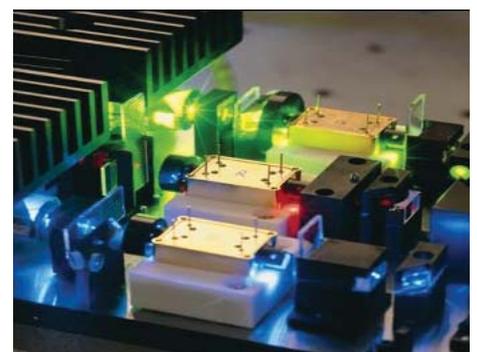
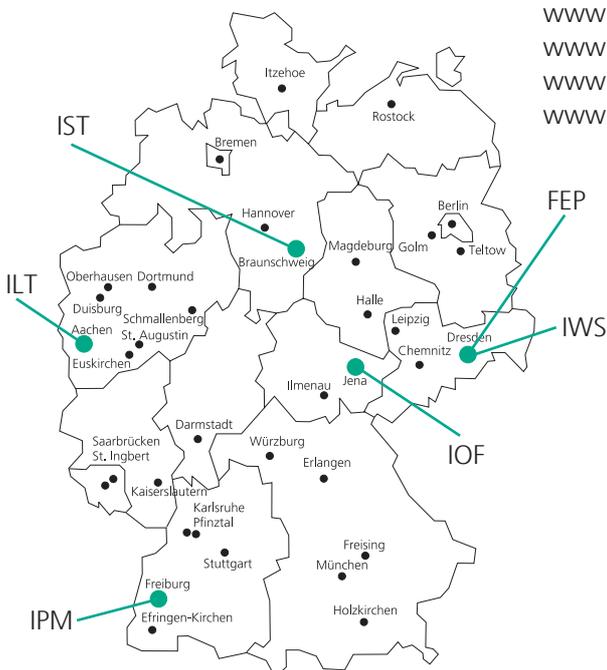
Hauptgegenstand der Forschungstätigkeit des Fraunhofer IOF ist die optische Systemtechnik mit dem Ziel der immer besseren Kontrolle von Licht. Schwerpunkte sind multifunktionale optische Schichtsysteme, mikro-optische Systeme, optische Messsysteme und Systeme zur Optik-Charakterisierung, feinmechanische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

### Kontakt / Koordination

**Sprecher des Verbundes:**  
Prof. Dr. Eckhard Beyer

**Koordination:**  
Dr. Udo Klotzbach  
Telefon: 0351 / 2583 252  
E-Mail: [udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de](mailto:udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de)  
[www.vop.fraunhofer.de](http://www.vop.fraunhofer.de)

**Die Institute:**  
[www.fep.fraunhofer.de](http://www.fep.fraunhofer.de)  
[www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)  
[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)  
[www.ist.fraunhofer.de](http://www.ist.fraunhofer.de)  
[www.iof.fraunhofer.de](http://www.iof.fraunhofer.de)  
[www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)



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



## Forschungs- und Entwicklungsangebot: Füge- und Randschichttechnologien

**Redaktion:** Mitte des Jahres 2006 konnte die neue Technologiehalle ihrer Bestimmung übergeben werden. Weshalb ist sie nötig, insbesondere angesichts der Tatsache, dass das IWS ja gerade erst im Jahre 2004 den Erweiterungsbau beziehen konnte?

**Prof. Brenner:** Die Entwicklung der Laserstrahlmaterialbearbeitung und insbesondere der dazugehörigen Anlagentechnik - ich erinnere nur an unsere große XXL-Laserstrahlschweißanlage - nahm einen rascheren Verlauf als wir geplant hatten. So mussten wir feststellen, dass uns für neue Projekte, Anlagenkonzepte und Bearbeitungsmaschinen für zukünftig zu entwickelnde Verfahren schon wieder der Platz ausging. Darüber hinaus sind wir in einer Entwicklungsphase, in der es für die geplanten Verfahrensweiter- und -neuentwicklungen keine Anlagen »von der Stange« mehr geben wird und dem zufolge mehr Prototypenanlagen konzipiert, erstellt und erprobt werden müssen, was auch mehr und flexibler nutzbaren Platz bedingt.

**Redaktion:** Können Sie das an einem Beispiel näher erläutern?

**Prof. Brenner:** Ja gern. Zu einem unserer wichtigsten Kompetenzfelder gehört das Laserstrahlhärten. Die vorhandene Anlagentechnik und die räumlichen Gegebenheiten ließen eine qualitative Weiterentwicklung nur in unzureichendem Maße zu. Deshalb wurde von uns der Prototyp einer neuartigen Laserstrahlhärteanlage zum Anlasszonen-freien Härten der Funktionsflächen von großformatigen, formkomplizierten 3D-Bauteilen entwickelt, als erste Anlage in der neuen Technologiehalle installiert und erfolgreich erprobt. Die Anlage ist mit einer installierten Laserleistung von 12 kW, einem Bearbeitungsraum von 3,5 m x 2 m x 1,2 m und den 3D-Bewegungsmöglichkeiten sehr flexibel und vielseitig einsetzbar und gestattet

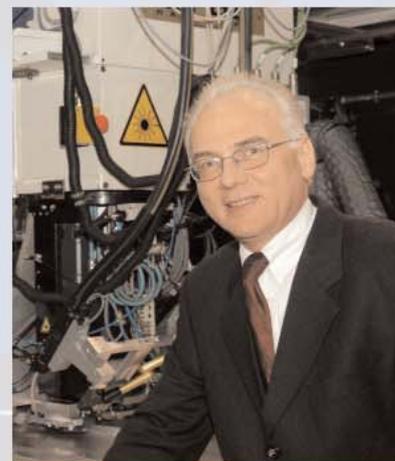
neben dem simultanen Anlasszonen-freien Laserstrahlhärten von benachbarten Flächen an 3D-verlaufenden Kanten, z. B. von Turbinenschaufeln, Großwerkzeugen, Gesenken oder Spezialekugellagern bzw. Wellen größeren Durchmessers, von Maschinenbetten oder speziellen Kurbelwellen auch eine Vielzahl anderer Bearbeitungsaufgaben. Deshalb planen wir, die sich ergebenden neuen Freiräume auch für die verfahrens- und systemtechnische Weiterentwicklung von vielen anderen Varianten der lasergestützten oder induktiven Randschichtveredlung, wie z. B. des Laserstrahlaushärtens, -umschmelzens, -gaslegierens oder entsprechender Hybridtechnologien sowie des Wärmeleitungsschweißens zu nutzen.

**Redaktion:** Apropos Laserstrahlschweißen - über welche Fortschritte können sie hier berichten?

**Prof. Brenner:** In einem öffentlich geförderten Verbundprojekt mit dem Titel »LaserPowertrain« gehen wir der Vision nach, Verfahren für das rissfreie Laserstrahlschweißen einsatzgehärteter Bauteile für den Pkw-Antriebsstrang ohne die Entfernung des Einsatzes zu entwickeln. Das Gelingen hätte eine große Breitenwirkung, wäre Kosten sparend und Prozessketten verkürzend. Ich freue mich deshalb besonders, dass wir auch bei dieser besonderen Herausforderung positive Lösungsansätze finden konnten.

*Rèfléchir, c'est déranger ses pensées.*

*Nachdenken heißt,  
seine Gedanken in Unordnung zu bringen.*  
Jean Rostand





**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 oder Induktion bzw. beidem

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

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



Laserstrahlgehärtete Turboladerwellen

### 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 allgemein guter Schweißbeignung verarbeitet. Einen neuen Zugang zur Herstellung rissfreier Schweißverbindungen aus härtbaren und hochfesten Stählen, Gusseisen, Al- und Sonderlegierungen sowie Bauteilen mit hoher Steifigkeit ermöglichen Laserstrahlschweißverfahren mit integrierter Kurzzeitwärmebehandlung sowie werkstoffangepassten Zusatzwerkstoffen. Auf der Basis eines umfangreichen metallphysikalischen und anlagentechnischen Hintergrundwissens bieten wir Ihnen an:

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



Laserstrahlgeschweißtes Getriebebauteil

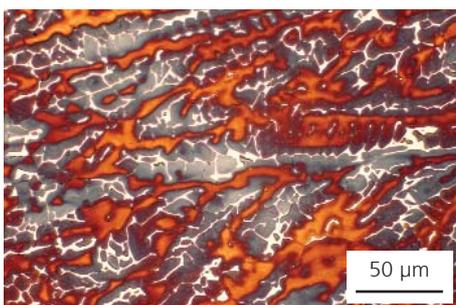
**Dr. Bernd Winderlich**

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

### Komplexe Werkstoff- und Bauteil- charakterisierung

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

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



Gefügebild: Schweißgefüge in austenitischem Stahl

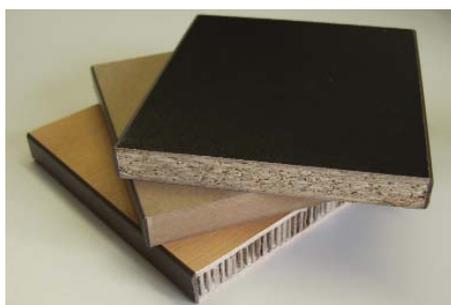
**Dr. Irene Jansen**

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

### Klebtechnik

Die Hauptarbeitsgebiete der Gruppe Klebtechnik sind:

- Oberflächenvorbehandlung mittels Plasma- und Lasertechnik sowie der Vergleich mit herkömmlichen Vorbehandlungsmethoden,
- konstruktives Kleben verschiedener Materialien (Metalle, Kunststoffe, Glas, Holz),
- Charakterisierung der Oberflächen sowie der geklebten Verbunde mittels Kontaktwinkel-, Rauheits- und Schichtdickenmessung, Lichtmikroskopie, REM / EDX und spektroskopischen Methoden,
- Bestimmung der Klebfestigkeiten und Alterungsuntersuchungen,
- Simulation und Aufbau einer Datenbank.



Mit Laserunterstützung schmalflächengeklebte Platten

### Beispiele aus den Arbeiten 2006

1. Neuartige roboterbasierte Laseranlage zum Härten von formkomplizierten Bauteilen 28
2. Härteprüfeinrichtung für die industrielle Qualitätssicherung randschichtgehärteter Bauteile 30
3. Rissfreies Laserstrahlschweißen von Mischverbindungen aus Gusseisen und Einsatzstahl 31
4. Verbesserung des Restverformungsvermögens vorverformter laserstrahlgeschweißter hochfester Feinbleche 32
5. Laserstrahlschweißen mit Festkörperlaser für luftfahrtspezifische Anwendungen 33
6. Schadenstolerante laserstrahlgeschweißte Stumpfstoßverbindungen für die Luftfahrt 34
7. Lasergestütztes Aufschmelzen von Schmelzklebstoffen 35
8. Mikrostrukturcharakterisierung lasermodifizierter Randschichten 36



## Neuartige roboterbasierte Laseranlage zum Härten von formkomplizierten Bauteilen

### Aufgabenstellung

Das Laserstrahlhärten von Stahlwerkstoffen und Gusseisen etablierte sich in den letzten Jahren als ergänzendes Verfahren zu den markteingeführten Randschichthärtetechnologien. Basis für diese Entwicklung des seit mehr als zwanzig Jahren bekannten und erprobten Verfahrens ist die Verfügbarkeit leistungsstarker und vergleichsweise preiswerter Hochleistungsdiodelenlaserquellen. Mit Leistungen im Multi-Kilowatt-Bereich waren sie die Voraussetzung für zahlreiche systemtechnische Entwicklungen, die zum Ziel hatten, das Randschichthärten mit dem Laser einfacher beherrschbar zu machen und es von einer Expertentechnologie in eine Facharbeitertechnologie zu überführen. So wurden zum Beispiel spezielle Temperatureinrichtungen, Laserleistungsregelungen sowie Strahlformungseinrichtungen für verschiedene Anwendungsbereiche entwickelt und dem Anwender marktgerecht zur Verfügung gestellt.

Mit den dadurch wachsenden Anwendungsmöglichkeiten entsteht zunehmend Bedarf an universellen und flexiblen Maschinensystemen, die diese Technologie unterstützen. Formkomplizierte Bauteile mit geforderten Härtezonen, die über die Möglichkeiten von bisher verfügbaren Standardmaschinen hinausgehen, sind zum Beispiel Kanten von Werkzeugen oder Kompressorschaukeln. Nicht selten sind die vom Anwender festgelegten Härtezonengeometrien so gestaltet, dass die Laserbestrahlung mit einem Laserspot und von einer Seite nicht zum gewünschten Ergebnis führt. Die Behandlung derartiger Geometrien in mehreren Laserprozessschritten ist ungeeignet, da im Überlappbereich der einzelnen Härtezonen der vorher gehärtete Werkstoff wieder angelassen

wird. Die simultane Bestrahlung solcher Geometrien mit zwei Laserstrahlflecken von zwei Seiten läßt sich durch vorhandene Strahlteileroptiken nur mit eingeschränkter Flexibilität ermöglichen. Die Änderung der Relativpositionen der Strahlflecken ist während des Prozesses nur eingeschränkt möglich. Es sollte daher ein Maschinensystem zum Laserstrahlhärten entwickelt werden, das diese Nachteile überwindet.

### Lösungsweg

Mehrere Anlagenkonzepte wurden untersucht. Letztlich fiel die Entscheidung zugunsten eines aus zwei Knickarmrobotern bestehenden Bewegungssystems, deren Bewegungsabläufe steuerungstechnisch gekoppelt werden können. Ein zusätzliches Dreh-Schwenk-System für kleinere Bauteile ergänzt die Möglichkeiten der Zugänglichkeit an zu härtende Bauteilbereiche (Abb. 1).

Jeder der Roboter hält und bewegt im primären Anwendungsfall eine Laseroptik während das Bauteil auf dem Boden steht oder in der Dreh-Schwenk-Einrichtung gehalten oder sogar zusätzlich bewegt wird. Die Laserstrahlung liefern zwei fasergekoppelte Hochleistungsdiodelenlaser mit Leistungen von jeweils 6 Kilowatt. Härtespurbreiten von bis zu 60 mm sind bei üblichen Härtetiefen von 1 bis 1,5 mm mit jedem der beiden Laser möglich. Voraussetzung dafür sind Strahlformungsoptiken, die es erlauben, optimale Laserspotgeometrien zu erzeugen. Zum Einsatz kommen zwei dynamische Strahlformungssysteme »LASSY« (Abb. 2) mit Scannerspiegel und integrierter Temperatursensorik zur Prozesssteuerung.

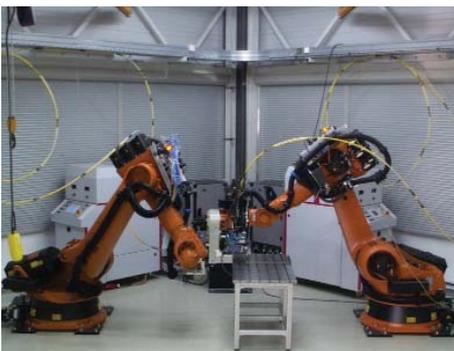
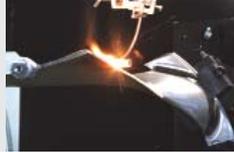


Abb. 1: Innenansicht der roboterbasierten Laseranlage



Abb. 2: Laseroptik »LASSY« montiert an Roboter



Damit sind für Härteanwendungen Laserspotgrößen von 4 mm Durchmesser bis 18 x 60 mm<sup>2</sup> einstellbar. Die Temperaturerfassung erfolgt mit dem kamerabasierten Temperaturmesssystem »E-MaqS« dessen Beobachtungsrichtung koaxial zum Laserstrahlweg ist. Geregelt werden die Prozesse durch zwei gekoppelte Laserleistungsregelungen »LompocPro«. Diese gewährleisten, dass die Bauteiloberflächentemperaturen der beiden sich überlagernden Erwärmungszonen konstant auf dem gewünschten Niveau gehalten werden, indem sie die Laserleistung der beiden Laser geeignet einstellt. Das System der gekoppelten Regler konnte bereits bei der simultanen Verwendung von zwei Hochleistungsdiodenlasern mit fester geometrischer Anordnung verwendet werden. Durch geometrische sowie zeitliche Kopplung der Bewegungsabläufe der beiden Roboter können Temperaturfelder am Bauteil erzeugt werden, die sich an zu härtenden Bauteilbereichen örtlich überlagern. So wird eine zeitgleiche Erwärmung und Abkühlung von durch zwei Laserstrahlflecken bestrahlten Zonen erreicht.

Die roboterbasierte Laseranlage wurde grundsätzlich zur industriellen Anwendung konzipiert. Eine lasersichere Umhausung sorgt dafür, dass die Anlage die Anforderungen der Laser Klasse 1 erfüllt. Jalousien sorgen dafür, dass im Einrichtbetrieb Tageslicht durch Fenster in den Arbeitsraum treten kann. Ein knapp 3 m breites Rolltor ermöglicht die Beladung der Anlage. Große Lasten werden mittels Gabelstapler in den Arbeitsraum bewegt. Für kleinere steht ein zellenintegrierter Kran mit 250 kg Nutzlast zur Verfügung. Die Bedienung der Anlage erfolgt komfortabel an einem Bildschirmarbeitsplatz, an dem alle Systeme kontrolliert und bedient werden können. Mehrere Kameras ermöglichen die Beobachtung des Arbeitsraumes und des Prozesses.

## Ergebnisse

Erste Bearbeitungsbeispiele waren Kanten von Schneid- und Kantwerkzeugen sowie Dampfturbinenschaukeln. Während bei Kantwerkzeugen entweder nur eine Seite breit gehärtet werden konnte und die andere Seite nur geringe Härtebreiten aufwies, kann mit der entwickelten Laserhärteanlage eine im Querschnitt symmetrische breite Härtezone erzeugt werden (Abb. 3). Dabei bewegen sich die beiden Roboter auf sehr unterschiedlichen Bahnen zeitlich synchron und die beiden Laserstrahlflecken erzeugen stets eine gemeinsame Erwärmungszone. Das Ergebnis ist eine homogen um die Kante verlaufende Härtezone (Abb. 4).

Verschleißbelastete Dampfturbinenschaukeln konnten bisher nur einseitig mit dem Laser gehärtet werden. Durch Wärmeleitung wurde versucht, die Härtezone um die Eintrittskante herumlaufen zu lassen. Die dadurch erreichten Härtezonengeometrien entsprechen nicht den von Anwendern gewünschten Geometrien zukünftiger Turbinenkonstruktionen. Mit der neuartigen Laserhärteanlage lassen sich an diesen Bauteilen Härtezonieren realisieren, die diesen steigenden Anforderungen gewachsen sind. Dabei ist der Prozess sicher geregelt, so dass er robust und zuverlässig funktioniert. Das garantiert dem Anwender eine hohe Produktqualität, die besonders bei höchstbelasteten Dampfturbinen- und Verdichterschaukeln wichtig ist.



Abb. 3: Simultan durchgeführter Härteprozess



Abb. 4: Beispiel eines simultan behandelten Bauteils im Querschnitt

Ansprechpartner

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





## Härteprüfeinrichtung für die industrielle Qualitätssicherung randschichtgehärteter Bauteile

### Aufgabenstellung

Das Randschichthärten ist ein Verfahren zum beanspruchungsgerechten Härten von Bauteilen, die aufgrund ihrer dynamischen Beanspruchung oder wegen des bei konventioneller Härtung starken Verzuges nicht durchgehend gehärtet werden können. Oft handelt es sich um sehr komplexe Teile oder Einzelstücke, so dass keine Probestücke für die zerstörende Untersuchung der Härtungszone zur Verfügung stehen. Andererseits ist die Messung mit Hilfe stationärer Härteprüfgeräte nicht oder nur eingeschränkt möglich. Alternativ sind Handmessgeräte im Angebot, bei deren Einsatz jedoch eine definierte Auflagefläche am Bauteil erforderlich ist, um das Prüfgerät während des gesamten Prüfvorganges lotrecht positionieren und ruhig halten zu können.

Am Fraunhofer IWS sind derartige Härteprüfungen auch an 3-dimensional gekrümmten Oberflächen, wie sie beispielsweise an Eintrittskanten von Turbinenschaufeln vorkommen, erforderlich.

### Lösungsweg

Um ein Handprüfgerät wie z. B. das TIV105 von GE Inspection Technologies (Prüfung nach Vickers mit HV 5) für die angesprochene Bauteilgruppe nutzbar zu machen, wurde ein Prüf-tisch entwickelt, der die Ausrichtung des Messkopfes in drei Linear- und zwei Schwenkachsen gestattet (Abb. 1). Die Grobausrichtung erfolgt mit Hilfe einer Portalkonstruktion mit rollengeführten Schienen in X- und Y-Richtung bzw. Kugelumlaufbuchsen mit Lastausgleich in Z-Richtung.

Mittels spindelgetriebenem Linearmodul sowie zweier Schwenkachsen, wovon eine zwecks genauere Positionierung mit einem Schneckentrieb

versehen ist, erfolgt die Feinpositionierung. Damit ist eine exakt lotrechte Ausrichtung des Härteprüfers gegenüber der zu prüfenden Bauteiloberfläche mit wenigen Handgriffen möglich und arretierbar. Auf einer weiteren Führungsbahn ist das Handprüfgerät so montiert, dass dieses in Prüfrichtung zum Werkstück zugestellt werden kann. Die eigentliche Messung erfolgt dann gemäß Herstellervorschrift durch manuell einzuleitenden Druck axial zur Prüfspitze.

Das realisierte System verfügt über einen Arbeitsraum von  $l = 1500 \text{ mm}$ ,  $b = 500 \text{ mm}$ ,  $h = 600 \text{ mm}$ . Da die Mehrzahl der Komponenten aus Normteilen besteht, ist eine Skalierung des Systems und damit eine Anpassung an die Messaufgabe gut möglich.

### Ergebnisse

Die Konstruktion wird im Fraunhofer IWS seit April 2005 regelmäßig zur Qualitätsprüfung von Turbinenschaufeln eingesetzt. Die erforderliche Oberflächengüte der zu prüfenden Oberflächen wird mit einem transportablen Schleif- und Poliergerät angearbeitet. Zur statistischen Absicherung werden fünf Messungen je Prüfpunkt durchgeführt. Die dabei auftretende Standardabweichung liegt zumeist deutlich unter 10%.

Die gute Reproduzierbarkeit der Messergebnisse im Gegensatz zum freihändigen Aufsetzen des Messkopfes, hat einen renommierten Schaufelfertiger zur Investition in diese Härteprüfeinrichtung veranlasst. Das Gerät wurde Anfang August 2006 ausgeliefert. Die Kombination des Handprüfgerätes zur Härtemessung mit dem vorgestellten Härteprüfplatz hat sich im Einsatz, insbesondere bei der Prüfung von großen, unhandlichen Bauteilen, sowie an frei geformten Oberflächen bewährt.



Abb. 1: Härteprüfung an einer laserstrahl-gehärteten Eintrittskante einer Dampfturbinenschaufel



Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Frank Tietz  
Tel.: 0351 / 2583 203  
frank.tietz@iws.fraunhofer.de



## Rissfreies Laserstrahlschweißen von Mischverbindungen aus Gusseisen und Einsatzstahl

### Aufgabenstellung

Das Laserstrahlschweißen der Mischverbindung Gusseisen und Einsatzstahl fertig bearbeiteter Differentialgetriebe für Achsantriebe wird in der Automobilbranche seit kurzem industriell zuverlässig beherrscht. Dabei werden bisher vorzugsweise CO<sub>2</sub>-Laser mit hoher Strahlqualität eingesetzt. Die schweißtechnische Herausforderung besteht nach wie vor in der Kombination erschwerender Faktoren für die Schweißbarkeit:

- Vergütungsstahl / Gusseisen als Mischverbindung,
- sehr steifes Bauteil,
- Verzugsverhalten,
- fertig bearbeiteter Zustand.

Rissfreie Schweißungen erfordern in dieser Verfahrenskombination werkstoffangepasste Zusatzwerkstoffe in Form von Folien oder Drähten und eine entsprechende Nahtvorbereitung. Das hat prozessbedingt Einschränkungen der maximal möglichen Schweißgeschwindigkeiten und minimale Energieeinträge zur Folge. Beides führt zu relativ breiten Schweißnähten. Die zunehmenden Anforderungen an Kompaktheit und Laufruhe bei gesteigert abgerufenen Stückzahlen sind mit erhöhten Aufwendungen für die eingesetzte Anlagentechnik verbunden. Daher wäre es wünschenswert, wenn die Leistungsfähigkeit der Schweißprozesse mit den neuen zur Verfügung stehenden Strahlquellen verbessert werden könnte.

### Lösungsweg

Eine erfolgreiche und effektive Lösung wurde durch das Laserstrahlschweißen der Mischverbindung Gusseisen und Einsatzstahl mit einem Faserlaser erarbeitet (Abb. 1). Neben einer verbesserten Strahlqualität und extrem hohen Leistungsdichte zeichnet sich diese durch folgende Spezifika aus:

- sehr hohe Schweißgeschwindigkeiten,
- Unterdrückung eines harten, vergleichsweise spröden Martensits in der Schweißzone,
- extrem niedrige Energieeinträge,
- sehr geringe Verzüge,
- extrem schlanke Schweißnähte.

### Ergebnisse

Durch den Einsatz des Faserlasers konnten die Schweißzeiten im Labor an voll einsatzgehärteten, fertig bearbeiteten Differentialgetrieben (Abb. 2) gegenüber den in der Serie laufenden Schweißprozessen um ca. 65 - 70 % reduziert werden. Die für das Verzugsverhalten wesentlichen Energieeinträge wurden dabei auf ein Fünftel abgesenkt, was auch positive Effekte auf Investkosten und Energieverbrauch zur Folge hat. Ein Zusatzwerkstoff ist dabei nicht erforderlich.

Die Prozessstabilität ist mit anderen Verfahren gut vergleichbar. Durch die sehr hohen Leistungsdichten entstehen weitgehend parallele Anschmelzgrenzen mit entsprechend vorteilhaften Auswirkungen auf das Verzugsverhalten der geschweißten Bauteile. Dadurch können gleichzeitig neue konstruktive Freiheitsgrade gewonnen werden.

CO<sub>2</sub>-Laser mit Zusatzwerkstoff



Faserlaser ohne Zusatzwerkstoff



Abb. 1: Vergleich von laserstrahlgeschweißten Mischverbindungen aus Gusseisen und Einsatzstahl

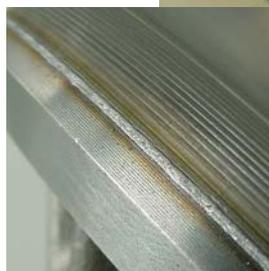


Abb. 2: Mit dem Faserlaser geschweißtes Differentialgetriebe und Ansicht der Schweißnaht

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Uwe Stamm  
Tel.: 0351 / 2583 152  
uwe.stamm@iws.fraunhofer.de





## Verbesserung des Restverformungsvermögens vorverformter laserstrahlgeschweißter hochfester Feinbleche

### Aufgabenstellung

Zur Realisierung innovativer Leichtbaukonzepte im modernen Karosseriebau werden zunehmend hochfeste, mehrphasige Feinblechstähle eingesetzt. Diese Werkstoffe weisen eine besonders hohe Festigkeit, eine gute Umformbarkeit und ein hohes Verfestigungsvermögen bei Verformung auf. Im Zusammenbau sind bereits umgeformte Bauteile miteinander zu verschweißen. Die aus der Umformung resultierende teilweise starke Verfestigung wird dabei von der Schweißnahtaufhärtung überlagert. Die so entstandenen, stark aufgehärteten Strukturen müssen prozesssicher verarbeitbar sein, die Betriebsbeanspruchung sicher ertragen und einer möglichen Crashbelastung standhalten. Um das Überschreiten der Formänderungsgrenze bei der Bauteilherstellung und im Betrieb zu verhindern, ist die Kenntnis des Restverformungsvermögens derartig verfestigter und anschließend geschweißter Strukturen erforderlich. Für die Steigerung der Bauteilsicherheit sind Möglichkeiten zur Erhöhung des Restverformungsvermögens zu erarbeiten.

### Lösungsweg

Zur Darstellung unterschiedlicher Vorverfestigungszustände sind Proben aus dem hochfesten Restaustenitstahl HXT700T (TRIP700) durch Recken bzw. Walzen mit unterschiedlichen Vorverformungsgraden hergestellt worden (Abb. 2). Sowohl längs als auch quer zur Vorverformungsrichtung erfolgte das Fügen dieser so verfestigten Proben mittels Laserstrahlschweißen.

Das Restverformungsvermögen der so erzeugten Strukturen wurde in Abhängigkeit von der Schweißrichtung und der Vorverformungsrichtung ermittelt. Durch modifizierte Tiefungsversuche mit visioplastischer Formänderungsanalyse gelang es, Grenzformänderungsschaubilder für charakteristische Zustände zu erstellen. Durch eine in den Laserstrahlschweißprozess integrierte induktive Kurzzeitwärmebehandlung sollte das Restverformungsvermögen von verfestigten und anschließend geschweißten Strukturen erhöht werden. Die Grundlage bildeten dabei vorangegangene Arbeiten zur Verbesserung des Umformverhaltens (von im Lieferzustand verschweißten) hochfesten Feinblechstrukturen durch induktiv unterstütztes Laserstrahlschweißen (s. auch IWS-Jahresbericht 2003, S. 84).

### Ergebnisse

Durch eine prozessintegrierte induktive Wärmebehandlung ist das Restverformungsvermögen von verfestigten und anschließend laserstrahlgeschweißten Strukturen über den gesamten Blechumformungsbereich signifikant steigerbar (Abb. 1). Diese Ergebnisse lassen erwarten, dass das Verformungsverhalten unter hoher Beanspruchungsgeschwindigkeit, wie sie im Crashfall auftritt, ebenfalls mit dieser Technologie verbessert werden kann. Die Untersuchungsergebnisse ermöglichen eine Abschätzung der Sicherheitsreserven verformter und anschließend geschweißter Baugruppen aus hochfesten Feinblechen im Karosseriebau. Außerdem sind Maßgaben für die konstruktive Bauteilgestaltung, wie zum Beispiel Lage, Kontur und Orientierung der Schweißnaht bezüglich der Bauteilbeanspruchung, ableitbar.

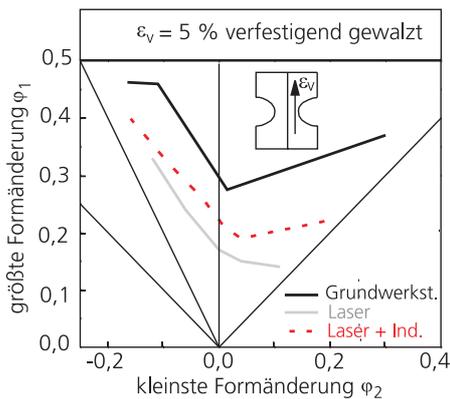


Abb. 1: Grenzformänderungskurve HXT700T,  $\epsilon_v = 5\%$  vorverformt (Walzen), die Umformbarkeit wurde in Richtung der Vorverformung und parallel zur Schweißnaht ermittelt



Abb. 2: Probe während des Vorverformens durch Recken in der Zugprüfmaschine MTS 810



Ansprechpartner

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



## Laserstrahlschweißen mit Festkörperlaser für luftfahrtspezifische Anwendungen

### Aufgabenstellung

Das Laserstrahlschweißen hat sich in den letzten Jahren für das Fügen von Rumpfstrukturbauteilen aus hochfesten Aluminiumwerkstoffen etabliert. Für die Serienfertigung, insbesondere das Schweißen von Stringer-Haut-Verbindungen, werden dazu derzeit industriell überwiegend CO<sub>2</sub>-Laser mit sehr hoher Strahlqualität verwendet, um die Verzugsanforderungen bei den großformatigen und dünnwandigen Strukturen einzuhalten. Seitens der Anlagentechnik werden dabei die hohen Aufwendungen für Laser-Strahlführungen mit Spiegeloptiken hinsichtlich Investition und Justage sowie Einschränkungen hinsichtlich Bauteilzugänglichkeit in Kauf genommen. Die Entwicklungen im Bereich der Festkörperlaserstrahlquellen in den letzten Jahren ermöglichen nun das Laserstrahlschweißen mit vergleichbar niedrigen Streckenenergien, so dass perspektivisch eine Anwendung von Festkörperlaser verstärkt auch im Bereich Luftfahrt von Interesse ist. Für die Überprüfung der Einsatzmöglichkeiten ist daher die Erprobung von speziellen Festkörperlaserweißköpfen für luftfahrtspezifische Anwendungen erforderlich.

### Lösungsweg

Für das Laserstrahlschweißen von Stringer-Haut-Verbindungen wurden ein Nd:YAG-Schweißkopf zum beidseitig-gleichzeitigen Schweißen von Stringer-Haut-Verbindungen mit integrierter pneumatischer Spannentechnik gemeinsam mit Partnern entwickelt und erprobt (Abb. 1). Als Laserstrahlquellen wurden dazu zwei diodengepumpte Festkörperlaser DY044 mit einer max. Leistung von je 4,4 kW

genutzt. Es erfolgte ein Vergleich mit den Ergebnissen der Schweißungen mit den bisher üblicherweise eingesetzten CO<sub>2</sub>-Lasern hoher Strahlqualität, wie sie derzeit für derartige luftfahrtspezifische Anwendungen genutzt werden.

Für zukünftige Anwendungen ist das Laserstrahlschweißen von Versteifungselemente wie Clips, Spanten und Schubwänden bei bereits geschweißten Längssteifen von Interesse. Für die dabei stark eingeschränkte Zugänglichkeit wurde ein speziell entwickelter Festkörperlaserweißkopf entwickelt und erprobt (Abb. 2).

### Ergebnisse

Der entwickelte Nd:YAG-Schweißkopf zum beidseitig-gleichzeitigen Schweißen von Stringer-Haut-Verbindungen mit integrierter pneumatischer Spannentechnik (Abb. 1) wurde erfolgreich industriell erprobt. Es zeigte sich, dass durch die größeren Foki der verwendeten Strahlquellen gegenüber CO<sub>2</sub>-Lasern ein deutlich größeres Prozessfenster hinsichtlich der Positionieranforderungen nutzbar ist, zusätzliche taktile Sensoren zur Nahtverfolgung wurden daher nicht benötigt.

Für das Schweißen von Bauteilen mit stark eingeschränkter Zugänglichkeit konnten die Vorteile von speziell angepassten Festkörperlaserweißköpfen aufgezeigt werden (Abb. 2). Bei Verwendung von Faserlasern mit vergleichbar hoher Strahlqualität wie bei CO<sub>2</sub>-Lasern können Schweißnähte mit gleichermaßen geringer Streckenenergie und Nahtqualität erzeugt werden (Abb. 3). Vorteilhaft für zukünftige Anwendungen sind dabei die anlagenseitig deutlich reduzierten Aufwendungen für Strahlführung und -justage.



Abb. 1: Schweißkopf mit integrierter Stringerspanntechnik zum **beidseitig-gleichzeitigen** Schweißen von Stringer-Haut-Verbindungen

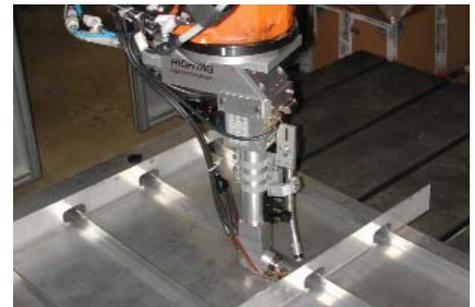


Abb. 2: Festkörperlaserweißkopf zum **einseitigen** Schweißen von Schubwand-Haut-Verbindungen bei stark eingeschränkter Zugänglichkeit

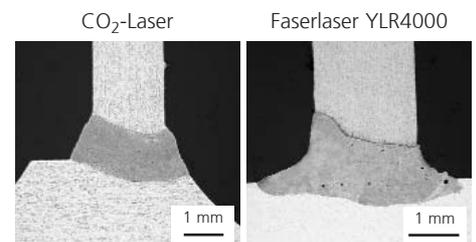


Abb. 3: Einseitig geschweißte Clip-Haut-Verbindung mit bandförmigem Schweißzusatzwerkstoff

Ansprechpartner

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





## Schadenstolerante laserstrahlgeschweißte Stumpfstoßverbindungen für die Luftfahrt

### Aufgabenstellung

Die Qualifizierung geschweißter Haut-Haut-Verbindungen aus aushärtbaren Aluminiumlegierungen für Rumpfstrukturen künftiger Flugzeuggenerationen ist für die Luftfahrtindustrie von größtem Interesse. Triebkräfte dafür sind vor allem die Gewichtsreduzierung und die Einsparung von Fertigungs- und Wartungskosten. Nachdem das Laserstrahlschweißen von Stringer-Haut-Verbindungen im Flugzeugbau erfolgreich Einzug gehalten hat, besteht für die Anwendung geschweißter Haut-Haut-Verbindungen

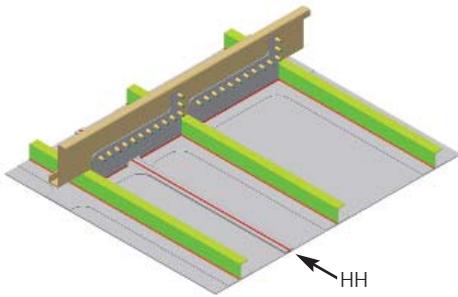


Abb. 1: Strukturelement mit einer Haut-Haut-Verbindung (HH)

im Rumpfbereich (Abb. 1) die Herausforderung vor allem in der Gewährleistung der geforderten Schadenstoleranz. Prinzipiell stellt die Schweißnaht aufgrund des geringeren Risswiderstandes des Schweißgutes gegenüber dem Grundwerkstoff einen gefährlichen Risspfad und somit eine Schwachstelle in der Struktur dar. Diese gilt es durch geeignete Maßnahmen zu beseitigen.



Abb. 2: Wellenförmiger Schweißnahtverlauf

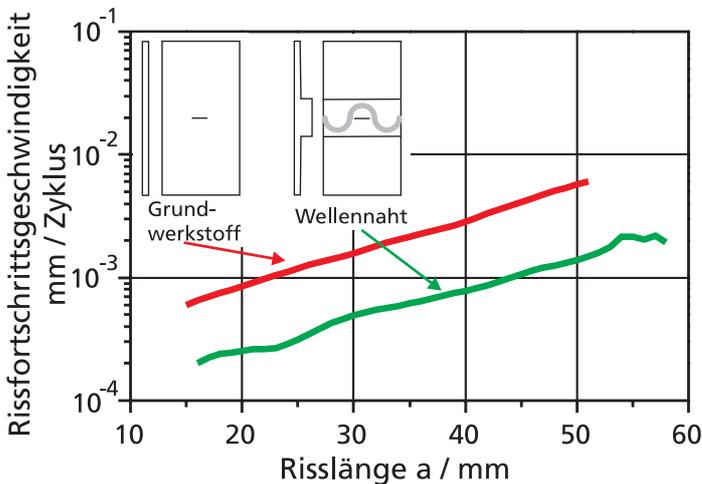


Abb. 3: Rissfortschrittsraten der Schweißvarianten in Abhängigkeit von der Risslänge a

- Verringerung der Rissspannungsintensität durch Aufdickung des Bleches im Bereich der Schweißnaht und daraus folgender Absenkung der Nennspannung im rissfreien Querschnitt,
- Veränderung des Schweißnahtdesigns mit dem Ziel der weitgehenden Reduzierung von Risslängenteilen in der Schweißnaht.

Die Untersuchungen wurden an 200 mm breiten und 2 mm dicken Proben mit Mittenriss unter schwellender Zugbelastung mit einer Haut-Oberspannung von 90 MPa durchgeführt. Getestet wurde die Rissausbreitung im ungeschweißten Grundwerkstoff einer AlMgSiCu-Legierung, in einer geradlinigen, senkrecht zur Belastung angeordneten Laserschweißnaht und in einer optimierten Laserschweißverbindung mit einem 3 mm hohen Nahtsockel und einem wellenförmigen Nahtverlauf (Abb. 2).

### Ergebnisse

Abb. 3 zeigt die Rissfortschrittsraten der untersuchten Varianten in Abhängigkeit von der erreichten Risslänge. Während in der geradlinig verlaufenden Schweißnaht sich der Riss wesentlich schneller ausbreitet als im Grundwerkstoff, erfolgt das Risswachstum in der Schweißverbindung mit Sockel und wellenförmiger Naht deutlich langsamer als im Grundwerkstoff des Hautbleches. Dies ist neben der Entlastungswirkung des Sockels auch darauf zurückzuführen, dass der Riss bedingt durch den Schweißnahtverlauf nur sehr kurze Strecken im Schweißgut zurücklegt.

### Lösungsweg

Aus den bisherigen Untersuchungen im Rahmen eines Forschungsprojektes mit der Firma Airbus zur Verbesserung der Schadenstoleranz laserstrahlgeschweißter Stumpfstoßverbindungen bieten sich zwei Erfolg versprechende Wege an:

Die erzielten Ergebnisse eröffnen die Möglichkeit, schadenstolerante geschweißte Haut-Haut-Verbindungen herzustellen, die der Belastung einer Rumpfstruktur angepasst sind und im Vergleich zu Nietverbindungen ein geringeres Gewicht aufweisen.



Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Dirk Dittrich  
Tel.: 0351 / 2583 228

dirk.dittrich@iws.fraunhofer.de



## Lasergestütztes Aufschmelzen von Schmelzklebstoffen

### Aufgabenstellung

In der Holzbearbeitung wurden Laser bisher nur zum Trennen von Holz und Holzwerkstoffen eingesetzt. In der Schmalflächenbeschichtung wird mit dem Fügen durch Laserstrahlung ein neues Arbeitsfeld erschlossen, wodurch eine Verbesserung der Qualität und eine Steigerung der Produktivität in der Möbelfertigung erreicht werden kann. Sowohl in der Industrie als auch im Handwerk werden nach der konventionellen Methode mit Kantenleimmaschinen oder in Bearbeitungszentren Schmelzklebstoffe erhitzt, durch Walzenauftrag auf die Plattenschmalfläche bzw. das Beschichtungsmaterial aufgebracht und diese anschließend miteinander verpresst.

Das Aufschmelzen der Klebstoffe ist jedoch energieintensiv und zum Erreichen der Betriebstemperatur (150 - 210 °C) der Anlagen vergehen bis zu 20 Minuten. Durch den direkten Kontakt der Auftragswalze mit dem Plattenmaterial kommt es zu Verschmutzungen, welche den Beileimvorgang beeinträchtigen. Das Auftragssystem für Schmelzklebstoffe ist schwer zu reinigen und die Umstellung auf andere Klebstoffe ist zeit- und arbeitsaufwändig. Außerdem limitiert das Abkühlverhalten der thermoplastischen Klebstoffe den Werkstückvorschub. Es besteht ein hohes Interesse der Industrie an alternativen Lösungen.

### Lösungsweg

Im Rahmen eines AiF-Forschungsprojektes wurde ein lasergestütztes Verfahren zur Schmalflächenbeschichtung entwickelt. Dabei wird vorbeschichtetes Schmalflächenbeschichtungsmaterial (Abb. 1) bzw. ein separates Klebstoffband kurz vor der Fügestelle mit der Platte gezielt durch Laser erwärmt (Abb. 2, 3).

### Ergebnisse

Vorteile des Verfahrens sind die berührungslose Arbeitsweise und der lokal begrenzte Energieeintrag des Lasers direkt an der Fügestelle. Es wird keine Energie zum ständigen Beheizen des Leimbehälters benötigt. Der Laser wird nur dann aktiviert, wenn eine Schmalfläche gefügt wird. Durch den direkten Energieeintrag in den Klebstoff ist es möglich, ein größeres Klebstoffspektrum bei der Beschichtung einzusetzen (z.B. höherschmelzende Klebstoffe bzw. Klebstoffe mit hohen Vernetzungstemperaturen, neuartige reaktivier- und vernetzbare Acrylatdispersionen). Von höheren Schmelztemperaturen profitieren auch die Folgeaggregate wie Bündig- und Feinfräser, denn die Klebstoffe binden schneller ab und benötigen mehr Energie zur Reaktivierung, wodurch sich die Fräswerkzeuge deutlich langsamer zusetzen. Außerdem wird die Qualität der Schmalflächenbeschichtung durch die höhere Temperaturfestigkeit verbessert. Die Wasseraufnahme ist geringer und es entsteht keine sichtbare Klebfuge. Die Umstellung auf andere Klebstoffe ist durch den Einsatz von Klebstofffolien innerhalb kurzer Zeit möglich.



Abb. 1: Unterschiedliche Arten von Schmalflächenbeschichtungsmaterial

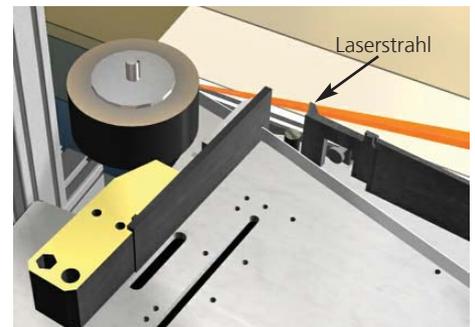


Abb. 2: Schematische Darstellung des Prozessablaufes

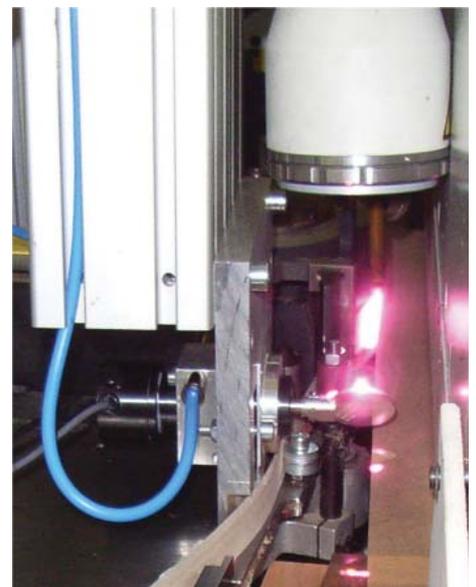


Abb. 3: Schmalflächenbeschichtung mit dem Laser in der maschinellen Möbelfertigung

Ansprechpartner

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





## Mikrostrukturcharakterisierung lasermodifizierter Randschichten

### Aufgabenstellung

Bei vielen Bauteilen stellt die Randschicht den am höchsten beanspruchten Werkstoffbereich dar. Deshalb werden mechanische, thermische und thermochemische Randschichtbehandlungstechnologien sowie Beschichtungsverfahren eingesetzt, um die mechanische Belastbarkeit der Randschichten zu verbessern, den Schutz vor Korrosion und Verschleiß zu erhöhen oder bestimmte Funktionseigenschaften der Oberflächen zu erreichen. Der Einsatz von lasergestützten Verfahren bietet sich dabei u. a. in solchen Fällen an, in denen nur bestimmte Bereiche der Oberfläche behandelt werden sollen oder wenn große Temperaturgradienten erforderlich sind.

Da das Verhalten der Randschichten in hohem Maße durch ihren mikrostrukturellen Aufbau bestimmt wird, ist zur Verbesserung ihrer Eigenschaften und Optimierung ihrer Herstellungsverfahren eine umfassende und hochauflösende Charakterisierung der Oberflächen und oberflächennahen Bereiche unerlässlich. Methoden zur Erfassung der Topographie der Oberfläche, für die Beurteilung des oberflächennahen Gefügestandes oder die Ermittlung von Änderungen der chemischen Zusammensetzung sind dafür besonders gefordert.

### Lösungsweg

Im IWS werden zur umfassenden Charakterisierung von Randschichten und Beschichtungen sich gegenseitig ergänzende Methoden der Metallographie, der Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie (REM, TEM) und der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse (EDX) eingesetzt.

Dabei werden die verschiedenen in der Elektronenmikroskopie zur Verfügung stehenden Abbildungsverfahren ausgenutzt: u. a. Material- und Kristallorientierungskontrast im REM sowie Hell- und Dunkelfeldabbildung und Beugungsanalyse im TEM bis zur Hocharauflösung.

Es werden spezielle Techniken zur schädigungsarmen Präparation von Querschliffen angewendet, wodurch auch heterogene Werkstoffe und komplizierte Schichtsysteme untersucht werden können.

Für verschiedenste Materialien stehen Prozeduren für die zielgenaue Herstellung elektronentransparenter Querschnittspräparate durch Probenoberflächen bereit. Um den Anforderungen nach Kantenschärfe und weitgehender Freiheit von Präparationsartefakten nachzukommen werden in vielen Fällen Ionenstrahlmethoden eingesetzt.

### Ergebnisse

Die folgenden Beispiele geben einen Überblick über die Leistungsfähigkeit des IWS auf dem Gebiet der Mikrostrukturcharakterisierung von Randschichten.

Für ausscheidungshärtbare Cr-Ni-Stähle wurde eine Technologie entwickelt, bei der durch lokales Laserlösungs-glühen und anschließende Auslagerungswärmebehandlung eine verschleiß- und ermüdungsresistente aufgehärtete Randschicht an den Stellen der höchsten Bauteilbeanspruchung erzeugt werden kann. Die Optimierung des Verfahrens erforderte den Einsatz hochauflösender Strukturuntersuchungen. Als entscheidender mikrostruktureller Mechanismus für die Erzielung der gewünschten Härtesteigerung wurde die Bildung von Clustern aus Kupferatomen und feiner Kupferausscheidungen nachgewiesen (Abb. 1).

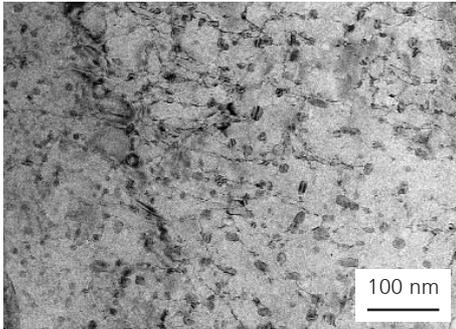


Abb. 1: TEM-Aufnahme der Randschicht des Stahls X5CrNiCuNb16.4 im überalterten Zustand: Nachweis der feinen Kupferausscheidungen

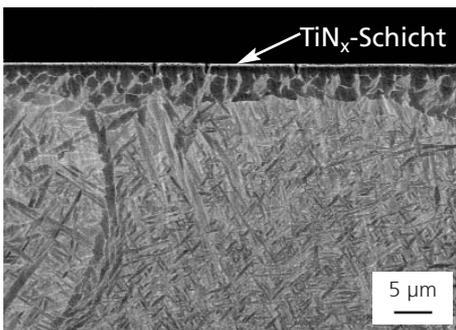


Abb. 2: REM-Aufnahme eines ionenpolierten Querschliffs durch die äußerste Randschicht von lasergasnitriertem Ti-6Al-4V

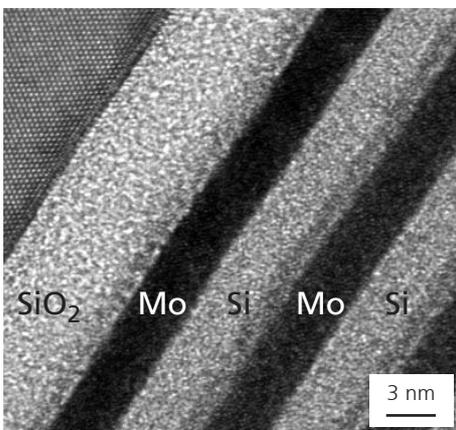


Abb. 3: TEM-Hochauflösungsaufnahme einer Mo-Si-Nanometer-Vielfachschicht (Querschnitt). Links oben ist das einkristalline Si-Substrat sichtbar; die Schichten sind weitgehend amorph.



Mit dem Lasergasnitrieren wird eine Verbesserung der Verschleißbeständigkeit von Titanwerkstoffen bei gleichzeitig hoher Dauerschwingfestigkeit angestrebt. Durch Aufklärung der eigenschaftsbestimmenden Strukturdetails wurde herausgefunden, dass die Bildung von Titanitrid in der laserbehandelten Randschicht die Rissinitiierung begünstigt. In Abb. 2 ist erkennbar, dass sich auf der Oberfläche der lasernitrierten Probe ein etwa 1  $\mu\text{m}$  dicker Film gebildet hat, der als Titanitrid identifiziert wurde. Vor dem Einsatz des Werkstoffes muss deshalb dieser dünne Film von der Oberfläche der 0,5 mm tiefen Nitrierschicht entfernt werden.

Bei der Entwicklung von Dünnschichtsystemen stehen die Morphologie, der kristalline Aufbau und die Gleichmäßigkeit der Einzelschichten sowie die Beschaffenheit der Grenzflächen im Mittelpunkt. Hierbei liefert das TEM wichtige Informationen. Bei der in Abb. 3 dargestellten Mo-Si-Vielfachschicht erkennt man u. a. die hohe Präzision der Einzelschichten und die an der Unterseite der Mo-Schicht auftretende Diffusionszone. Bei der Untersuchung einer Ni-Cr-Si-Schicht stand die Suche nach Unterschieden der chemischen Zusammensetzung in verschiedenen Schichtlagen im Zentrum des Interesses (Abb. 4).

Mittels Laserschockbehandlung sollen durch laserinduzierte Druckstöße lokal Druckeigenspannungen in Metalloberflächen eingebracht werden. Grundlagenuntersuchungen zu den dabei ablaufenden Hochgeschwindigkeits-Verformungsprozessen haben u. a. darauf gezielt, den Einfluss von Parametern der Laserbehandlung auf die mechanische Zwillingsbildung zu erkennen. Durch Präparation mittels Ionenpolitur und Nutzung der im REM verfügbaren Abbildungscontraste konnten sowohl

die durch die plastische Verformung hervorgerufenen Oberflächengleitstufen als auch die Änderung der Kristallorientierung im  $\{211\}\langle 111 \rangle$  Zwillingsystem nachgewiesen werden (Abb. 5).

Neben der Charakterisierung gezielt veränderter Randschichten ist es oftmals von Interesse, ob eine abtragende Materialbearbeitung die Randschicht eines Werkstoffes beeinflusst. Als Beispiel ist hier der Randbereich einer Laserbohrung angeführt (Abb. 6). Es konnte nachgewiesen werden, dass bei geeigneter Wahl der Bearbeitungsparameter unerwünschte Veränderungen des Bohrlochrandes wie Risse und Anschmelzungen vermieden oder zumindest minimiert werden können.

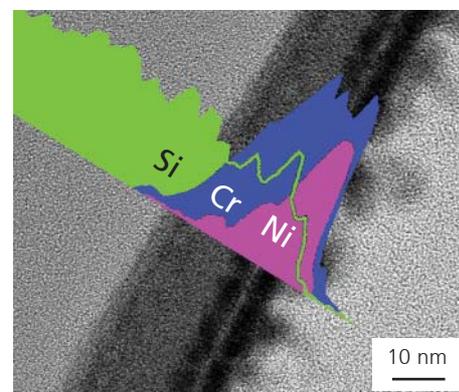


Abb. 4: TEM-Aufnahme eines Querschnitts durch eine Ni-Cr-Si-Schicht mit aus der EDX-Mikroanalyse gewonnenen Ergebnissen zur Elementverteilung in der Schicht

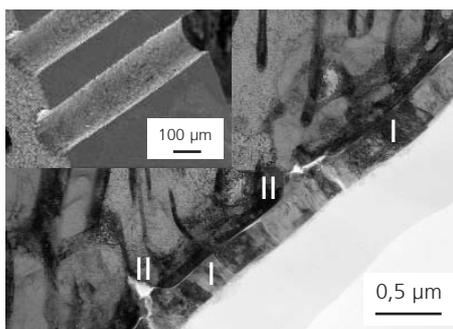


Abb. 6: REM-Aufnahme eines Längsschliffs (links oben) und TEM-Aufnahme des Randbereichs einer Laserbohrung mit sehr dünnem Schmelzfilm (I) und Wärmeinflusszone (II)

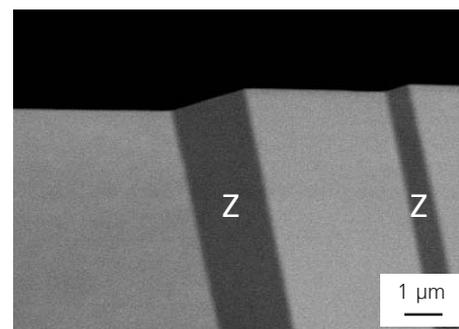


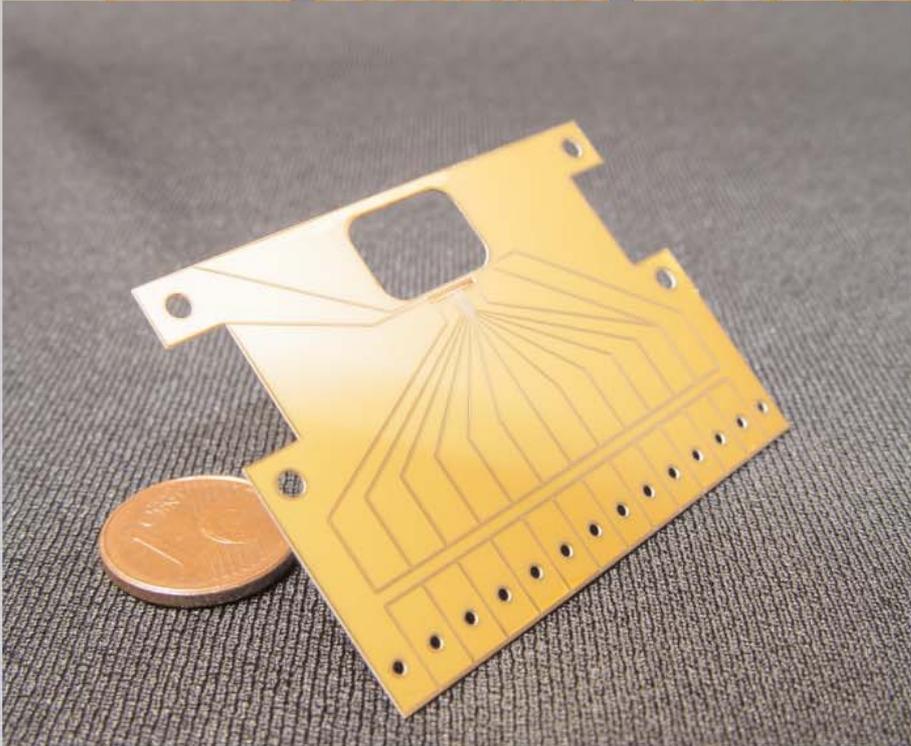
Abb. 5: REM-Aufnahme eines laserschockverformten Eiseneinkristalls im Orientierungskontrast mit Verformungszwillingen (Z).

Ansprechpartner

Dr. Jörg Bretschneider  
Tel.: 0351 / 2583 217

joerg.bretschneider@iws.fraunhofer.de





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

**Redaktion:** Welche Perspektiven hat der Faserlaser für das Laserstrahlschneiden

**Dr. Morgenthal:** Mit den in den letzten Jahren auf den Markt gekommenen Faserlasern hat die Palette der besonders für das Laserstrahlschneiden geeigneten Laser einen interessanten Zuwachs bekommen. Für das Laserstrahlschneiden wünschen wir uns in der Regel Laserstrahlquellen, die einen sehr gut fokussierbaren Laserstrahl, d. h. einen Strahl mit höchster Strahlqualität liefern. Das waren bisher in erster Linie die CO<sub>2</sub>-Laser, wenn Laserleistungen im Bereich von einigen Kilowatt gefordert wurden. Die wegen der Faserführbarkeit ihrer Strahlung insbesondere für die 3D-Bearbeitung interessanten Festkörperlaser waren dabei in der klassischen Variante der Stab- laser hinsichtlich der Stahlqualität und auch ihrer Effizienz einfach nicht konkurrenzfähig.

Diese Situation hat sich mit den Faserlasern grundlegend gewandelt. Sie vereinen höchste Strahlqualität mit hoher Strahlleistung und bieten noch dazu eine hohe elektrische Effizienz und kompakte Bauweise. Unsere Aufgabe ist es, daraus für konkrete Anwendungen einen möglichst hohen Nutzen für unsere Kunden zu generieren.

**Redaktion:** Welche Auswirkungen haben solche neuen Laserstrahlquellen, wie z. B. der Faserlaser, auf die Entwicklung der Laseranlagentechnik?

**Dr. Morgenthal:** Mit der meist hervorragenden Strahlqualität, die uns bei den neuen Laserstrahlquellen bei immer höheren Leistungen zur Verfügung steht, kann die Geschwindigkeit vieler Bearbeitungsprozesse gesteigert werden. Sehr deutlich zeigt sich das jetzt z. B. wieder beim Laserstrahlschneiden mit Faserlasern.

Andererseits steigen dadurch auch die Anforderungen an die Laserbearbeitungsanlagen, diese hohen Prozessgeschwindigkeiten auch an konkreten Bauteilen umzusetzen. Eine Forderung, der der klassische Maschinenbau schon in der Vergangenheit immer weniger gerecht werden konnte. Hier helfen Techniken wie die Remote-Technologie, die die besondere Eigenschaft des Laserstrahlwerkzeugs, masselos zu sein, besser nutzen. Das IWS kann hierzu auf eine Reihe von system- und verfahrenstechnischen Entwicklungen zurückgreifen. Umgesetzt in ein zugeschnittenes Anlagenkonzept mit der material- und bauteilspezifisch angepassten Verfahrenslösung kann so die Produktivität der Teilerstellung bzw. -bearbeitung in vielen Fällen deutlich erhöht werden.



*Es ist besser,  
hohe Grundsätze zu haben,  
die man befolgt,  
als noch höhere,  
die man außer Acht lässt.*

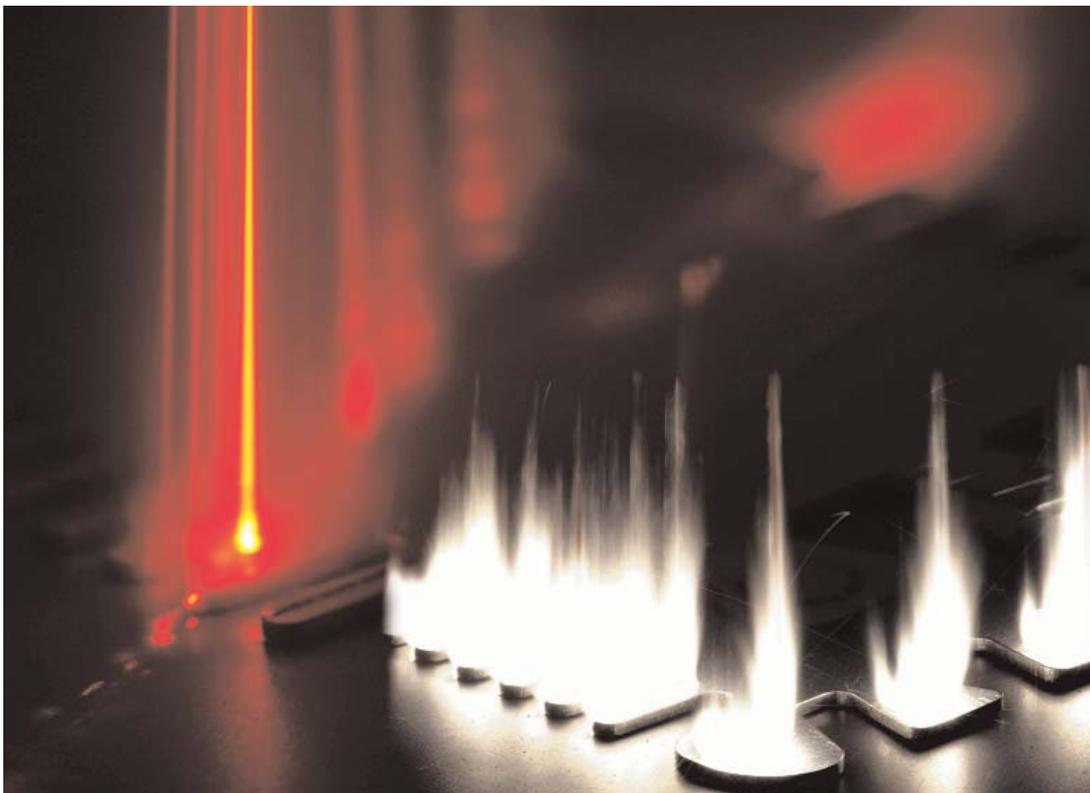
Albert Schweitzer



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

### Beispiele aus den Arbeiten 2006

1. Scanneroptiken für die Laserbearbeitung mit Faserlasern 42
2. Neue Möglichkeiten beim Laserstrahlschneiden mit Faserlasern 43
3. Mikroperforation für hochfeste Keramik-Metall-Fügeverbindungen 44
4. Mikrofluidik für SPR basierte Lab-on-a-Chipsysteme 45
5. 3D-Biplotter für medizintechnische Materialien 46
6. Einsatz eines Faserlasers zum Reinigen von Wandmalerei und gefassten Kalksteinoberflächen in einer altägyptischen Grabkammer 47





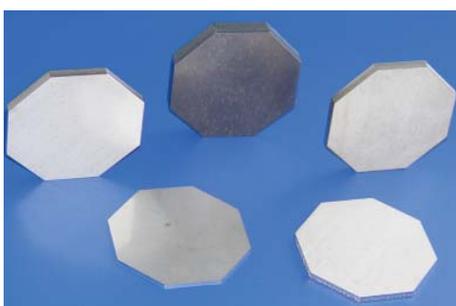
**Dr. Thomas Himmer**  
Gruppenleiter Schneiden  
(Tel. 2583 238,  
thomas.himmer@iws.fraunhofer.de)

### Laserstrahlschneiden

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

Wir bieten an:

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



Laserstrahlschneiden mit Faserlasern



**Dr. Udo Klotzbach**  
Gruppenleiter Mikrobearbeiten und Reinigen  
(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 und die Bio- und Medizintechnik. Beispiele sind 3D-Strukturen im Sub-mm-Bereich und Flächenstrukturen an Polymeren, Metallen, Keramiken oder quarzischen und biokompatiblen Werkstoffen.

Wir bieten an:

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



Mobile Anlage zur rutschhemmenden Ausrüstung von Natursteinen



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

### Systemtechnik, Fertigungstechnik

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

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



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

## Scanneroptiken für die Laserbearbeitung mit Faserlasern

### Aufgabenstellung

Laser bieten durch die hohe Leistungs- bzw. Energiedichte ideale Voraussetzungen für hohe Bearbeitungsgeschwindigkeiten bzw. kleine Teiletaktzeiten. Dafür wird, nicht nur bei komplizierten Bearbeitungskonturen, zunehmend erfolgreich die Remote-Technik eingesetzt. Kernstück jedes Remote-Systems ist eine Strahlableiter- oder Scanneroptik, die eine nahezu trägheitslose präzise Strahlbewegung auf dem Bauteil realisiert. Wünschenswert sind Scanneroptiken, die bei guter Fokussierung des Laserstrahles ein möglichst großes Arbeitsfeld bieten. Das gelang bisher nur mit CO<sub>2</sub>-Lasern, die für Leistungen im Kilowattbereich einen nahezu beugungsbegrenzten, d. h. bestmöglich fokussierbaren Laserstrahl liefern. Allerdings ist deren Strahlung nicht mit Lichtleitfasern übertragbar.

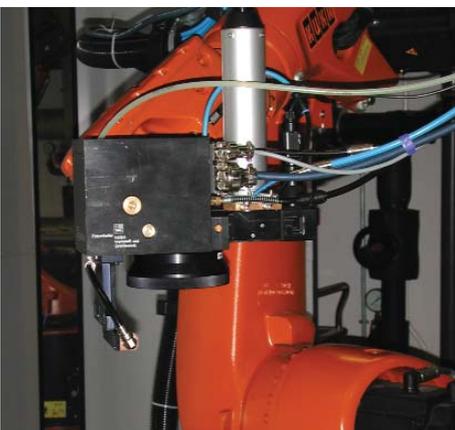


Abb. 1: Großfeldscanner SAO1.06 FL

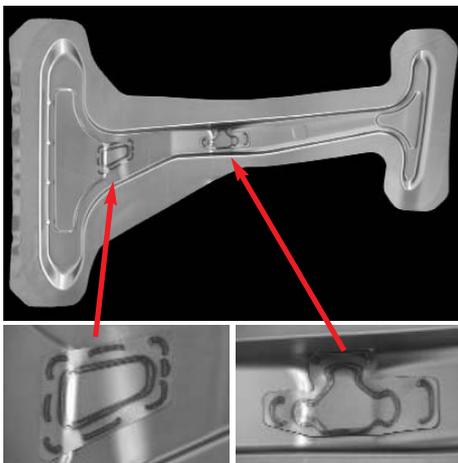


Abb. 2: Typisches Bauteil für die 3D-Remote-Bearbeitung

Flexible Remote-Systeme für 3D-Konturen, die »on the fly« bearbeitet werden sollen, sind kostengünstig mit Robotertechnik aufbaubar. Dafür ist allerdings fasergeführte Laserstrahlung erforderlich.

### Lösungsweg

Der Vorteil der fasergeführten Strahlung von Festkörperlasern wurde in der Vergangenheit u. a. durch die geringe Strahlqualität eingeschränkt. In Verbindung mit den bei höheren Leistungen erforderlichen großen Faserdurchmessern führte das zu Begrenzungen hinsichtlich kleiner Fokusdurchmesser bei größeren Brennweiten (Arbeitsabständen).

Für Untersuchungen und Entwicklungen zur Remote-Bearbeitung setzt das Fraunhofer IWS gegenwärtig moderne Faserlaser ein mit 1 kW Grundmode (SPP < 0,4 mm mrad) und 4 kW Multimode (SPP < 2,5 mm mrad).

### Ergebnisse

Für die Remote-Bearbeitung mit Faserlasern wurden im Fraunhofer IWS flexibel einsetzbare Scanneroptiken entwickelt und erprobt. Eine Auslegungsvariante zielt auf große, direkt mit dem Scanner erreichbare Arbeitsfelder bzw. -räume. Je nach prozesstechnisch geforderter Strahlabbildung sind das beispielsweise ca. 0,5 × 0,5 m<sup>2</sup> oder 1 × 1 m<sup>2</sup> (Abb. 1).

In einer anderen Auslegung wurden Scanneroptiken entwickelt, mit der kritische Prozesse günstig beeinflusst werden können. Dabei wird der Vorschubbewegung beim Bearbeiten eine hochfrequente Strahlbewegung überlagert. So wurden Scannfrequenzen von bis zu 1 500 Hz realisiert.

Mit diesen auf Hochleistungsfaserlaser zugeschnittenen Scannerentwicklungen können wichtige Vorteile des Faserlasers wie:

- flexible Faserführung vom Laser bis zur Bearbeitungsoptik,
- hoher Absorptionsgrad der Strahlung bei metallischen Werkstoffen,
- hoher elektrischer Wirkungsgrad,
- kompakte Bauweise und Mobilität auch für die vorteilhafte Remote-Bearbeitung genutzt werden.



Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Annett Klotzbach  
Tel.: 0351 / 2583 235  
annett.klotzbach@iws.fraunhofer.de



## Neue Möglichkeiten beim Laserstrahlschneiden mit Faserlasern

### Aufgabenstellung

Faserlaser als moderne Variante des Festkörperlasers bieten die vorteilhafte Kombination hoher Strahlleistung mit höchster Strahlqualität.

Wichtige Vorteile des Faserlasers wie

- Schärfentiefe und Fokussierbarkeit,
- hoher Absorptionsgrad in metallischen Werkstoffen,
- Möglichkeit der Faserzuführung,
- hoher elektrischer Wirkungsgrad,
- kompakte Bauweise und Mobilität

sind für das Schneiden von besonderem Interesse.

### Lösungsweg

Für Untersuchungen und Entwicklungen zum Laserstrahlschneiden verfügt das Fraunhofer IWS gegenwärtig über drei Faserlaser:

- 400 W polarisiert, SPP < 0,4 mm mrad,
- 1 kW Grundmode, SPP < 0,4 mm mrad
- 4 kW Multimode, SPP < 2,5 mm mrad.

Alle drei Laser können wahlfrei mit unterschiedlicher, am IWS vorhandener 2D- und 3D-Handlingstechnik (Portale, Roboter) mit leistungsfähiger Steuerungs- und Antriebstechnik kombiniert werden. Für das Hochdruckschneiden einsetzbare Bearbeitungsoptiken unterschiedlicher Brennweiten mit Abstandssensorik ermöglichen eine weite Variation von Prozessparametern. Mit modernen CAD/CAM-Tools können schnell und wirtschaftlich auch umfangreiche Programme zum Schneiden komplexer Konturen für beliebige Bauteile erzeugt werden.

### Ergebnisse

Für metallische Werkstoffe (rostfreier Stahl, Baustahl, Aluminiumlegierungen) ist der Faserlaser im Bereich geringer und mittlerer Materialdicken (< 5 mm) dem CO<sub>2</sub>-Laser hinsichtlich Schneidleistung bei gleicher Schnittqualität deutlich überlegen (Abb. 1). So konnte mit dem Faserlaser rund die doppelte Schneidgeschwindigkeit bei vergleichbarer Laserleistung erreicht werden. Wenn andererseits die einsetzbare Schneidgeschwindigkeit im Konturschnitt durch das Handlingssystem begrenzt wird, kann anstelle eines CO<sub>2</sub>-Lasers ein Faserlaser geringerer Leistung verwendet werden. Beispielsweise erreicht man mit dem 1 kW Faserlaser YLR 1000 SM etwa die gleichen Schneidgeschwindigkeiten wie mit einem 3 kW-CO<sub>2</sub>-Laser.

Hinsichtlich der Schneidqualität (Rauheit, Grathöhe) erreicht der Faserlaser dabei das hohe Qualitätsniveau der CO<sub>2</sub>-Laserschnitte (Abb. 2). Eine Ausnahme ist zur Zeit noch der Schnitt von rostfreiem Stahl mit mehr als 5 mm Materialdicke, mit etwas größerer Rauheit und Grathöhe als beim CO<sub>2</sub>-Laserschnitt.

Mit exzellenter Schneidleistung und -qualität sowie hoher Effizienz sind Faserlaser für das Laserstahlschneiden metallischer Materialien mehr als eine Alternative zum bisher favorisierten CO<sub>2</sub>-Laser.

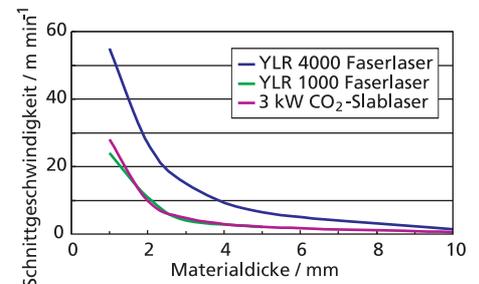


Abb. 1: Schneiden von Edelstahl 1.4301, Schneidgas N<sub>2</sub>

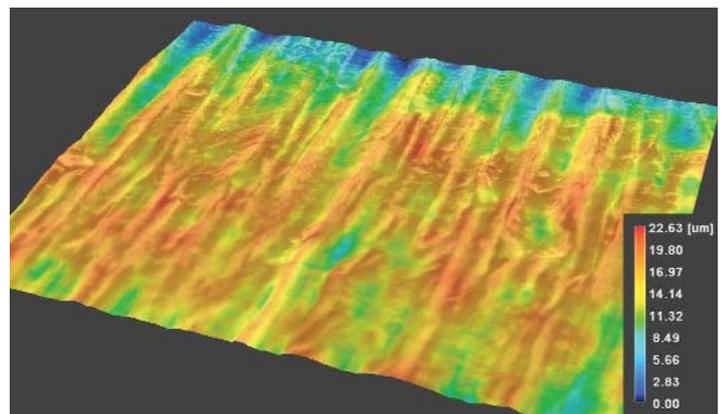


Abb. 2: Oberflächentopographie der Schnittfläche von 3 mm dickem Edelstahlband

Ansprechpartner

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



## Mikroperforation für hochfeste Keramik-Metall-Fügeverbindungen

### Aufgabenstellung

Zukünftig soll für hoch belastete Bauteile der Raumfahrttechnik eine C/SiC-Keramik eingesetzt werden. Das erfordert auch die Beherrschung der Verbindungstechnik zwischen den keramischen Komponenten und den übrigen metallischen Baugruppen. Dafür war in die Oberfläche der C/SiC-Keramik im Bereich der Fügezonen eine Mikroperforation einzubringen, die in anschließenden Arbeitsschritten mit Metall aufgefüllt und mit den metallischen Komponenten verbunden wurde. Die Aufgabe des IWS bestand in der Entwicklung einer Technologie zur definierten Einbringung der Mikroperforation und in der Optimierung ihrer Parameter zur Erzielung höchster Verbindungsfestigkeiten.

### Lösungsweg

Die Perforation besteht aus einer definierten Anordnung von lasergebohrten Löchern mit vorgegebener Außenkontur und Tiefe (Abb. 1). Diese Löcher wurden durch Verdampfen der C/SiC-Keramik mit dem fokussierten Strahl einer gütegeschalteten Festkörperlaserstrahlquelle erzeugt. Bei geeigneten Prozessparametern konnten sowohl die SiC-Matrix als auch die Kohlenstofffasern durch den kurzgepulsten Laserstrahl überwiegend verdampft werden und dies weitgehend ohne thermische Schädigung der umliegenden Materialbereiche. Die geforderte Lochgeometrie wurde durch gezielte Bewegung des fokussierten Laserstrahls mit einer Scanneroptik eingestellt. Mehrfaches Abfahren der Kontur ermöglichte die Einstellung unterschiedlicher Perforationstiefen (Abb. 2).

Die Optimierung der Mikroperforation erfolgte an Hand von Festigkeitsuntersuchungen an der damit erzeugten Metall-Keramik-Verbindung, wofür problemangepasste Prüftechniken und Prüfkörper entwickelt wurden.

### Ergebnisse

Die entwickelte Lasertechnologie ermöglicht das flexible Einbringen verschiedener Lochgeometrien und -anordnungen in den Verbundwerkstoff, ohne dessen Festigkeit negativ zu beeinflussen. Dadurch ist es möglich, die Mikroperforation so zu optimieren, dass mit Löchern, deren Breite im Bereich von 0,6 - 0,8 mm liegt und deren Tiefe von 0,7 - 1,1 mm reicht, höchste Festigkeitswerte der Verbindung Metall-Keramik erzielt wurden.

Das Verfahren findet derzeit Anwendung bei der Perforation von Demonstratoren und Produktionsmustern. In Abb. 3 sind beispielhaft derartige Bauteile dargestellt, die sowohl stirnseitig als auch auf dem Umfang mit einer Mikroperforation versehen wurden. Die auf Grundlage der Lasermikroperforation erzeugten Metall-Keramik-Verbindungen weisen Festigkeiten auf, die dreifach höher sind, als die des Grundwerkstoffes. Dies führt im Versagensfall stets zum Bruch im keramischen Grundwerkstoff und nicht in der Verbindungszone. Durch definierte Variation der Perforation ist die Festigkeit der Fügeverbindung einstellbar.

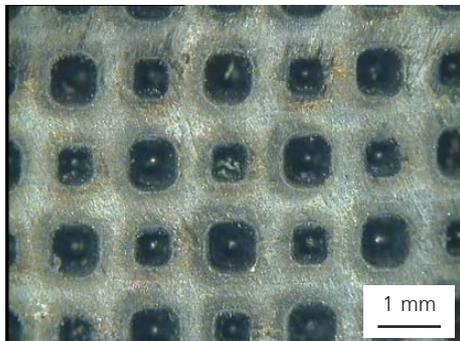


Abb. 1: Detailaufnahme einer Oberfläche mit Mikroperforation



Abb. 2: Lasermikroperforationsprozess an einem Produktionsmuster



Abb. 3: Produktionsmuster mit Umfangs- und Stirnseitenperforation (Düsenlänge ca. 70 cm)



Ansprechpartner

Dr. Jan Hauptmann  
Tel.: 0351 / 2583 236  
jan.hauptmann@iws.fraunhofer.de



## Mikrofluidik für SPR-basierte Lab-on-a-Chip-Systeme

### Aufgabenstellung

Die Realisierung sehr sensitiver Lab-on-a-Chip-Systeme setzt hoch optimierte Mikrofluidiksysteme voraus. Ziel ist die Entwicklung anwendungsspezifischer Mikrofluidiksysteme zum Nachweis von Protein- und DNA-Interaktionen auf Basis der Oberflächenplasmonenresonanz (SPR). Im Gegensatz zu den runden Messflächen etablierter Fluoreszenzarrays zeichnen sich diese durch streifenförmige Messflächen mit einem Aspektverhältnis größer 10 aus. Die Aufgabe besteht darin, die Mikrofluidik so zu gestalten, dass die maximal mögliche Zahl der in der Lösung enthaltenen Liganden zu den auf den Messflächen immobilisierten Rezeptoren gelangt und dort interagieren kann.

### Lösungsweg

Für die Optimierung wurde ein Simulationssystem entwickelt, mit dem für beliebige Mikrofluidikgeometrien, Messflächenanordnungen und fluidische Randbedingungen die Zahl der interagierenden Liganden abgeschätzt werden kann. Ausgangspunkt der Simulation ist ein dreidimensionales Modell des Mikrofluidiksystems (Abb. 1). Die Berechnung von Temperatur- und Geschwindigkeitsfeld erfolgt mit Standard-CFD-Software. Nach der CFD-Rechnung werden die Ergebnisse durch eine benutzerdefinierte Funktion exportiert und können mit einer Konvertierungs- und Visualisierungssoftware dargestellt und mit zusätzlichen Parametern erweitert werden. Variierbar sind beispielsweise Position und Abmaße der Messflächen oder Diffusionskonstanten. Im Anschluss werden mit der am IWS entwickelten Simulationssoftware Anzahl und Verteilung der interagierenden Liganden sowie die daraus resultierenden Messsignale für die einzelnen Messflächen berechnet.

Zur Erhöhung der Anzahl der interagierenden Liganden innerhalb des SPR-basierten Lab-on-a-Chipsystems muss die Verweilzeit der Flüssigkeit über den Messflächen erhöht und das Strömungsprofil angepasst werden. Dies gelingt, wie in Abb. 2 dargestellt, durch Erzeugung eines mäanderförmigen Strömungsprofils über die Integration definierter Strömungswiderstände.

### Ergebnisse

Mit dem entwickelten Simulationssystem war es möglich, die für das am IWS etablierte, SPR-basierte Lab-on-a-Chip-System zum Nachweis von Protein- und DNA-Interaktionen zu verbessern. Durch Realisierung eines mäanderförmigen Strömungsprofils konnte die Zahl der interagierenden Liganden bei gleichem Volumenstrom um mehr als den Faktor 10 erhöht werden.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen konnten weitere anwendungsspezifische Mikrofluidiksysteme entwickelt und im Fraunhofer IWS erfolgreich getestet werden. Generell eröffnet das neu entwickelte Simulationssystem die Möglichkeit, Mikrofluidiksysteme für Lab-on-a-Chip-Anwendungen durch Abschätzung der Anzahl der interagierenden Liganden für verschiedene Randbedingungen zu optimieren.



Abb. 1: Simulation des Konzentrationsverlaufs in einem Mikrofluidiksystem

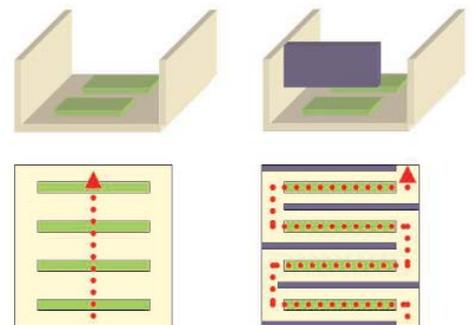


Abb. 2: Erzeugung eines mäanderförmigen Strömungsprofils durch Integration definierter Strömungswiderstände

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Frank Sonntag  
Tel.: 0351 / 2583 259

frank.sonntag@iws.fraunhofer.de



## 3D-Bioplottter für medizintechnische Materialien

### Aufgabenstellung

Zur Kultivierung von Zellen in einem Bioreaktor werden Scaffolds gebraucht, die eine große Oberfläche für die Zellbesiedlung bieten. Ideal sind dreidimensionale Gitter mit einer offenen Porenstruktur, damit eine gute Durchströmbarkeit mit dem Kulturmedium zur optimalen Versorgung der Zellen gewährleistet werden kann. Das verwendete Material soll bestmögliche Bedingungen für die Kultivierung vieler Zellarten bieten.

Eine weitere, häufig anzutreffende Aufgabe ist das Anbringen von Elektroden auf polymeren, medizintechnischen Einwegartikeln zur Herstellung von Sensoren. Mit solchen Sensoren können Messungen in Körperhöhlen durchgeführt werden. Beispielsweise kann die Stimulation der Nervenbahnen während einer Operation kontrolliert werden.

### Lösungsweg

Für die Lösung derartiger Aufgaben bieten sich generative Verfahren, wie das am IWS etablierte 3D-Plott- und Dosiersystem (Bioplottter, Abb. 1) an. Das 3D-Plotten ist eine Dosiertechnik zum schichtweisen Aufbau dreidimensionaler Objekte. Dabei wird fließfähiges Material mittels Überdruck durch eine dünne Kanüle gepresst, währenddessen diese Kanüle eine dreidimensionale Bewegung ausführt. Größe und Form der geplotteten Strukturen werden durch Parameter wie Kanüledurchmesser, Strangabstand und Verfahrensgeschwindigkeiten bestimmt.

Die zu plottenden Materialien müssen verschiedenen Anforderungen gerecht werden: Sie sollen gut dosierbar sein, dürfen während des Prozesses nicht wesentlich quellen oder schrumpfen und die einzelnen Schichten müssen sich gut miteinander verbinden.

### Ergebnisse

Mit Hilfe des 3D-Plott- und Dosiersystems wurden Kollagen-Scaffolds in Form einer Gitterstruktur geplottet (Abb. 2). Das verwendete natürliche Hautprotein Kollagen als Material für die Scaffolds bietet optimale Bedingungen für die Kultivierung vieler Zellarten. Damit Kollagen plottbar ist, wird es zu einer Paste auf Wasserbasis verarbeitet, die einen Trockensubstanzgehalt von ca. 5% besitzt. Durch anschließende Vernetzung mit Glutaraldehyd wurden die Scaffolds stabilisiert, so dass sie sowohl in getrocknetem Zustand als auch in Flüssigkeiten gelagert werden können. Die so erzeugten Scaffolds erfüllen die Forderung nach großer Oberfläche und offener Porenstruktur in hervorragender Weise.

Für die Herstellung der Sensoren mussten die zu plottenden Elektroden, wie die medizintechnischen Artikel selbst, aus einem elastischen Material bestehen. Als Elektrodenmaterial wurde deshalb leitfähiges Silikon ausgewählt, welches aufgrund seiner hohen Viskosität sehr gut dosier- und plottbar ist. Die vorgegebenen Elektrodengeometrien der Sensoren wurden durch Plotten verschieden starker Stränge aus dem leitfähigen Silikon realisiert. Durch gezielte Parameterwahl beim Plotten und geeignetes Aushärten des Silikons konnte eine sehr gute Haftung der Elektroden auf dem Substratmaterial erreicht werden (Abb. 3).



Abb. 1: Dosier- und Plottgerät zum Aufbau von 3D-Scaffolds

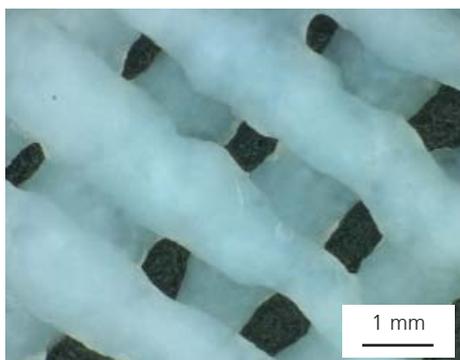


Abb. 2: Scaffold aus Kollagenpaste, vernetzt mit Glutaraldehyd



Abb. 3: Geplottete Elektrode aus leitfähigem Silikon (schwarz) auf einem Polymersubstrat (hell)



Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Annegret Benke  
Tel.: 0351 / 2583 436

annegret.benke@iws.fraunhofer.de



## Einsatz eines Faserlasers zum Reinigen von Wandmalerei und gefassten Kalksteinoberflächen in einer altägyptischen Grabkammer

### Aufgabenstellung

Ein argentinisch-deutsches Team von Archäologen, Ägyptologen und Restauratoren erforscht gegenwärtig die Grabkammer des Neferhotep. Vor über 3300 Jahren war er als Aufseher für die Überwachung der Güter des Gottes Amun verantwortlich. Als einflussreicher Untergebener des Pharaos errichtete er sich eine reich verzierte Grabkammer.

Das Grab befindet sich im Gebiet zwischen dem Tal der Könige und dem Tal der Königinnen in der Nähe von Luxor. In seiner wechselvollen Geschichte ist die Grabkammer u. a. durch die Nutzung als Wohnraum und Stallung stark beschädigt worden. Große Teile der historisch wertvollen Darstellungen sind durch dicke Ruß- und Schmutzschichten verdeckt. Deshalb haben sich Kölner Restauratoren des Neferhotep e.V. die Restaurierung und Konservierung der Grabkammer zur Aufgabe gemacht. Ein Schwerpunkt ist dabei die Reinigung der fragilen Wandmalereien und Reliefs (Abb. 1).

### Lösungsweg

Da es kein Universalreinigungsverfahren gibt, das in gleicher Weise effektiv und schädigungsfrei arbeitet, sollten im Rahmen des von der Gerda Henkel Stiftung geförderten Forschungsprojektes: »Wiederlesbarmachung altägyptischer Darstellungen zu ihrer Interpretation« Verfahren gefunden werden, die Malereien und Reliefs zerstörungsfrei zu reinigen. Dabei sollten neben den konventionellen, chemischen und mechanischen Methoden der Restauratoren, wie z. B. das Arbeiten mit Kompressen, auch moderne Reinigungstechnik wie der Reinigungslaser zum Einsatz kommen.

Der Lasereinsatz in unwegsamem Gebiet stellte neben technologischen Anforderungen auch Anforderungen an die Mobilität und Robustheit der zu verwendenden Geräte. Zusammen mit den Restauratoren wurde deshalb für die Tests ein mit Batterien betriebener Faserlaser ausgewählt (Fa. Clean-Lasersysteme). Vom Laser in einem Backpack wird die Strahlung in einer Faser zum Handstück mit dem 1D-Scanner übertragen (Abb. 2).

### Ergebnisse

In der Grabkammer wurden Laserreinigungsexperimente auf verschiedenen Untergründen durchgeführt. Dabei konnte festgestellt werden, dass auch mittels Faserlaser bei verschiedenen Oberflächen eine selektive Arbeitsweise möglich ist, wenn geeignete Parameter des Strahles und der Strahlführung zur Wirkung kommen. Unumgänglich sind in jedem Fall Vorversuche und eine vorherige, sehr sorgfältige Beprobung der zu reinigenden Flächen, um solche Parameterfenster zu finden. Die Ausführung und Bewertung der Reinigung am Objekt ist stets von geschulten Restauratoren durchzuführen.

Die gemeinsam mit den Kölner Restauratoren im Februar diesen Jahres durchgeführten Arbeiten sind auch dahingehend als Pionierarbeit zu werten, dass erfolgreich ein im restauratorischen Bereich bisher nicht genutzter Lasertyp eingesetzt wurde. Typisch, vor dem Hintergrund einer schädigungsfreien Reinigung, war bisher die Arbeit mit weniger mobilen und nicht so effektiven blitzlampengepumpten Q-switch-Lasersystemen (Pulsdauer weniger als 10 ns).



Abb. 1: Innenansicht der Grabkammer des Neferhotep in Theben



Abb. 2: Restauratoren bei Laserreinigungsexperimenten in der Grabkammer

### Ansprechpartner

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



Projektleitung und Informationen zum Projekt

Neferhotep e.V., [www.neferhotep.de](http://www.neferhotep.de)



## Forschungs- und Entwicklungsangebot: Thermische Beschichtungsverfahren

**Redaktion:** Das abgelaufene Jahr war von einigen personellen Veränderungen in Ihrer Abteilung geprägt. Wie sehen Sie als neuer Abteilungsleiter die strategische Ausrichtung für die Zukunft Ihrer Abteilung?

**Dr. Stehr:** Aus gesundheitlichen Gründen hat unser bisheriger Abteilungsleiter, Herr Dr. Nowotny, die Entscheidung getroffen, sich auf ein Fachgebiet der Abteilung, das Auftragschweißen, zu konzentrieren. Er leitet nun die diesbezügliche Gruppe und bleibt uns so als leistungsstarker Erfahrungsträger erhalten. Zudem wechselte unsere langjährige Gruppenleiterin Frau Dr. Techel in die Verwaltungsleitung des IWS.

Die strategische Ausrichtung unserer Abteilung lässt sich mit folgenden Stichpunkten umreißen:

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

**Redaktion:** Mit dieser Aufzählung machen Sie uns sehr neugierig. Dürfen Sie uns Details nennen?

**Dr. Stehr:** Für jeden Punkt nur ein kurzes Beispiel: Gezielt die elektrische Leitfähigkeit mit den erforderlichen mechanischen Eigenschaften oxidkeramischer Beschichtungen zu kombinieren, ist ein Ziel unserer Aktivitäten in der Thermischen Spritztechnik. Im neu gegründeten Cluster »nano for production« wird sich unsere Abteilung mit werkstoffübergreifender Nanotechnologie einbringen. Um komplexe 3D-Applikationen mit dem Laser richtungsunabhängig beschichten zu können, werden nicht nur pulverförmige,

sondern auch drahtförmige Beschichtungswerkstoffe genutzt. Dazu entwickeln wir spezielle Strahlteileroptiken gemeinsam mit unseren Partnern aus der Industrie.

Im Bereich Laserauftragsschweißen ist es uns zudem im abgelaufenen Jahr gelungen, fünf umfangreiche Industrieüberführungen in Spanien, Polen, Deutschland und Italien zu realisieren. Dabei entwickeln wir für unsere Kunden nicht nur die dazugehörige Systemtechnik, sondern sorgen für eine vollständige Systemintegration in die industrielle Fertigungsumgebung. Diesen Erfolgskurs werden wir auch im folgenden Jahr weiter fortsetzen.

Neue Applikationsgebiete für thermische Beschichtungen erarbeiten wir zum einen aus der Entwicklung von Schichtsystemen für hohe Punkt- und Linienlasten. Damit rücken Motorkomponenten wie z. B. die innenhochdruckumgeformten Nockenwellen in unseren Fokus, die bisher nicht thermisch beschichtet werden können. Zum anderen akquirieren wir neue Applikationsgebiete aus der Möglichkeit, Auftragschweißungen mit bisher nicht möglicher Präzision erzeugen zu können. Das funktioniert z. B. mit Hilfe der neuen Faserlasersysteme.

**Redaktion:** Sie würden also dem Faserlaser als Energiequelle die höchste Priorität einräumen?

**Dr. Stehr:** Ohne Zweifel wird der Faserlaser für die thermische Beschichtungstechnologie eine wichtige Energiequelle werden, vor allem bei Anwendungen mit sehr hoher Präzision und / oder erschwerter Zugänglichkeit. Parallel dazu wird sich sicherlich auch der Hochleistungsdiodenlaser als »Arbeitspferd« in der Beschichtungstechnik weiter etablieren können. Bewährte Laserquellen wie z. B. Festkörperlaser werden aber auch noch einige Zeit aufgrund des Verbreitungsgrades ihre Existenzberechtigung haben.



*Wir haben uns immer wieder neu erfunden.*

Lothar Späth



**Dr. Steffen Nowotny**  
Abteilungsleiter bis 31. Mai 2006  
(Tel. 2583 241,  
steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de)



**Dr. Gunther C. Stehr**  
Abteilungsleiter ab 1. Juni 2006  
(Tel. 2583 003,  
gunther.stehr@iws.fraunhofer.de)

### Beispiele aus den Arbeiten 2006

1. Neue systemtechnische Entwicklungen zum Laserstrahl-Auftragschweißen 52
2. HAMEC - Herstellung von verschleißmindernden Hartmetallschichten und deren Endformgebung mittels EC-Abtragen 53
3. Reib-/Gleitverschleiß von thermisch gespritzten Hartmetallschichten 54
4. Maßgeschneiderte oxidkeramische Schichten am Beispiel  $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Cr}_2\text{O}_3$  55





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

### Verschleißschutz und funktionale Beschichtungen

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

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

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



Plasmaspritzen einer Welle

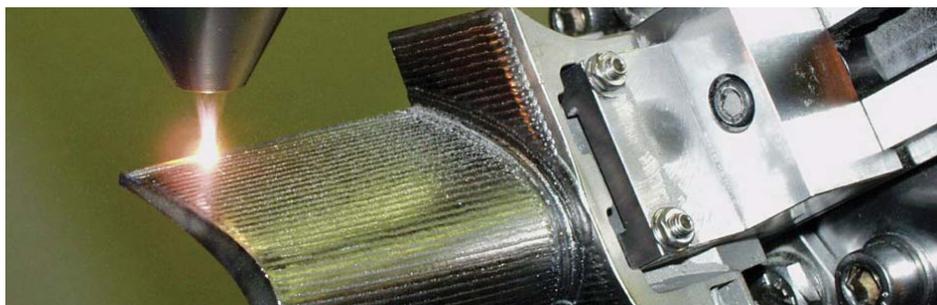


**Dr. Anja Techel**  
Gruppenleiterin Auftragschweißen  
bis 31. Juli 2006  
(Tel. 2583 255,  
anja.techel@iws.fraunhofer.de)

### Reparieren und Generieren

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

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



Reparatur von Gasturbinenschaufeln durch Auftragschweißen mit Hochleistungs-Diodenlaser



## Neue systemtechnische Entwicklungen zum Laserstrahl-Auftragschweißen

### Aufgabenstellung

Die Bearbeitungsköpfe aus der IWS-COAXn-Familie haben mit einer Vielzahl von Anwendungen zur Einführung des Laserstrahl-Auftragschweißens in die industrielle Fertigung beigetragen. In dem Maße, wie sich das Verfahren weltweit in der Produktion etabliert, wachsen die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der systemtechnischen Komponenten.

So bestehen Zielstellungen aktueller Projekte darin, das Laserverfahren auch für komplexe 3D-Applikationen und in Schweißpositionen mit erschwerter Zugänglichkeit einzusetzen. Besondere technologische Herausforderungen ergeben sich hierbei aus dem Bedarf, alternativ zu Pulvern auch Drähte richtungsunabhängig für Konturschweißungen zuführen zu können.



Abb. 1: Strahlteiler-Bearbeitungskopf zum Auftragschweißen mit zentraler Drahtzufuhr



Abb. 2: Segmentierte Pulverdüse zum Auftragschweißen in Zwangslagen

### Lösungsweg

Zum Präzisions-Auftragschweißen mit Pulvern sind zwei neue Varianten der Koaxial-Pulverdüsen entwickelt worden. Eine segmentierte Pulverdüse soll einen stabilen Pulverstrom auch in schräger bis horizontaler Düsenposition gewährleisten. Für schwer erreichbare Stellen am Bauteil und höchste Genauigkeiten ist schließlich eine verkleinerte Koaxial-Pulverdüse speziell zum Auftragschweißen mit Faserlasern entstanden. Für eine stabile und von der Schweißrichtung unabhängige Drahtzufuhr wird im Rahmen eines BMBF-Verbundvorhabens ein neues fertigungstechnisches Konzept realisiert. Es sieht vor, den Draht zentrisch im Inneren des Laserstrahls zuzuführen.

Teile der hier vorgestellten Arbeiten wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzepts »Forschung für die Produktion von morgen« durchgeführt und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Bereich Produktion und Fertigungstechnologien, Außenstelle Dresden, betreut.

### Ergebnisse

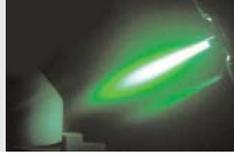
Im Rahmen des Verbundprojekts **FLEXILAS** sind die Grundlagen des neuen Konzepts »Werkstoff-im-Ringstrahl« erarbeitet worden. Mittels einer in Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelten Strahlteileroptik wird der Laserstrahl in Teilstrahlen aufgeteilt, in deren Mittelachse eine vertikale Drahtdüse angeordnet ist (Abb. 1). Der Draht wird auf diese Weise zentral dem aus den Teilfoki gebildeten Brennfleck zugeführt und schmilzt dort auf. Als neue Qualität für das Laserstrahl-Auftragschweißen ergibt sich daraus erstmals die Möglichkeit, auch Drähte richtungsunabhängig zu Konturspuren und 3D-Strukturen verarbeiten zu können.

Es wurde eine Variante der Koaxialpulverdüsen in Form des Typs COAX 9 speziell für Faserlaserapplikationen entwickelt. Die Düse zeichnet sich durch eine verkleinerte Bauform mit verbesserter Zugänglichkeit sowie einen kleineren Pulverfokus aus. In einem besonders stabilen Schweißprozeß wird das Material mit höchster Präzision in einer lateralen Auflösung von 200 µm aufgetragen. Der in Abb. 2 gezeigte Bearbeitungskopf vom Typ COAX12 basiert auf dem bekannten Prinzip der koaxialen Pulverzufuhr. Durch eine Segmentierung der Pulververteilung im Inneren der Düse und die Aufspaltung in 4 separate Pulverströme wird die Pulverzufuhr jedoch weitgehend unabhängig vom Schwerkrafteinfluß. Damit sind Auftragschweißungen in verschiedensten Düsenpositionen mit CNC-Anlagen und in Robotersystemen möglich. Ein Anwendungsbeispiel ist die Reparatur von senkrecht stehenden Flächen in Gasturbinenbaugruppen, ohne die entsprechenden Funktionsbauteile demontieren zu müssen.



Ansprechpartner

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



## HAMEC - Herstellung von verschleißmindernden Hartmetallschichten und deren Endformgebung mittels EC-Abtragen

### Aufgabenstellung

Werkzeuge für die Warmumformung unterliegen einer enormen Verschleißbeanspruchung. Deshalb sollen die Funktionsflächen an Werkzeugen für die Warmumformung mit hochwarmfesten, hartmetallähnlichen Verschleißschutzschichten beschichtet werden. Im Rahmen des Verbundprojektes HAMEC wird ein neues, speziell zur Verbesserung der Warmverschleißbeständigkeit mit Molybdän legiertes Titankarbidpulver mittels Laser- und Plasma-Pulver-Auftragschweißen als verschleiß- und korrosionsbeständige Schicht auf ein kostengünstiges Stahlsubstrat aufgebracht. Ziel ist die Erzeugung hartmetallähnlicher Schichten mit variierbarer Härte und Zähigkeit. Dabei ist es Aufgabe des Fraunhofer IWS, durch Auftragschweißen von legiertem Titankarbidpulver 3D-Strukturen mit einem hohen Anteil an gleichmäßig verteilten feinkörnigen Karbiden und hoher Endkonturnähe entstehen zu lassen.

In enger Kooperation mit industriellen Partnern wird als Alternative zur spannenden Nachbearbeitung der Schichten die Endkontur durch großflächiges elektrochemisches Senken erzeugt und das Verhalten bei thermomechanischer Beanspruchung charakterisiert. Damit wird das Werkstoffsystem ganzheitlich für den industriellen Einsatz im Bereich der Warmumformwerkzeuge qualifiziert.

### Lösungsweg

Titankarbid ist als Hartmetallwerkstoff weitgehend bekannt. Wird Titankarbid zusätzlich mit Molybdän und Stickstoff legiert, entsteht ein sehr feinkörniger Hartstoff vom Typ Titan-Molybdän-Carbonitrid  $(\text{Ti,Mo})(\text{C,N})$  mit Hülle-Kern-Struktur (Abb. 1), welcher eine gute Benetzung zum metallischen Binder aufweist.

Zur Erzeugung hartmetallähnlicher Schichten wird  $(\text{Ti,Mo})(\text{C,N})$  zusammen mit einem metallischen Binder, z. B. Nickel oder Kobalt, auf Substrat aus Werkzeug- und niedrig legiertem Stahl aufgeschweißt. Dabei bilden sich in der geschweißten Schicht sehr feinkörnige globulare, in einer metallischen Matrix eingebettete Hartstoffpartikel. Um ein optimales Verhältnis zwischen Zähigkeit und Härte zu erreichen, kann der Binderanteil während des Schweißprozesses variiert werden. Weiterhin werden Vorwärmtemperatur, Strahldurchmesser, Vorschub und Laserleistung so optimiert, dass die Abweichung von der Endkontur maximal 0,3 mm beträgt.

### Ergebnisse

Die Auftragschweißungen wurden mit  $(\text{Ti,Mo})(\text{C,N})$ -Pulver bei einem für das Auftragschweißen sehr geringen Binderanteil von 28 % Nickel oder Kobalt durchgeführt. Nach einer umfassenden Optimierung der Beschichtungsparameter gelang es, die Schichten trotz des geringen Binderanteiles rissfrei aufzubringen. Dabei konnte eine gute Anbindung an das Substrat sowie eine gleichmäßige Verteilung von feinkörnigen Karbiden erzielt werden (Abb. 2). Die Partikelgröße der Hartstoffphase in der Schicht ist fast immer kleiner als  $5 \mu\text{m}$ . Die Schichthärten von Auftragschweißungen mit diesem Werkstoff betragen bis zu  $1500 \text{HV}_{0,3}$ .

Zur Bauteilbeschichtung kommt am IWS die speziell für das Laser-Pulver-Auftragschweißen optimierte CAM-Lösung DCAM5 zum Einsatz (Abb. 3). Auf Basis entsprechender CAD-Daten werden mittels verschiedenster Auftragsstrategien die Beschichtungsbahnen berechnet und für die einzusetzenden CNC-Maschinen bzw. Roboter als Bearbeitungsprogramm ausgegeben.

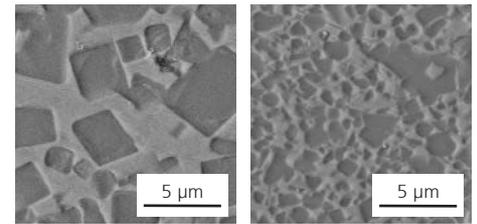
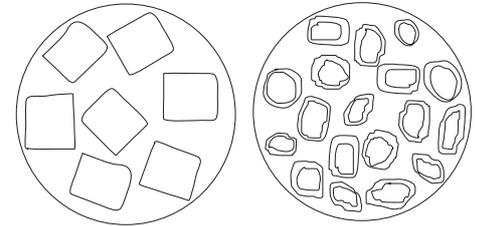


Abb. 1: Mikrostruktur von agglomerierten und gesinterten TiC-Basiswerkstoffen vor (links) und nach dem Legieren mit Molybdän und Stickstoff (rechts)

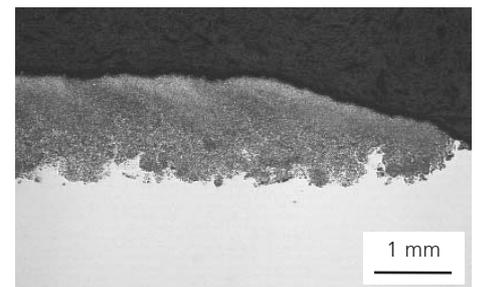


Abb. 2:  $(\text{Ti,Mo})(\text{C,N})$ -Ni(Co) auf Werkzeugstahl (1.2367)

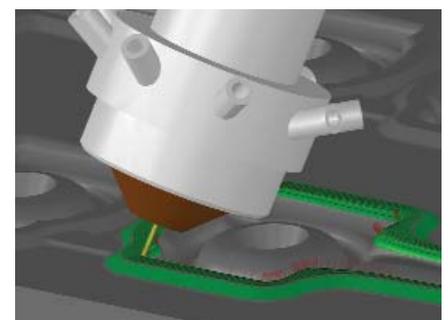


Abb. 3: Bahnsimulation mit DCAM5

### Ansprechpartner

Dr. Gunther C. Stehr  
Tel.: 0351 / 2583 003  
gunther.stehr@iws.fraunhofer.de



## Reib-/Gleitverschleiß von thermisch gespritzten Hartmetallschichten

### Aufgabenstellung

Hartmetallspritzschichten finden in den unterschiedlichsten Industriebereichen ihre Anwendung. Häufig fehlen systematische Studien des Verhaltens der Schichten unter verschiedenen Einsatzbedingungen.

Im Rahmen eines von der Stiftung Industrieforschung geförderten Projektes wurden verschiedene kommerzielle (WC-Co, WC-CoCr, WC-(W,Cr)<sub>2</sub>C-Ni, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr) und experimentelle HVOF-gespritzte Hartmetallschichten [(Ti,Mo)(C,N)-Ni, (Ti,Mo)(C,N)-Co] im ungeschmierten Reib-/Gleitverschleiß in Reibpaarungen mit gesintertem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> analysiert. Zusätzlich wurden APS-gespritzte Mo-NiCrBSi und Hartchromschichten als Vergleichsschichten getestet. Diese verschiedenen Schichtzusammensetzungen wurden gefinisht, ein Teil der Proben voroxidiert und bei Temperaturen bis zu 800 °C untersucht. Die ermittelten Daten dienen als Grundlage für die Schichtauswahl bei verschiedenen Reib-/Gleitverschleißanwendungen und bilden eine Basis für weitere systematische Untersuchungen.

### Lösungsweg

Die Verschleißuntersuchungen (nach DIN 50324 oder ASTM G-99) wurden an der BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) an einem dort konzipierten und entwickelten Hochtemperaturtribometer durchgeführt. Als Gegenkörper wurde gesintertes Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ausgewählt, das auch bei hohen Temperaturen chemisch inert und phasenstabil bleibt.

Alle Versuche wurden mit einer Last von 10 N und bis zu vier unterschiedlichen Gleitgeschwindigkeiten im Bereich von 0,1 - 3 m / s bei einem Verschleißweg von 5000 m durchgeführt. Das Verschleißvolumen wurde aus den Kalottenabmessungen und den Tastschnittprofilen errechnet. Die Tests fanden bei Raumtemperatur, 400 °C, 600 °C und 800 °C statt. Maßgebend für die obere Testtemperatur war die Oxidationsbeständigkeit der Schichten.

### Ergebnisse

Alle Wolframkarbid als Hartstoff enthaltenden Schichten weisen bei Raumtemperatur und den meisten Gleitgeschwindigkeiten einen Gesamtverschleißkoeffizienten von weniger als 10<sup>-6</sup> mm<sup>3</sup> / Nm auf. Insbesondere die WC-(W,Cr)<sub>2</sub>C-Ni-Schichten zeigen Gesamtverschleißkoeffizienten von ungefähr 10<sup>-6</sup> mm<sup>3</sup> / Nm bis einschließlich einer Temperatur von 800 °C. Die Reibungszahlen dieser Schichten schwanken bei 800 °C um 0,4.

Die (Ti,Mo)(C,N)-Ni-, die (Ti,Mo)(C,N)-Co- sowie die Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr-Schichten zeigen bei 800 °C Reibungszahlen von deutlich weniger als 0,4. Die Gesamtverschleißkoeffizienten der (Ti,Mo)(C,N)-Ni- bzw. (Ti,Mo)(C,N)-Co-Schichten liegen bei 800 °C in einem Bereich von 10<sup>-5</sup> bis 10<sup>-7</sup> mm<sup>3</sup> / Nm (Abb. 1), wobei ein dreilagiger Oxidschichtaufbau charakteristisch ist (Abb. 2 oben). Nach dem Verschleißtest bei 800 °C und 0,1 m / s erreicht die Verschleißspur die innere Oxidlage (Abb. 2 unten).

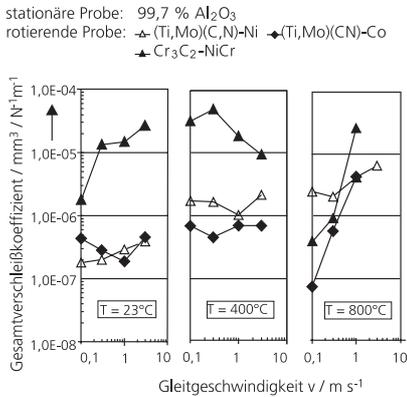


Abb. 1: Gesamte volumetrische Verschleißkoeffizienten von Hartmetallschichten im ungeschmierten Gleitverschleiß bei 23 °C, 400 °C, 800 °C

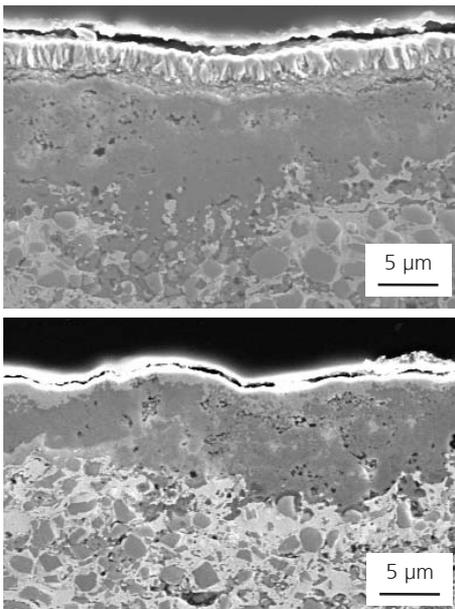


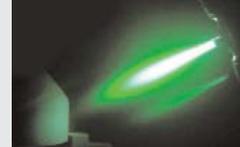
Abb. 2: REM-Aufnahme einer voroxidierten (Ti,Mo)(C,N)-Ni-Schicht im oberflächennahen Bereich außerhalb (oben) und innerhalb (unten) der Verschleißspur nach dem Gleitverschleiß bei 800 °C / 0,1 m s<sup>-1</sup>.



Anspruchspartner

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

lutz-michael.berger@iws.fraunhofer.de



## Maßgeschneiderte oxidkeramische Schichten am Beispiel $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$

### Aufgabenstellung

Die Anforderungen an moderne Oberflächenbeschichtungen sind häufig sehr komplex. Jede Anwendung benötigt daher eine maßgeschneiderte Lösung, welche die optimale Werkstoffauswahl und Anwendung der geeigneten Produktionstechnik mit einschließt. Sowohl Aluminiumoxid als auch Chromoxid haben herausragende Eigenschaften, die sie zu unverzichtbaren Werkstoffen in der thermischen Spritztechnik machen. Ihre Kombination verbindet nicht nur die positiven Eigenschaften beider Werkstoffe, sondern eröffnet die Möglichkeit neue, verbesserte Eigenschaften zu erzielen.

Beim thermischen Spritzen ist der Werkstoff einer extrem schnellen Aufheizung und Abkühlung unterworfen. Dies führt dazu, dass sich thermodynamisch nicht stabile Phasen einstellen. Insbesondere beim  $\text{Al}_2\text{O}_3$  entsteht so z. B. die  $\gamma$ -Phase, welche häufig nicht gewünschte Eigenschaften besitzt. Dazu gehören die Möglichkeit der Wasseraufnahme, eine verminderte elektrische Isolationsfähigkeit, die Löslichkeit in starken Säuren und Basen und verringerte mechanische Festigkeit. Es ist bekannt, dass der Zusatz von  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  die Umwandlung von  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  zu  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  unterdrücken bzw. vermindern kann.

### Lösungsweg

Zur Verbindung von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  gibt es beim thermischen Spritzen unterschiedliche Möglichkeiten. Die Werkstoffe können bereits vor dem eigentlichen Spritzprozess bei der Herstellung der Pulver legiert werden. Dazu ist eine Hochtemperaturbehandlung notwendig. Da die Pulver während des Spritzvorganges auf-

schmelzen, ist es andererseits auch möglich, die Pulver zuvor nur mechanisch zu mischen. Die Legierung erfolgt dann während des Spritzprozesses.

### Ergebnisse

Die Analyse der Spritzschichten zeigt, dass das Spritzverfahren einen wesentlichen Einfluss auf die Ausbildung der Phasen in der Schicht hat. Dies erklärt auch, warum in der Literatur unterschiedliche Aussagen bezüglich der Stabilisierung von  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  gemacht werden. Während mit Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF, Abb. 1) oder gasstabilisiertem Plasmaspritzen keine Erhöhung des  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Anteils beobachtet werden kann, zeigt sich dies sehr deutlich bei der Verwendung des wesentlich energiereicheren wasserstabilisierten Plasmaspritzens. Weiterhin spielt der Anteil des zugemischten Chromoxids eine Rolle. Abb. 2 zeigt die aus unterschiedlichen Chromoxidanteilen resultierende Färbung. Die Verwendung von vorlegierten Pulvern ermöglicht eine Ausnutzung dieses Effektes auch für Prozesse mit geringerer Energie. Vorlegierte Pulver sind jedoch kommerziell schwer erhältlich und nur in diskreten Mischungsverhältnissen vorhanden. Die Verwendung von mechanisch vorgemischtem und im Prozess legiertem Pulvern bietet hier wesentlich größere Flexibilität für den Anwender.

Die Untersuchungen bestätigen, dass sich  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  hervorragend dafür eignen, im thermischen Spritzprozess gemeinsam abgeschieden zu werden. Die Eigenschaften des Systems lassen sich durch die Auswahl des Mischungsverhältnisses an die Anforderungen des Anwenders anpassen. Abb. 3 zeigt nanostrukturiertes  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Pulver dieser Art lassen sich in Zukunft auch für die Herstellung von Schichtsystemen aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  nutzen.

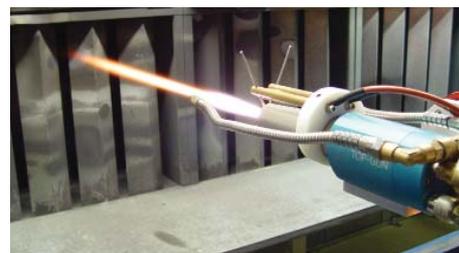


Abb. 1: TopGun® HVOF-Pistole im Einsatz



Abb. 2: Färbung durch unterschiedlichen  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Gehalt

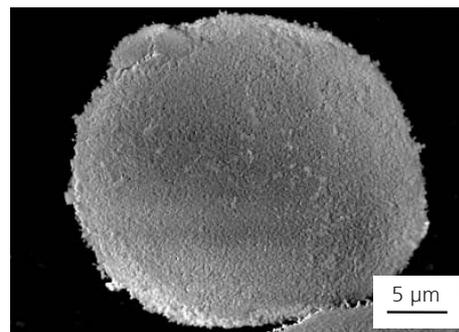
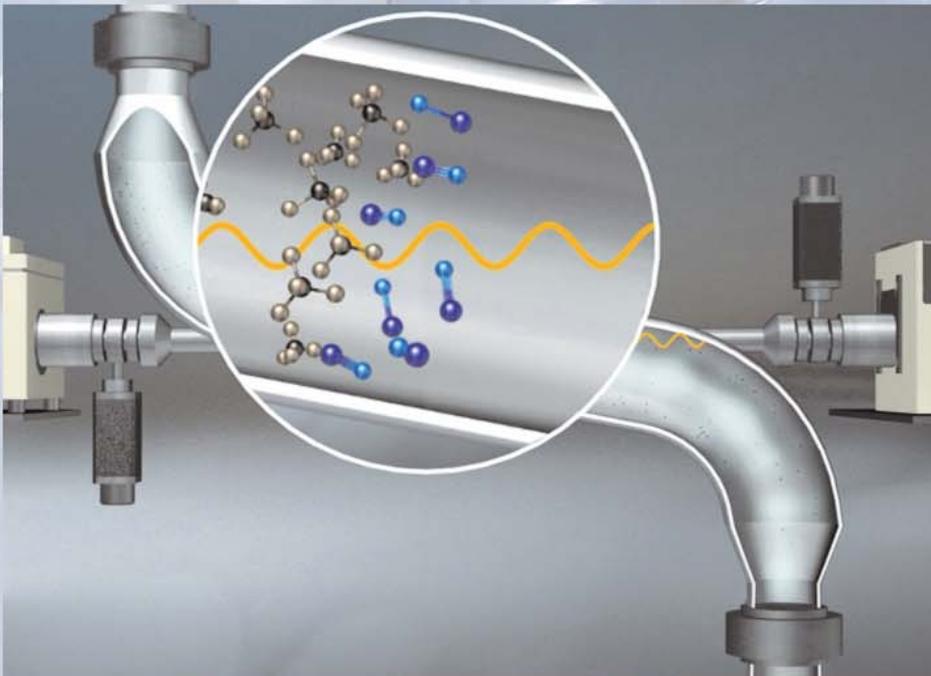
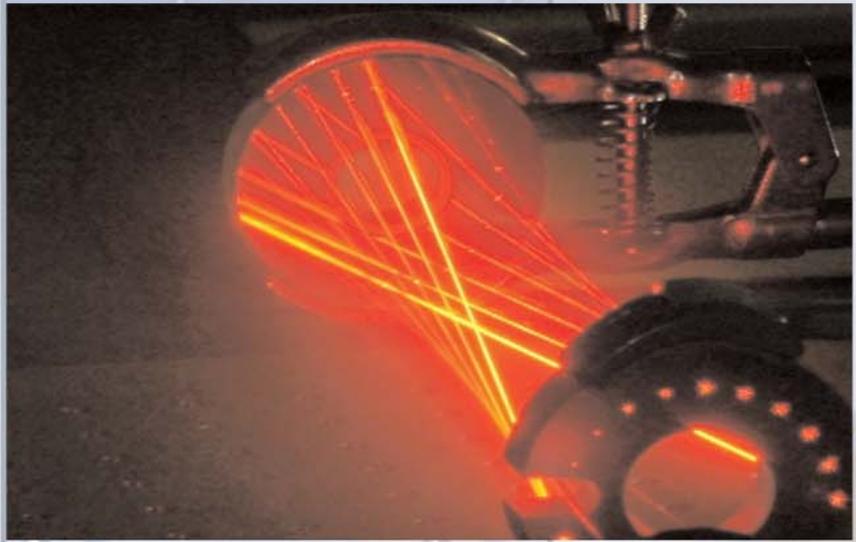


Abb. 3: Nanostrukturiertes  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Beschichtungspulverteilchen

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Carl Christoph Stahr  
Tel.: 0351 / 2583 337  
carlchristoph.stahr@iws.fraunhofer.de





## Forschungs- und Entwicklungsangebot: CVD-Dünnschichttechnologie

**Redaktion:** Im Rahmen des IWS-Erweiterungsbaus wurde ein »CVD-Technikum« für ihre Abteilung fertig gestellt. Welche Anlagen sollen dort betrieben werden?

**Dr. Hopfe:** Wir freuen uns, das CVD-Technikum nunmehr nutzen zu können und sind allen dankbar, die uns bei der Installation der komplizierten Infrastruktur behilflich waren. Bedingt durch das erfreulich dynamische Wachstum der Arbeitsrichtung Atmosphärendruck-Plasma-CVD ergaben sich in den vergangenen zwei Jahren deutliche Engpässe hinsichtlich der notwendigen Infrastruktur zum Betrieb von vorindustriellen PECVD-Prototypanlagen. Im CVD-Technikum wurden Ende 2006 zwei im IWS entwickelte Anlagen zum Beschichten und Ätzen von Solarwafern für die Silizium-Photovoltaik in Betrieb genommen, das Jahr ging also ganz spannend zu Ende.

**Redaktion:** Unlängst wurde das Fraunhofer Innovations-Cluster »nano for production« gegründet. Ist dies auch für Ihre Abteilung relevant?

**Dr. Hopfe:** Ja, sogar in hohem Maße. Beispielsweise entwickeln wir umweltfreundliche Verfahren zur plasmachemischen Nano-Texturierung von Oberflächen, mit denen die Solarenergieausnutzung von photovoltaischen Zellen verbessert werden kann. Diese Technologien lassen sich sehr kostengünstig in kontinuierliche Produktionslinien integrieren. Eine weitere Anlage dient der Herstellung von Carbon-Nanotubes...

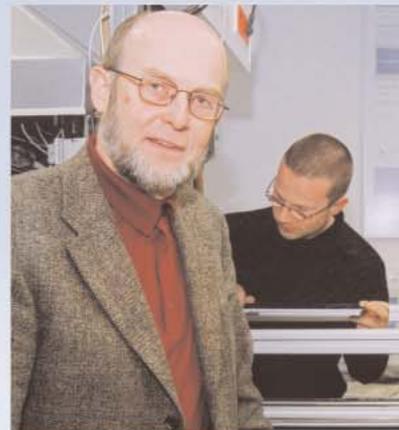
**Redaktion:** ...an Carbon-Nanotubes (CNT) wird doch weltweit gearbeitet. Ist da noch Platz für das IWS?

**Dr. Hopfe:** Wir konzentrieren uns auf single-wall Carbon-Nanotubes. Das Material ist »Gold wert«, wobei ich weniger den derzeit noch extrem hohen Preis ansprechen möchte, als vielmehr die einmalige Eigenschaftskombination, die dieses Material bie-

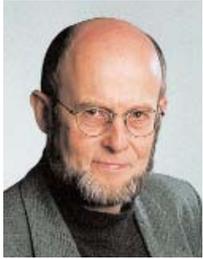
tet. In Kunststofffilme eingebettet, können schon sehr kleine CNT-Mengen die Leitfähigkeit soweit erhöhen, dass man damit beispielsweise PKW-Frontscheiben elektrisch heizen und damit beschlagfrei halten kann. Weitere potenzielle Anwendungen betreffen Aktuatorik-Verstellelemente, die schon bei kleiner Spannung einen großen Hub erzeugen. Wir arbeiten an einem kostengünstigen, skalierbaren Herstellungsprozess, mit dem qualitativ hochwertiges CNT-Material in größeren Mengen bereitgestellt wird. Bei diesem Vorhaben kooperieren viele Fraunhofer-Institute, auch hier im Dresdner Fraunhofer-Zentrum. Um Synergieeffekte zu nutzen, wird im IWS die Entwicklung abteilungsübergreifend von vier Arbeitsgruppen geleistet.

**Redaktion:** Das zweite Standbein Ihrer Abteilung ist die Entwicklung von Prozess-Sensorik zur Überwachung und Steuerung von Industrieanlagen. Welche Fortschritte gibt es hier?

**Dr. Hopfe:** Besonders erwähnenswert ist als neues IWS-Arbeitsgebiet die Diodenlaserspektroskopie als nachweisstarkes und hochselektives Gas-Sensorverfahren. Die Grundlagen dazu wurden im Rahmen eines EU-Projekts mit 7 Partnern aus 4 Ländern unter IWS-Koordination geschaffen. Bisher wurden vorindustrielle Prototyp-Gassensoren zur Qualitätsüberwachung ultrareiner Spezialgase, beispielsweise für die Mikroelektronikfertigung, aufgebaut und in Industrietests evaluiert. An die Sensoren werden extrem hohe Anforderungen gestellt. Beispielsweise sind sie dafür ausgelegt, in sehr korrosiven und reaktiven Reinstgasen, wie HCl, Silan oder Ammoniak noch Spuren von Wasserdampf oder anderen kritischen Verunreinigungen im unteren ppb-Bereich nachweisen zu können. Die Ergebnisse sind so erfolgreich, dass wir inzwischen zusammen mit Industriepartnern an vermarktungsfähigen Produkten arbeiten.



*Wer hohe Türme bauen will,  
muss lange beim Fundament verweilen.*  
Anton Bruckner



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

### Beispiele aus den Arbeiten 2006

1. Hydrophobe Oberflächen durch AP-PECVD 60
2. Atmosphärendruck-Plasmaverfahren zum Rückseitenätzen von Solarwafern für die Silizium-Photovoltaik 61
3. Transparente Kratzschutzschichten durch Atmosphärendruck-PECVD 62
4. Multi-Gassensor für kritische Komponenten in ultrareinen Prozessmedien der Halbleiterindustrie 63



**Dr. Ines Dani**

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

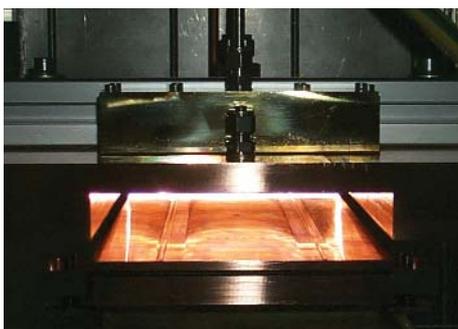
**Dr. Wulf Grählert**

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

### Plasmagestützte CVD-Verfahren bei Atmosphärendruck

Atmosphärendruck-Plasma-CVD-Prozesse (AP-PECVD) erlauben die 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 IWS werden Prototypen von AP-PECVD-Durchlaufreaktoren mit Gas-schleusen zur Herstellung von oxidischen und nichtoxidischen Schichten bei Normaldruck entwickelt. Die Optimierung des Reaktordesigns basiert auf experimentellen Ergebnissen und thermofluidynamischen Simulationen. Das modulare Reaktordesign sorgt für eine kostengünstige Adaption des Prozesses an neue Anwendungsgebiete und Schichtmaterialien.

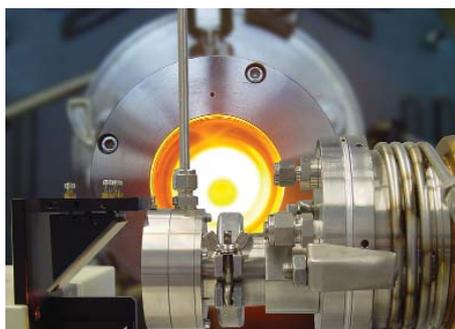


Blick in den Beschichtungsraum der ArcJet-PECVD-Anlage

### 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

## Hydrophobe Oberflächen durch AP-PECVD

### Aufgabenstellung

Beschichtete Oberflächen mit hydrophoben Eigenschaften sind leicht reinigbar, da sie eine geringe Affinität zu Wasser und öligen Stoffen aufweisen. In Zusammenhang mit potenziellen Anwendungen in der Medizin- und Mikrosystemtechnik sowie auf dem Sanitär- und Küchensektor findet die Entwicklung von Kohlenstoffschichten auf Stahl, Glas oder Kunststoff zunehmende Beachtung.

Die im Fraunhofer IWS entwickelte kontinuierliche Großflächenbeschichtung mittels plasmagestützter chemischer Gasphasenabscheidung bei Atmosphärendruck (AP-PECVD) ist für industrielle Anwendungen von besonderem Interesse, da sie keine aufwändigen Vakuumanlagen erfordert.

Um die Kohlenstoffschichten hinsichtlich ihrer Oberflächenenergie und damit des Benetzungsverhaltens zu modifizieren, erlaubt die Technologie die Verwendung vielfältiger Precursorer für die Beschichtung. Dies führt zu einem gezielten Einbau von Elementen wie Fluor, Silizium oder Sauerstoff in das Kohlenstoffnetzwerk. Infolge dessen können Schichteigenschaften, wie z. B. Hydrophobie, Härte und Verschleißbeständigkeit gezielt eingestellt werden.

### Lösungsweg

Bei plasmagestützten Atmosphärendruck-CVD-Prozessen wandeln sich die gasförmigen Precursorer durch die Einwirkung des Plasmas in reaktive Spezies um. Diese werden durch Gasströme zum Substrat transportiert und scheiden sich dort als Schicht ab. Als Plasmaquelle für die Precursoraktivierung wird eine skalierbare Linearquelle, die auf dem Prinzip der DC-Bogenentladung beruht, eingesetzt (Abb. 1).

Zur Abscheidung der hydrophoben C-Schichten werden preisgünstige Precursorer wie Methan und Ethylen sowie Wasserstoff verwendet. Die Beschichtung erfolgte bei typischen Substrattemperaturen von 100 - 200 °C.

### Ergebnisse

Hydrophobe amorphe Kohlenstoffschichten wurden mittels AP-PECVD-Technologie auf poliertem Edelstahl abgeschieden. Der Einsatz von Methan als Kohlenstoffprecursor führt zu transparenten Schichten mit einem Wasserkontaktwinkel von 94° (Abb. 2). Der polare Anteil der Oberflächenenergie ist mit  $\leq 1 \text{ mN m}^{-1}$  sehr gering, die Gesamtenergie beträgt 35 - 38  $\text{mN m}^{-1}$  (Abb. 3). Raman-spektren der amorphen Kohlenstoffschichten zeigen die ebenen Streck-schwingungen  $\text{sp}^2$ -gebundener Kohlenstoffatome (graphite band) sowie die zentrosymmetrischen Streck-schwingungen aromatischer Ringe (disordered band) bei 1500 - 1630  $\text{cm}^{-1}$  bzw. um 1350  $\text{cm}^{-1}$ . Die Härte dieser polymerartigen Schichten liegt bei ca. 1 GPa.

Der Einbau von Silizium in die Schicht durch Zugabe eines Si-Precursorer führt zu einer Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Schicht. In FTIR-Spektren konnten Si-C-, Si-CH<sub>3</sub>- und C-H-Gruppen nachgewiesen werden. Daraus resultiert eine Härtesteigerung auf 3 GPa. Die Oberflächenenergien sind mit ca. 45  $\text{mN m}^{-1}$  etwas höher als bei reinen Kohlenstoffschichten, der polare Anteil von 4  $\text{mN m}^{-1}$  befindet sich aber weiterhin im Bereich von Materialien mit hydrophoben Eigenschaften.

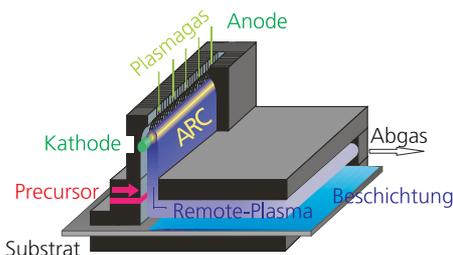


Abb. 1: Schematische Darstellung der Atmosphärendruck-PECVD-Technologie mit DC-Bogen-Linearquelle

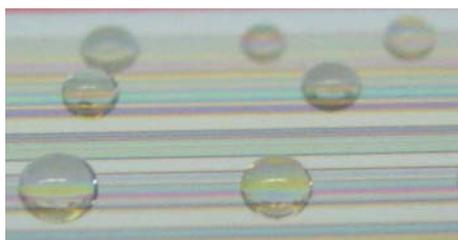


Abb. 2: Wassertropfenausbildung auf hydrophober Oberfläche hergestellt aus Methan und H<sub>2</sub>

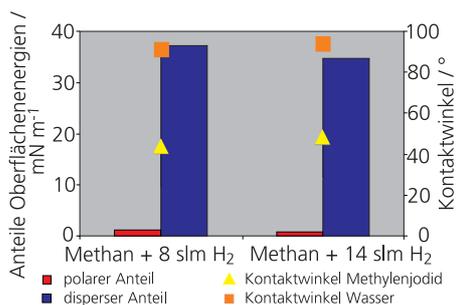


Abb. 3: Oberflächenenergien nach Owens und Kontaktwinkel für Schichten aus Methan und H<sub>2</sub>



Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Dorit Linaschke  
Tel.: 0351 / 2583 295

dorit.linaschke@iws.fraunhofer.de



## Atmosphärendruck-Plasmaverfahren zum Rückseitenätzen von Solarwafern für die Silizium-Photovoltaik

### Aufgabenstellung

Für die Wettbewerbsfähigkeit der derzeit marktbeherrschenden, auf kristallinem Silizium beruhenden Photovoltaik spielen die Kosten der Solarzellenfertigung eine entscheidende Rolle. Eine Möglichkeit zur Kostensenkung besteht in der Einführung kostengünstiger inline-Produktionsverfahren. Als erster Schritt einer zukünftigen inline-Solarzellenfertigung mit mehreren verketteten Prozessschritten werden am IWS kontinuierliche Plasmaätzprozesse bei Atmosphärendruck (AP) entwickelt, die neben der Investitionskosteneinsparung besonders die Senkung der Wafer-Handhabungs- und Prozesskosten zum Ziel haben.

Die Herstellung des Emitters der Solarzelle erfolgt durch Phosphordiffusion in das Silizium, die bei der derzeitigen Dotiertechnologie allseitig auf dem Wafer erfolgt. Damit entsteht ein Kurzschluss zwischen Vorder- und Rückseite, der nachträglich beseitigt werden muss. Zur elektrischen Trennung von Front- und Rückseite des Wafers sowie zur vollständigen Entfernung des rückseitigen Emitters wurde ein Plasmaätzprozess bei Atmosphärendruck entwickelt und im Vergleich zu industriellen Standardprozessen, wie dem mechanischen Trennen durch Kantenschleifen und dem Unterdruck-Plasmaätzen im Waferstapel, bewertet.

### Lösungsweg

Das plasmachemische Ätzen weist prozesstechnische Gemeinsamkeiten zur plasmagestützten chemischen Gasphasenabscheidung auf. Der wesentliche Unterschied liegt in der Precursorauswahl. Zum Ätzen von Silizium haben sich Fluoride industriell durchgesetzt, da die entstehenden Ätzprodukte (vorwiegend  $\text{SiF}_4$ ) gasförmig und damit leicht von der Oberfläche entfernbar sind. Für die Precursoraktivierung wird

eine auf einer DC-Bogenentladung beruhende Linearplasmaquelle mit 120 mm Arbeitsbreite eingesetzt.

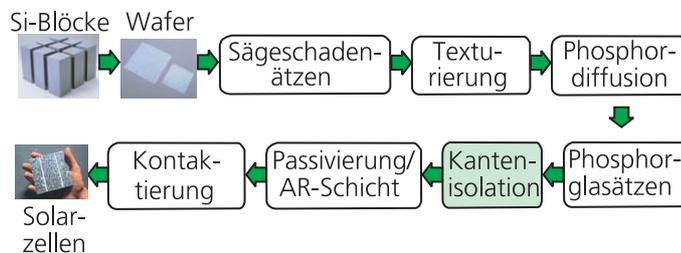


Abb. 1: Schematische Darstellung der Herstellungsschritte von kristallinen Solarzellen, grün hervorgehoben ist der hier beschriebene Prozessschritt

### Ergebnisse

Monokristalline (100)-Siliziumwafer wurden entsprechend den in Abb. 1 dargestellten Herstellungsschritten prozessiert. Die Kantenisolation wurde am Fraunhofer IWS mit dem beschriebenen Plasmaätzprozess bei Atmosphärendruck durchgeführt. Als Ätzgase wurden Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) sowie Stickstofftrifluorid ( $\text{NF}_3$ ) eingesetzt. Ätzraten von  $3 \mu\text{m} / \text{min}$  für  $\text{SF}_6$  und  $7 \mu\text{m} / \text{min}$  für  $\text{NF}_3$  wurden erzielt.

Wirkungsgrad, Füllfaktor, Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung der im IWS prozessierten Wafer zeigen ähnliche, teilweise bessere Werte im Vergleich zu industriellen Standardzellen. Das Verfahren ermöglicht ein einseitiges Ätzen ohne jeglichen Ätzumgriff auf die Wafervorderseite. Damit ergeben sich neue Optionen zur Prozessverkettung, beispielsweise die zur Antireflex-Beschichtung vor der Kantenisolation.

Das AP-Plasmaätzen ist weiterhin eine attraktive Option bei der Fertigung künftiger Hochleistungszellen, die zur Effizienzerhöhung glatte, emitterfreie Rückseiten benötigen. Bei der derzeitigen nasschemischen Texturierung wird aber die Waferrückseite ebenfalls texturiert. Mittels AP-Plasmaätzen ist es dagegen möglich, die Waferrückseite zu glätten (Abb. 3) und damit den Wirkungsgrad der Solarzellen zu erhöhen.

	Mechanische Kantenisolation	Kantenisolation durch Unterdruck-Plasmaätzen
Wirkungsgrad	103,6±3,3 %	101,8±1,6 %
Füllfaktor	99,4±2,8 %	101,2±1,5 %
$I_{sc}$	103,2±0,7 %	100,0±0,5 %
$U_{oc}$	100,9±0,5 %	100,6±0,4 %

Abb. 2: Elektrische Eigenschaften der im IWS mittels AP-Plasmaätzen prozessierten Wafer im Vergleich mit zwei industriellen Standardprozessen. 100 % entsprechen den Werten des jeweiligen industriellen Referenzprozesses an der gleichen Wafercharge.

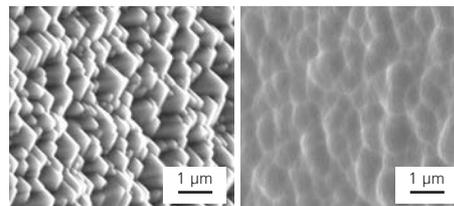


Abb. 3: Waferrückseiten links: alkalisch texturiert rechts: glatt, nach plasmachemischem Ätzen bei Atmosphärendruck

### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Elena Lopez  
Tel.: 0351 / 2583 296  
elena.lopez@iws.fraunhofer.de



## Transparente Kratzschutzschichten durch Atmosphärendruck-PECVD

### Aufgabenstellung

Korrosions- und Kratzschutzschichten auf Edelstahl- oder Kunststoffoberflächen für Haushalts-, Sanitär- und Kücheneinrichtungen werden zunehmend erforderlich, um die Gebrauchseigenschaften der Produkte langfristig zu gewährleisten. Die dekorative Optik der Oberflächen, z. B. von gebürstetem Aluminium und Edelstahl soll dabei erhalten bleiben.

Zur kostengünstigen Großflächenbeschichtung von flachen oder leicht gekrümmten Substraten wurde im Fraunhofer IWS ein mikrowellenplasmagestütztes Atmosphärendruck-CVD-Verfahren zur Abscheidung von Siliziumdioxidschichten entwickelt. Das im sichtbaren Wellenlängenbereich transparente Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) ist aufgrund seiner guten Barriereigenschaften sowie seiner vergleichsweise hohen Härte als Kratzschutzschicht geeignet.

### Lösungsweg

Ein ausgedehntes Atmosphärendruck-Mikrowellenplasma dient der Erzeugung reaktiver Spezies zur Spaltung des Precursors für den Gasphasenbeschichtungsprozess (Abb. 1). Das Reaktordesign wurde hinsichtlich einer homogenen und stabilen Ausbildung des Plasmas mit Hilfe fluiddynamischer Simulationen der Gasströmungen sowie der Konzentrations- und Temperaturverteilungen optimiert. Die für einen kontinuierlichen Betrieb notwendige hohe Verfügbarkeit und Stabilität des Beschichtungsreaktors wird durch die räumliche Trennung der Plasmabildungs- von der Beschichtungskammer gewährleistet (Remote-PECVD).

Zur Abscheidung der  $\text{SiO}_2$ -Schichten wird in der Nähe des kontinuierlich bewegten Substrates der Precursor

Tetraethoxysilan (TEOS) sowie Sauerstoff zugeführt. Substrattemperaturen von typischerweise 100 °C bis 250 °C ermöglichen die Beschichtung temperaturempfindlicher Leichtmetalle, z. B. Aluminium oder wärmebehandelter Stähle.

### Ergebnisse

Der entwickelte PECVD-Prozess bei Atmosphärendruck ermöglicht die inline Abscheidung von beständigen, kratzfesten und harten  $\text{SiO}_2$ -Schichten hoher Transparenz. Die hergestellten  $\text{SiO}_2$ -Schichten weisen eine Schichtdicke von bis zu 4  $\mu\text{m}$  auf. Die Schichthärte beträgt zwischen 5 GPa und 6 GPa. Der Brechungsindex beträgt  $n = 1,43 - 1,46$  (bei  $\lambda = 550 \text{ nm}$ ) und der Absorptionskoeffizient  $k < 0,005$ . Mittels FTIR-Spektroskopie wurden ausschließlich die typischen Schwingungsbanden des  $\text{SiO}_2$  nachgewiesen. Die Schichten enthalten keine organischen Rückstände des Precursors.

Zur Charakterisierung der auf poliertem Edelstahl abgeschiedenen  $\text{SiO}_2$ -Schichten wurden eine Reihe applikationsorientierter Tests durchgeführt. Die Schichten bestanden alle Korrosionstests, wie Konstantklimatetest (DIN EN ISO 6270-1), Temperaturwechseltest in kochendem Salzwasser (DIN 58196-2) sowie eine einstündige Auslagerung in heißer Schwefelsäure (Abb. 2). Beim Ritztest mit spitzem Diamantkegel (DIN ENV 1071-3) traten die ersten Schichtschädigungen oberhalb einer Normallast von 2 N auf. Anhand des Rockwell-Eindrucktests (VDI 3198, 150 N) konnten die hergestellten  $\text{SiO}_2$ -Schichten in die Haftfestigkeitsklasse HF2 eingeordnet werden. Die Bleistifthärte (DIN EN 13523-4) beträgt 5H. Der Gitterschnitttest zeigt keine Schichtabplatzungen an den Schnittkanten (Abb. 3).

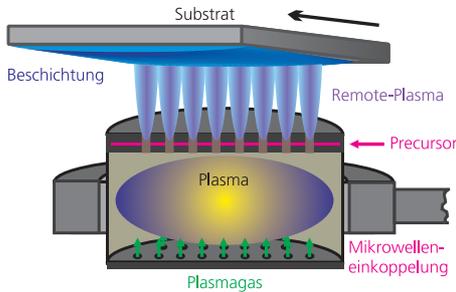


Abb. 1: Prinzip des kontinuierlichen Atmosphärendruck-Mikrowellen-PECVD-Verfahrens

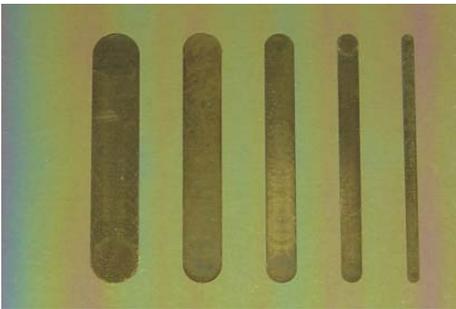


Abb. 2: Korrosionsprobe nach einstündiger Auslagerung in 70 °C heißer Schwefelsäure (66 Vol.-%). Die  $\text{SiO}_2$ -Schicht ist unbeschädigt, die unbeschichteten Streifen sind hingegen stark korrodiert.

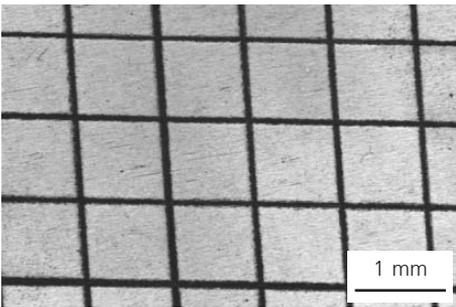


Abb. 3:  $\text{SiO}_2$ -Schicht auf Edelstahl nach dem Gitterschnitttest nach DIN 53 151 mit anschließendem Klebebandabzugstest, Schichthärte 6 GPa, Schichtdicke 2,4  $\mu\text{m}$



Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Sebastian Tschöcke  
Tel.: 0351 / 2583 297

sebastian.tschoecke@iws.fraunhofer.de



## Multi-Gassensor für kritische Komponenten in ultrareinen Prozessmedien der Halbleiterindustrie

### Aufgabenstellung

Die kontinuierliche Qualitätskontrolle von ultrareinen Bulkgasen wie  $N_2$ , He und Ar ist vor allem in der Mikroelektronik essentiell zur Sicherung der Prozessausbeute und Produktqualität. Mit steigendem Integrationsgrad gewinnt auch die Spurengaskontrolle in Spezialgasen (z. B.  $H_2$ ,  $NH_3$ ,  $SiH_4$ ,  $B_2H_6$ ,  $Cl_2$ , HCl) zunehmend an Bedeutung. Als kritische Komponenten für die Prozessstabilität werden insbesondere Spuren von  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $CO/CO_2$  sowie Kohlenwasserstoffe angesehen. Die steigenden Reinheitsanforderungen an die Prozessmedien erfordern eine robuste online Multigassensorik für den Spurengasnachweis im unteren ppb-Bereich.

### Lösungsweg

Für die quantitative Bestimmung von Verunreinigungen im sub-ppb-Bereich wird die NIR-Laserdiodenspektroskopie (LDS) als extrem selektive und empfindliche Messmethode eingesetzt. Die LDS basiert auf durchstimmbaren Laserdioden, die mittels Temperatur- und Stromvariation ihre Emissionsfrequenz ändern. Scannt man so über die Absorptionslinie eines Gases, lässt sich bei bekanntem Strahlweg und Extinktionskoeffizienten die Gaskonzentration bestimmen.

Für die Zielstellung, simultan mehrere Verunreinigungen im unteren ppb-Bereich zu messen, benötigt man ein sorgfältig in allen Komponenten optimiertes System, bestehend aus LDS-Sensoren, Strahlformungsmodul und Multireflexionsgasmesszelle (Abb. 2). Besonderes Augenmerk wurde bei der Entwicklung auf kurze Ansprechzeiten, Korrosionsfestigkeit, Ganzmetallabdichtung sowie auf mechanische und optische Stabilität gelegt.

### Ergebnisse

Das Sensorsystem wurde zunächst auf die Eignung für Messungen von Wasserdampfspuren in Bulkgasen, der kritischsten und prozesstechnisch am schwierigsten zu beherrschenden Spurengaskomponente, untersucht. Es konnte eine exzellente Linearität der Wasserdampfkennlinie gegenüber einem Coulometrischen Spurenfuchtegenerator (nationaler Primärstandard der PTB-Braunschweig) nachgewiesen werden (Abb. 1). Der Messbereich des Sensors erstreckt sich dabei von der Nachweisgrenze bei 25 ppb<sub>v</sub>  $H_2O$  ( $3\sigma$ , 1 bar) über 4 Größenordnungen. Wasserdampfmessungen in Spezialgasen, wie  $H_2$ , HCl und  $NH_3$  (jeweils 100 % Gase) zeigten vergleichbar gute Linearitäten bei kurzen Ansprechzeiten ( $< 4$  min) und, prinzipbedingt, mit leicht erhöhten Nachweisgrenzen. Messungen von Sauerstoffspuren wurden in  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $NH_3$  und HCl durchgeführt. Die Nachweisgrenze liegt hier aufgrund des niedrigeren Extinktionskoeffizienten bei 3 ppm<sub>v</sub>  $O_2$  ( $3\sigma$ , 1 bar). Bezüglich Methanspuren wurde der Sensor erfolgreich in  $N_2$  und HCl mit einer Nachweisgrenze von 52 ppb<sub>v</sub>  $CH_4$  ( $3\sigma$ , 1 bar) getestet. Ein Feldtest bei einem weltweit führenden Gas-Supplier bestätigte - neben der Systemperformance - die robuste Handhabbarkeit des entwickelten Multigas-Sensorsystems. Die erreichten Nachweisgrenzen im unteren ppb-Bereich, die sehr hohe Selektivität und Linearität sowie die rückwirkungsfreie Einsetzbarkeit für schwierig handhabbare, extrem korrosive Spezialgase eröffnen dem Sensor eine Vielzahl neuer Anwendungen, auch außerhalb der Halbleiterindustrie.

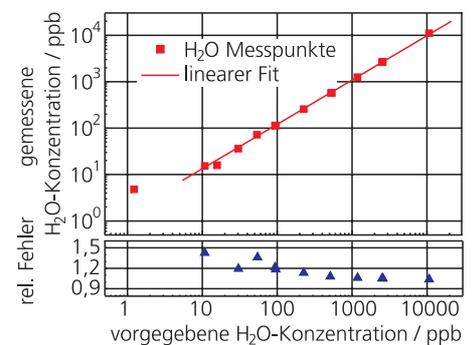


Abb. 1: Kalibrierkurve des Wasserdampfsensors im Bereich von 10 ppb bis 10 ppm gegenüber einem Coulometrischen Spurenfuchtegenerator (Primärstandard der PTB-Braunschweig)

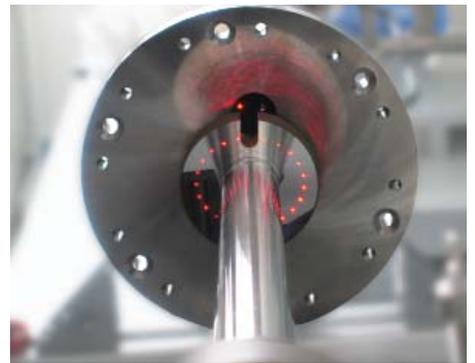


Abb. 2: Multireflexionsgasmesszelle zur simultanen Spurengasbestimmung von  $H_2O$ ,  $CH_4$  und  $O_2$  in ultrareinen reaktiven Medien mittels NIR-Laserdiodenspektroskopie

### Ansprechpartner

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





## Forschungs- und Entwicklungsangebot: PVD-Dünnschichttechnologie

**Redaktion:** Ihre Abteilung arbeitet seit vielen Jahren an der industriellen Umsetzung der superharten amorphen Kohlenstoffschichten (ta-C), die vom Fraunhofer IWS unter dem Markennamen Diamor® angeboten werden.

**Prof. Schultrich:** Ich denke, dass wir in diesem Jahr einen entscheidenden Schritt auf dem Wege zum breiten industriellen Einsatz der ta-C-Schichten getan haben. Unsere im Laborbetrieb bewährten Laser-Arc-Quellen LAM 400 wurden zu ausgereiften, industriell einsetzbaren Komponenten weiterentwickelt. Zum Jahresende wurde von der Firma Hauzer Techno Coating in den Niederlanden, einem führenden PVD-Anlagenbauer, die erste mit einem derartigen Laser-Arc-Modul ausgerüstete Anlage Flexicoat1000® an einen großen Automobilzulieferer übergeben. Es dürfte sich dabei um die weltweit erste für die Massenproduktion von ta-C-Beschichtungen geeignete Anlage handeln.

**Redaktion:** Worauf ist das stark zunehmende Interesse, insbesondere der Automobilindustrie an den superharten ta-C-Schichten zurückzuführen?

**Prof. Schultrich:** Es ist vor allem das hervorragende Gleitverhalten bei fehlender oder ungenügender Schmierung in Verbindung mit einer gegenüber üblichen Hartstoffen und den konkurrierenden a-C:H-Schichten um einen Faktor 2-3 höheren Härte (4000 bis 5000 HV). Auch im ölgeschmierten Betrieb zeigten sich mit ta-C-Beschichtungen z. T. wesentliche Reibungsreduzierungen. Sie sind auf besondere Wechselwirkungen mit dem Schmierstoff zurückzuführen. Dieser sehr zukunftssträchtige Komplex der Anpassung von Beschichtung und Schmiermittel wird gegenwärtig in einem großen Verbundprojekt bearbeitet.

**Redaktion:** Was hat bei diesen exzellenten Eigenschaften bisher die breitere Nutzung behindert?

**Prof. Schultrich:** Für die industrielle ta-C-Beschichtung waren drei Herausforderungen zu bewältigen, die Gewährleistung einer zuverlässigen Haftung auch dickerer Schichten im Mikrometerbereich, die Verfügbarkeit einer industriell einsetzbaren Technologie und die Erreichung einer genügenden Oberflächengüte. Erst durch die Einführung eines innovativen Glättungsverfahrens gelang es, das tribologische Potenzial der ta-C-Schichten voll zu erschließen. Als Schutzschicht auf Gleitkomponenten im Motorbereich haben die geglätteten Diamor®-Schichten in Testläufen ihre hervorragenden Eigenschaften demonstriert.

**Redaktion:** Wo liegen weitere potenzielle Einsatzgebiete für die Diamor®-Schichten?

**Prof. Schultrich:** Sehr erfolgreiche Erprobungen belegen das hohe Potenzial der Diamor®-Schichten bei der spanenden Bearbeitung von Aluminiumlegierungen und anderen Bunt- und Leichtmetallen. Durch die jetzt mögliche hohe Oberflächenqualität konnte auch das Gebiet der Umformung für die Diamor®-Beschichtungen erschlossen werden.

**Redaktion:** Sehen Sie Einsatzmöglichkeiten außerhalb der Tribologie?

**Prof. Schultrich:** Die Kohlenstoffschichten bilden eine hervorragende Grundlage für unterschiedliche funktionale Anwendungen. Modifizierte a-C:X-Schichten des IWS werden z. B. in speziellen Sensoren eingesetzt. Durch Dotierung und Nanostrukturierung wird das Eigenschaftsspektrum der amorphen Kohlenstoffschichten erweitert, um damit komplexe Anforderungen gezielt erfüllen zu können. Ein wichtiges Hilfsmittel dabei ist der verstärkte Einsatz der Simulation. Gleichzeitig versuchen wir die bei der Entwicklung der Kohlenstoffschichten gewonnenen Erfahrungen auf andere Gebiete, wie die Herstellung von Kohlenstoff-Nanotubes, zu übertragen.



*Zu neuen Ufern  
lockt ein neuer Tag.  
Johann Wolfgang von Goethe*



**Prof. Bernd Schultrich**  
Abteilungsleiter  
(Tel. 2583 403,  
bernd.schultrich@iws.fraunhofer.de)

### Beispiele aus den Arbeiten 2006

1. Erweiterung des Einsatzpotenzials von ta-C-Schichten durch Oberflächenglättung 68
2. Industrielle ta-C Abscheidung mittels integriertem Laser-Arc-Modul (LAM) 69
3. Strukturierte Elektroden für die Medizintechnik 70
4. Bestimmung von Defektprofilen geschliffener Randzonen in Halbleitermaterialien durch laserakustische Messung 71





### Prof. Bernd Schultrich

Gruppenleiter Kohlenstoffschichten  
(Tel. 2583 403,  
bernd.schultrich@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

## Erweiterung des Einsatzpotenzials von ta-C-Schichten durch Oberflächenglättung

### Aufgabenstellung

In vielen Anwendungsfällen können Komponenten und Werkzeuge nur durch eine Beschichtung wirksam vor Verschleiß geschützt werden. Neben den bekannten Hartstoffschichten auf nitridischer und karbidischer Basis (z. B. CrN, TiC, TiAlN), kommen zunehmend amorphe Kohlenstoffschichten (DLC) zum Einsatz, da diese neben dem Verschleißschutz auch geringe Reibkoeffizienten mit sich bringen und unempfindlich gegen Anhaftungen sind. Die Spitzenstellung bezüglich Härte und Verschleißfestigkeit nehmen dabei die wasserstofffreien tetraedrischen amorphen Kohlenstoffschichten (ta-C) ein.

Die effiziente Herstellung von ta-C-Schichten gelingt zur Zeit nur über das Vakuumbogenverdampfen von Graphit. Dieser Prozess ist jedoch mit der Emission von Partikeln verbunden, die zu Wachstumsdefekten, d. h. zur Ausbildung von Rauheitsspitzen in der ta-C-Schicht führen (Abb. 2 oben). Eine Minimierung der Defekte über Plasmafilterung ist möglich, für dicke Schichten jedoch noch zu aufwändig.

### Lösungsweg

Die Rauheitsspitzen der ta-C-Schichten lassen sich durch nachträgliche mechanische Behandlung entfernen. Herkömmliche Bearbeitungstechniken wie Polieren mit Diamantsuspension sind zwar möglich, können jedoch nur bedingt an komplexen Konturen angewendet werden. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Schicht in ihrer Gesamtheit abgedünnt wird. Daher wurde ein Verfahren entwickelt, das die Rauheitsspitzen nur lokal abträgt und auch für die Bearbeitung von Oberflächenkonturen geeignet ist. Dieses als Patent eingereichte Verfahren (DE 10 2006 010 916.3) ermöglicht eine effiziente Bearbeitung und ist beliebig skalierbar.

### Ergebnisse

Im Ergebnis der Glättungsbehandlung liegt eine ta-C-Schicht ohne Rauheitsspitzen vor (Abb. 2 unten). Es verbleiben winzige Vertiefungen, die gegebenenfalls als Schmieraschen fungieren können. Im Schwingverschleißtest wurde eine signifikante Verbesserung der ohnehin schon sehr guten tribologischen Eigenschaften nachgewiesen (Abb. 1). So sank der Schichtverschleiß durch die Glättungsbehandlung um eine Größenordnung auf  $5 \times 10^{-9} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$ . Noch drastischer fällt die Verringerung des Stahl-Gegenkörperverschleißes auf Werte von  $9 \times 10^{-9} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$  aus.

Durch die Glättungsbehandlung erschließen sich weitere Einsatzmöglichkeiten für die ta-C-Schichten. Dies gilt insbesondere für Einsatzfälle mit sensibler Wechselwirkung mit dem Gegenkörper, z. B. für die schmiermittelfreie Umformung von Metallblechen. Die besonders kritische Trocken-Umformung von Aluminium wurde anhand von Streifenziehversuchen an der Technischen Universität Dresden untersucht. Dabei zeigen Umformwerkzeuge mit unbehandelter Schicht deutliche Aluminium-Anhaftungen am Werkzeug. An der geglätteten Schicht hingegen finden sich kaum Aluminiumrückstände (Abb. 2).

Mit der Möglichkeit der Schichtglättung erweitern sich die Einsatzmöglichkeiten für ta-C-Schichten neben der Beschichtung von Umformwerkzeugen insbesondere auf Komponenten für tribologisch kritische Einsatzbedingungen z. B. im Automobilbereich.

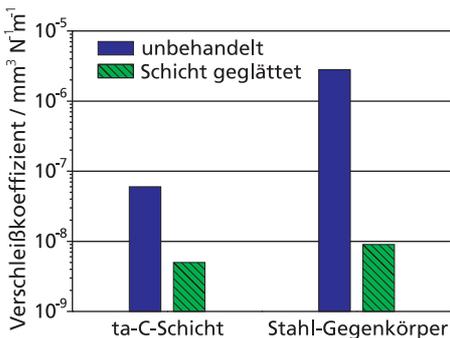


Abb. 1: Verschleißkoeffizienten von unbehauelter und geglätteter Schicht (Schwingverschleiß)

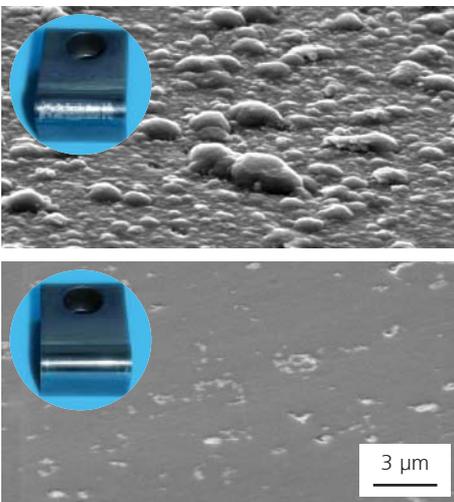


Abb. 2: Oberfläche einer ta-C-Schicht im REM sowie Ziehbacken nach Umformung von Al-Blechstreifen ohne Schmiermitteleinsatz: unbehauelter (oben) und nach Glättung (unten)



Ansprechpartner

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



## Industrielle ta-C-Abscheidung mittels integriertem Laser-Arc-Modul (LAM)

### Aufgabenstellung

Diamantähnliche amorphe Kohlenstoffschichten (DLC) erreichen als Verschleißschutzschichten für Komponenten und Werkzeuge eine zunehmende Bedeutung. Sie beruht auf der unika- len Kombination von hoher Härte, niedriger Reibung, geringer Klebe- nigung zu metallischen Gegenkörpern und ausgezeichneter biologische Ver- träglichkeit. Die bisher eingesetzten wasserstoffhaltigen DLC-Schichten (a-C:H) werden in einem Plasma-CVD- Prozess durch Zersetzung von Kohlen- wasserstoffen abgeschieden. Dies ist mit geringfügigen Modifikationen der eingeführten Anlagentechnik zur Abscheidung der klassischen Hartstoff- schichten (z.B. TiN oder CrN) möglich.

Eine neue Generation stellen die was- serstofffreien ta-C-Schichten dar (ta-C ist tetraedrisch gebundener amorpher Kohlenstoff), in dem die Kohlenstoff- atome wie im Diamant überwiegend in Viererkoordination gebunden sind. Sie zeichnen sich dementsprechend durch eine deutlich höhere Härte und Verschleißbeständigkeit aus. Ihr breiter Einsatz wird aber bisher dadurch behindert, dass keine zur industriellen Beschichtung geeignete Technik ver- fügbar ist.

### Lösungsweg

Die im Fraunhofer IWS Dresden ent- wickelte und an mehreren industriellen PVD-Anlagen erprobte Abscheidete- chnologie des lasergesteuerten Vakuum- bogens (Laser-Arc®) besitzt dieses Potenzial. Sie wurde in Form eines separaten Moduls realisiert, der die zylindrische Kohlenstoffkathode ent- hält (LAM). Das Modul zur ta-C-Ab- scheidung kann an den handelsübli- chen Beschichtungsanlagen anstelle der rechteckigen Arc- oder Sputter- quelle angesetzt werden (Abb. 1). Diese Lösung bietet den Vorteil, dass die Beschichtungstechnologien der

Basisanlage uneingeschränkt genutzt werden können und in beliebiger Wei- se mit der Laser-Arc-Technologie ver- knüpft werden können. Damit sind neuartige Schichtsysteme auf der Basis der superharten ta-C-Schichten mög- lich, wobei die Produktivität der der klassischen Hartstoffabscheidung ent- spricht.

### Ergebnisse

Die ta-C-Beschich- tungstechnologie wurde mit dem Laser-Arc-Modul LAM400 in die Beschichtungsan- lage FlexiCoat 1000® von Hauzer Techno Coating (NL) integriert. Die in der LAM-Kammer angeordnete Kohlen- stoffkathode und der Steuerlaser mit Scanner und Optik sind an die rücksei- tige Kammertür so angeflanscht, dass ein uneingeschränkter Zugang zur Be- schichtungskammer besteht. Die auto- matische Arbeitsweise des LAM wird durch eine eigenständige Steuerung gewährleistet, die mit der Steuerung der Basisanlage über eine Profibus- Schnittstelle kommuniziert. Die speziell für die Laser-Arc-Technologie ent- wickelte Bogenstromquelle liefert einen mittleren Strom von 150 A (Spit- zenstrom 1,8 kA, Impulsdauer 130 µs und einer Folgefrequenz bis 800 Hz). Das Laser-Einkopplungsfenster wird durch einen automatisierten Foli- enzug vor Streubeschichtung geschüt- zt. Die Rotation der Kathodenwalze in Kombi- nation mit der Lasersteuerung der Brennfleckbewegung der Bogenentla- dung, gewährleisten einen homoge- nen Abtrag und damit über Monate konstante Beschichtungsbedingungen.

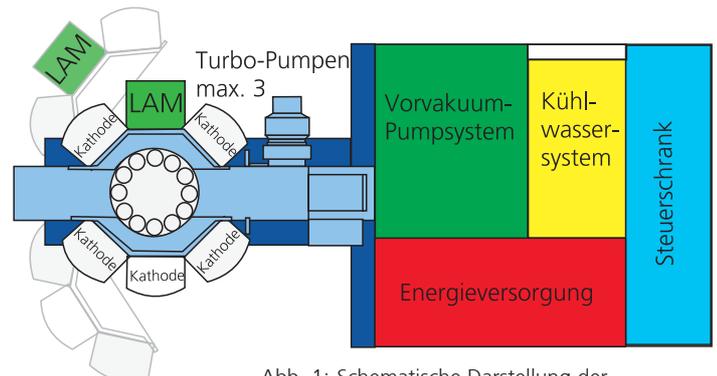


Abb. 1: Schematische Darstellung der FlexiCoat® 1000 Beschichtungsanlage mit LAM



Abb. 2: LAM-Kammer mit Kohlenstoffkathode

### Ansprechpartner

Dr. Hans-Joachim Scheibe  
Tel.: 0351 / 2583 455  
hans-joachim.scheibe@iws.fraunhofer.de



## Strukturierte Elektroden für die Medizintechnik

### Aufgabenstellung

Zur Erforschung physiologischer und krankhafter Veränderungen von Zellen des Blutgefäßsystems (Endothelzellen) ist die Untersuchung der endothelialen Barrierefunktion eine kritische Größe. Hierbei haben Schubspannungen (hervorgerufen durch tangential an den Endothelzellen angreifende Strömungskräfte des Blutstromes) einen enormen Einfluss auf die Physiologie und Pathophysiologie der Endothelzellen. Mittels der Impedanzspektroskopie kann die endotheliale Barrierefunktion als ein hochempfindlicher Parameter bestimmt werden. Am Institut für Physiologie der Medizinischen Fakultät der TU Dresden wird u. a. die Impedanzspektroskopie zur Untersuchung von Endothelzellen unter Schubspannungen entwickelt und eingesetzt. Dabei

wird die Durchlässigkeit des Zellrasens (messbar als elektrischer Widerstand mittels der Impedanzspektroskopie) als aussagekräftiger Parameter für die Barrierefunktion der Zellen genutzt. Die Glasplatte, auf der die Zellen kultiviert und unter Schubspannungen gesetzt werden, ist mit strukturierten Elektroden (Mess- und Referenzelektroden) versehen. Mit dieser

Anordnung kann der elektrische Widerstand des Zellrasens (Dichte und Zusammenhalt der Zellen) in Abhängigkeit von der Drehgeschwindigkeit des Kegels und damit von den auf die Zellen wirkenden Schubspannungen gemessen werden. Die Elektroden des Messsystems müssen besondere Anforderungen erfüllen, sie müssen gut leitfähig, hinreichend dünn (keine Beeinflussung der Strömungsdynamik),

hochgradig biokompatibel und abriebfest sein. Herkömmliche Elektroden werden durch Gold-Bedampfung hergestellt. Nachteile dieser Lösung sind einerseits die geringe Abriebfestigkeit des Goldes. Andererseits wird bei dieser Variante eine Haftschiicht aus Chrom benötigt, die Schädigungen der Endothelzellen verursachen kann. Aus diesen Gründen war eine Ersatzlösung notwendig.

### Lösungsweg

Anstelle von Gold wurde Titan als Elektrodenmaterial gewählt. Die Herstellung der Elektroden erfolgte durch strukturierte Beschichtung mit dem Vakuumbogenverfahren. Zur Gewährleistung einer guten Schichthaftung wurde eine speziell entwickelte Plasmavorbereitung für die Glassubstrate verwendet.

### Ergebnisse

Durch Verwendung von Titan an Stelle von Gold als Elektrodenmaterial konnte auf eine chromhaltige Haftschiicht verzichtet werden, wodurch eine Schädigung der Zellen vermieden wird. Die Schichten sind so dünn, dass die strömungsdynamischen Verhältnisse im Flüssigkeitsspalt nicht gestört werden. Trotzdem ist die Schicht sehr dicht, haftfest und verschleißbeständig. Außerdem besitzt die Schicht eine hohe Hitzeresistenz, die für die Sterilisierung der Träger notwendig ist. Durch die Verwendung von Titan als Elektrodenmaterial und die Vakuumbogenbeschichtung als Beschichtungstechnologie konnten die Herstellung vereinfacht und das Einsatzverhalten der Elektroden wesentlich verbessert werden.

Wir danken dem Institut für Physiologie der Medizinischen Fakultät »Carl Gustav Carus« der TU Dresden, insbesondere Prof. Schnittler und Dr. Seebach sowie Dr. Odenthal-Schnittler (MOS-Technologies, Radebeul) für die freundliche Unterstützung.

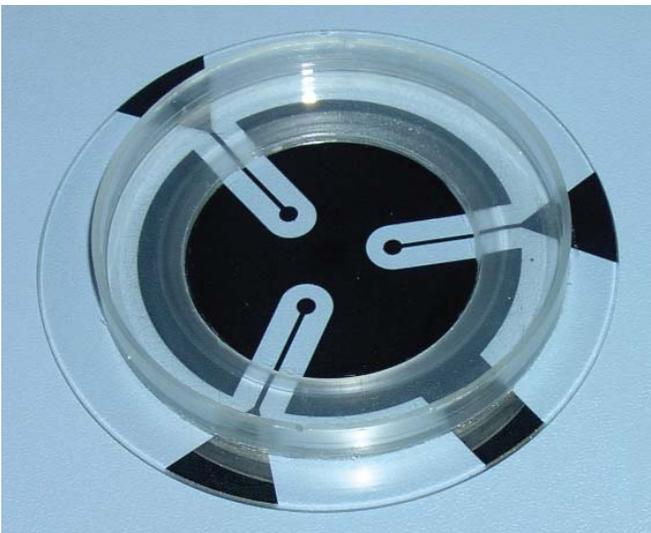


Abb. 1: Glasträger mit Titan-Elektroden, die durch strukturierte Vakuumbogenbeschichtung hergestellt wurden. Auf dem Träger werden Endothelzellen kultiviert.



Ansprechpartner

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



## Bestimmung von Defektprofilen geschliffener Randzonen in Halbleitermaterialien durch laserakustische Messung

### Aufgabenstellung

Beim Sägen und Bearbeiten von Halbleiterwafern entsteht an der Oberfläche eine Zone hoher Defektdichte von mehreren Mikrometern Tiefe, die völlig beseitigt werden muss. Das Topfschleifen ist ein geeignetes, sehr effizientes Planarisierungsverfahren, mit dem sowohl ein gleichmäßig hoher Abtrag erzielt, als auch eine schonende Feinbearbeitung durchgeführt werden kann. Für die Bewertung der Bearbeitungstechnologie ist die Charakterisierung der Bearbeitungsrandzone wichtig.

### Lösungsweg

Das laserakustische Prüfgerät LWave® hat sich für die Bestimmung der Störtiefe in gesägten Halbleitermaterialien auch im industriellen Einsatz bewährt. Dabei wird aus der Messung der Dispersion akustischer Oberflächenwellen auf die Störtiefe geschlossen. Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie (IPT) Aachen wurde das Messverfahren im Hinblick auf die Analyse des Aufbaus geschliffener Bearbeitungsrandschichten qualifiziert. Um den Tiefenverlauf der Defekte aufzuklären, wurden Profile des Elastizitätsmoduls der Randschicht aufgenommen. Da die in großer Zahl in der Störschicht auftreten Defekte den Elastizitätsmodul deutlich reduzieren, kann dieser als empfindliches Maß für die Defektdichte verwendet werden.

Die Bearbeitung der Wafer erfolgte unter Variation von Schleifkorngröße  $D$ , Schnittgeschwindigkeit  $v_s$  und Zustellung  $v_z$ . Die mit unterschiedlichen Parametern geschliffenen Oberflächen wurden schrittweise durch reaktives Sputtern abgetragen. Aus der Differenz der mit der laserakustischen Prüfmethode vor und nach dem jeweiligen Abtrag ermittelten Dispersionskurven wurde der Elastizitätsmodul der abgetragenen Schicht berechnet.

### Ergebnisse

Die Profile des Elastizitätsmoduls (Abb. 1) bringen den dominierenden Einfluss der Abrasivkorngröße auf die Defektstruktur zum Ausdruck. Für Schleifkorn Durchmesser von  $28 \mu\text{m}$  beträgt der Elastizitätsmodul im Oberflächenbereich (kleiner als  $10 \text{ nm}$ ) weniger als  $10 \text{ GPa}$  gegenüber  $169 \text{ GPa}$  für das ungestörte Bulkmaterial des Siliziums. Daraus lässt sich schließen, dass hier das Material völlig zertrümmert ist und nur noch locker zusammenhängt. Dies kennzeichnet den spröden Bearbeitungsmodus, bei dem Laterallisse entstehen, die zum Ablösen großer Materialbereiche führen und einen effizienten tiefen Abtrag bewirken. Die Bearbeitung mit einem kleineren Schleifkorn von  $6 \mu\text{m}$  führt nur zu einer Erniedrigung auf  $E \approx 120 \text{ GPa}$ . Trotz hoher Defektdichte besitzt das Material noch einen starken Zusammenhalt, wie das für den schonenden duktilen Bearbeitungsmodus typisch ist. Mit der Tiefe nimmt der Elastizitätsmodul zu und nähert sich dem Wert des ungestörten Werkstoffs an, woraus die Tiefe der Störzone abgeleitet werden kann. Beim spröden Materialabtrag mit  $28 \mu\text{m}$  Korngröße reicht die Störzone tiefer als  $6 \mu\text{m}$  in das Material hinein, bei der schonenden duktilen Materialbearbeitung mit  $6 \mu\text{m}$  nur etwa  $0,12 \mu\text{m}$ .

Zunächst unerwartet nahm bei kleiner Abrasivkorngröße die Störtiefe ab, wenn die Schnittgeschwindigkeit  $v_s$  oder die Zustellung  $v_z$  vergrößert wurde (Abb. 1). Der Einfluss der Schnittgeschwindigkeit lässt sich in Einklang mit der Beobachtung bringen, dass die Größe der abgelösten Materialpartikel mit der Schnittgeschwindigkeit abnimmt. Die Wirkung der steigenden Zustellung wurde darauf zurückgeführt, dass deutlich mehr Abrasivkornner am Abtragsprozess beteiligt sind, wodurch sich der mittlere Druck pro Korn verringert.

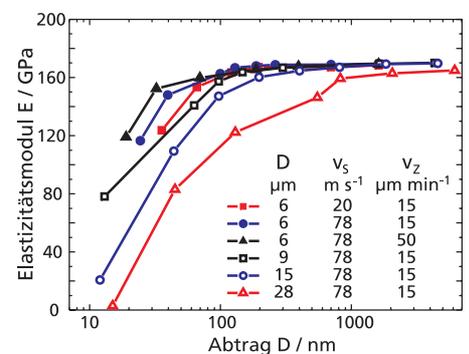


Abb. 1: Profile des Elastizitätsmoduls von Bearbeitungsrandschichten in Siliziumwafern, topfgeschliffen mit unterschiedlicher Abrasivkorngröße  $D$ , Schnittgeschwindigkeit  $v_s$  und Zustellung  $v_z$

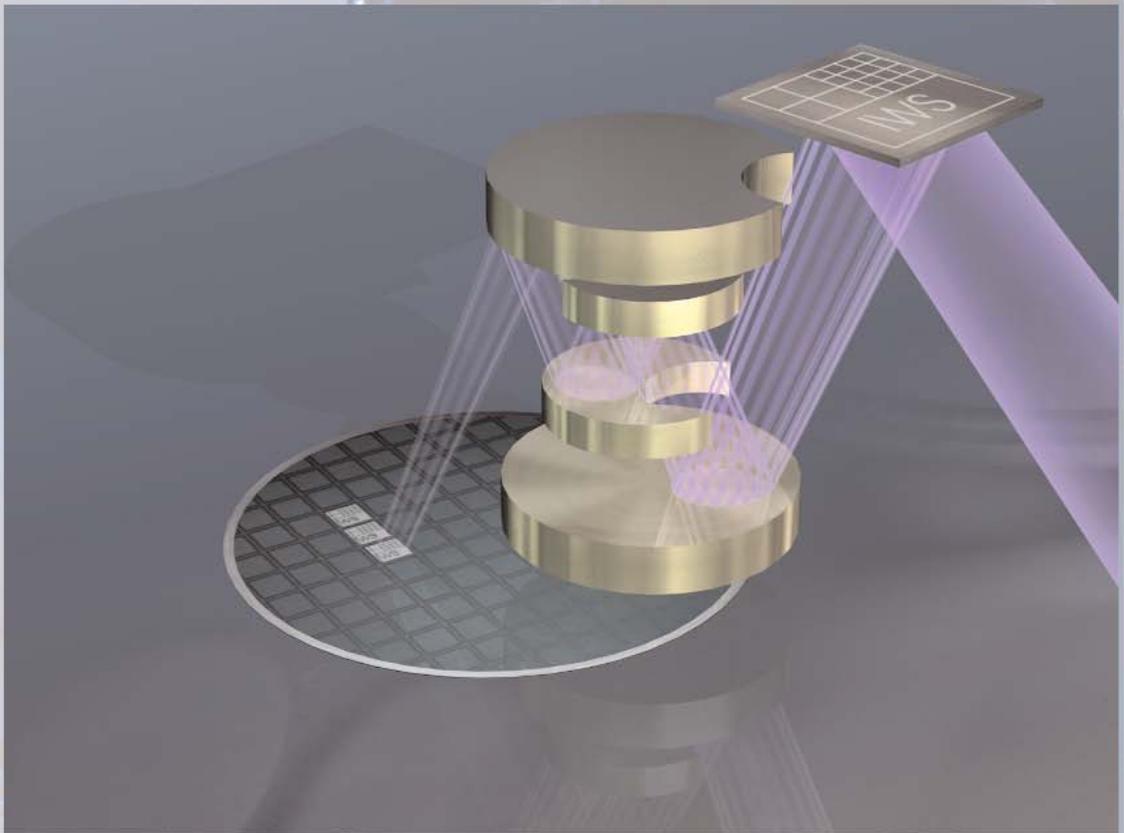
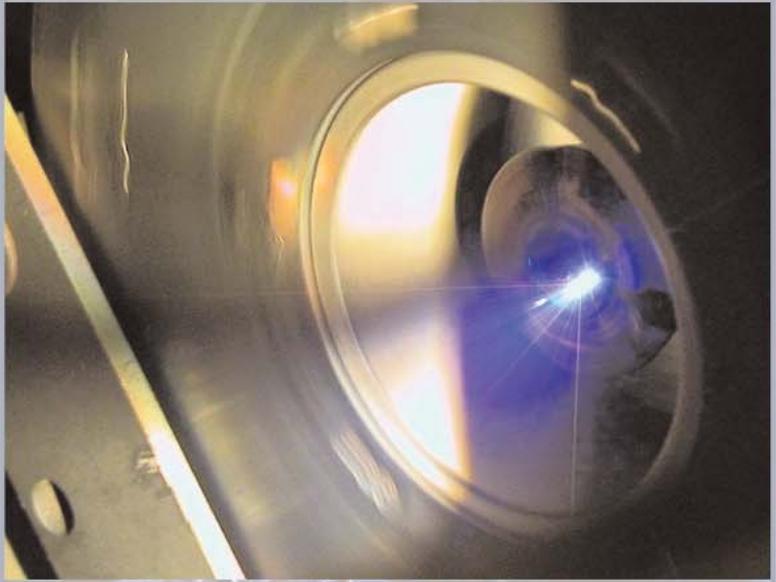


Abb. 2: Laserakustische Messapparatur zur Prüfung von Bearbeitungsrandschichten in Halbleiterwafern

### Ansprechpartner

Dr. Dieter Schneider  
Tel.: 0351 / 2583 451  
dieter.schneider@iws.fraunhofer.de





## Forschungs- und Entwicklungsangebot: Röntgen- und EUV-Optik

**Redaktion:** Ihre Abteilung befasst sich seit langem mit der Entwicklung ultra-präziser Multischichtsysteme vor allem für röntgenoptische Anwendungen. Welche neuen Entwicklungen hat es 2006 gegeben?

**Dr. Leson:** Wir haben vor allem unsere Kompetenzen bei der Genauigkeit, Zuverlässigkeit und der Reproduzierbarkeit der Beschichtungsverfahren, die wir einsetzen, ausgebaut. Dies ist insbesondere für Beschichtungen, die im EUV-Bereich eingesetzt werden, von zentraler Bedeutung. Aber auch bei anderen Anwendungen profitieren wir von den verbesserten Herstellungsmöglichkeiten.

**Redaktion:** Neben den Verfahren der Puls-Laser-Deposition und des Magneton-Sputterns ist das Ionenstrahlputtern als weiteres Beschichtungsverfahren in Ihrer Abteilung etabliert worden. Welche Vorteile bietet dieses Verfahren?

**Dr. Leson:** Mit dem Ionenstrahlputtern sind wir in der Lage, die Parameter, die für die Qualität der Beschichtung wesentlich sind, unabhängig voneinander einzustellen und zu kontrollieren. Damit ist es möglich, eine Vielzahl von Materialien mit hoher Präzision abzuscheiden. Dabei nutzen wir das Ionenstrahlputtern neben der Herstellung von Multischichten für Röntgenoptiken auch für andere Zwecke. So haben wir unter anderem damit dünne, flexible Wärmedämmschichten hergestellt, die sich durch eine hohe Belastbarkeit auszeichnen.

**Redaktion:** Neben den Präzisionsbeschichtungen befasst sich eine neue Gruppe Ihrer Abteilung mit Kohlenstoffröhrchen, den sogenannten Carbon-Nanotubes. Was zeichnet sie gegenüber den vielen anderen Gruppen aus, die sich damit befassen? Welches sind die Vorteile dieser Verfahren?

**Dr. Leson:** In der Tat befassen sich weltweit viele Gruppen mit der Herstellung von Carbon-Nanotubes und deren Einsatzmöglichkeiten, da diese eine Reihe faszinierender Eigenschaften besitzen. Ein zentrales Hemmnis ist dabei der extrem hohe Preis, da Carbon-Nanotubes bisher nur in geringen Mengen hergestellt werden können. Wir konzentrieren uns daher auf die Entwicklung von Herstellungsprozessen, die die preiswerte Herstellung von größeren Mengen erlauben. Dabei profitieren wir von unserem umfangreichen Know-how, das wir beim Einsatz gepulster Bogenentladungen besitzen. Erste Ergebnisse zur Herstellung einwandiger Carbon-Nanotubes sind sehr vielversprechend, so dass man auf die Zukunft gespannt sein darf.



*Alles Alte, soweit es Anspruch darauf hat, sollen wir lieben, aber für das Neue sollen wir recht eigentlich leben.*

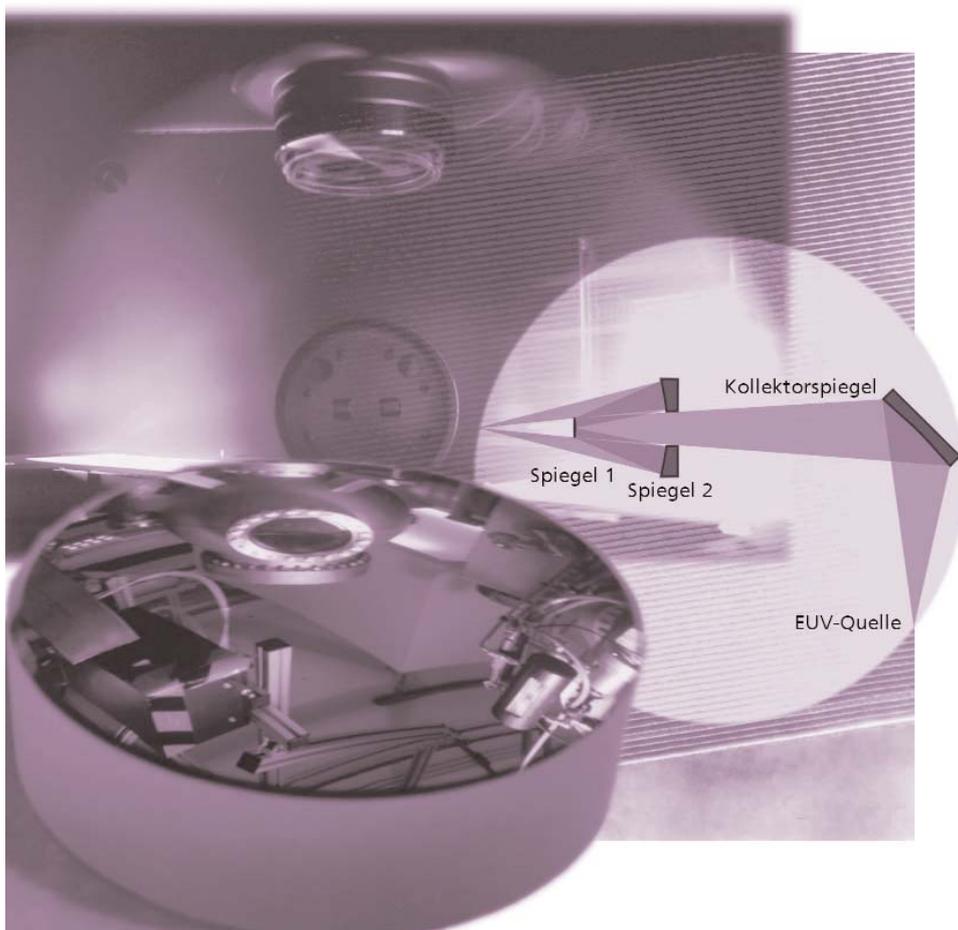
Theodor Fontane

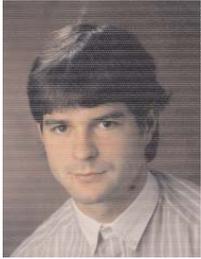


**Dr. Andreas Leson**  
Abteilungsleiter  
(Tel. 2583 317,  
andreas.leson@iws.fraunhofer.de)

### Beispiele aus den Arbeiten 2006

1. Herstellung großer Mengen einwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren 76
2. Verbesserte Röntgenoptiken für die Reflektometrie, Diffraktometrie und Spektroskopie 77
3. Molybdän/Silizium-Multischichten mit Pikometer-Präzision für die EUV-Lithographie 78
4. Großflächige Ionenstahl-Sputter-Deposition von Nanometer-Multischichten 79



**Dr. Stefan Braun**

Gruppenleiter Beschichtung  
(Tel. 2583 432,  
stefan.braun@iws.fraunhofer.de)

### Herstellung und Charakterisierung von Nanometer-Präzisionsschichten

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

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

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

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



Spiegel mit Reflexionsbeschichtung

**Dr. Oliver Jost**

Gruppenleiter Carbon-Nanotubes  
(Tel. 2583 477,  
oliver.jost@iws.fraunhofer.de)

### 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 Matriceigenschaften 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

## Herstellung großer Mengen einwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren

### Aufgabenstellung

Einwandige Kohlenstoff-Nanoröhren (Carbon-Nanotubes) weisen Eigenschaftsweltrekorde physikalischer, mechanischer und elektrischer Eigenschaften auf. Auf unterschiedlichsten Gebieten sollen daher in Zukunft diese Materialien eingesetzt werden. Dazu gehören Sensoren, programmierbare Leiter, Transistoren und Emitter elektromagnetischer Strahlung sowie Materialverbünde mit Polymeren und anderen Werkstoffen. Die besondere Engstelle für den Einsatz der Kohlenstoff-Nanoröhren in Hochtechnologieprodukten liegt aber in der herstellbaren Menge (einige Gramm je Tag) und damit konsequenterweise beim Preis, der immer noch höher als der von Diamant liegt. Hier ergab sich die ehrgeizige Aufgabenstellung für das Fraunhofer IWS, als erster Hersteller weltweit einen gut skalierbaren Weg zu finden, um größere Mengen dieser einwandigen Nanoröhren herstellen zu können - bei gleichzeitiger Bewahrung der besonderen Röhreneigenschaften.

### Lösungsweg

Weltweit wird intensiv an CVD-Verfahren zur Herstellung von Carbon-Nanotubes geforscht - mit bislang überschaubarem Erfolg sowohl bei der hergestellten Menge als auch der Qualität (Defektdichte). Aus diesem Grunde wurden als alternative Prozessvarianten die Herstellung mittels Laserverdampfung und Lichtbogenentladung ausgewählt. Beide Verfahren sind seit Jahren am Fraunhofer IWS etabliert, auch die angestrebte Kombination beider Prozesse zum sogenannten Laser-Arc-Verfahren, das die Vorteile des Laserverfahrens (hohe Ausbeute an Carbon-Nanotubes mit geringer Defektdichte)

mit den Vorteilen des Lichtbogenverfahrens (große Menge verdampften Materials) verbinden soll. Die am Fraunhofer IWS vorhandene Nanoanalytik (Raman mit zwei Laserlinien, UV-Vis-NIR Spektroskopie, REM, AFM, LSM und TEM) ist bei der Optimierung sehr hilfreich.

### Ergebnisse

Erhebliche Fortschritte konnten in den laufenden Untersuchungen mit dem gepulsten Lichtbogenverfahren erzielt werden. Prinzipielle wissenschaftliche Probleme wurden gelöst. Pro Minute können etwa 120 mg Carbon-Nanotube-haltiges Material mit hohem Nanoröhren-Anteil zum Zeitpunkt Dezember 2006 hergestellt werden. Umgerechnet entspricht dies einer Ausbeute von ca. 2 g reiner, einwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren je Stunde Nettoproduktionszeit, die mittels einer robusten, schonenden und skalierbaren Reinigungsmethode aus dem Rohmaterial erhalten werden können. Technologische Optimierungen sind derzeit in Ausführung begriffen, um die Mengen und die Ausbeute zu erhöhen. Das Nahziel für 2007 besteht in der Herstellung von 100 g h<sup>-1</sup> reiner einwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren. Das kann jedoch nur ein erster Schritt sein. Ziel ist die Entwicklung einer Technologie, die die Herstellung von Carbon-Nanotubes im Tonnenmaßstab erlaubt.



Abb. 1: Makroskopische Netze, bestehend aus Bündeln von Kohlenstoff-Nanoröhren

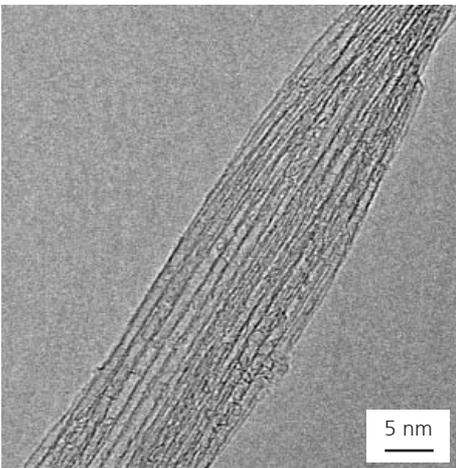
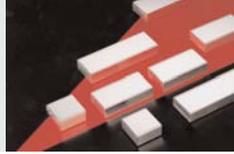


Abb. 2: Bündel aus Kohlenstoff-Nanoröhren (mikroskopisch)



Ansprechpartner

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



## Verbesserte Röntgenoptiken für die Reflektometrie, Diffraktometrie und Spektroskopie

### Aufgabenstellung

Auf Nanometer-Multschichten basierende röntgenoptische Systeme werden in einer Reihe von Anwendungen benutzt. Beispiele hierfür sind die Röntgenreflektometrie (XRR) und -beugung (XRD) oder die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA). Ein Vorteil der Nanometer-Multschichtoptiken ist es, über die Einzelschichtdicken den Abstand der Reflexionsebenen beliebig einstellen und damit den Reflexionswinkel gemäß der Braggschen Gleichung variieren und Strahlformung realisieren zu können (Abb. 3).

Für die effektivere Ausnutzung der von der Röntgenquelle oder von der untersuchten Probe emittierten Strahlung wurden im Verlauf der letzten Jahre zunehmend komplexere Optiksysteme entwickelt, z. B. der Einsatz mehrfach gekrümmter Spiegelgeometrien oder von Multschichten geringster Periodendicke für hohe Reflexionswinkel. Mit beiden Maßnahmen lässt sich ein vergrößerter Raumwinkelbereich der im Allgemeinen in alle Richtungen emittierenden Quelle ausnutzen.

Die Kombination aus gekrümmten Oberflächen und darauf aufzubringenden dünnsten Nanometerschichten mit Rauheitsanforderungen im Angströmbereich stellt technologisch eine Herausforderung dar und ist mit konventionellen Beschichtungsverfahren praktisch nicht beherrschbar.

### Lösungsweg

Die Ionenstrahlspalterbeschichtung zeichnet sich gegenüber alternativen Vakuum-Beschichtungsverfahren durch höhere kinetische Energien im Schichtwachstumsprozess aus. Speziell für Schichtmaterialien mit hoher Neigung zur Inselbildung oder bei ungün-

stigen Auftreffwinkeln der kondensierenden Teilchen auf der Substratoberfläche können trotzdem ausreichend glatte Grenzflächen und Schichtstapel erzeugt werden. Weiterhin spielen auch Fragen der Ausgangsrauheit der unbeschichteten Substrate eine entscheidende Rolle, da diese speziell im gekrümmten Fall sehr schwer (resp. teuer) zu polieren sind. Durch die erhöhte Glättungswirkung des Ionenstrahlspalterprozesses können einfachere, rauhere Substrate trotzdem zu guten Reflexionswerten führen.

### Ergebnisse

In der Ionenstrahlspalteranlage »IonSys 1600« wurden beispielhaft Ni/B<sub>4</sub>C-Multschichten auf polierten Si-Wafern abgeschieden. Abb. 1 zeigt die Ergebnisse von Röntgen-Reflexionsmessungen an einer 170fach-Multschicht mit einem linearen Periodendickenverlauf  $d_p$  im Bereich von 2,0 bis 3,5 nm. Mit abnehmender Periodendicke stellt sich erwartungsgemäß auch ein abnehmender Reflexionsgrad ein. Jedoch selbst bei  $d_p = 2,0$  nm ( $d_{Ni} = 0,8$  nm) konnte noch ein Wert von  $R_{Cu-K\alpha} \approx 50\%$  erzielt werden (Abb. 2). Die Interfacebreiten der Schichtübergänge im Stapel liegen hierbei im Bereich von  $\sigma = 0,28$  nm ( $d_p = 3,2$  nm) bis  $\sigma = 0,36$  nm ( $d_p = 2,0$  nm).

Die Fähigkeit, lateral gradierte Multschichten des Systems Ni/B<sub>4</sub>C mit Periodendicken bis hinab zu 2 nm bei Substratgrößen von 8" Durchmesser abzuscheiden, eröffnet qualitativ neue Möglichkeiten für die Herstellung strahlformender Röntgenoptiken.

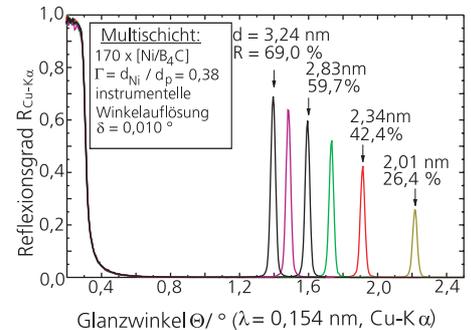


Abb. 1: Cu-K $\alpha$ -Reflektogramme einer gradierten Ni/B<sub>4</sub>C-Multschicht

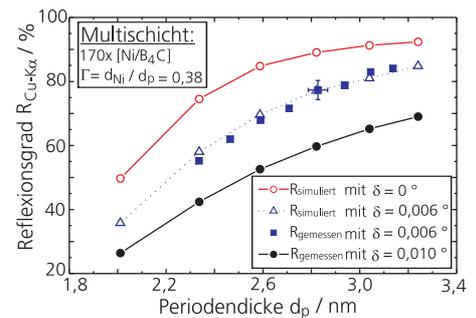


Abb. 2: Reflexionsgrad von Ni/B<sub>4</sub>C-Multschichten bei verschiedenen Periodendicken, volle Symbole: Messungen, offene Symbole: Berechnungen mit angepassten  $\delta$ -Werten (instrumentelle Geräteauflösung der Reflektometer)

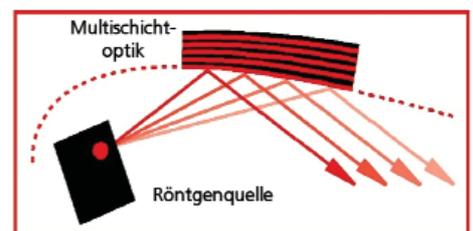


Abb. 3: Prinzip der Strahlformung mit Multschicht-Röntgenoptiken

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Peter Gawlitza

Tel.: 0351 / 2583 431

peter.gawlitza@iws.fraunhofer.de



## Molybdän/Silizium-Multischichten mit Pikometer-Präzision für die EUV-Lithographie

### Aufgabenstellung

Die in der Halbleiterindustrie zur Belichtung von Schaltkreisstrukturen eingesetzte optische Lithographie erfordert den regelmäßigen Übergang zu immer kürzeren Wellenlängen. Nur so kann das sogenannte MOOREsche Gesetz eingehalten werden, nach dem sich die Strukturdichte auf den Chips aller 18 Monate verdoppelt.

Ein aussichtsreiches Verfahren der nächsten Generation zur Abbildung von integrierten Schaltkreisen ist die Extrem-Ultraviolett-Lithographie (EUVL). Bei der EUVL wird Licht mit einer Wellenlänge von 13,5 nm genutzt. Dies erfordert den Einsatz von Optiken, die in Reflexion betrieben werden.

Die Reflexionsschichten, Nanometer-Multschichten der Kombination Molybdän/Silizium (Mo/Si), müssen mit hohem Reflexionsgrad und geringsten Eigenspannungen äußerst präzise auf hochpolierten Substraten abgeschieden werden. Insbesondere geht es darum, die vorgegebenen Absolutschichtdicken und Schichtdickengradienten mit höchstmöglicher Genauigkeit einzuhalten.

### Lösungsweg

Zur Herstellung von Mo/Si-Multischichten werden im IWS die Technologien der Magnetron- und Ionenstrahl-Sputter-Deposition (MSD und IBSD) eingesetzt. Die höchsten Reflexionsgrade und Genauigkeiten wurden bisher mit der MSD erreicht. Die Evaluierung der aktuellen Grenzen der Sputtertechnologie erfolgte daher mit diesem Verfahren.

Bei der MSD werden die Absolutdicken und die Dickenverteilungen der auf dem Substrat abzuschneidenden Multischichten ausschließlich über die Zeit gesteuert. Während der Beschichtung erfolgt keine Kontrolle der Schichteigenschaften. Folglich müssen alle Prozessbedingungen äußerst konstant gehalten werden.

Durch Verbesserungen der mechanischen, elektrischen und Steuerungskomponenten der Beschichtungsanlage war so eine deutliche Steigerung von Genauigkeit und Reproduzierbarkeit möglich.

### Ergebnisse

Zum Nachweis der verbesserten Reproduzierbarkeit der Absolutschichtdicken von einem Durchlauf zum nächsten wurde eine Serie von 10 Spiegeln mit nominell identischen Beschichtungsparametern hergestellt. Die Bestimmung der Periodendicken  $d_p$  der einzelnen Multischichten erfolgte durch zwei unabhängige Verfahren mittels Cu-K $\alpha$ - und EUV-Reflektometrie. Beide Verfahren liefern eine relative Standardabweichung  $\sigma_r$  der Messwerte von weniger als 0,06 % (Abb. 1). Dies entspricht einer Streuung der Periodendicken um lediglich 4,2 Pikometer!

Ein weiteres wichtiges Kriterium der Reflexionsbeschichtungen ist die Genauigkeit des erzielten Schichtdickengradienten. Fehler des Gradienten wirken sich direkt als Abbildungsfehler der gesamten Optik aus. Mit den ausgeführten Optimierungsschritten konnte der nichtkorrigierbare Restfehler auf unter 0,02 % gesenkt werden (Abb. 2). Dies ist äquivalent zu einem Absolutwert von rund 1,4 Pikometern!

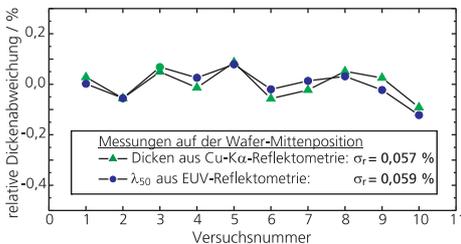


Abb. 1: Reproduzierbarkeit der Schichtdicken von 10 identisch hergestellten Mo/Si-Multischichten

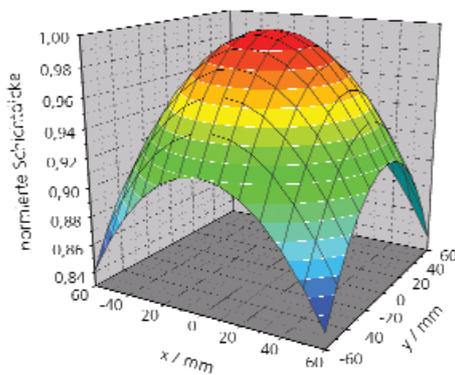


Abb. 2: Darstellung eines typischen Schichtdickengradienten

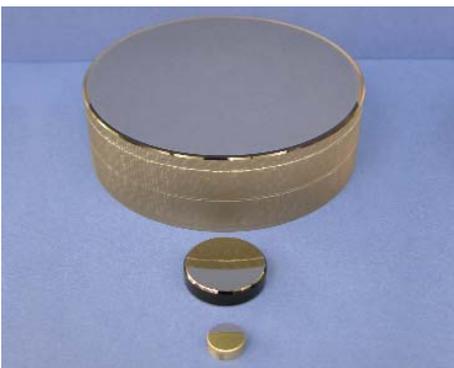


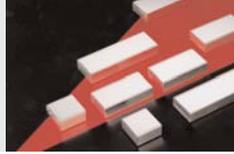
Abb. 3: EUV-Spiegel, beschichtet mit Mo/Si-Multischichten



Ansprechpartner

Dr. Stefan Braun  
Tel.: 0351 / 2583 432

stefan.braun@iws.fraunhofer.de



## Großflächige Ionenstrahl-Sputter-Deposition von Nanometer-Multischichten

### Aufgabenstellung

Nanometer-Multischichten für optische Anwendungen in einem breiten Wellenlängenbereich von Röntgenstrahlung bis hin zum Infrarot, aber auch für thermische und elektrische Einsatzgebiete erfordern in den meisten Fällen sowohl glatte als auch möglichst scharfe Übergänge der charakteristischen Eigenschaften an den Einzelschicht-Grenzflächen. Insbesondere sind die energetischen Wachstumsbedingungen der kondensierenden Partikel bei der Rauheitsausbildung zwischen den Schichten wichtig. Im Hinblick auf die Entwicklung industrietauglicher Beschichtungstechnologien spielen zudem die Skalierbarkeit des Verfahrens und seine Präzision und Reproduzierbarkeit auf hinreichend großen Flächen eine entscheidende Rolle.

### Lösungsweg

Die Ionenstrahlsputterbeschichtung (IBSD) zeichnet sich gegenüber alternativen Vakuum-Beschichtungstechniken wie Verdampfung oder Magnetronsputtern durch höhere kinetische Energien der schichtbildenden Teilchen aus. Damit lassen sich qualitativ hochwertige dichte, glatte und defektfreie Schichten herstellen. Neueste Ionenquellenentwicklungen hin zu mehr Prozessstabilität und -reproduzierbarkeit, aber auch zu größeren Geometrien machen den Einsatz der Technik für die Abscheidung von Nanometer-Multischichtsystemen höchster Präzisionsanforderung attraktiv.

Mit dem Aufbau einer Ionenstrahlsputterbeschichtungsanlage »IonSys 1600« (Abb. 3) wurde am IWS die Möglichkeit geschaffen, Multischichten aus

einer Vielzahl von Materialien auch mit schwierigem Wachstumsverhalten und mit hohen Anforderungen hinsichtlich Reinheit, chemischer Zusammensetzung oder Struktur herzustellen.

### Ergebnisse

Nanometer-Multischichten auf Substraten mit Größen bis zu einem Durchmesser von 200 mm (rund) und 100 x 500 mm<sup>2</sup> (rechteckig) wurden auf der »IonSys 1600« beschichtet. Dabei konnten Dickenabweichungen kleiner als 0,1 % über die gesamte Beschichtungsfläche realisiert werden. Abb. 2 zeigt beispielhaft eine 310 mm-Synchrotronoptik, die mittels IBSD halbseitig mit einer 120fach-Mo/Si-Multischicht versehen wurde und auf der optisch aktiven Fläche von 10 x 300 mm<sup>2</sup> eine Dickenhomogenität von 99,96 % aufweist.

Durch Verwendung verschiedenster Targetmaterialien (Al, B<sub>4</sub>C, C, Cr, Mo, Ni, Si, Ti, W, Zr), z. T. unter Einsatz von Reaktivgas (z. B. O<sub>2</sub>), wurde ein breites Spektrum an Multischichtsystemen bearbeitet. Problemlos können so z. B. metallische mit dielektrischen Schichten abgewechselt werden.

Ein weiteres Beispiel für die Qualität der erzeugten Nanometer-Multischichten des Systems Mo/Si zeigt Abb. 1. Bei einer Periodendicke von ca. 7 nm, wie sie typischerweise in Optiken der EUV-Lithographie verwendet wird, konnten EUV-Reflexionsgrade von  $R_{\text{EUV}} = 68,0 \%$  erzielt werden. Dies ist nur durch hohe Regelmäßigkeit und die geringe Durchmischung der Einzelschichten möglich.

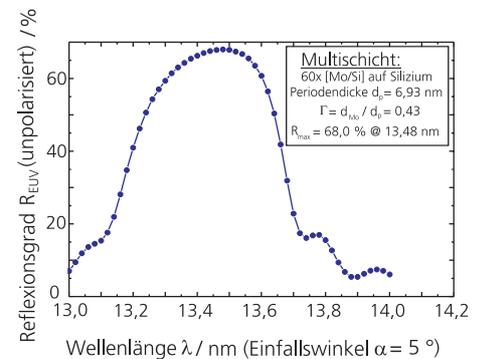


Abb. 1: EUV-Reflektogramm einer 60fach-Mo/Si-Multischicht



Abb. 2: Halbseitig Gold- und Mo/Si-beschichtete 310 mm-Optik



Abb. 3: Ionenstrahlsputterbeschichtungsanlage »IonSys 1600«

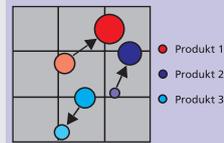
Ansprechpartner

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

peter.gawlitza@iws.fraunhofer.de







## Angebot: Marketing



**Dr. Carsten Krautz**  
Abteilungsleiter  
(Tel. 2583 332,  
carsten.krautz@iws.fraunhofer.de)



**Dr. Ralf Jäckel**  
Gruppenleiter Kommunikation  
(Tel. 2583 444,  
ralf.jaeckel@iws.fraunhofer.de)



**Dr. Siegfried Völlmar**  
Gruppenleiter Medientechnik  
(Tel. 2583 434,  
siegfried.voellmar@iws.fraunhofer.de)

### Externe und interne Kommunikation

Die Aufgaben der Gruppe Kommunikation innerhalb der Abteilung Marketing umfassen insbesondere folgende Bereiche der externen und internen Kommunikation:

- Bearbeitung von Kundenanfragen,
- Messe- und Veranstaltungsorganisation, auch für Partner des IWS,
- Erstellung und Aktualisierung von Printmedien,
- Erstellung und Aktualisierung von elektronischen Medien, auch für unsere Kunden,
- produktspezifisches Marketing,
- Patentrecherchen, die auch den Vertragspartnern des IWS angeboten werden.

Ferner unterstützen die Marketingmitarbeiter die Fachabteilungen bei Entscheidungen in Fragen des strategischen Marketings sowie der nationalen und internationalen Forschungsförderung. Im vergangenen Jahr wurden insbesondere die Aktivitäten im Bereich des produktspezifischen Marketings verstärkt.

### Kompetenz-Zentrum Multimedia

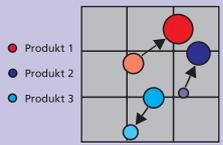
Die Vermittlung der Forschungs- und Entwicklungsergebnisse des IWS erfordert wegen des komplexen Charakters der technologischen, werkstoffwissenschaftlichen und physikalischen Zusammenhänge häufig den Einsatz aller Möglichkeiten der modernen Kommunikationstechnik. Durch Kombination von Text, Bild, Video und Audio können auch unsichtbare oder sehr schnell ablaufende Vorgänge veranschaulicht werden. Von besonderer Bedeutung ist das bei sicherheitsrelevanten Prozessen.

Folgende Dienstleistungen werden von der Gruppe angeboten:

- Herstellung von Akquisitionsmaterial zu Technologien und Produkten,
- Gestaltung von Präsentationen,
- Photo- und Videoaufnahmen mit modernster digitaler Technik,
- Aufzeichnung wissenschaftlicher Veranstaltungen und Wiedergabe als Live-Präsentation oder interaktiv bedienbare CD-ROM,
- Umsetzung physikalisch-technischer Abläufe in 3D-Simulationen,
- Entwicklungsarbeiten zur Bereitstellung moderner Werkzeuge der »virtual reality« und »augmented reality« für die technologische Forschung,
- Aufbau eines Systems von Weiterbildungsveranstaltungen zur Laser- und Oberflächentechnik.

### Beispiele aus den Arbeiten 2006

1. Angewandte Medientechnik als Dienstleistung in der Laser-Materialbearbeitung und Oberflächentechnik 82
2. »SimCoat« - Optimierung der PVD-Beschichtung durch Simulation 83



## Angewandte Medientechnik als Dienstleistung in der Laser-Materialbearbeitung und Oberflächentechnik



Abb. 1: CD mit aufgezeichneten Vorträgen des Workshops zum Thema »Neue Rapid Technologien«

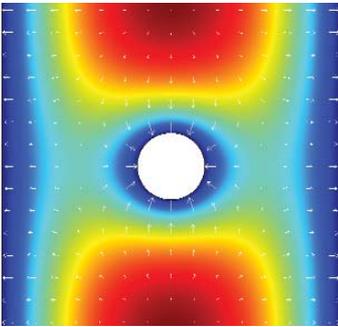


Abb. 2: FEM-Berechnung eines Temperaturfeldes



Abb. 3: Dreidimensionale Darstellung in der virtuellen Installation

### Tätigkeitsfeld

Die Gruppe Medientechnik beschäftigt sich mit den Bereichen der digitalen Medien unter Anwendung moderner Hard- und Software. Das Spektrum reicht von zweidimensionaler Bildbearbeitung bis hin zur Betreuung von komplexen dreidimensionalen virtuellen Installationen. Der Einsatz erfolgt sowohl projektbezogen nach Kundenwünschen als auch als Dienstleistung zur Unterstützung der Projektbearbeitung durch die Fachabteilungen.

### Multimediale Dienstleistung

Als multimediale Dienstleistung bietet die Arbeitsgruppe das Erstellen und Bearbeiten von Präsentationen, Datenträgern und Internetseiten an. Neben animierten zwei- und dreidimensionalen Grafiken finden auch durch moderne Aufnahmetechnik erzeugte Prozessvideos Verwendung. Je nach Einsatzgebiet erfolgt eine professionelle Vertonung z. B. durch Sprecher. Das Zusammenführen und Bearbeiten aller Medienströme erfolgt an einem speziell ausgerüsteten Multimedia-Arbeitsplatz, der z. B. für Videoschnitt oder DVD-Authoring verwendet werden kann.

Verfügbare fertiggestellte Produkte sind CD-Präsentationen zu Projektergebnissen und industriellen Lösungen. Desweiteren wurden zurückliegende Vortragsreihen aus Workshops und Veranstaltungen, die im Auftrag von anderen Einrichtungen organisiert wurden, multimedial aufbereitet und können nachbestellt werden z. B. für die Veranstaltung zum Thema »Neue Rapid

Technologien« (Abb. 1). Für Lehr- und Lernzwecke wurde die Software »Lasersicherheit« entwickelt, die zum Training im sicheren Umgang mit dem Laser dient. Die Software »Laserlexikon« dient als Nachschlagewerk für den Bereich Laser-Materialbearbeitung. Alle multimedialen Produkte können über das Internet bestellt werden ([www.laserlexikon.de](http://www.laserlexikon.de), [www.lasersicherheit.de](http://www.lasersicherheit.de)).

### Softwareentwicklung und -anwendung

Im Bereich Softwareentwicklung beschäftigt sich die Arbeitsgruppe mit der systematischen Herstellung von Softwareprodukten. Neben der Entwicklung von komplexen dreidimensionalen Simulationsprogrammen für die Laser-Materialbearbeitung und Oberflächentechnik erfolgt ebenfalls die Entwicklung von Systemschnittstellen, z. B. zur Steuerung von virtuellen Robotercontrollern oder zur Verteilung von Inhalten in virtuellen Installationen.

Für komplexe physikalische Probleme erfolgt die Modellierung mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode unter Einsatz des kommerziellen Softwarepaketes »Comsol Multiphysics« (Abb. 2). Mit diesem lässt sich eine Vielzahl von physikalischen Vorgängen simulieren, die sich mittels Differentialgleichungen beschreiben lassen.

### Hardwareinstallationen

Neben der klassischen Darstellung auf Desktopsystemen werden auch komplexe multimediale Installationen verwendet. In einer virtuellen Installation können Anlagen und Prozesse dreidimensional dargestellt werden (Abb. 3). Die 3-Seiten-CAVE ermöglicht eine immersive Abbildung der realen Zusammenhänge und erlaubt dem Benutzer ein freies und unabhängiges Interagieren im dreidimensionalen Raum.

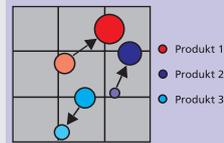


Ansprechpartner

Dipl.-Softwaretechnologe  
Daniel Römer

Tel.: 0351 / 2583 357

[daniel.roemer@iws.fraunhofer.de](mailto:daniel.roemer@iws.fraunhofer.de)



## »SimCoat« - Optimierung der PVD-Beschichtung durch Simulation

### Aufgabenstellung

Als dominierendes Verfahren zur industriellen Abscheidung tribologischer harter Schutzschichten hat sich die Vakuumbogenbeschichtung durchgesetzt. Die in der industriellen Praxis verwendeten Beschichtungsanlagen können mit sehr vielen Bauteilen bestückt werden (Abb. 1). Zusätzlich müssen die Schichten bestimmten Qualitätsanforderungen genügen. Dies versucht man durch einen entsprechenden Anlagenaufbau und Bewegungsablauf zu erreichen. Speziell zur Optimierung des Beschichtungsprozesses unter Berücksichtigung der jeweiligen Ausgangsparameter wurde das Programmsystem »SimCoat« entwickelt. Die theoretische Modellbildung erfolgt in Zusammenarbeit mit der Gruppe Kohlenstoffschichten.

### Lösungsweg

Bei der Beschichtung treffen Teilchen (z. B. Kohlenstoff) des hochionisierten Beschichtungsplasmas mit hoher Energie auf das Bauteil. Das daraus resultierende lagenweise Wachstum und die Schichteigenschaften hängen im Wesentlichen von den Bedingungen in der Beschichtungskammer ab. In der Simulation müssen deshalb die geometrischen und kinematischen Gegebenheiten der jeweiligen Beschichtungsanlage so realitätsnah wie erforderlich abgebildet werden. Durch zahlreiche Parameter kann die Simulation entsprechend konfiguriert werden. Die Bestückung der virtuellen Anlage erfolgt über benutzerfreundliche Dialoge, mit denen die Bauteilmodelle platziert werden. Da diese aus unterschiedlichen Datenquellen stammen können, gibt es entsprechende Werkzeuge, um die Modelle simulationsgerecht vorzubereiten. Während der Simulationsrechnung werden schrittweise alle notwendigen Parameter für

eine anschließende physikalische Auswertung bestimmt, z. B. Abstände und Winkelbeziehungen von der Quelle zum jeweiligen Bauteil. Zusätzlich werden mögliche Abschattungs- und Hinterschneidungseffekte berücksichtigt. Der daraus resultierende Datensatz kann im anschließenden Postprocessing anhand verschiedener physikalischer Modelle ausgewertet werden (z. B. Subplantation als Schichtbildungsmodell).

### Ergebnisse

In der Auswertung lässt sich eine Vielzahl von Problemstellungen beantworten, die eine Optimierung des Beschichtungsprozesses ermöglichen. Zunächst wird die Schichtdickenverteilung an der Bauteiloberfläche berechnet (Abb. 2). Daraus kann man Rückschlüsse auf die Qualität der Schicht ziehen, z. B. anhand der resultierenden Schichthomogenität oder der maximalen Schichtdicke. An ausgewählten Stellen der Oberfläche ist es zusätzlich möglich, die jeweilige Multischichtstruktur mit Schichtdicken und Morphologie zu betrachten. Um die Ursachen einer entsprechenden Schichtdickenverteilung zu kennen, kann der jeweilige Eintrag der Plasmaquellen berechnet werden (Abb. 3). Da ein Energieeintrag mit einem Temperaturanstieg verbunden ist, kann dieser mit Hilfe eines Moduls zur Temperaturfeldberechnung analysiert werden.

Durch den Erkenntnisgewinn bezüglich gewählter Bestückung, Qualität der Schicht, Auswahl und Platzierung der Plasmaquellen und Prozessgrenzen (z. B. Temperatur) lassen sich Rückschlüsse auf die Ausgangsparameter ziehen, wodurch ein kontinuierlicher Optimierungsprozess möglich wird.

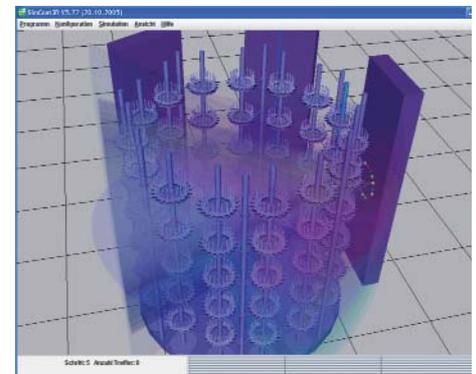


Abb. 1: Virtuelle Abbildung der Beschichtungsanlage - Demonstrator ta-C Beschichtung

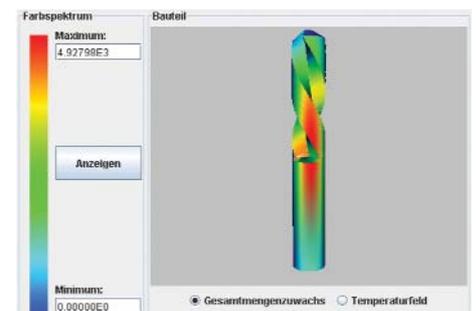


Abb. 2: Schichtdickenverteilung in Falschfarben

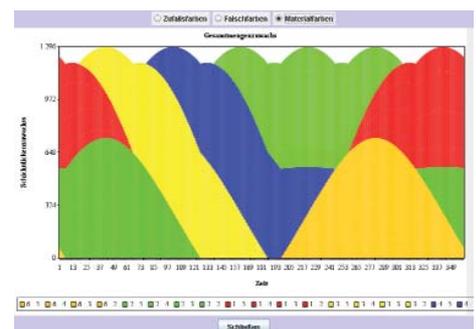
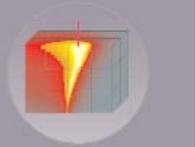


Abb. 3: Farblich kodierter Quelleneintrag in zeitlicher Abfolge

### Ansprechpartner

Dipl.-Softwaretechnologe  
Daniel Römer  
Tel.: 0351 / 2583 357  
daniel.roemer@iws.fraunhofer.de





## Forschungs- und Entwicklungsangebot: Simulation und Grundlagen



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



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

### Prozess-Simulation und Software- entwicklung für die Lasermaterial- bearbeitung

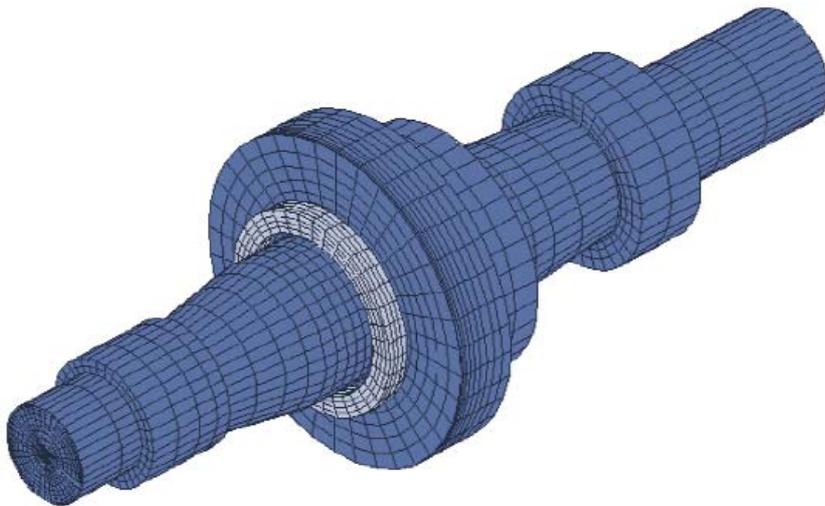
»Probieren geht über Studieren«, sagt der Volksmund, doch bei modernen Hochtechnologien kann Probieren sehr teuer werden. Ein möglichst tiefgehendes Verständnis der in der Prozesszone ablaufenden Vorgänge erleichtert nicht nur die Weiterentwicklung und Optimierung von Verfahren der Lasermaterialbearbeitung und Beschichtung, sondern spart auch Kosten in der Produktionsvorbereitung. Daher gehört im

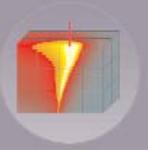
### Beispiele aus den Arbeiten 2006

1. Berechnung der Eigenspannungsverteilung an durch Laser-Pulver-Auftragsschweißen erzeugten Schichten 85
2. Ausbildung thermoelektrischer Ströme beim Laserstrahlschweißen 86

IWS zur Verfahrensentwicklung und -weiterentwicklung in zunehmendem Maße auch die Prozessmodellierung bis hin zur Entwicklung produktions-tauglicher Software (z. B. Laserhärten, Laser-Pulver-Auftragschweißen).

Modellgestützte Abschätzungen erleichtern oft die Prognose, ob und mit welchen Mitteln konkrete Kundenwünsche erfüllt werden können (Machbarkeitsstudien) und unterstützen die Ermittlung von geeigneten Prozessfenstern. Analytische Approximationen und Modellexperimente gehören ebenfalls zum methodischen Repertoire des IWS. Sie dienen dazu, grundlegende physikalische Prozesse bei der Lasermaterialbearbeitung zu visualisieren und einer detaillierten Analyse zugänglich zu machen; z. B. die Schmelzbadkonvektion und ihre Beeinflussung durch elektromagnetische Felder. Mittels dieser Methoden und in Verknüpfung mit experimentellen Ergebnissen können auch wichtige, aber bisher unbekannte Materialparameter für Bearbeitungsverfahren bestimmt werden, z. B. Absorptionsgrade technischer Oberflächen.





## Berechnung der Eigenspannungsverteilung an durch Laser-Pulver-Auftragsschweißen erzeugten Schichten

### Aufgabenstellung

Das Laser-Pulver-Auftragsschweißen wird hauptsächlich zur Erzeugung von Verschleiß- und Korrosionsschutzschichten und zum Volumenaufbau beim Rapid Prototyping eingesetzt. Dabei wird der durch eine Pulverdüse zugeführte Zusatzwerkstoff mit Hilfe eines laserinduzierten Schmelzbades fest mit dem Substrat verschweißt. Die während der Abkühlung in der aufgetragenen Schicht entstehenden Zugspannungen können zu Rissbildung und Delamination führen (Abb. 1).

Oftmals werden diese Zugspannungen noch durch Phasenumwandlungen im Substrat verstärkt, die mit Dichteänderungen verbunden sind (Martensit). Um die Rissbildungsgefahr zu reduzieren, ist die Prozessführung so zu modifizieren, dass niedrigere Eigenspannungen entstehen und die plastische Verformung hauptsächlich bei höheren Temperaturen erfolgt.

Um den Einfluss der Prozessparameter auf Eigenspannungen, Verzug und Rissbildungsgefahr abschätzen zu können, sind sowohl die Spannungsentwicklung bei der Erzeugung einer Einzelraupe als auch die Modifizierung dieses Spannungszustandes durch nachfolgende überlappende Raupen zu untersuchen.

### Lösungsweg

Die Berechnung von Eigenspannungsverteilungen in laserauftraggeschweißten Schichten erfolgt im IWS in drei Schritten:

1. Ermittlung der zur Erzeugung einer Einzelraupe mit gegebener Geometrie nötigen Prozessparameterwerte und des dabei entstehenden Temperaturfeldes mit dem Simulationstool LAVA,

2. Berechnung der Spannungsentwicklung in einer Einzelraupe (unter Verwendung der zuvor berechneten Prozessparameter) mit einem kommerziellen FEM-Programm,
3. Untersuchung des Einflusses überlappender Folgeraupen auf die Spannungsverteilung in bereits existierenden Raupen.

Damit kann der Einfluss der Prozessführung sowie der Größe und der Überlappung der Schweißraupen auf die Spannungsverteilung in auftraggeschweißten Schichten untersucht werden.

### Ergebnisse

Bei einer Einzelraupe führt die thermische Kontraktion des flüssig aufgetragenen Zusatzwerkstoffes zu Zugspannungen ( $\sigma_{yy} > 0$ ) in der Schicht und überwiegend zu Druckspannungen im Substrat (Abb. 2).

Bei aus mehreren überlappenden Raupen gebildeten Schichten kommt es aufgrund der Vorwärmung durch vorangegangene Raupen, des Wiederaufheizens bereits aufgetragener Schweißraupen und deren mechanischer Wechselwirkung zu Veränderungen der Gefüge- und Spannungsverteilung. Insbesondere an den Grenzflächen zwischen Substrat und Schicht sowie zwischen den einzelnen Schweißraupen treten hohe Zugspannungen auf, die an derartigen Stellen zu Rissen führen können.

Im weiteren soll mit Hilfe von Parameterstudien untersucht werden, wie diese Spannungen durch geeignete Wahl der Prozessparameter und ggf. durch induktives Vor- oder Nachwärmen verkleinert werden können.

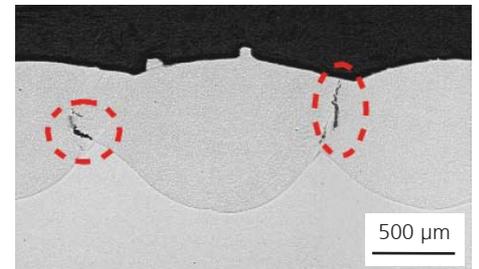


Abb. 1: Rissbildung in einer auftragsgeschweißten Schicht

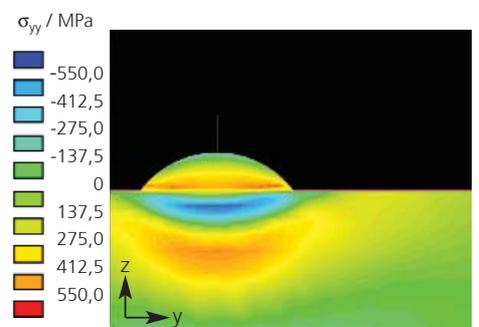


Abb. 2: Querspannungsverteilung  $\sigma_{yy}$  ( $y, z$ ) in einer Einzelraupe und ihrer Umgebung im Querschnitt (Stellit 21 auf Stahl C45)

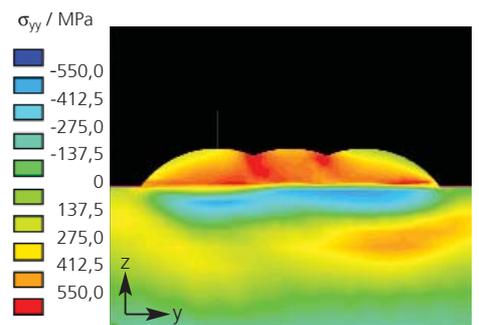


Abb. 3: Querspannungsverteilung  $\sigma_{yy}$  ( $y, z$ ) bei drei benachbarten Schweißraupen (Überlappungsgrad von 40 %)

Ansprechpartner

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

frank.brueckner@iws.fraunhofer.de





## Ausbildung thermoelektrischer Ströme beim Laserstrahlschweißen

### Aufgabenstellung

Um beim Laserstrahlschweißen höhere Schweißgeschwindigkeiten und / oder bessere Nahtqualitäten zu erzielen, können externe statische Magnetfelder eingesetzt werden. Der prinzipielle Erfolg dieser Methode wurde in Schweißexperimenten an Feinkornbaustählen und Aluminiumlegierungen gezeigt: ein Schmelzbadauswurf konnte unterdrückt und die Oberraupqualität verbessert werden. Diese Phänomene treten nur für bestimmte Orientierungen des Magnetfeldes auf, was auf die Existenz von thermoelektrischen Strömen führt. In der Wechselwirkung mit maßgeschneiderten äußeren Magnetfeldern können Lorentzkraft im Schmelzbad generiert werden, die über ihren Einfluss auf die Konvektion im Schmelzbad die Geometrie der Schweißnaht beeinflussen. Zum besseren Verständnis der Phänomene ist eine möglichst realitätsnahe Simulation erforderlich. Dazu soll neben dem festen und flüssigen Grundwerkstoff auch die Schweißnaht modelliert werden.

### Lösungsweg

Aus der Grundgleichung der Thermoelektrizität folgt, dass eine thermoelektrische Stromdichte durch einen Gradienten im chemischen Potential, in der Temperatur oder in beiden erzeugt werden kann. Die Stärke der Stromdichte hängt beim Laserstrahlschweißen vor allem von der Stärke des Temperaturgradienten und dem temperaturabhängigen Seebeck-Koeffizienten (Maß für die durch Temperaturunterschiede erzeugbare Spannung) ab. Bei einer Beschränkung auf eine zweidimensionale Betrachtung (entspricht dem Schweißen dünner Bleche) und auf eine temperaturunabhängige elektrische Leitfähigkeit im untersuchten

Gebiet gibt es eine analytische Lösung für die thermoelektrische Stromdichte. Bei einer konstanten Péclet-Zahl (charakterisiert das Verhältnis von konvektivem zu konduktivem Wärmetransport in der Metallschmelze) von  $Pe = 0,1$  wird der Einfluss des Schweißnahtgefüges auf die Stromdichteverteilung untersucht.

### Ergebnisse

Im Unterschied zu den bekannten Seebeck-Koeffizienten für festes und flüssiges Aluminium sind die Werte für geschweißtes Aluminium unbekannt. Es wurden deshalb verschiedene Modelle für den Seebeck-Koeffizienten der Schweißnaht getestet. Abb. 1 zeigt den Seebeck-Koeffizienten des Schmelzades umgeben vom festen Grundwerkstoff ohne (Bild oben) und mit Berücksichtigung des geänderten Schweißnahtgefüges (Bild unten). Die Stromdichteverteilung ohne geändertes Schweißnahtgefüge (Abb. 2 oben) ist durch drei intensive Wirbelpaare gekennzeichnet: unmittelbar vor und hinter der Dampfkapillare sowie am Ende des Schmelzbades. Diese Wirbel der Stromdichte sind an der Grenzfläche fest-flüssig lokalisiert. Wird das geänderte Schweißnahtgefüge mit betrachtet (Abb. 2 unten) ergibt sich eine deutlich andere Stromdichteverteilung. Der thermoelektrische Strom ist wesentlich homogener über das Schmelzbad verteilt, markante Wirbel fehlen völlig. Dieses Ergebnis stellt sich für alle getesteten Modelle ein. Durch diese homogene Struktur ist es besser möglich, mit Hilfe eines äußeren Magnetfeldes eine gezielte Lorentzkraft über der gesamten Schmelze zu generieren. Diese erzeugte Lorentzkraft kann so gestaltet werden, dass die resultierende Strömung in der Schmelze zu schmaleren und tieferen Schweißnähten führt.

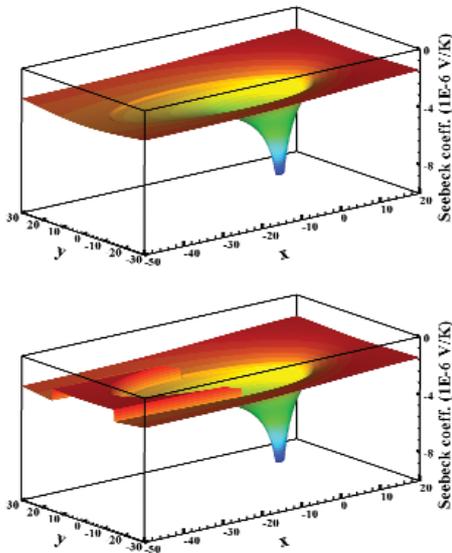


Abb. 1: Seebeck-Koeffizient von Aluminium in der Schmelze (zentraler Bereich) und im Festkörper (umgebender Randbereich), im unteren Bild links vorn der Seebeck-Koeffizient bei Berücksichtigung des geänderten Schweißnahtgefüges

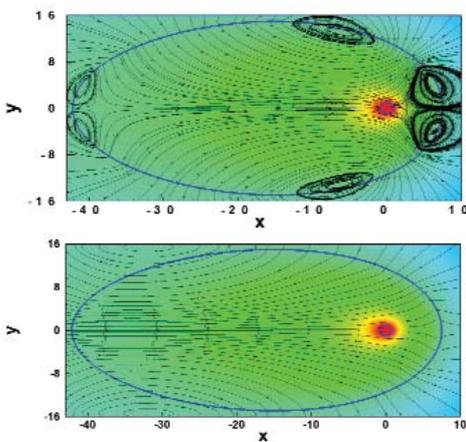


Abb. 2: Temperaturfeld [Farbe und blaue Isothermen für Verdampfungs- (innen) und Schmelztemperatur (außen)] und thermoelektrische Stromdichte (schwarze Stromlinien) für Aluminium bei  $Pe = 0,1$  ohne (oben) und mit (unten) Berücksichtigung des geänderten Schweißnahtgefüges



Ansprechpartner

Dr. Adrian Lange  
Tel.: 0351 / 2583 328  
adrian.lange@iws.fraunhofer.de



## Diplomarbeiten

A. Brückner  
(Technische Universität Dresden)  
»Abscheidung und Charakterisierung kohlenstoffbasierter PVD-Schichten auf Werkzeugen für die schmierstofffreie Aluminium- und Magnesiumblechumformung«

K. Heinrich  
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))  
»Untersuchungen zur Innenbeschichtung durch Laser-Auftragschweißen«

C. Kleemann  
(Technische Universität Dresden)  
»Laser-Arc deposition of amorphous carbon films and characterization of their mechanical and tribological properties under conditions for biomedical applications«

C. Kündscher  
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))  
»Potentialanalyse zur großflächigen Anwendung der Laserstrahlreinigung«

R. Münster  
(Technische Universität Chemnitz)  
»Untersuchungen zum Laser-Auftragschweißen mit Strahlteileroptik«

F. Pfitzner  
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))  
»Technologische Untersuchungen zum Auftragschweißen mit Faserlaser«

R. Püschel  
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))  
»Untersuchung der Möglichkeiten und Grenzen des Faserlasereinsatzes in der Mikrostrukturierung«

G. Richter  
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))  
»Laserstrahlschweißen von Kunststoffen - Untersuchung neuer Strahlquellen und Schweißmechanismen«

S. Tschöcke  
(Technische Universität Dresden)  
»Herstellung von SiO<sub>2</sub>-Kratzschichtschichten mittels Mikrowellen-PECVD bei Atmosphärendruck«

S. Weigelt  
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))  
»Untersuchungen zum Laserstrahlschweißen von Aluminiumwerkstoffen im T-Stoß für luftfahrtspezifische Strukturen mit dem Faserlaser«

M. Wiener  
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))  
»Verfahrensoptimierung zur Herstellung thermisch gespritzter Hartmetallschichten an hochbelasteten Bauteilen«

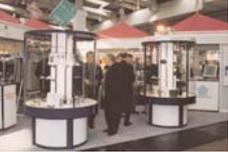
M. Zier  
(Berufsakademie Sachsen, Staatliche Studienakademie Dresden (BA))  
»Zusammenwirken der Finite Elemente Methode mit virtuellen Umgebungen zur Simulation und Visualisierung von physikalisch-technischen Prozessen«

## Dissertationen

J. Hauptmann  
(Technische Universität Dresden)  
»Rutschhemmende Ausrüstung polierter Steinfußböden«

U. Klotzbach  
(Technische Universität Wien)  
»Untersuchungen zum Trennen von polykristallinen Siliziumwafern mit frequenzvervielfachten Kurzpuls-Nd:YAG-Lasern«

H. Schulz  
(Technische Universität Dresden)  
»Dotierte amorphe Kohlenstoffschichten zur Herstellung superhydrophober Oberflächen«



## Vorlesungen

### Vorlesungen am Institut für Oberflächentechnik und Fertigungsmesstechnik der TU Dresden im Wintersemester 2005 / 2006:

- Prof. Beyer: Plasmen in der Fertigungstechnik (Mechatronik)
- Prof. Schultrich: Dünnschichttechnologie (Sonderwerkstoffe)
- Dr. Leson, Prof. Beyer: Oberflächen-technik / Nanotechnologie
- Prof. Beyer / Hr. Kötter: Rapid Prototyping
- Prof. Beyer: Robotik

### Vorlesung am Institut für Oberflächentechnik und Fertigungsmesstechnik der TU Dresden im Sommersemester 2006:

- Prof. Beyer: Lasergrundlagen / Lasersystemtechnik
- Prof. Beyer: Rapid Prototyping
- Prof. Beyer: Laserrobotik / Lasertronik
- Prof. Beyer: Praktikum Lasersicherheits- und Laserverfahrenstechnik

### Vorlesungen am Institut für Oberflächen- und Fertigungstechnik der TU Dresden im Wintersemester 2006 / 2007:

- Prof. Beyer: Fertigungstechnik II
- Prof. Beyer: Plasmatechnik
- Dr. Leson, Prof. Beyer: Oberflächen-technik / Nanotechnologie
- Prof. Schultrich: Dünnschichttechnologie (Sonderwerkstoffe)

### Vorlesung an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden:

- Dr. Nowotny: Lasermaterialbearbeitung

## Mitarbeit in Gremien

Prof. E. Beyer:  
Mitglied des Präsidiums der Fraunhofer-Gesellschaft

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

Prof. E. Beyer:  
Direktor des Institutes für Oberflächen-technik und Fertigungsmesstechnik IOF der TU Dresden

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

Prof. E. Beyer:  
Mitglied des Materialforschungsverbundes Dresden e.V.

Prof. E. Beyer:  
Mitglied des Dresdner Gesprächskreises der Wirtschaft und der Wissenschaft e.V.

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

Prof. E. Beyer:  
Mitglied des Bundesverbandes mittelständische Wirtschaft e.V.

Prof. E. Beyer:  
Kurator der Palucca Schule Dresden - Hochschule für Tanz

Prof. E. Beyer:  
Mitglied der Europäischen Forschungsgesellschaft »Dünne Schichten« e.V.

Prof. E. Beyer:  
Mitglied des Kompetenzzentrums »Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen / Thüringen e.V.«

Prof. E. Beyer:  
Mitglied des Universitären Zentrums für Luft- und Raumfahrt (UZLR) der TU Dresden

Prof. E. Beyer:  
Mitglied des Advisory Board des European Laser Institute (ELI)

Prof. E. Beyer:  
Mitglied Gutachterausschuss der AiF

Prof. E. Beyer:  
Mitglied des Board of Directors des Laser Institute of America

Prof. E. Beyer:  
Mitglied des Board of Stakeholders der Technology Platform Photonics21

Prof. E. Beyer:  
Mitglied der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA)

Prof. E. Beyer:  
Mitglied des International Advisory Board des Journal of Laser Applications (JLA)

Prof. B. Brenner:  
Fachausschuß 9 der AWT »Randschichtbehandlung und Kurzzeitaustenitisierung«

Prof. B. Brenner:  
Mitglied Gutachterausschuss der AiF

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

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

Dr. R. Jäckel:  
Arbeitskreis »Messe- und Öffentlichkeitsarbeit« des Materialforschungsverbundes Dresden e.V.

Dr. G. Kirchhoff:  
Arbeitsausschuss »Schallemissionsanalyse« der DGzFP

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

Dr. A. Leson:  
Mitglied des Advisory Board der Zeitschrift »NanoS«



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

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

Dr. A. Leson:  
Mitglied des Arbeitskreises Zukunftstechnologien der Stadt Dresden

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

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

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

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

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

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

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

Prof. B. Schultrich:  
Vorstandsmitglied der Europäischen Forschungsgesellschaft »Dünne Schichten« e.V.

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

Dr. G. C. Stehr:  
DVS Fachausschuss 2 »Thermisches Beschichten und Autogentechnik«

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

Dr. A. Techel, Dr. S. Nowotny:  
VDI-Arbeitsgruppe »Rapid Prototyping« im VDI-Bezirksverein Dresden

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

### Preise des IWS 2005

#### 1. Beste innovative Produktidee

Annett Klotzbach,  
Dr. Thomas Schwarz,  
Veiko Fleischer,  
Dr. Lothar Morgenthal,  
Michael Leminski,  
Frank Kretzschmar  
*»Entwicklung des Remote-Laserstrahlschneidens on the fly«*

#### 2. Beste wissenschaftlich-technische Leistung

Michael Leonhardt,  
Dr. Carl-Friedrich Meyer,  
Dr. Hans-Joachim Scheibe  
*»Industrielle ta-C Abscheidung mittels Laser-Arc-Modul (LAM) an industriellen Beschichtungsanlagen«*

#### 3. Beste wissenschaftliche Leistung eines Nachwuchswissenschaftlers

Gunther Göbel  
*»Neuartiger thermo-mechanischer Ansatz zur Heißrisservermeidung beim Laserstrahlschweißen«*

#### 4. Beste wissenschaftlich studentische Leistung

Julius Roch  
*»Aufbau und Test eines Versuchstandes zur Evaluierung einer aufskalierten Atmosphärendruck Mikrowellen-Plasma-Quelle«*

Georg Dietrich  
*»Oberflächenstrukturierung im Nanometer-Bereich«*

#### 5. Sonderpreis

Dr. Dieter Pollack  
*»als besonderen Dank und Würdigung für seinen stets überdurchschnittlichen Einsatz und sein Engagement für die Belange des Instituts«*



Für sein überdurchschnittliches Engagement für die Belange des Instituts erhielt Dr. Pollack einen Sonderpreis



Herr Göbel bei der Verleihung des Institutspreises für die beste wissenschaftliche Leistung eines Nachwuchswissenschaftlers



### Besondere Ereignisse

#### 02. Mai 2006

Jahrestagung des Nanotechnologie-Kompetenzzentrums »Ultradünne funktionale Schichten« im IWS

#### 12. Mai 2006

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

#### 29. Juni 2006

»Fraunhofer-Vorstand vor Ort« im Institutszentrum Dresden

#### 30. Juni 2006

Beteiligung des Fraunhofer-Institutszentrums am »Tag der Technik« und an der »Langen Nacht der Wissenschaft« der Landeshauptstadt Dresden

#### 05. - 06. Juli 2006

2. Internationaler Workshop »Faserlaser« im Internationalen Kongresszentrum Dresden (Organisator: Fraunhofer IWS)

#### 08. - 09. November 2006

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

#### 16. November 2006

Impulsveranstaltung - Laserbasierte Füge- und Beschichtungsverfahren - BMBF-Produktionstechnik-Förderung im Rahmenkonzept »Forschung für die Produktion von morgen« (Organisator: Fraunhofer IWS Dresden)

#### 21. - 22. November 2006

5. Internationales Nanotechnologie-Symposium »Nanofair - Neue Ideen für die Industrie« in Karlsruhe (Mitorganisator: Fraunhofer IWS Dresden)

#### 23. - 24. November 2006

Australisch-Deutscher Workshop zur Nanotechnologie in Karlsruhe (Organisator: Fraunhofer IWS Dresden)

#### 27. November 2006

Eröffnung des Dresdner Nanotechnologie-Innovationscluster »nano for production« im 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.

#### 16. - 17. Mai 2006

»Verfahren zur Abscheidung dünner Schichten«

#### 05. - 07. Dezember 2006

»Industrielle Charakterisierung dünner Schichten«



Tag der Technik im Fraunhofer-Institutszentrum Dresden (30. Juni 2006)



Dr. Volkmar Dietz (BMBF) während des 2. Internationalen Workshops »Faserlaser« im Int. Kongresszentrum Dresden (5. / 6. Juli 2006)



Eröffnung des Nanotechnologie-Innovationsclusters »nano for production« am 27.11.2006 im Fraunhofer IWS Dresden



## Messebeteiligungen

### Messe SEMICON 2006 München, 04. - 06. April 2006

Auf der Europäischen Leitmesse für Halbleitertechnologien und Mikroelektronik präsentierte das IWS zusammen mit der Partnerfirma aus dem Reinstgassektor Sempa Systems GmbH die gemeinsam entwickelte Multigas-Sensorik ISPROM®. Das Sensorsystem zeichnet sich besonders durch Industrietauglichkeit und Langzeitstabilität, seine kontinuierliche in-situ-Arbeitsweise und seine Fähigkeit zum simultanen Messen fast aller prozessrelevanten Gase aus. Das flexibel aufgebaute System eröffnet einer Vielzahl von Industrieprozessen - nicht nur in der Halbleiterindustrie - die Möglichkeit einer online-Prozessüberwachung und -regelung.

### Hannover-Messe Industrie 2006, 24. - 28. April 2006

Im Rahmen des Fraunhofer-Gemeinschaftsstandes präsentierte das IWS in Halle 2 neueste Ergebnisse angewandter Forschung zum Thema »Integrierte Leichtbausysteme«, eine der 12 Leitinnovationen der Fraunhofer-Gesellschaft. Vorgestellt wurden Technologieentwicklungen zum Laserstrahlschweißen von Flugzeugrumpfstrukturen.

Im Rahmen des Gemeinschaftsstandes »Laser Technology« präsentierte das IWS in Halle 14 - Micro Technology - auf einer 40 m<sup>2</sup> großen Fläche neueste Ergebnisse angewandter Forschung auf den Gebieten der Lasermaterial- und Mikrobearbeitung. Hauptthemen waren das Laser-Auftragschweißen (mit dem im IWS entwickelten Pulverdüsensystem, gezeigt an der Schauwand »Industrielle Lösungen zum Laserstrahl-Präzisionsauftragschweißen« mit Videopräsentation)

und das Laserstrahlschweißen (gezeigt an der Schauwand »Schweißrisse! - Ihr Problem?« mit Videopräsentation). In der Mikrotechnik wurde Einsatzmöglichkeiten der neuentwickelten Faserlaser gezeigt.

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

### Internationale Luft- und Raumfahrt-ausstellung Berlin 2006, 16. - 21. Mai 2006

Im Rahmen des Gemeinschaftsstandes des Kompetenzzentrums Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen / Thüringen e.V. (LRT) beteiligte sich das IWS zum zweiten Mal an der ILA auf dem Gelände des Schönefelder Flughafens. Vorgestellt wurden Technologieentwicklungen zum Laserstrahlschweißen von Flugzeugrumpfstrukturen, zur Aufbringung hitzebeständiger Schichten sowie zur Charakterisierung der mechanischen, thermischen und tribologischen Eigenschaften von laserbehandelten luftfahrtrelevanten Bauteilen.

### Rapid.Tech 2006 Erfurt, 16. - 17. Mai 2006

Zum zweiten Mal beteiligte sich das IWS an dieser Anwendertagung und Fachausstellung für Rapid-Technologien. Zentrales Thema des Standes waren die industriellen Lösungen zum Laserstrahl-Präzisionsauftragschweißen und zur schnellen Werkzeugfertigung durch Blechpaketieren (Melato®).



Präsentation des Multigasensors ISPROM® auf der Halbleitermesse SEMICON 2006 in München



Besuch der Bundesforschungsministerin Dr. Annette Schavan (Bildmitte) auf dem Gemeinschaftsstand »Forschung für die Zukunft« der TU Dresden auf der Hannover-Messe 2006, Halle 2



Prof. Berndt Brenner (2. v.r.) während Pressekonferenz der Fraunhofer-Gesellschaft auf dem zentralen Fraunhofer-Gemeinschaftsstand in Halle 2 (Hannover-Messe 2006)



Besuch des sächsischen Bundestagsabgeordneten Andreas Lämmel (Bildmitte) auf dem Gemeinschaftsstand des LRT auf der Luftfahrtmesse ILA 2006



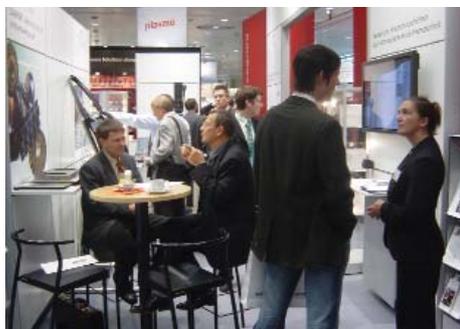
### **Euroblech 2006 Hannover, 24. - 28. Oktober 2006**

An der Internationalen Technologie-messe für Blechbearbeitung Euroblech 2006 beteiligte sich das IWS zum dritten Mal. Auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand in Halle 11 wurden vom IWS insbesondere Exponate zu drei Themen ausgestellt:

- transparente Kratzschuttschichten durch Atmosphärendruck-Plasmatechnik,
- DIAMOR® - Beschichtung für Umformwerkzeuge,
- MELATO® - schnelle Fertigung von komplex geformten Werkzeugen.

### **Denkmal 2006 Leipzig, 25. - 28. Oktober 2006**

Das Laserstrahlreinigen von kulturhistorisch wertvollen Objekten aus Metall, Holz und Stein wurde auf dieser europäischen Branchenmesse für Denkmalpflege und Stadterneuerung gezeigt. Präsentiert wurde beispielsweise ein transportabler Faserlaser (Rucksacklaser) zum Reinigen in Restaurierung und Denkmalpflege sowie dessen erstmalige Anwendung zum Reinigen an 3500 Jahre alten ägyptischen Grabkammern (im Auftrag des Neferhotep e.V.).



Präsentation des Fraunhofer IWS auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand auf der Euroblech 2006

### **Messe Parts2clean 2006 Friedrichshafen, 07. - 09. November 2006**

Das IWS präsentierte auf dieser Messe im Rahmen des Gemeinschaftsstandes der Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik eine Lösung zur partiellen Reinigung von Bauteilen mittels Laserstrahlen. Die besonderen Merkmale sind die Integration des Reinigungsschrittes in die automatisierte Fertigung, die Realisierung kurzer Taktzeiten, die Möglichkeit der Reinigung der für den Folgearbeitsschritt notwendigen Funktionsflächen an Bauteilen im vormontierten



Präsentation der Reinigungskompetenzen des IWS im Rahmen des Messeauftritts der Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik auf der Parts2Clean, blaue Figur in der Bildmitte mit Rucksackfaserlaser für mobile Anwendungen

Zustand sowie der Verzicht auf Löse-mittel bzw. anderweitige Reinigungs-medien. Die Lösung wurde am Beispiel der Abreinigung von Kühl- und Schmierstoffresten sowie Konservierungsmitteln im Bereich der Fügstellen vor dem Laserstrahlschweißen vorgestellt.

### **Messe Euromold 2006 Frankfurt / M., 29. November - 02. Dezember 2006**

An der Branchenmesse zum Formen-, Modell- und Werkzeugbau sowie zur Gießereitechnik beteiligte sich das IWS bereits zum elften Mal. Hauptanziehungspunkt war der Roboter als Teil einer neuen Anlage, der zum Laser-Auftragschweißen (mit dem im IWS entwickelten Pulverdüsensystem) und zum Laserhärten und Laserschweißen mit Faser- und Diodenlasern genutzt werden kann. Die Doppelfunktion Laser-Auftragschweißen und Laserhärten konnte in den letzten zwei Jahren bei drei internationalen Kunden in der Schweiz, in Italien und in Indien in die Produktion überführt werden.

Patentanmeldungen

- [P1]** E. Beyer  
"Vorrichtung und Verfahren zur Bearbeitung von Werkstücken mittels Faserlaser"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 006 426.7
- [P2]** E. Beyer  
"Verfahren und Vorrichtung zur Bearbeitung von Werkstücken mittels von einem Hochleistungsfaserlaser emittierter elektromagnetischer Strahlung"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 428.3
- [P3]** E. Beyer  
"Vorrichtung und Verfahren zur Bearbeitung von Werkstücken mittels statistisch oder unpolarisierter Strahlung eines Faser- oder Scheibenlasers"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 006 429.1
- [P4]** E. Beyer, I. Jansen, A. Klotzbach  
"Verfahren zum Fügen von Bauteilen, insbesondere Leichtbaubauteilen, mittels Kleben"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 038 868.2
- [P5]** E. Beyer, C. Krautz, E. Hensel, U. Klotzbach  
"Wandelement zum Schutz vor Laserstrahlung"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 036 500.3
- [P6]** E. Beyer, P.-M. Mickel, G. Wunderlich  
"Verfahren zur Fügung von Blechkonstruktionen durch Laserstrahlschweißen"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 052 827.1
- [P7]** B. Brenner  
"Verfahren und Vorrichtung zum Randschichthärten formkomplizierter Bauteile"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 050 799.1
- [P8]** B. Brenner, G. Göbel  
"Verfahren und Vorrichtung zum rissfreien Schweißen, Reparaturschweißen oder Auftragsschweißen heissrissanfälliger Werkstoffe"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 048 580.7
- [P9]** I. Dani, V. Hopfe, B. Dresler  
"Vorrichtung und Verfahren zur Ausbildung dünner Schichten auf Substratoberflächen"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 042 328.2
- [P10]** I. Dani, V. Hopfe, E. Lopez  
"Verfahren zum selektiven plasmachemischen Trockenätzen von auf Oberflächen von Silizium-Wafern ausgebildetem Phosphorsilikatglas"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 042 329.1

- [P11]** D. Dittrich, J. Hackius, B. Brenner, B. Winderlich, J. Standfuß,  
"Metallisches Flugzeugbauteil"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 046 080.4
- [P12]** V. Franke, F. Sonntag, J. Hauptmann  
"Technologie zum Fügen von Bauteilen mit Hilfe von elektromagnetischer Strahlung"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 040 773.3
- [P13]** V. Hopfe, I. Dani, M. Rosina, M. Heintze, R. Möller, H. Wanka, E. Lopez  
"Verfahren zur Entfernung einer dotierten Oberflächenschicht an Rückseiten von kristallinen Silizium-Solarwafern"  
Anmelde-Az.: PCT/DE2006/001058
- [P14]** A. Klotzbach, V. Fleischer, L. Morgenthal  
"Verfahren zur Bearbeitung von Werkstücken mittels Laserstrahlung"  
Anmelde-Az.: PCT/EP2006/000055
- [P15]** C. Meyer  
"Anordnung für die Separation von Partikeln aus einem Plasma"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 009 106.4
- [P16]** S. Nowotny, S. Scharek  
"Vorrichtung für die Bearbeitung von Werkstücken mit Laserstrahlung"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 044 550.3
- [P17]** M. Rosina, I. Dani, V. Hopfe, B. Dresler, R. Möller  
"Vorrichtung und Verfahren zur Ausbildung dünner Siliziumnitridschichten auf Oberflächen von kristallinen Silizium-Solarwafern"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 042 327.5
- [P18]** B. Schultrich, D. Schneider  
"Identifikationselement"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 017 155.1
- [P19]** B. Schultrich, F. Sonntag  
"Verfahren zur Herstellung von Oberflächenstrukturen und Element mit Oberflächenstrukturen zur Verwendung für Biosensoren oder die Herstellung von Zelleitstrukturen"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 017 153.5
- [P20]** F. Sonntag  
"Mikrofluidische Anordnung zur Detektion von in Proben enthaltenen chemischen, biochemischen Molekülen und / oder Partikeln"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 024 355.2
- [P21]** V. Weihnacht, B. Schultrich  
"Verfahren zur Bearbeitung von Oberflächen einer Beschichtung aus hartem Kohlenstoff"  
Anmelde-Az.: DE 10 2006 010 916.3

Patenterteilungen

- [P22]** E. Beyer, J. Kalich, H. Kötter  
"Vorrichtung und Verfahren zum form-schlüssigen Verbinden von Werkstücken"  
Veröffentlichungs-Nr.: DE 10 2004 062 896 B4
- [P23]** S. Bonß, J. Standfuß, E. Beyer  
"Verfahren und Vorrichtung zum Schweißen mittels Laserstrahlung"  
Veröffentlichungs-Nr.: EP 1 007 267 B1
- [P24]** B. Brenner, B. Winderlich, J. Standfuß, J. Schumacher, H. Brenneis, W. Zink  
"Leichtbau-Strukturbauteil insbesondere für Flugzeuge und Verfahren zu seiner Herstellung"  
Veröffentlichungs-Nr.: EP 1 439 121 B1
- [P25]** I. Dani, W. Grähler, G. Mäder, V. Hopfe,  
"Vorrichtung und Verfahren zur optischen Detektion von in Abgasen chemischer Prozesse enthaltenen Stoffen"  
Veröffentlichungs-Nr.: DE 10 2004 028 420 B3
- [P26]** G. Mäder, D. Rogler, V. Hopfe,  
"Modul und Verfahren für die Modifizierung von Substratoberflächen bei Atmosphärenbedingungen"  
Veröffentlichungs-Nr.: DE 10 2004 015 216 B4
- [P27]** L. Morgenthal, A. Klotzbach, T. Schwarz, J. Hauptmann, R. Gnann  
"Vorrichtung und Verfahren für eine Bearbeitung großflächiger Bearbeitungsbereiche von Werkstücken mittels Laserstrahlung"  
Veröffentlichungs-Nr.: DE 10 2004 007 541 B4
- [P28]** R. Neugebauer, R. Lang, M. Seifert, E. Trageser, R. Wolf, R. Zieris, L.-M. Berger, S. Nowotny  
"Verfahren zur Herstellung einer Einrichtung zur Umsetzung einer rotatorischen in eine translatorische Bewegung und damit hergestellte Einrichtung"  
Veröffentlichungs-Nr.: EP 1 556 585 B1
- [P29]** D. Rogler, V. Hopfe, G. Mäder  
"Verfahren zur Ausbildung dünner Schichten aus Silizium auf Substratoberflächen"  
Veröffentlichungs-Nr.: DE 10 2004 015 217 B4

- [L01]** F. Atchison, B. Blau, M. Daum, P. Fierlinger, P. Geltenbort, R. Henneck, S. Heule, M. Kasprzak, K. Kirch, K. Kohlik, M. Kuzniak, M. Meier, C.-F. Meyer, A. Pichlmaier, C. Plonka, P. Schmidt-Wellenburg, B. Schultrich, T. Stucky, V. Weihnacht, O. Zimmer  
*"Storage of Ultracold Neutrons in a Volume Coated with Diamondlike Carbon"*  
 Physical Review C 74, (2006)
- [L02]** H. Beese, W. Grählert, V. Hopfe, F. Petzold, P. Kaspersen, A. Bohman, P. Mackrodt  
*"In-line Monitoring von Feuchtespuren und weiteren kritischen Verunreinigungen in Bulk- und Korrosivgasen der Mikroelektronik"*  
 VDI-Berichte1959 (2006), S. 57-62
- [L03]** L.-M. Berger  
*"Hardmetal Bulk Materials and Coatings - Commonalities and Differences"*  
 Powder Metallurgy Congress & Exhibition Euro PM2006, (2006) S. 289-297 (ISBN 1-899072-32-2), Strewsburg, U.K.: European Powder Metallurgy Association, Vol.1
- [L04]** L.-M. Berger, J. Hauptmann, S. Nowotny, V. Weihnacht, J. Ziemer  
*"Herstellung von harten Schichten und Bearbeitung von Hartstoffen"*  
 Industrie Diamanten Rundschau 40 (2006) 3, S. 24-30
- [L05]** L.-M. Berger, S. Saaro, M. Woydt  
*"Influence of Oxidation on the Dry Sliding Properties of HVOF-Sprayed Hardmetal Coatings"*  
 Powder Metallurgy Congress & Exhibition Euro PM2006 (2006) S. 225-232
- [L06]** E. Beyer  
*"Fiber Laser Welding"*  
 Industrial Laser Solutions 21 (2006) 7, S. 13-14
- [L07]** E. Beyer  
*"Schweißen und Schneiden mit Faserlasern - ein Entwicklungssprung in der Lasertechnik aus Anwendersicht"*  
 7th European Conference and Exhibition European Automotive Laser Application EALA (2006) S. 109 - 118
- [L08]** E. Beyer  
*"High Power Laser Applications"*  
 14th Annual Automotive Laser Application Workshop ALAW (2006)
- [L09]** E. Beyer  
*"Polarisierte Faserlaser und optische Rückwirkungen"*  
 2. Internationaler Workshop "Faserlaser" (2006) Tagungsband
- [L10]** E. Beyer  
*"Neue Entwicklungen und Trends in der Lasermaterialbearbeitung und die Anforderungen an die Strahlquellen und Strahlführung"*  
 PRIMES Workshop (2006) Tagungs-CD
- [L11]** E. Beyer, B. Brenner, A. Klotzbach, S. Nowotny  
*"Laser Macro Processing - Today and Tomorrow"*  
 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing LAMP 2006, Published online by JLPS-Japan Laser Processing Society, #06-1, Tu1-2 #35
- [L12]** E. Beyer, B. Brenner, L. Morgenthal  
*"Laser Beam Applications with High Power Fiber Laser"*  
 XVI International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers & High Power Lasers Conference GCL / HPL 2006 (2006) Tagungsband erscheint im Frühjahr 2007
- [L13]** E. Beyer, B. Brenner, L. Morgenthal  
*"Faserlaseranwendung"*  
 5. Jenaer Lasertagung (2006) S. 197 - 210
- [L14]** E. Beyer, W. Danzer  
*"Einfluss von Plasma und Schutzgas auf Schweißprozesse"*  
 2. Internationaler Workshop "Faserlaser" (2006) Tagungsband
- [L15]** I. Bialuch, H.-J. Scheibe, W. Augustin  
*"Anithaft- und Antifouling-Effekte durch modifizierte amorphe Kohlenwasserstoffe"*  
 EFDS Workshop "Kohlenstoffschichten - tribologische Eigenschaften und Verfahren zu ihrer Herstellung" (2006) Tagungsband
- [L16]** S. Bonß  
*"Der Strahl, der hart macht"*  
 Werkstatt und Betrieb (2006) 5, S. 18-20
- [L17]** S. Bonß  
*"Integrierte Härtereie - Laserstrahlhärten im Großwerkzeugbau"*  
 Härtereitechnische Mitteilungen, 61 (2006) 5, S. 254 - 259
- [L18]** S. Bonß, J. Hannweber, U. Karsunke, M. Seifert, B. Brenner, E. Beyer  
*"Integrated Heat Treatment - System for Precise Hardening Journal of Unique Tools or Parts"*  
 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing LAMP 2006, Published online by JLPS-Japan Laser Processing Society, 2006 ,#06-165 Th4-3 #140
- [L19]** S. Bonß, J. Hannweber, S. Kühn, M. Seifert, B. Brenner, E. Beyer  
*"LASSY - Laserstrahlhärten mit variabler Spurbreite"*  
 9. WTK Chemnitz, Tagungsband, TU Chemnitz, Eigenverlag, Schriftenreihe Werkstoffe und Werkstoffverbunde, 24 (2006) S. 161-166
- [L20]** S. Bonß, J. Hannweber, S. Kühn, M. Seifert, B. Brenner, E. Beyer  
*"Variable Bearbeitungsoptik zum Laserstrahlhärten"*  
 DVS-Berichte, 241 (2006), S. 95-100, DVS-Verlag, Düsseldorf
- [L21]** S. Bonß, J. Hannweber, M. Seifert, U. Karsunke, E. Beyer  
*"Integrated Heat Treatment - System for Precise Hardening of Unique Tools or Parts"*  
 2nd Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics PICALO 2006, LIA Pub. #401, Vol. 2, ISBN #0-912035-84-6
- [L22]** S. Braun, T. Foltyn, M. Menzel, A. Leson, F. Schäfers, M. Mertin  
*"Multilayer Monochromators for the Wavelength-Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry"*  
 BESSY-Jahresbericht (2005) S. 451-453
- [L23]** S. Braun, P. Gawlitza, M. Menzel, A. Leson, M. Mertin, F. Schäfers  
*"Reflectance and Resolution of Multilayer Monochromators for Photon Energies from 400 - 6000 eV"*  
 The 9th International Conference on Synchrotron Radiation Instruments (SRI) (2006) D3-013

- [L24]** S. Braun, P. Gawlitza, M. Menzel, S. Schädlich, A. Leson  
*"High-Precision Multilayer Coatings and Reflectometry for EUVL Optics"*  
 The 9th International Conference on Synchrotron Radiation Instruments (SRI) (2006) K3-014
- [L25]** S. Braun, H. Mai  
*"Multilayer and Single-Surface Reflectors for X-ray Optics"*  
*"Metal Based Thin Films for Electronics"*, K. Wetzig, C. M. Schneider, WILEY-VCH (2006), S. 103-119
- [L26]** S. Braun, H. Mai  
*"Multilayers for X-Ray Optical Purposes"*  
*"Metal Based Thin Films for Electronics"*, K. Wetzig, C. M. Schneider, WILEY-VCH (2006), S. 309-332
- [L27]** S. Braun, H. Mai  
*"X-Ray Optical Systems"*  
*"Metal Based Thin Films for Electronics"*, K. Wetzig, C. M. Schneider, WILEY-VCH (2006), S. 373-383
- [L28]** B. Brenner, G. Göbel, U. Stamm, J. Standfuß, S. Schrauber  
*"Influence of Beam Quality on Crack Formation in hard-to-weld Materials"*  
 2. Internationaler Workshop "Faserlaser" (2006) Tagungs-CD
- [L29]** B. Brenner, G. Göbel, J. Standfuß, U. Stamm  
*"Neuere Ergebnisse zum Schweißen von Eisenbasiswerkstoffen mit Faserlasern"*  
 5. Laser-Anwenderforum, in: F. Vollertsen, T. Seefeld (Hrsg.): "Laserstrahlfügen: Prozesse, Systeme, Anwendungen, Trends", Strahltechnik Band 28, Bremer Institut für angewandte Strahltechnik, (2006) ISBN: 3-933762-18-9, S. 139-148
- [L30]** B. Brenner, A. Jahn, G. Göbel, A. Klotzbach, J. Standfuß, L. Morgenthal  
*"Neue Möglichkeiten des Laserstrahlschweißens für den Karosseriebau"*  
 Internationaler Rohbauexpertenkreis, 30. Fachtagung "Prozesskette Karosserie®" (2006) Tagungs-CD
- [L31]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Finite Element Studies of Stress Evolution in Induction Assisted Laser Cladding"*  
 XVI International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers & High Power Lasers Conference, Tagungsband erscheint im Frühjahr 2007
- [L32]** I. Dani, V. Hopfe, L. Kotte, D. Linaschke, D. Rogler, S. Tschöcke  
*"Transparente Kratzschuttschichten mittels Plasma-CVD bei Atmosphärendruck"*  
 Werkstoffe in der Fertigung (2006) 5, S. 40-41
- [L33]** I. Dani, V. Hopfe, D. Rogler, E. Lopez, G. Mäder  
*"Plasmachemische Gasphasenabscheidung und Plasmaätzen bei Atmosphärendruck mittels einer linear ausgedehnten DC-Bogenplasmaquelle"*  
 Vakuum in Forschung und Praxis, 18 (2006) 4, S. 30-33
- [L34]** T. Dekorsy, F. Hudert, R. Cerna, H. Schäfer, C. Janke, A. Bartels, K. Köhler, S. Braun, M. Wiemer, S. Mantl  
*"Coherent Acoustic Phonons in Nano-Structures Investigated by Asynchronous Optical Sampling"*  
 Proc. of the SPIE 63930H (2006)
- [L35]** D. Dittrich  
*"Gewichtsreduzierung: schweißbares Magnesiumblech im Karosseriebau"*  
 Photonik 38 (2006) 3, S. 16
- [L36]** V. Franke, F. Sonntag, G. Richter, U. Klotzbach  
*"Fügen von LTCC und Kunststoff mittels Laserstrahlung"*  
 18. Internationale Wissenschaftliche Konferenz Mittweida (2006) Tagungsband
- [L37]** V. Franke, F. Sonntag, G. Richter, U. Klotzbach  
*"New Technology for Joining of LTCC and Polymer Assemblies"*  
 1st Electronics Systemintegration Technology Conference, ESTC2006 Dresden (2006) Tagungsband
- [L38]** P. Gawlitza, S. Braun, S. Lipfert, A. Leson  
*"Ion-Beam Sputter Deposition of X-Ray Multilayer Optics on Large Areas"*  
 Advances in X-Ray / EUV Optics, Components, and Applications - Optics & Photonics, Proc. of the SPIE 6317OG (2006)
- [L39]** W. Grählert, I. Dani, G. Mäder, O. Throl, V. Hopfe, K. Pietsch, T. Wünsche, Th. Dreyer  
*"ISPRM, ein in-situ-Multigasanalytator für CVD- und Ätzprozesse"*  
 VDI-Berichte1959 (2006) S. 45-56
- [L40]** J. Hannweber, S. Bonß, B. Brenner, E. Beyer  
*"Practical Applications of Camera Based Systems for Laser Material processing"*  
 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing LAMP2006, Published online by JLPS-Japan Laser Processing Society (2006) #06-173, Th4-14 #154
- [L41]** J. Hannweber, S. Kühn, S. Bonss, B. Brenner, E. Beyer  
*"Camera Based System for Online Laser Beam Monitoring"*  
 2nd Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics PICALO 2006, LIA Pub. #401, 2 (2006), ISBN #0-912035-84-6
- [L42]** G. Hardtke, A. Schumann, I. Hopfe, I. Jansen  
*"Graffitienschutz auf textilen Trägerstoffen durch präventive Oberflächenbeschichtung"*  
 Technische Textilien - Technical Textiles 49 (2006) 1, S. 53-56
- [L43]** B. Hommel, J. Heikenwälder, O. Zimmer  
*"Wachstumspotential des Rapid Tooling durch Prototypwerkzeuge für Kunststoffteile mit Miniaturstrukturen"*  
 Die Maschine (dima) (2006) 1, S. 53-55
- [L44]** I. Jansen  
*"Partieller Schichtabtrag an faserverstärkten Kunststoffen"*  
 Kunststoffverarbeitung Deutschland (2006) 9, S. 30-31
- [L45]** I. Jansen, E. Beyer  
*"Surface Pretreatment of Magnesium with Nd:YAG Laser"*  
 3rd World Congress on Adhesion and Related Phenomena, WCARP-III (2006), S. 389-395
- [L46]** I. Jansen, R. Böhme  
*"Laserstrahlbehandlung von faserverstärkten Kunststoffen vor dem Kleben"*  
 Schweißen und Schneiden 58 (2006) 5, S. 247-249
- [L47]** I. Jansen, H. Wust, E. Beyer  
*"Welchen Einfluss hat Laserstrahlung auf Magnesium"*  
 Adhäsion. Kleben & dichten 50 (2006) 4, S. 44-48

- [L48]** J. Kaspar, J. Bretschneider, S. Jacob, S. Bonß, B. Winderlich, B. Brenner  
*"Microstructure, Hardness and Cavitation Erosion Behavior of Ti 6Al 4V Laser Nitrided under Different Gas Atmospheres"*  
 Surface Engineering (2006) im Druck
- [L49]** J. Kaspar, A. Luft, S. Nolte, M. Will, E. Beyer  
*"Laser Helical Drilling of Silicon Wafers with ns to fs Pulses: Scanning Electron Microscopy and Transmission Electron Microscopy Characterization of Drilled Through-Holes"*  
 Journal of Laser Application 18 (2006) 2, S. 85-92
- [L50]** D. Klaffke, B. Schultrich, V. Weihnacht  
*"Tribological Behaviour of ta-C Coatings under Water Lubricated Conditions"*  
 The Annals of University of Galati 8 (2005), S. 24-28
- [L51]** D. Klaffke, B. Schultrich, V. Weihnacht  
*"Tribological Characterisation of ta-C Coatings under Lubricated Conditions"*  
 15th International Colloquium Tribology (2006) Tagungsband
- [L52]** K. Klotz, U. Bahr, W. Brückner, H.-A. Bahr, H. Balke, G. Kirchhoff, H.-J. Weiss, T. Göbel, S. Menzel, K. Wetzig  
*"Coatings with Intrinsic Stress Profile: Refined Creep Analysis of (Ti,Al)N and Cracking Due to Cyclic Laser Heating"*  
 Thin Solid Films 496 (2006), S. 469-474
- [L53]** A. Leson  
*"Nanoscaled Multilayer Systems for X-Ray Analytics and EUV Lithography"*  
 Journal of Korean Powder Metallurgy Institute (2006)
- [L54]** K. Lipp, L.-M. Berger, U. May, M. Wiener  
*"Rolling Contact Fatigue of the Hardmetal Coating WC-17%Co"*  
 Powder Metallurgy Congress & Exhibition Euro PM2006 (2006), S. 233-240
- [L55]** A. Mahrle, E. Beyer  
*"Hybrid Laser Beam Welding - Classification, Characteristics, and Applications"*  
 Journal of Laser Applications 18 (2006) 3, S. 169-180
- [L56]** S. Martens, V. Weihnacht, L.-M. Berger, I. Schulz, D. Lehmann, B. Schlecht  
*"Ölfreie Getriebe"*  
 Tribologie-Fachtagung, Moers: Gesellschaft für Tribologie (2006) CD, 11 p., ISBN 3-00-015053-6
- [L57]** S. Nowotny  
*"Laserstrahl-Auftragschweißen: Präzisionstechnologie für Oberflächenschutz und Reparaturen"*  
 Schriftenreihe Thermisches Spritzen, Hrsg. Alexander Schwenk, (2006), S. 74-82, ISSN 1610-0530
- [L58]** T. Sandner, J. U. Schmidt, H. Schenk, H. Lakner, M. Yang, A. Gatto, N. Kaiser, S. Braun, T. Foltyn, A. Leson  
*"Highly Reflective Optical Coatings for High-Power Applications of Micro Scanning Mirrors in the UV-VIS-NIR Spectral Region"*  
 Proc. of the SPIE 61140H (2006)
- [L59]** P. Schaaf, M. Shinn, E. Carpena, J. Kaspar  
*"Direct Laser Synthesis of Functional Coatings by FEL Treatments"*  
 Journal of Laser Micro/Nanoengineering 1 (2006) 2, 129-135
- [L60]** B. Schultrich  
*"Nanostructural Ceramic and Carbon Films for Wear Protection"*  
 Nanomaterials Technology for Military Vehicle Structural Applications Workshop AVT-122 (2005)
- [L61]** B. Schultrich  
*"Neuartige Hartstoffschichten durch Nanotechnologie"*  
 Galvanotechnik 97 (2006), S. 696-704
- [L62]** B. Schultrich  
*VIP-Lexikon 1: "Physikalische Dampfphasenabscheidung"*  
 Vakuuum in Forschung und Praxis 18 (2006) 1, S. 34-35
- [L63]** B. Schultrich  
*VIP-Lexikon 2: "Vakuuumverdampfen"*  
 Vakuuum in Forschung und Praxis 18 (2006) 2, S. 34-35
- [L64]** B. Schultrich  
*VIP-Lexikon 3: "Bedampfen I"*  
 Vakuuum in Forschung und Praxis 18 (2006) 3, S. 42-43
- [L65]** B. Schultrich  
*VIP-Lexikon 4: "Bedampfen II"*  
 Vakuuum in Forschung und Praxis 18 (2006) 4, S. 38-39
- [L66]** B. Schultrich  
*VIP-Lexikon 5: "Zerstäuben von Oberflächen"*  
 Vakuuum in Forschung und Praxis 18 (2006) 5, S. 36-37
- [L67]** B. Schultrich  
*VIP-Lexikon 6: "Sputtern I"*  
 Vakuuum in Forschung und Praxis 18 (2006) 6, S. 38-39
- [L68]** B. Schultrich  
*"Gasphasenabscheidung von tribologischen und funktionellen Nanoschichten"*  
 MSTI-Fernlehrgang Nanotechnologie, Modul 7, IIR-Verlag, Sulzbach, (2006), S. 1-54
- [L69]** B. Schultrich  
*"Vakuumbogenbeschichtung"*  
 OTTI Fachforum "Die Vielfalt von Beschichtungen" (2006) Tagungsband
- [L70]** B. Schultrich  
*"Neuartige Hartstoffschichten durch Nanotechnologie"*  
 Galvanotechnik, 97 (2006) 3, S. 696-704
- [L71]** B. Schultrich, J. Berthold, V. Weihnacht  
*"Superhard Amorphous Carbon Films for Critical Lubrication Conditions"*  
 15th International Colloquium Tribology (2006) Tagungsband
- [L72]** B. Schultrich, K. Bewilogua  
*"Tribologisches Verhalten von amorphen Kohlenstoffschichten"*  
 EFDS-Workshop Kohlenstoffschichten, (2006) Tagungsband
- [L73]** B. Schultrich, V. Weihnacht, H.-J. Scheibe, T. Stucky, S. Bräunling  
*"Superharte amorphe Kohlenstoffschichten für Zerspanungs- und Umformwerkzeuge"*  
 Tribologie + Schmierungstechnik 53 (2006) 5, S. 23-26

- [L74]** C. C. Stahr, S. Saaro, L.-M. Berger, J. Dubsky, K. Neufuss  
*"Über die Abhängigkeit der Stabilisierung von Korund vom Spritzprozess"*  
 9. Werkstofftechnisches Kolloquium, Schriftenreihe "Werkstoffe und werkstofftechnische Anwendungen", 24 (2006), S. 226-235, ISBN-10: 3-00-019101-1, ISBN-13: 978-3-00-019101-5, ISSN: 1439-1597, Hrsg.: B. Wielage.
- [L75]** J. Standfuß  
*"Laser Beam Welding - Application- and Material Adapted Solutions"*  
 ALAW 2006, Fraunhofer Pre-Conference (2006) Tagungsband
- [L76]** J. Standfuß  
*"Laser Beam Welding of Light Metals for Automotive Applications"*  
 Symposium on Laser Applications to Materials Joining, Modification and Diagnostics (2006) Tagungsband
- [L77]** J. Standfuß, U. Stamm, G. Göbel, S. Schrauber  
*"Laser Beam Welding with Fiber Lasers in Power Train"*  
 2. Internationaler Workshop "Faserlaser" (2006) Tagungs-CD
- [L78]** A. Techel  
*"Schneller zum fertigen Werkzeug"*  
 Werkzeugformenbau (2006) 3, S. 52-53
- [L79]** A. Techel, L.-M. Berger, J. Bretschneider  
*"Laser- und Plasma-Pulver-Auftragschweißen zur Erzeugung hartmetall-ähnlicher Schichten auf TiC-Basis"*  
 Jahrbuch Oberflächentechnik 62 (2006), S. 209-218, ISBN 3-87480-222-1  
 Herausgeber: R. Suchentrunk, Bad Saulgau: Eugen G. Leuze Verlag
- [L80]** A. Techel, L.-M. Berger, J. Bretschneider  
*"Laser- und Plasma-Pulver-Auftragschweißen zur Erzeugung hartmetall-ähnlicher Schichten auf TiC-Basis"*  
 Galvanotechnik 97 (2006), S. 2774-2783, Eugen G. Leuze Verlag, Bad Saulgau, ISBN 0016-4232 B20696
- [L81]** A. Techel, L.-M. Berger, J. Bretschneider, S. Thiele  
*"Laser and PTA Surfacing with TiC-Based Materials"*  
 Building on 100 Years of Success: Proceedings of the 2006 International Thermal Spray Conference CD, 6p  
 Ed.: B.R. Marple, M.M. Hyland, Y.-C. Lau, R.S. Lima, J. Voyer, Materials Park / Ohio: ASM International (2006)
- [L82]** J. Tuominen, J. Latokartano, J. Vihinen, P. Vuoristo, T. Mäntylä, T. Naumann, S. Scharek, L.-M. Berger, S. Nowotny  
*"Deposition of Thick Wear and Corrosion Resistant Coatings by High Power Diode Laser"*  
 Building on 100 Years of Success: Proceedings of the 2006 International Thermal Spray Conference, CD, 3p  
 Ed.: B.R. Marple, M.M. Hyland, Y.-C. Lau, R.S. Lima, J. Voyer Materials Park / Ohio: ASM International (2006)
- [L83]** V. Weihnacht, J. Berthold, B. Schultrich, D. Klaffke  
*"Superhard Amorphous Carbon Films for Critical Lubrication Conditions"*  
 15th International Colloquium Tribology (2006) ISBN Nr. 3-924813-54-x, Herausgeber: Technische Akademie Esslingen
- [L84]** V. Weihnacht, T. Stucky, B. Schultrich  
*"Eigenschaften und Anwendungen von superharten ta-C-Schichten"*  
 2. EFDS - Workshop "Kohlenstoffschichten - tribologische Eigenschaften und Verfahren zu ihrer Herstellung" (2006) Tagungsband
- [L85]** B. Weller, V. Prautzsch, S. Tasche, I. Vogt, I. Jansen  
*"Fügen und Verbinden mit UV- und lighthärtenden Acrylaten"*  
 Stahlbau 75 (2006), 6 S. 521-528
- [L86]** B. Winderlich, A. Zwick, A. Jahn, D. Dittrich, B. Brenner, A. Luft, S. Trümper, W. Fessenmayer, B. Wedel, F. Kretzschmar, R. Imhoff  
*"Laserstrahlschweißen für den Leichtbau"*  
 Hrsg.: B. Brenner  
 Ergebnisbericht zum Verbundvorhaben "Funktionsoptimierte laserhybridgeschweißte Leichtbaustrukturen als Kernelemente zur Realisierung ganzheitlicher Leichtbaukonzepte" im Rahmen des BMBF-Rahmenkonzept Forschung für die Produktion von morgen  
 Fraunhofer IRB-Verlag (2006)  
 ISBN 3-8167-7197-1
- [L87]** R. Wolf, E. Trageser, C. Hochmuth, R. Neugebauer, S. Ortman, L.-M. Berger, M. Wiener, T. Naumann, S. Rein, T. Schumann  
*"Verschleißschutz von Nockenflächen durch Beschichtung und Oberflächenbehandlung"*  
 XXth International Scientific Conference Mittweida, Wissenschaftliche Berichte, Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule Mittweida (FH) (2006) 4, S. 41-45  
*"Moderne Verfahren und Anwendungen in der Oberflächentechnik"*, Ed.: Hochschule Mittweida (FH), ISSN 1437-7624
- [L88]** H. Wust  
*"Die Wirkung von Laserstrahlung auf strukturelle, chemische und physikalische Eigenschaften von Holz"*  
 Shaker-Verlag, Aachen (2006) S. 1 - 156
- [L89]** H. Wust; P. Haller; G. Wiedemann  
*"Schmelzen von Holz durch Laserstrahlung."*  
 DVS-Berichte 240 (2006), S. 266-270
- [L90]** H. Wust, A. Wagenführ, M. Oertel, B. Buchelt, U. Schwarz, E. Beyer  
*"Schmalflächenbeschichtung mit dem Laser - Alte Technologien in neuem Licht Teil 1: Grundlagen zur Reaktivierung von Schmelzklebstoffen mit Laserstrahlung"*  
 Holztechnologie 3 (2006), S. 37-42
- [L91]** H. Wust, A. Wagenführ, M. Oertel, B. Buchelt, U. Schwarz, I. Jansen, E. Beyer  
*"Schmalflächenbeschichtung mit dem Laser - Alte Technologien in neuem Licht Teil 2: Der Fügeprozess an der Kantenanleimmaschine"*  
 Holztechnologie 5 (2006), S. 24-29
- [L92]** J. Ziemer  
*"Aktuelle Entwicklungen bei der Lasertechnik"*  
 Werkstoffe in der Fertigung (2006) 4, S. 36-38
- [L93]** O. Zimmer; E. Schmalz  
*"PVD-Beschichtung - Eine neue Lösung zur antistatischen Ausrüstung von Filtermedien. PVD-Coating - A New Solution for Antistatic Finishing of Filter Media."*  
 Symposium Textile Filter, Konferenz- Einzelbericht 8 \* (2006), S. 1-3

- [T01]** H. Beese, W. Grählert, V. Hopfe, F. Petzold, P. Kaspersen, A. Bohman, P. Mackrodt  
*"In-line Monitoring von Feuchtespuren und weiteren kritischen Verunreinigungen in Bulk- und Korrosivgasen der Mikroelektronik"*  
 Anwendungen und Trends in der Optischen Analysenmesstechnik  
 5. Konferenz über Optische Analysenmesstechnik in Industrie und Umwelt, Mannheim (D) 26. -27. September 2006
- [T02]** L.-M. Berger  
*"Thermal Spray Research at Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology"*  
 University of Sherbrooke, Québec (Canada) 12. Mai 2006
- [T03]** L.-M. Berger  
*"Hardmetal Bulk Materials and Coatings - Commonalities and Differences"*  
 Powder Metallurgy Congress & Exhibition Euro PM2006, Ghent (Belgium) 23.-25. Oktober 2006
- [T04]** L.-M. Berger  
*"Magnéli Phases in Thermal Spray Coatings"*  
 University of Stockholm (Schweden) 01. November 2006
- [T05]** L.-M. Berger, S. Saaro, M. Woydt  
*"Comparative Study of HVOF-Sprayed Hardmetal Coatings under High Temperature Dry Sliding Conditions"*  
 International Thermal Spray Conference, Seattle, Washington (USA) 15.-18. Mai 2006
- [T06]** L.-M. Berger, S. Saaro, M. Woydt  
*"Influence of Oxidation on the Dry Sliding Properties of HVOF-Sprayed Hardmetal Coatings"*  
 Powder Metallurgy Congress & Exhibition Euro PM2006, Ghent (Belgium) 23.-25. Oktober 2006
- [T07]** E. Beyer  
*"Schweißen und Schneiden mit Faserlasern - ein Entwicklungssprung in der Lasertechnik aus Anwendersicht"*  
 7th European Conference and Exhibition European Automotive Laser Application EALA 2006, Bad Nauheim (D) 26.-27. Januar 2006
- [T08]** E. Beyer  
*"Fibre Laser Applications in Germany"*  
 ALLU Workshop "Fibre Lasers - the Future of Laser Materials Processing Technology?", Bedfordshire (Großbritannien) 08. März 2006
- [T09]** E. Beyer  
*"Fraunhofer in Germany and the Fraunhofer Surface Technology and Photonics Alliance"*  
 Fraunhofer Pre-Conference, Plymouth (USA) 28. März 2006
- [T10]** E. Beyer  
*"High Power Fiber Laser Applications - the Future?"*  
 Fraunhofer Pre-Conference, Plymouth (USA) 28. März 2006
- [T11]** E. Beyer  
*"High Power Laser Applications"*  
 14th Annual Automotive Laser Application Workshop ALAW 2006 Plymouth (USA) 29.-30. März 2006
- [T12]** E. Beyer  
*"High Power Fiber Lasers and Potential Applications"*  
 2nd Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics PICALO 2006, Melbourne (Australien) 03.-05. April 2006
- [T13]** E. Beyer  
*"Reibungs- und Verschleißminderung durch Nanotechnologie"*  
 TKA Workshop "Nanotechnologie", Dortmund (D) 20. Juni 2006
- [T14]** E. Beyer  
*"Polarisierte Faserlaser und optische Rückwirkungen"*  
 2. Internationaler Workshop "Faserlaser" Dresden (D) 05.-06. Juli 2006
- [T15]** E. Beyer  
*"Fiber Laser Technology for Industry"*  
 GE Symposium "Light and matter: Advanced Laser Applications in Europe" Garching (D) 19. Juli 2006
- [T16]** E. Beyer  
*"Neue Entwicklungen und Trends in der Lasermaterialbearbeitung und die Anforderungen an die Strahlquellen und Strahlführung"*  
 2. PRIMES Workshop, Pfungstadt (D) 12.-13. September 2006
- [T17]** E. Beyer, B. Brenner, A. Klotzbach, S. Nowotny  
*"Laser Macro Processing - Today and Tomorrow"*  
 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing LAMP 2006 Kyoto (Japan) 16.-19. Mai 2006
- [T18]** E. Beyer, B. Brenner, L. Morgenthal  
*"Laser Beam Applications with High Power Fiber Laser"*  
 XVI International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers & High Power Lasers Conference GCL/HPL 2006 Gmunden (Österreich) 04.-08. September 2006
- [T19]** E. Beyer, B. Brenner, L. Morgenthal  
*"Faserlaseranwendung"*  
 5. Jenaer Lasertagung (D) 23.-24. November 2006
- [T20]** E. Beyer, B. Brenner, J. Standfuß  
*"Laser Beam Welding with High Power Fiber Lasers"*  
 25th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics ICALEO 2006 Scottsdale (AZ, USA) 30. Oktober - 02. November 2006
- [T21]** E. Beyer, W. Danzer  
*"Einfluss von Plasma und Schutzgas auf Schweißprozesse"*  
 2. Internationaler Workshop "Faserlaser" Dresden (D) 05.-06. Juli 2006
- [T22]** E. Beyer, A. Klotzbach, L. Morgenthal  
*"Working with a Polarized Fiber Laser for Welding and Cutting"*  
 25th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics ICALEO 2006 Scottsdale (USA) 30. Oktober - 02. November 2006
- [T23]** I. Bialuch, H.-J. Scheibe, W. Augustin  
*"Anitihaf- und Antifouling-Effekte durch modifizierte amorphe Kohlenwasserstoffe"*  
 EFDS Workshop "Kohlenstoffschichten - tribologische Eigenschaften und Verfahren zu ihrer Herstellung", Dortmund (D) 08. Juni 2006
- [T24]** S. Bonß  
*"BMBF-Projekt "Integrierte Härterei - Neue Möglichkeiten des Laserstrahlhärtens im Werkzeugbau"*  
 Härtereikolloquium 2006, Wiesbaden (D) 11.-13. Oktober 2006

- [T25]** S. Bonß, J. Hannweber, U. Karsunke, M. Seifert, B. Brenner, E. Beyer  
*"Integrated Heat Treatment - System for Precise Hardening Journal of Unique Tools or Parts"*  
 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing LAMP 2006, Kyoto (Japan) 16.-19. Mai 2006
- [T26]** S. Bonß, J. Hannweber, U. Karsunke, M. Seifert, B. Brenner, E. Beyer  
*"Integrated Heat Treatment - Comparison of Different Machine Concepts"*  
 25th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics ICALEO 2006, Scottsdale (AZ, USA) 30. Oktober - 02. November 2006
- [T27]** S. Bonß, J. Hannweber, S. Kühn, M. Seifert, B. Brenner, E. Beyer  
*"LASSY - Laserstrahlhärten mit variabler Spurbreite"*  
 9. Werkstofftechnisches Kolloquium (WTK) Chemnitz (D) 07.-08. September 2006
- [T28]** S. Bonß, J. Hannweber, S. Kühn, M. Seifert, B. Brenner, E. Beyer  
*"Variable Bearbeitungsoptik zum Laserstrahlhärten"*  
 5. Jenaer Lasertagung, Jena (D) 23.-24. November 2006
- [T29]** S. Bonß, J. Hannweber, M. Seifert, U. Karsunke, E. Beyer  
*"Integrated Heat Treatment - System for Precise Hardening of Unique Tools or Parts"*  
 2nd Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics PICALLO 2006, Melbourne (Australien) 03.-05. April 2006
- [T30]** S. Bonß, M. Seifert, J. Hannweber  
*"LASSY - dynamisch adaptierbare Härteoptik"*  
 6. Workshop "Industrielle Anwendungen von Hochleistungs-Diodenlasern", Dresden (D) 08.-09. November 2006
- [T31]** S. Braun, W. Friedrich, P. Gawlitza, S. Lipfert, M. Menzel, S. Schädlich, J. Schmidt, A. Leson  
*"Herstellung und Charakterisierung von Mo/Si-Multischichten für Anwendungen im extrem ultravioletten Spektralbereich"*  
 XIII Erfahrungsaustausch "Oberflächentechnologien mit Plasma- und Ionenstrahlprozessen" Mühlleithen (D) 14.-16. März 2006
- [T32]** S. Braun, P. Gawlitza, S. Lipfert, M. Menzel, S. Schädlich, A. Leson  
*"Sputter Deposition of Nanometer Multi-Layer Coatings for High-Reflection Optics in the Extreme Ultraviolet (EUV) Spectral Region"*  
 10th International Conference on Plasma Surface Engineering PSE 2006 Garmisch-Partenkirchen (D) 10.-13. September 2006
- [T33]** S. Braun, P. Gawlitza, M. Menzel, A. Leson, M. Mertin, F. Schäfers  
*"Reflectance and Resolution of Multi-layer Monochromators for Photon Energies from 400 - 6000 eV"*  
 The 9th International Conference on Synchrotron Radiation Instruments (SRI) Daegu (Südkorea) 28. Mai-02. Juni 2006
- [T34]** S. Braun, P. Gawlitza, M. Menzel, S. Schädlich, A. Leson  
*"High-Precision Multilayer Coatings and Reflectometry for EUVL Optics"*  
 The 9th International Conference on Synchrotron Radiation Instruments (SRI) Daegu (Südkorea) 28. Mai-02. Juni 2006
- [T35]** B. Brenner, J. Standfuß, B. Winderlich, A. Junk, G. Göbel  
*"Das Verbundvorhaben LaserPowerTrain (Laserschweißen im Getriebebau) unter dem Simulationsaspekt"*  
 24th CAD/FEM-User's Meeting, Stuttgart (D) 25.-27. Oktober 2006
- [T36]** B. Brenner, S. Bonß, F. Tietz, J. Hannweber, M. Seifert, S. Kühn, U. Karsunke  
*"HLDL - Anlage zum beidseitig-gleichzeitigen Laserstrahlhärten formkomplizierter Bauteile"*  
 6. Workshop "Industrielle Anwendungen von Hochleistungs-Diodenlasern", Dresden (D) 08.-09. November 2006
- [T37]** B. Brenner, G. Göbel, D. Dittrich, J. Standfuß, E. Beyer  
*"Use of Fiber Lasers with Highest Beam Quality for Welding of Steel and Light Weight Alloys"*  
 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing LAMP 2006, Kyoto (Japan) 16.-19. Mai 2006
- [T38]** B. Brenner, G. Göbel, U. Stamm, J. Standfuß, S. Schrauber  
*"Influence of Beam Quality on Crack Formation in hard-to-weld Materials"*  
 2. Internationaler Workshop "Faserlaser" Dresden (D) 05.-06. Juli 2006
- [T39]** B. Brenner, G. Göbel, J. Standfuß, U. Stamm  
*"Neuere Ergebnisse zum Schweißen von Eisenbasiswerkstoffen mit Faserlasern"*  
 5. Laser-Anwenderforum, Bremen (D) 13.-14. September 2006
- [T40]** B. Brenner, A. Jahn, G. Göbel, A. Klotzbach, J. Standfuß, L. Morgenthal  
*"Neue Möglichkeiten des Laserstrahlschweißens für den Karosseriebau"*  
 Internationaler Rohbauexpertenkreis, 30. Fachtagung "Prozesskette Karosserie®", Leipzig (D) 09.-11. Mai 2006
- [T41]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Calculation of the Influence of Additional Heat Sources on Residual Stresses in Laser Cladding"*  
 19th Meeting on Mathematical Modelling of Materials Processing with Lasers, Igls (A) 18.-20. Januar 2006
- [T42]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Modellrechnungen zur Reduktion der Spannungen beim Laser-Pulver-Auftragschweißen mittels zusätzlicher Wärmequellen"*  
 WLT-Summerschool, Hannover (D) 28.-30. Juni 2006
- [T43]** F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer  
*"Finite Element Studies of Stress Evolution in Induction Assisted Laser Cladding"*  
 XVI International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers & High Power Lasers Conference, Gmunden (A), 04.-08. September 2006
- [T44]** I. Dani, D. Linaschke, V. Hopfe  
*"Atmosphärendruck-PECVD-Prozesse zur Abscheidung kohlenstoffbasierter Schichten"*  
 2. Workshop "Kohlenstoffsichten - tribologische Eigenschaften und Verfahren zu ihrer Herstellung" Dortmund (D) 08. Juni 2006
- [T45]** F. Dausinger, J. Weberpals, B. Brenner, G. Göbel  
*"The Role of Strong Focusability on the Welding Process"*  
 25th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics ICALEO 2006, Scottsdale (AZ, USA) 30. Oktober - 02. November 2006

- [T46]** D. Dittrich, B. Winderlich, B. Brenner, J. Standfuß, J. Hackius  
*"Current Status of Laser Beam Welding of Skin-Skin-Joints for Aircraft Al-Fuselages"*  
 International Conference on Aluminium, Essen (D) 21.-22. September 2006
- [T47]** V. Franke, F. Sonntag, G. Richter, U. Klotzbach  
*"Fügen von LTCC und Kunststoff mittels Laserstrahlung"*  
 18th International Scientific Conference Mittweida (D) 09.-11. November 2006
- [T48]** V. Franke, F. Sonntag, G. Richter, U. Klotzbach  
*"New Technology for Joining of LTCC and Polymer Assemblies"*  
 1st Electronics Systemintegration Technology Conference ESTC2006, Dresden (D) 05.-07. September 2006
- [T49]** P. Gawlitza  
*"Der Einsatz der Ionenstrahlputtertechnik zur Abscheidung von hochpräzisen Nanometer-Multischichten"*  
 XIII. Erfahrungsaustausch "Oberflächentechnologien mit Plasma- und Ionenstrahlprozessen" Mühllleithen (D) 14.-16. März 2006
- [T50]** P. Gawlitza, S. Braun, A. Leson  
*"Ion-Beam Sputter Deposition of X-Ray Multilayer Optics on Large Areas"*  
 Advances in X-Ray/EUV Optics, Components, and Applications - Optics & Photonics, Annual meeting of SPI, San Diego (USA) 13.-17. August 2006
- [T51]** P. Gawlitza, S. Braun, S. Lipfert, S. Schädlich, A. Leson  
*"Dual Ion-Beam Sputter Deposited Mo/Si Multilayers with Sub-Nanometer Barrier Layers"*  
 Advances in X-Ray/EUV Optics, Components, and Applications - Optics & Photonics, Annual meeting of SPI San Diego (USA) 13.-17. August 2006
- [T52]** G. Göbel, B. Brenner  
*"Avoiding Hot Cracking by Induction based Change of Thermal Strains during Laser Welding"*  
 25th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics ICALEO 2006, Scottsdale (AZ, USA) 30. Oktober - 02. November 2006
- [T53]** W. Grählerlert  
*"Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des FhG Institutes für Werkstoff- und Strahltechnik auf dem Gebiet der Halbleiterfertigung"*  
 1. Silicon Saxony Tag, Dresden (D) 02. März 2006
- [T54]** W. Grählerlert, I. Dani, G. Mäder, O. Throl, V. Hopfe, K. Pietsch, T. Wünsche, T. Dreyer  
*"ISPROM, ein in-situ-Multigasanalysator für CVD- und Ätzprozesse"*  
 Anwendungen und Trends in der Optischen Analysenmesstechnik 5. Konferenz über Optische Analysenmesstechnik in Industrie und Umwelt Mannheim (D) 26.-27. September 2006
- [T55]** J. Hannweber, S. Bonß, B. Brenner, E. Beyer  
*"Practical Applications of Camera Based Systems for Laser Material processing"*  
 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing LAMP 2006, Kyoto (Japan) 16.-19. Mai 2006
- [T56]** J. Hannweber, S. Kühn, S. Bonss, B. Brenner, E. Beyer  
*"Camera Based System for Online Laser Beam Monitoring"*  
 2nd Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics PICALO 2006, Melbourne (Australien) 03.-05. April 2006
- [T57]** J. Hauptmann, U. Klotzbach, V. Franke  
*"Überblick der Laseranwendungsmöglichkeiten"*  
 Messe Interpack Innovationparc Packaging, Düsseldorf (D) 26. September 2006
- [T58]** J. Hauptmann, U. Klotzbach, V. Franke  
*"Innovative Laserbearbeitung für die Kunststofftechnik"*  
 50. Sitzung der Regionalgruppe Sachsen des GKV, Fachverband Technische Teile, Fa. Pentacon, Dresden (D) 14. November 2006
- [T59]** J. Hauptmann, A. Klotzbach, G. Wiedemann  
*"Reinigen mit Lasern: Chancen und Grenzen"*  
 6. PhotonicNet Arbeitskreis "Oberflächenbearbeitung", Braunschweig (D) 21. September 2006
- [T60]** J. Hauptmann, A. Klotzbach, G. Wiedemann  
*"Grundlagen des Laserstrahlreinigens und technische Anwendungsmöglichkeiten"*  
 Oberflächentage des Zentralverbandes Oberflächentechnik e. V., Bonn (D) 28. September 2006
- [T61]** J. Hauptmann, A. Klotzbach, G. Wiedemann  
*"Partielle Bauteilreinigung mit Lasern"*  
 Messe Parts2Clean Anwenderforum, Friedrichshafen (D) 09. November 2006
- [T62]** M. Heintze, A. Hauser, R. Möller, H. Wanka, E. López, I. Dani, V. Hopfe, J. W. Müller, A. Huwe  
*"In-line Plasma Etching at Atmospheric Pressure for Edge Isolation in Crystalline Si Solar Cells"*  
 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion IEEE, Waikoloa (Hawaii) 07.-12. Mai 2006
- [T63]** V. Hopfe  
*"Atmospheric Pressure PECVD Coating and Plasma Chemical Etching for Continuous Processing"*  
 The 33rd IEEE International Conference on Plasma Science, Traverse City (Michigan, USA) 04.-08. Juni 2006
- [T64]** V. Hopfe  
*"Atmospheric Pressure CVD"*,  
 Mini Course The 33rd IEEE International Conference on Plasma Science, Traverse City (Michigan, USA) 04.-08. Juni 2006
- [T65]** V. Hopfe  
*"New Developments (AP plasma CVD) and In-situ Monitoring"*  
 Short Course International Conference on Coatings on Glass and Plastics, Dresden (D) 18.-22. Juni 2006
- [T66]** V. Hopfe  
*"AD-Plasma-CVD und Plasmaätzen mittels linearer DC-Arc-Jet-Quelle"*  
 OTTI-Forum Reinigen, Aktivieren und Beschichten mit Atmosphärendruck (AD)-Plasma - Geräte, Verfahren, Anwendungen, Würzburg (D) 26.-27. Juni 2006

- [T67]** V. Hopfe  
*"Atmospheric Pressure Plasmas for Continuous Thin Film Deposition and Etching"*  
 4th Technological Plasma Workshop Manchester (UK) 14.-15. Dezember 2006
- [T68]** V. Hopfe, I. Dani, E. López, M. Rosina, G. Mäder, R. Möller, H. Wanka, M. Heintze  
*"Atmospheric Pressure PECVD and Atmospheric Pressure Plasma Chemical Etching for Continuous Processing of Crystalline Silicon Wafers"*  
 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Dresden (D) 04.-08. September 2006
- [T69]** V. Hopfe, D. W. Sheel  
*"Atmospheric Pressure Plasmas for Continuous Thin Film Deposition and Etching"*  
 10th International Conference on Plasma Surface Engineering PSE 2006 Garmisch-Partenkirchen (D) 10.-15. September 2006
- [T70]** A. Jahn, B. Brenner, E. Beyer  
*"Induction Assisted Laser Welding of Advanced High Strength Steels to Increase the Formability of Welded Automotive Body Structures"*  
 25th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics ICALAO 2006, Scottsdale (AZ, USA) 30. Oktober - 02. November 2006
- [T71]** I. Jansen  
*"Dauerhafte Klebverbindungen durch physikalische Oberflächenbehandlung"*  
 Forum auf der Hannovermesse 2006, Hannover (D) 26. April 2006
- [T72]** I. Jansen  
*"Klebtechnik im Fraunhofer IWS in Dresden"*  
 Kolloquium Sika-AG, Widen (CH) 15. Mai 2006
- [T73]** I. Jansen  
*"Oberflächenvorbehandlung von Glas und Metallen"*  
 Innovationsforum Glas, Landsberg (D) 27.-28. September 2006
- [T74]** I. Jansen, R. Böhme  
*"Vorbehandlung von faserverstärkten Kunststoffen vor dem Kleben"*  
 EFDS Workshop Vorbehandlung von Kunststoffen vor dem Beschichten, Bedrucken und Bekleben, Frankfurt/Main (D) 07. April 2006
- [T75]** O. Jost, O. Zimmer, I. Dani  
*"Cheap Carbon Nanotubes - Very Recent Synthesis Successes Open New Opportunities for Nanotube-Based Applications"*  
 Nanofair 2006, Karlsruhe (D) 21.-22. November 2006
- [T76]** D. Klaffke, B. Schultrich, V. Weihnacht  
*"Tribological Characterisation of ta-C Coatings under Lubricated Conditions"*  
 15th International Colloquium Tribology, Stuttgart (D) 17.-19. Januar 2006
- [T77]** C. Kleemann, H.-J. Scheibe, T. Schuelke  
*"Tribological Study of the Friction and Wear Behavior of Amorphous Hard Carbon (ta-C) Coatings under Different Lubrication Conditions"*  
 49th Annual SVC Technical Conference Washington (DC, USA) 22.-27. April 2006
- [T78]** C. Kleemann, H.-J. Scheibe, T. Schuelke  
*"Friction and Wear Behavior of Amorphous Hard Carbon (ta-C) Coatings under Different Lubrication Conditions"*  
 International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films (ICMCTF) San Diego (Ca, USA) 01.-05. Mai 2006
- [T79]** A. Klotzbach  
*"Remote System for High Beam Quality Solid State Lasers"*  
 ALAW 2006, Fraunhofer Pre-Conference, Plymouth (MI, USA) 28. März 2006
- [T80]** A. Klotzbach, E. Beyer  
*"Variable Bearbeitungsoptik zum Laserstrahlhärten"*  
 5. Jenaer Lasertagung, Jena (D) 23.-24. November 2006
- [T81]** A. Klotzbach, A. Mahrle, P. Pfohl, E. Beyer  
*"High Dynamic Beam Deflection Optics for Remote Welding with Fiber Laser"*  
 25th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics ICALAO 2006, Scottsdale (AZ, USA) 30. Oktober - 02. November 2006
- [T82]** A. Klotzbach, P. Pfohl  
*"Remote Processing with Fiber Lasers"*  
 2. Internationaler Workshop "Faserlaser" Dresden (D) 05.-06. Juli 2006
- [T83]** U. Klotzbach, M. Panzner, V. Franke, F. Sonntag, J. Hauptmann  
*"Chances for Small Medium-Sized Enterprises Relating Laser-Micro-Fabrication"*  
 R&D days International Forum on project development Bologna (I) September 2006
- [T84]** U. Klotzbach, M. Panzner, V. Franke, F. Sonntag, J. Hauptmann  
*"Potentialities of Laser in Micro Fabrication"*  
 Laser Anwendungsseminar Budapest (H) Oktober 2006
- [T85]** U. Klotzbach, M. Panzner, G. Wiedemann  
*"Möglichkeiten und Grenzen der Lasertechnik für die Restaurierung von metallischen Kunst- Kulturgut"*  
 GfKORR-Jahrestagung, Frankfurt am Main (D) 07.-08. November 2006
- [T86]** A. Lange  
*"Formation of Thermoelectric Currents in Weld Pools"*  
 Seminar "Nichtlinearität und Unordnung in komplexen Systemen", Universität Magdeburg (D) 16. Januar 2006
- [T87]** A. Lange, E. Beyer  
*"Thermoelectric Currents in Laser Melted Pools"*  
 19th Meeting on Mathematical Modelling of Materials Processing with Lasers, Igl's (A) 18.-20. Januar 2006
- [T88]** A. Lange, E. Beyer  
*"Thermoelectric Currents in Laser-induced Weld Pools"*  
 WLT-Summerschool, Hannover (D) 28.-30. Juni 2006
- [T89]** A. Leson  
*"Nanoscience and Nanotechnology in Germany - Highlights and Examples of Cooperation with Japan"*  
 Luncheon Panel Presentation im Rahmen des "Seeds&Needs" Seminares Tokio (Japan) 22. Februar 2006

- [T90]** A. Leson  
*"Nanoscaled Multilayers for Electronics and X-Ray Analytical Purposes"*  
 Workshop "Functional nanostructures an nanomaterials", Wellington (Neuseeland) 10. März 2006
- [T91]** A. Leson  
*"Nanotechnologie in Sachsen"*  
 Sächsisches Technologieforum Dresden (D) 18. Mai 2006
- [T92]** A. Leson  
*"Nanoscaled Multilayer Systems for X-Ray Analytics and EUV Lithography"*  
 3rd Korea-Germany Joint Seminar on Nanostructured Materials, Ulsan (Südkorea) 22. September 2006
- [T93]** A. Leson  
*"Nanometermultischichtsysteme und deren Anwendungen in der Elektronik und Analytik"*  
 vaQum 2006, Magdeburg (D) 27. September 2006
- [T94]** A. Leson  
*"Problemlösungen für industrielle Fragestellungen"*  
 NanoDE 2006  
 Berlin (D) 06.-07. Dezember 2006
- [T95]** A. Leson, S. Braun, P. Gawlitza, M. Nestler  
*"Large Area Ion Beam Sputter Deposition of Nanometer Multilayers"*  
 7th Symposium of European Vacuum Coaters, Anzio (Italien) 02.-04. Oktober 2006
- [T96]** S. Lipfert  
*"Einsatz der Puls-Laser-Deposition (PLD) zur Beschichtung von Innenflächen"*  
 LambdaPhysik-Kolloquium zur "Oberflächenbearbeitung mit dem Laser" Mittweida (D) 28. März 2006
- [T97]** S. Lipfert, P. Gawlitza, A. Leson  
*"Verbesserung der Haftfestigkeit superharter amorpher Kohlenstoffschichten (DLC) auf Innenflächen"*  
 WLT-Summerschool, Hannover (D) 28.-30. Juni 2006
- [T98]** K. Lipp, L.-M. Berger, U. May, M. Wiener  
*"Rolling Contact Fatigue of the Hardmetal Coating WC-17%Co"*  
 Powder Metallurgy Congress & Exhibition Euro PM2006, Ghent (Belgium) 23.-25. Oktober 2006
- [T99]** E. López, I. Dani, V. Hopfe, M. Heintze, A. Hauser, R. Möller, H. Wanka  
*"Plasma Etching at Atmospheric Pressure for rear Emitter Removal in Crystalline Si Solar Cells"*  
 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Dresden (D) 04.-08. September 2006
- [T100]** E. López, I. Dani, V. Hopfe, H. Wanka, M. Heintze, R. Möller, A. Hauser  
*"Plasma Enhanced Chemical Etching at Atmospheric Pressure for Silicon Wafer Processing"*  
 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Dresden (D) 04.-08. September 2006
- [T101]** E. López, I. Dani, V. Hopfe, H. Wanka, R. Möller, M. Heintze, A. Hauser  
*"Atmospheric Pressure Plasma Chemical Etching for Continuous c-Si Solar Wafer Processing"*  
 Marie Curie Conference, Manchester (UK) 10.-12. April 2006
- [T102]** A. Mahrle, E. Beyer  
*"Transiente Simulation laserinduzierter Schmelzbäder beim Wärmeleitungsschweißen"*  
 WLT-Summerschool, Hannover (D) 28.-30. Juni 2006
- [T103]** S. Martens, V. Weihnacht, L.-M. Berger, I. Schulz, D. Lehmann, B. Schlecht  
*"Ölfreie Getriebe"*  
 Tribologie-Fachtagung 2006, Göttingen (D) September 2006
- [T104]** M. Menzel, S. Braun, A. Leson, F. Schäfers  
*"Nanometer Multilayers as Monochromators for X-ray Spectrometry"*  
 European Conference on X-ray spectrometry (EXRS), Paris (F) 19.-23. Juni 2006
- [T105]** S. Nowotny  
*"Laserstrahl-Auftragschweißen in der industriellen Fertigung"*  
 VDI-Workshop Rapid Innovation, HTW Dresden (D) 15. November 2006
- [T106]** S. Nowotny  
*"Laserstrahl-Auftragschweißen: Präzisionstechnologie für Oberflächen-schutz und Reparaturen"*  
 3. GTV-Kolloquium Thermisches Spritzen, Luckenbach (D) 9. Juni 2006
- [T107]** S. Nowotny  
*"Flexible 3D-Bearbeitung durch laserbasierte Fügeverfahren mit integrierter Werkstoffzufuhr"*  
 1. BMBF-Koordinatorentreffen Fügen, DVS-Forschungsvereinigung, Düsseldorf (D) 30. Mai 2006
- [T108]** S. Nowotny  
*"Beschichten, Reparieren und Generieren durch Laserstrahl-Präzisionsauftragschweißen"*  
 BMBF-Impulsveranstaltung "Laserbasierte Füge- und Beschichtungsverfahren", Fraunhofer IWS Dresden (D) 16. November 2006
- [T109]** S. Nowotny, S. Scharek, A. Schmidt, F. Kempe  
*"Innovative Systemtechnik zum Rapid Repairing von hochwertigen Bauteilen und Werkzeugen"*  
 Euro-uRapid2006, Frankfurt (D) 27.-28. November 2006
- [T110]** M. Oertel, U. Schwarz, H. Wust  
*"Schmalfächenbeschichtung im Brennpunkt des Lasers"*  
 VVD 2006 Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik - Vorsprung aus Tradition, Dresden (D), 23.-24. März 2006
- [T111]** M. Panzner, U. Klotzbach, E. Beyer  
*"THz-Technik: Neue Möglichkeiten für Tomographie und Spektroskopie"*  
 EFDS Workshop "Imaging und Bildverarbeitung für die Qualitätssicherung in der Oberflächentechnik" Dresden (D) 26. April 2006
- [T112]** M. Panzner, W. Köhler, S. Winnerl, M. Helm, F. Rutz, Ch. Jördens, M. Koch, H. Leitner, U. Klotzbach, E. Beyer  
*"Non-Destructive Investigations of Paintings with THz- Radiation"*  
 ECNDT, Berlin (D) 25.-29. September 2006

- [T113]** M. Panzner, G. Wiedemann, U. Klotzbach  
*"Lasereinsatz in der Denkmalpflege"*  
 Bauakademie Sachsen zum Tag des offenen Denkmals, Dresden (D) 09. September 2006
- [T114]** M. Panzner, G. Wiedemann, U. Klotzbach, E. Beyer  
*"Einsatz mobiler Lasertechnik zur Reinigung in der Restaurierung"*  
 5. Kolloquium "Laserstrahl-Handbearbeitung" 2006, Halle (D) 29.-30. September 2006
- [T115]** S. Scharek  
*"Werkstoff-im-Ringstrahl - ein neues fertigungstechnisches Konzept zum Auftragschweißen und Fügen mit Zusatzwerkstoff"*  
 BMBF-Impulsveranstaltung "Laserbasierte Füge- und Beschichtungsverfahren", Fraunhofer IWS Dresden (D) 16. November 2006
- [T116]** H.-J. Scheibe, C. Kleemann, L. Haubold, T. Schuelke  
*"Industrial Deposition Technology and Tribological Properties of Superhard Amorphous (ta-C) Carbon Films"*  
 International Conference on Superhard Coatings (ICSC), Ein-Gedi (Israel) 27. Februar - 1. März 2006
- [T117]** E. Schmalz, O. Zimmer  
*"Coating of Textiles for Filter with Advance Performance"*  
 International Conference on Plasma Surface Engineering PSE, Garmisch-Partenkirchen (D) 11.-15. September 2006
- [T118]** D. Schneider, B. Schultrich  
*"Testing Films and Coatings with a Wide Range of Properties by Laser-Acoustics"*  
 International Conference on Plasma Surface Engineering PSE, Garmisch-Partenkirchen (D) 11.-15. September 2006
- [T119]** B. Schultrich  
*"Nanolayered Tribological and Functional Coatings"*  
 Trilateral Conference on Vacuum and Plasma Surface Engineering, Hejnice (CZ) 26. September 2006
- [T120]** B. Schultrich  
*"Carbon-Based Hard Coatings"*  
 Tutorial "Fundamentals and Trends of Plasma Surface Processing" in Connection with 10th International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE2006), Garmisch-Partenkirchen (D) 09.-10. September 2006
- [T121]** B. Schultrich  
*"Vakuumbogenbeschichtung"*  
 OTTI Fachforum "Die Vielfalt von Beschichtungen", Regensburg (D) 13.-14. März 2006
- [T122]** B. Schultrich  
*"Vakuumbogenbeschichtung"*  
 4th MSTI Nanotechnology and Business Congress & Exhibition Nanotrends, Potsdam (D) 11. Mai 2006
- [T123]** B. Schultrich, K. Bewilogua  
*"Tribologisches Verhalten von amorphen Kohlenstoffschichten"*  
 EFDS Workshop "Kohlenstoffschichten - tribologische Eigenschaften und Verfahren zu ihrer Herstellung", Dortmund (D) 08. Juni 2006
- [T124]** B. Schultrich, T. Stucky, V. Weihnacht  
*"Potential amorpher Kohlenstoffschichten für die Lebensmittelindustrie"*  
 Messe Innovationparc Packaging, Düsseldorf (D) 26. September 2006
- [T125]** B. Schultrich, V. Weihnacht  
*"Industrial Potential of Tetrahedrally Bonded Amorphous Carbon Films"*  
 ATV-SEMAPP Seminar, Aarhus, 29. März 2006
- [T126]** B. Schultrich, V. Weihnacht  
*"Superharte amorphe Kohlenstoffschichten für Zerspanungs-Werkzeuge"*  
 Arbeitskreis Diamant-Werkzeuge, Braunschweig (D) 9. März 2006
- [T127]** B. Schultrich, V. Weihnacht, H.-J. Scheibe, T. Stucky  
*"Superhard Amorphous Carbon Films (ta-C) for Machining and Forming Tools"*  
 International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, San Diego (USA) 01.-05. Mai 2006
- [T128]** B. Schultrich, V. Weihnacht, H.-J. Scheibe, T. Stucky  
*"Superhard Amorphous Carbon Films (ta-C) for Machining and Forming Tools"*  
 49th Annual SVC Technical Conference, Washington (DC, USA) 22.-27. April 2006,
- [T129]** C.C. Stahr, S. Saaro, L.-M. Berger, J. Dubsky, K. Neufuss  
*"Über die Abhängigkeit der Stabilisierung von Korund vom Spritzprozess"*  
 9. Werkstofftechnisches Kolloquium (WTK), Chemnitz (D) 07.-08. September 2006
- [T130]** J. Standfuß  
*"Laser Beam Welding - Application- and Material Adapted Solutions"*  
 ALAW 2006, Fraunhofer Pre-Conference, Plymouth (MI, USA) 28. März 2006
- [T131]** J. Standfuß  
*"Laser Beam Welding of Light Metals for Automotive Applications"*  
 Symposium on Laser Applications to Materials Joining, Modification and Diagnostics, Quebec (Kanada) 8. Juni 2006
- [T132]** J. Standfuß, U. Stamm, G. Göbel, S. Schrauber  
*"Laser Beam Welding with Fiber Lasers in Power Train"*  
 2. Internationaler Workshop "Faserlaser" Dresden (D) 05.- 06. Juli 2006
- [T133]** A. Techel, L.-M. Berger, J. Bretschneider, S. Thiele  
*"Laser and PTA Surfacing with TIC-Based Materials"*  
 Building on 100 Years of Success: Proceedings of the 2006 International Thermal Spray Conference CD, Ed.: B.R. Marple, M.M. Hyland, Y.-C. Lau, R.S. Lima, J. Voyer, Materials Park/Ohio: ASM International (2006)
- [T134]** A. Techel, S. Nowotny  
*"Erzeugung von hochpräzisen Metallschichten und -strukturen durch neue Varianten des Auftragschweißens"*  
 2. Internationaler Workshop "Faserlaser" Dresden (D) 05.-06. Juli 2006

- [T135]** S. Tschöcke, V. Hopfe, I. Dani, L. Kotte  
*"Abscheidung von kratzfesten SiO<sub>2</sub>-Schichten mittels PECVD bei Atmosphärendruck"*  
 Thüringer Grenz- und Oberflächentage, Oberhof (D) 13.-14. September 2006
- [T136]** J. Tuominen, J. Latokartano, J. Vihinen, P. Vuoristo, T. Mäntylä, T. Naumann, S. Scharek, L.-M. Berger, S. Nowotny  
*"Deposition of Thick Wear and Corrosion Resistant Coatings by High Power Diode Laser"*  
 International Thermal Spray Conference, Seattle, Washington (USA) 15.-18. Mai 2006
- [T137]** V. Weihnacht, J. Berthold, B. Schultrich, D. Klaffke  
*"Superhard Amorphous Carbon Films for Critical Lubrication Conditions"*  
 15th International Colloquium Tribology Automotive and Industrial Lubrication, Stuttgart (D) 17.-19. Januar 2006
- [T138]** V. Weihnacht, B. Schultrich, O. Zimmer  
*"Reibungs- und Verschleißigenschaften modifizierter ta-C-Schichten"*  
 Werkstofftechnisches Kolloquium (WTK), Chemnitz (D) 07.-08. September 2006
- [T139]** V. Weihnacht, T. Stucky, B. Schultrich  
*"Eigenschaften und Anwendungen von superharten ta-C-Schichten"*  
 EFDS Workshop "Kohlenstoffsichten - tribologische Eigenschaften und Verfahren zu ihrer Herstellung", Dortmund (D) 08. Juni 2006
- [T140]** R. Wiese, H. Kersten, L. Kotte, S. Krause, I. Dani, V. Hopfe  
*"Energieeinstrommessungen an einem atmosphärischen Mikrowellenplasma"*  
 XIII. Erfahrungsaustausch Oberflächentechnologie mit Plasma- und Ionenstrahlprozessen Mühlleithen (D) 14.-16. März 2006
- [T141]** R. Wolf, F. Trageser, C. Hochmuth, R. Neugebauer, S. Ortman, L.-M. Berger, M. Wiener, T. Naumann, S. Rein, T. Schumann  
*"Verschleißschutz von Nockenflächen durch Beschichtung und Oberflächenbehandlung"*  
 18th International Scientific Conference Mittweida (D) 09.-11. November 2006
- [T142]** H. Wust, P. Haller  
*"Die Veränderung der Struktur von Holz durch Laserstrahlung und die Auswirkung auf physikalische Eigenschaften der Holzoberfläche"*  
 Forschungskolloquium Holzbau "Forschung und Praxis", Stuttgart (D) 23.-24. Februar 2006
- [T143]** H. Wust, P. Haller, G. Wiedemann  
*"Schmelzen von Holz durch Laserstrahlung"*  
 Grosse Schweißtechnische Tagung, Aachen (D) 20.-22. September 2006
- [T144]** H. Wust, I. Jansen, R. Rechner, E. Beyer  
*"Lasergestütztes Fügeverfahren am Beispiel der Kantenleimung"*  
 WLT Laser Summer School, Hannover (D) 28.-30. Juni 2006
- [T145]** H. Wust, I. Jansen, M. Oertel, U. Schwarz, A. Wagenführ, E. Beyer  
*"Lasergestütztes Fügeverfahren am Beispiel der Kantenleimung"*  
 6. Kolloquium Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik, Frankfurt am Main (D) 21.-22. Februar 2006
- [T146]** H. Wust, U. Schwarz, M. Oertel  
*"Schmalflächenbeschichtung im Fokus des Lasers"*  
 Internationale Möbeltage 2006, Dresden (D) 09.-11. Mai 2006
- [T147]** O. Zimmer  
*"Vakuumbogenbeschichtung mit Partikelfilterung"*  
 Werkstofftechnisches Kolloquium (WTK), Chemnitz (D) 07.-08. September 2006
- [T148]** O. Zimmer, B. Schultrich, T. Stucky, I. Endler, R. Schober, J. Vetter  
*"Beschichtete Werkzeuge - Chance oder Kostenfaktor?"*  
 EFDS-Workshop "Beschichtete Werkzeuge - höhere Wirtschaftlichkeit in der Ur- und Umformtechnik" Dresden (D) 25. November 2006
- [T149]** U. Zschenderlein, B. Kämpfe, B. Schultrich  
*"Application of Energy-Dispersive X-Ray Diffraction for the Efficient Investigation of Internal Stresses in Thin Films"*  
 Conference on Applied Crystallography, Wisla (Polen) 11.-14. September 2006

Bitte senden Sie mir Material über folgende Verfahren und Methoden:

#### Bereich Röntgen- und EUV-Optik

- Multischichten für EUV- und röntgenoptische Anwendungen

#### Bereich PVD-Dünnschichttechnologie

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

#### Bereich CVD-Dünnschichttechnologie

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

#### Bereich Thermische Beschichtungsverfahren

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

#### Bereich Füge- und Randschichttechnologien

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

#### Bereich Systemtechnik / Laserabtragen und -trennen

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

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

#### Bitte senden Sie mir:

- die Broschüre »Problemlösungen aus einer Hand«
- die Broschüre »One-Stop Solutions« (in englisch)
- den Jahresbericht 2004
- den Jahresbericht 2005
- einen weiteren Jahresbericht 2006

#### Adresse:

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden  
Gruppe Kommunikation  
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

## 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)

## Anfahrtsweg:

Mit dem Auto (ab Autobahn):

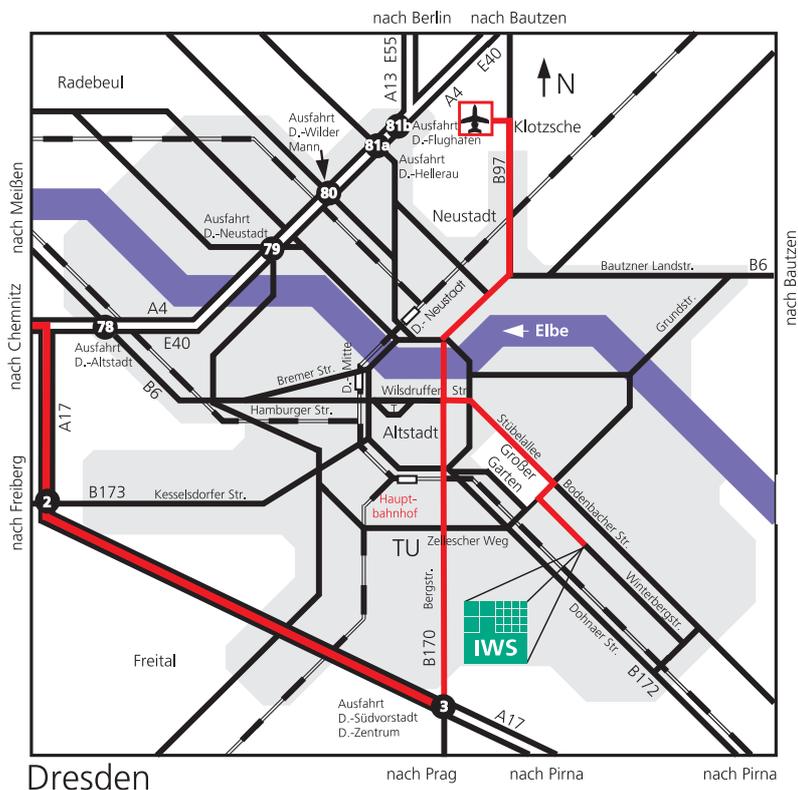
- Autobahn A4 oder A13 bis Dreieck Dresden-West, dann über die neue Autobahn A17, Ausfahrt Südvorstadt / Zentrum,
- Bundesstraße B170 folgend Richtung Stadtzentrum bis Pirnaischer Platz (ca. 6 km),
- am Pirnaischen Platz rechts abbiegen Richtung »Gruna / VW-Manufaktur«,
- geradeaus, am Ende des »Großen 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 Kleinzschwitz bzw. Prohlis) bis Haltestelle Zwinglistraße,
- 10 min zu Fuß (Richtung Grunaer Weg).

Mit dem Flugzeug:

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



## Impressum

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

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

Bildnachweis: S. 7 (Abb. li. o.): EMAG Laser Tec  
S. 7: (Abb. u.): Hauzer Techno Coating  
S. 12: Landeshauptstadt Dresden  
S. 35 (Abb. 1): Fa. Döllken  
S. 47 (Abb. 2): Neferhotep e. V.  
S. 48 (Abb. o.): MTU Aero Engines  
S. 53 (Abb. 1.): ITSC 2002  
S. 55 (Abb. 2): IPP Prag  
alle anderen Abb.: Fraunhofer IWS Dresden

© Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden 2007

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.