

**JAHRESBERICHT**  
**2009**



**DRESDEN**







# Fraunhofer

60 Jahre im Auftrag der Zukunft.





# VORWORT

*Die beste Idee nützt niemandem,  
wenn sie nicht verwertet wird*

Walter A. Heiby

Die Wirtschaftskrise äußerte sich für uns in einer zurückhaltenden Investitionspolitik der Unternehmen. Allerdings konnte eine Vielzahl von neuen Entwicklungen, die bereits 2008 vom Fraunhofer IWS angearbeitet wurden, überführt werden. Letztlich war das Jahr 2009 trotz Wirtschaftskrise für das IWS das erfolgreichste Jahr in seiner Geschichte. Es ist uns 2009 gelungen, mehr als zehn neue Verfahren und Systeme in die industrielle Serienfertigung zu überführen. Einige dieser Highlights werden auf den folgenden Seiten vorgestellt.

Eine strategische Ausrichtung des IWS ist die Energietechnik. Diese zieht sich matrixförmig durch alle Abteilungen und reicht von Arbeiten zur Photovoltaik über die Reibungsminderung, die Optimierung von Turbinenschaufeln, die Entwicklung von Energiespeichern und energieeffizienten Fügeverfahren bis hin zur Verringerung von Wirbelstromverlusten in Elektrolechen. In Zukunft soll diese Ausrichtung des IWS weiter ausgebaut werden.

Im letzten Jahr wurde die Allianz »DRESDEN-concept« ins Leben gerufen, in welcher die in Dresden ansässigen außeruniversitären Institute der Fraunhofer-Gesellschaft, Helmholtz-Gemeinschaft, Leibniz-Gemeinschaft und Max-Planck-Gesellschaft mit der Technischen Universität Dresden zusammenarbeiten, um die lokalen Stärken zu bündeln. Als erste Aktivität haben die Dresdner Fraunhofer-Institute zusammen mit der Technischen Universität Dresden ein Innovationszentrum für Energieeffizienz gegründet, welches von der Fraunhofer-Gesellschaft und dem Land Sachsen gefördert wird.

Zum Ausbau der Netzwerke gehört auch das von der EU geförderte und vom IWS koordinierte Projekt LIFT »Leadership in Fibre Laser Technologies«, welches mit über 20 Partnern das derzeit wohl größte Laserprojekt in Deutschland darstellt.

Darüber hinaus koordiniert das Fraunhofer IWS zwei weitere vergleichbar große EU-Projekte im Dünnschichtbereich. Ein von BMW koordiniertes Großprojekt zur Reibungsminderung konzentriert sich vollständig auf die vom IWS entwickelte Laser-Arc-Technologie zur Herstellung von DLC-Schichten, so dass wir glauben, mit Abschluss des Projekts unserer Technologie endgültig zum Durchbruch verholfen zu haben.

Obwohl die Wirtschaftskrise noch nicht überwunden ist, gehen wir aufgrund der vielen langfristig angelegten Projekte und der Ausrichtung des Fraunhofer IWS sehr positiv in das Jahr 2010.

Eckhard Beyer

# INHALT

## AUS DEM FRAUNHOFER IWS

VORWORT	3
INHALT	4
HIGHLIGHTS IM JAHR 2009	6
AUS DEM KURATORIUM	8
DAS INSTITUT IM PROFIL	10
KERNKOMPETENZEN	10
DAS INSTITUT IN ZAHLEN	12
ORGANISATION UND ANSPRECHPARTNER	14

## AUS DEN GESCHÄFTSFELDERN

ABTRAGEN UND -TRENNEN	16
DER LASER ALS WERKZEUG ZUM TRENNEN UND MIKROBEARBEITEN	
FÜGEN	28
NEUE FÜGETECHNOLOGIEN FÜR METALLISCHE UND NICHTMETALLISCHE WERKSTOFFE	
RANDSCHICHTTECHNIK	42
GANZHEITLICHER WERKSTOFF-, VERFAHRENS- UND SYSTEMTECHNISCHER ANSATZ	



**THERMISCHES BESCHICHTEN 50**

SYMBIOSE ZWISCHEN BESCHICHTUNGSTECHNIK  
UND WERKSTOFF-KNOW-HOW

**CVD-ATMOSPÄRENDRUCK-SCHICHTTECHNIK 58**

NEUE TECHNOLOGIEN VERBESSERN  
FUNKTIONALITÄT VON OBERFLÄCHEN

**PVD-VAKUUM-SCHICHTTECHNIK 68**

NEUARTIGE SCHICHTSYSTEME ERWEITERN  
ANWENDUNGSSPEKTRUM

## NETZWERKE, NAMEN, DATEN

**AUSZEICHNUNGEN UND EHRUNGEN 2009 82**

**NETZWERKE 84**

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT	85
ANBINDUNG AN DIE TU / DRESDEN-CONCEPT	86
DIZE <sup>EFF</sup>	88
DOC / PCW	90
CCL	92
NANO / LIFT	94
FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES	96

**BESONDERE EREIGNISSE 98**

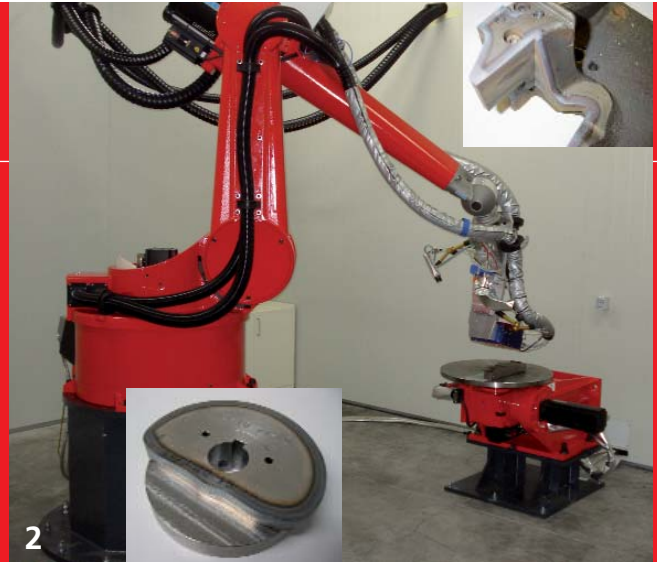
**VERÖFFENTLICHUNGEN 100**

**KONTAKTADRESSEN UND ANFAHRT 105**





# HIGHLIGHTS IM JAHR 2009



## GERINGERER SCHADSTOFFAUSSTOSS BEI STEIGENDER MOBILITÄT

Dieser Herausforderung stellen sich sieben Unternehmen und zwei Fraunhofer-Institute in einem Forschungsprojekt mit Namen »Pegasus«. Die im Juli 2009 gestartete und vom BMWI geförderte Aktivität hat eine vierjährige Laufzeit und ein Gesamtvolumen von 16,8 Mio. Euro.

Kernstück des vom Fraunhofer IWS Dresden bearbeiteten Teilvorhabens ist die industrialisierte Herstellung von reibungsmindernden Kohlenstoffschichten auf Getriebeteilen und Fahrzeugkomponenten. Gegenüber den bereits industriell etablierten Kohlenstoffschichten zeichnen sich die Kohlenstoffschichten des IWS durch eine deutlich höhere Härte und Verschleißbeständigkeit sowie eine hohe chemische Affinität zu bestimmten Schmiermitteln aus. Dies birgt ein großes Potenzial für außerordentlich niedrige Reibwerte und damit geringere Reibverluste.

## FASERLASER REVOLUTIONIEREN LEISE DIE WELT

Ein breit aufgestelltes Konsortium auf europäischer Ebene hat sich zusammengefunden, speziell im Bereich der Faserlasertechnologie neue Maßstäbe zu setzen. Ziel des im September 2009 gestarteten und mit knapp 16 Mio. EURO budgetierten Verbundprojekts »LIFT – Leadership in Fibre Laser Technologies« ist es, die wissenschaftliche, fertigungs- und produktionstechnische Führungsrolle Europas durch die Entwicklung innovativer Faserlasersquellen auszubauen. Kompetenzen von 15 Unternehmen, zwei Fraunhofer-Instituten, drei Universitäten und einer Non-Profit-Gesellschaft aus 9 Ländern fließen zusammen. Unter Leitung des Fraunhofer IWS Dresden bilden Hersteller optischer und optoelektronischer Komponenten, Produzenten photonischer Fasern, Laser- und Applikationsentwickler sowie Grundlagenforscher ein starkes Forschungsteam.

## ARBEITSGRUPPE KLEBEN GEWINNT WILHELM-KLAUDITZ- PREIS FÜR HOLZFORSCHUNG UND UMWELTSCHUTZ 2009

Am 17.09.2009 wurde die IWS-Forscherguppe um Frau Dr. Irene Jansen (ganz rechts in Abb. 1) am Fraunhofer WKI Braunschweig in Anwesenheit des niedersächsischen Wirtschaftsministers Lutz Stratmann mit dem »Wilhelm-Klauditz-Preis für Holzforschung und Umwelttechnik 2009« geehrt.

Die ausgezeichnete Arbeit befasst sich mit einem neuen Verfahren der Kantenverarbeitung in der Möbelfertigung. Durch interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Forschern der TU Dresden und des Ingenieurbüros Schwarz ist es gelungen, die Schmalflächenbeschichtung von Möbelwerkstoffen mittels eines lasergestützten Verfahrens bis zur Anwendungsreife zu entwickeln. Mit dem Verfahren kann eine Schwachstelle bei der Verarbeitung plattenförmiger Holzwerkstoffe in der Fertigung hochwertiger Möbel grundlegend verbessert werden. Gleichzeitig wurde erstmals Laserstrahltechnik zum Fügen in der Holz- und Möbelindustrie eingesetzt.





### GROSSFLÄCHEN-PRÄZISIONSBESCHICHTUNGEN FÜR RÖNTGENOPTISCHE ANWENDUNGEN

Gemeinsam mit der Fa. Roth & Rau MicroSystems GmbH Hohenstein-Ernstthal wurde die im Fraunhofer IWS Dresden entwickelte Technologie zur Beschichtung von Röntgenoptiken mittels Magnetron-Sputter-Deposition auf große Flächen skaliert. Bereits kurze Zeit nach Inbetriebnahme der Anlage (Abb. 4) konnten exzellente Werte sowohl für den Reflexionsgrad der Nanometer-Multischichten als auch für die Schichtdickenhomogenität und Reproduzierbarkeit erzielt werden. So lag der Reflexionsgrad eines speziell definierten Multischicht-Referenzsystems bereits in der Einfahrphase der Anlage nur weniger als 0,5 % unterhalb des weltweiten Maximalwertes. Gleichzeitig ließen sich herausragende laterale Homogenitäten erreichen: Auf Substratflächen mit 300 mm bzw. 450 mm Durchmesser erfolgte reproduzierbar der Nachweis von Schichtdickenhomogenitäten > 99,9 % bzw. > 99,8 %.

### NESMUK-MESSER MIT DIAMOR-BESCHICHTUNG

Im Auftrag des Messerherstellers Nesmuk KG sollte ein quasi lebenslang scharfes Kochmesser entwickelt werden. Zugleich bestand die Forderung, dies in einem anspruchsvollen optischen Design umzusetzen. Das Fraunhofer IWS Dresden unterstützte mit der Entwicklung einer speziellen Beschichtungstechnologie für eine extrem verschleißfeste Kohlenstoffschicht (Abb. 5). Die so beschichteten Messer weisen im Test die mehr als zehnfache Standzeit eines unbeschichteten Messers auf. Das hochwertige Produkt mit dem Markennamen »Nesmuk DIAMOR®« fand wegen seiner Einzigartigkeit international große Aufmerksamkeit.

### WEITERE SCHWEISS- UND HÄRTEAPPLIKATIONEN IN DIE INDUSTRIE ÜBERFÜHRT

Zusammen mit der EMAG Maschinenfabrik GmbH hat das Fraunhofer IWS Dresden im September 2009 die zehnte Industrieüberführung einer Laserinduktionsschweißtechnologie erfolgreich abgeschlossen. Mit dem System werden gegenwärtig Differentialgetriebe induktiv unterstützt lasergeschweißt.

Für einen amerikanischen Automobilzulieferer wurden Technologien zum Laserstrahlschweißen von PKW-Differenzialen in den Werkstoffkombinationen Gusseisen / Gusseisen und Gusseisen / TM-Stahl entwickelt. Dank einer ähnlichen Systemtechnik im IWS konnte das IWS Unterstützung bei der Verfahrenseinführung im polnischen Fertigungswerk geben.

Für den Aufbau einer roboterbasierten Laserhärtenanlage mit 6 kW-Diodenlaser für die Firma STAV in Barberino (Italien) lieferte das Fraunhofer IWS Dresden im März 2009 spezielle Sonderkomponenten an die ALOtec Dresden GmbH und unterstützte bei der Technologieentwicklung, Schulung und Inbetriebnahme. Mit dem System werden vorrangig Werkzeuge gehärtet (Abb. 2).

### LASERAKUSTISCHE MESSSYSTEME FÜR INDUSTRIE UND FORSCHUNG

Das mit dem Fraunhoferpreis ausgezeichnete Messsystem LAwave® zur E-Modul- und Schichtdickenmessung konnte im Jahr 2009 zweimal ausgeliefert werden. Während ein System bei der Firma Fujitsu Co. Japan Meßaufgaben für die Halbleiterindustrie wahrnimmt, kommt das andere System (Abb. 3) für hochpräzise Messungen in der Forschung zur Anwendung.



# AUS DEM KURATORIUM



Photonik und Materialwissenschaften werden die Schlüsseltechnologien für das rohstoffarme Deutschland im 21. Jahrhundert sein. In beiden Bereichen ist das IWS weltweit führend.

Wir sehen mit großem Interesse, dass die unterschiedlichen Geschäftsfelder des Instituts wie Lasermaterialbearbeitung, Systemtechnik, Werkstoff- und Schichttechnik, Prozesssimulation und Nanotechnik sich in idealer Weise ergänzen.

Das Arbeitsspektrum des Instituts besteht allerdings nicht alleine in der wissenschaftlichen Bearbeitung eines Themas, sondern geht hin bis zur Unterstützung des Kunden bei der Einführung des Prozesses in die Fertigung. Die gute Zusammenarbeit mit der Universität in Dresden erlaubt kostengünstige Grundlagenforschung und Zugang zu wissenschaftlichen Hilfskräften.

Neben der Entwicklung von neuartigen Produktionsmethoden werden über die Fertigungsintegration hinaus auch Bauteile von Kunden im Labor bearbeitet. Zum Kundenkreis gehören erfreulicherweise sowohl Großkonzerne aus der Automobil- und Flugzeugindustrie als auch kleine und mittelständische Unternehmen, eine Entwicklung, die vom Kuratorium sehr positiv bewertet wird. Hierzu gibt es viele Beispiele erfolgreicher Problemlösungen, so das Schweißen hochlegierter Stähle unter Verwendung von induktivem Vorwärmen oder das Härten von Turbinenschaufeln wie auch die Herstellung von Nanopartikeln aus Kohlenstoff oder von ultradünnen Schichtstrukturen auf Spiegeln für die Röntgen- bzw. UV-Spektroskopie.

Möglich wird der Erfolg in den so unterschiedlichen Aktivitäten durch exzellent geschultes Personal sowie durch das fundierte Wissen und die langjährige Erfahrung der Gruppenleiter. Darüber hinaus ist das IWS international aktiv in den USA und in Polen sowie in zahlreichen Forschungsverbänden und verschiedenen Netzwerken.

Wir, das Kuratorium, sind uns sicher, dass der immer stärker werdende Trend zur Energieeinsparung sowie der Schritt zu neuen Fahrzeugantrieben und zu anwendungsoptimierten Werkstoffeigenschaften dem Institut in den folgenden Jahren wichtige und neue Arbeitsgebiete eröffnen wird. Für diese herausfordernden neuen Aufgaben ist das IWS hervorragend gerüstet.

Dr. Peter Wirth



Das Kuratorium berät und unterstützt die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung. Die 19. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 27. Februar 2009 im Fraunhofer IWS Dresden statt. Mitglieder des Kuratoriums waren im Berichtszeitraum:

**P. WIRTH, DR.**

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

**R. BARTL, DR.**

Leitung Manufacturing der Siemens AG  
Transportation Systems  
Krefeld

**T. FEHN, DR.**

Geschäftsführer JENOPTIK Laser, Optik, Systeme GmbH  
Jena

**D. FISCHER**

Geschäftsführer EMAG Leipzig Maschinenfabrik GmbH  
Leipzig

**W. HUFENBACH, PROF.**

Direktor des Instituts für Leichtbau und Kunststofftechnik  
der Technischen Universität Dresden  
(Gast des Kuratoriums)

**U. JARONI, DR.**

Mitglied des Vorstandes der ThyssenKrupp Steel AG,  
Division Auto  
Duisburg

**F. JUNKER, DR.**

Vorstand Produktionstechnik der Koenig & Bauer AG  
Werk Radebeul

**H. KOKENGE, PROF.**

Rektor der Technischen Universität Dresden

**U. KRAUSE**

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Außenstelle Dresden

**T. G. KRUG, DR.**

Managing Director Hauzer Techno Coating BV  
Niederlande

**P. G. NOTHNAGEL, MINR**

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit  
Dresden

**H. RIEHL, MINR**

Bundesministerium für Bildung und Forschung, Leiter des  
Referates Produktionssysteme und -technologien  
Bonn

**F.-J. WETZEL, DR.**

BMW Motorrad, Geschäftsbereichsplanung, Kooperationen,  
München (Gast des Kuratoriums)

**R. ZIMMERMANN, MR DR.**

Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst  
Dresden

# DAS INSTITUT IM PROFIL

## KERNKOMPETENZEN

Die Geschäftsfelder des Fraunhofer-Institutes für Werkstoff- und Strahltechnik IWS liegen in den Bereichen Fügen, Trennen und Oberflächentechnik. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit basiert auf einem ausgeprägten Werkstoff- und Nanotechnik-Know-how verbunden mit einer umfassenden Werkstoffcharakterisierung. Auf folgenden Gebieten haben wir uns Kernkompetenzen erarbeitet und ständig weiter ausgebaut:

### LASERMATERIALBEARBEITUNG

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

### PLASMA-BESCHICHTUNGSVERFAHREN

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

### WERKSTOFFTECHNIK / NANOTECHNIK

- Eigenschaftsbewertung von Werkstoffen und Bauteilen
- Versagens- und Schadensanalyse
- optisch-spektroskopische Charakterisierung von Oberflächen und Schichten bis in den Nanometerbereich
- mechanisch-tribologische Charakterisierung
- Thermoschockcharakterisierung von Hochtemperaturwerkstoffen
- Schichtdicken- und E-Modul-Messungen von nm- bis  $\mu\text{m}$ -Schichten



## SYSTEMTECHNIK

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

## PROZESSSIMULATION

Das IWS entwickelt komplette Module zur Simulation von Prozessen und Werkstoffeigenschaften. Beispiele hierfür sind:

- thermisches Härten und Laserhärten,
- Laserschweißen,
- Laser-Pulver-Auftragschweißen,
- Vakuumbogenbeschichtung,
- Gas- und Plasmaströmungen in CVD-Reaktoren
- sowie die Simulation optischer Eigenschaften von Nanoschichtsystemen.

Die Ergebnisse fließen unmittelbar in die Prozessoptimierung. Weitere kommerziell erhältliche Simulationsmodule sind im Einsatz.

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





# DAS INSTITUT IN ZAHLEN

## MITARBEITER IM FRAUNHOFER IWS 2009

	Anzahl
<b>STAMMPERSONAL</b>	<b>150</b>
- Wissenschaftler und Ingenieure	113
- Technische Angestellte	21
- Verwaltungsangestellte	16
<b>WEITERES PERSONAL</b>	<b>129</b>
Lehrlinge	10
Wissenschaftliche Hilfskräfte	103
Mitarbeiter CCL USA	16
<b>MITARBEITER AM FRAUNHOFER IWS, GESAMT</b>	<b>279</b>

## MITARBEITER 2009

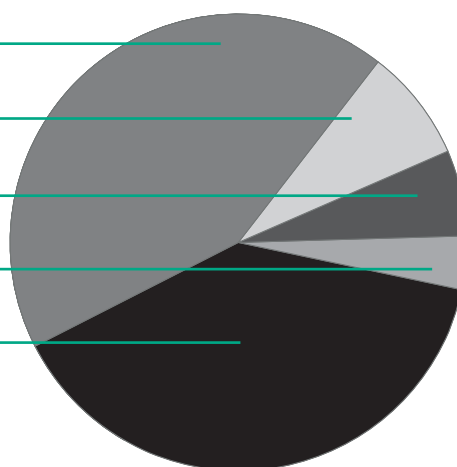
43 % Wissenschaftler und Ingenieure

8 % Technische Angestellte

6 % Verwaltungsangestellte

4 % Lehrlinge

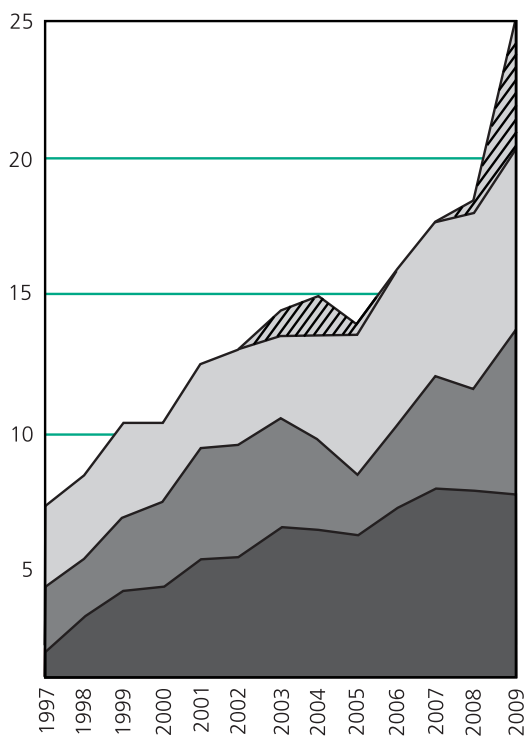
39 % Wissenschaftliche Hilfskräfte



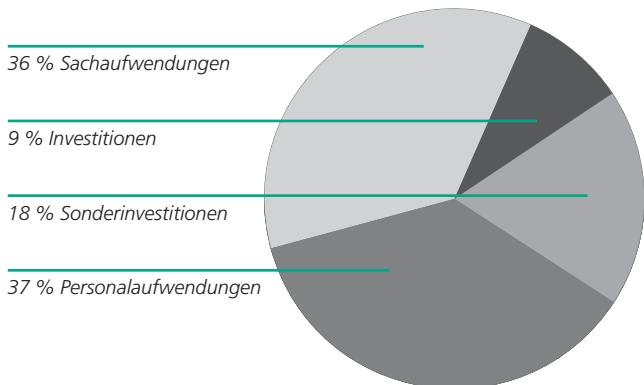
**AUFWENDUNGEN UND ERTRÄGE 2009 (\*STAND JANUAR 2010)**

<b>AUFWENDUNGEN BETRIEB UND INVESTITIONEN</b>	<b>Mio. €</b> <b>24,3</b>
<b>Betriebshaushalt</b>	<b>17,6</b>
- Personalaufwendungen	8,9
- Sachaufwendungen	8,7
<b>Investitionshaushalt</b>	<b>6,7</b>
<b>ERTRÄGE 2009</b>	<b>Mio. €</b> <b>24,3</b>
<b>Betrieb</b>	<b>17,6</b>
- Projekterträge aus der Industrie	7,6
- Projekterträge durch Bund, Land und EU	5,7
- Fraunhofer-interne Programme	1,0
- Grundfinanzierung IWS	3,3
<b>Investitionen</b>	<b>6,7</b>
- Projekterträge aus der Industrie	0,2
- Grundfinanzierung IWS	1,2
- Strategische Investitionen	0,8
- Sonderinvestitionen Konjunkturpaket (Bund)	1,4
- Sonderinvestitionen (Land Sachsen)	3,1

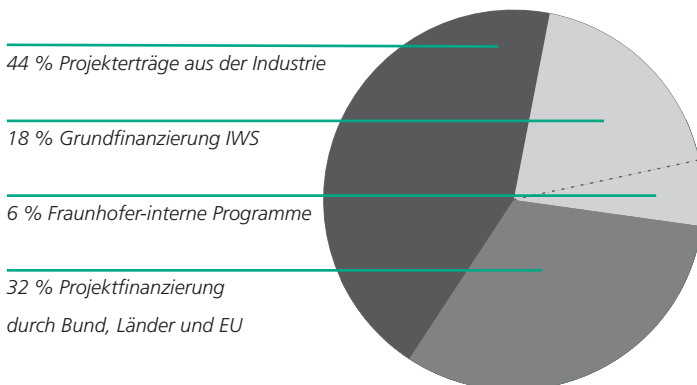
**ERTRAGSZAHLEN (GESAMTHAUSHALT)**



**GESAMTAUFWENDUNGEN 2009**



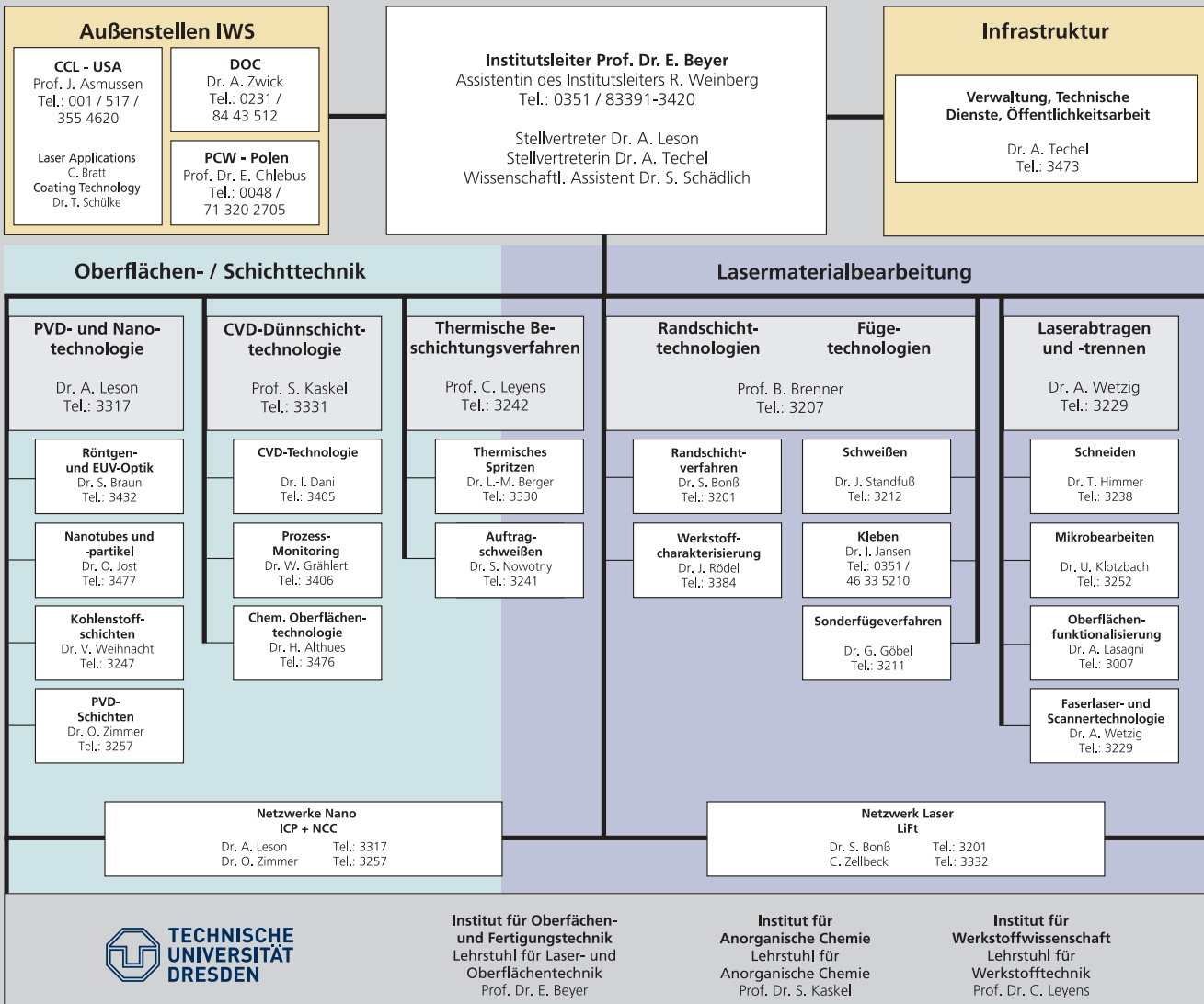
**BETRIEBSHAUSHALT 2009**



# DAS LEITUNGSTEAM

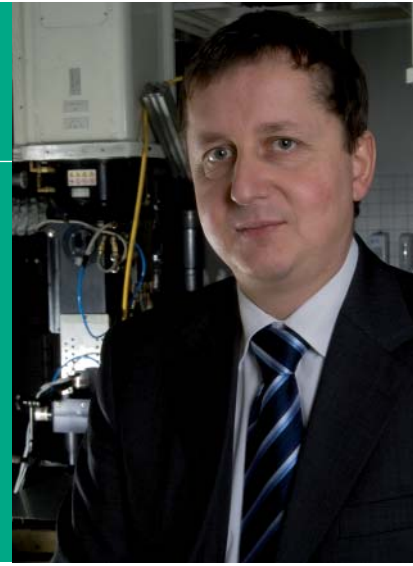


# ORGANISATION UND ANSPRECHPARTNER









## GESCHÄFTSFELD ABTRAGEN UND TRENNEN

**Redaktion:** Herr Dr. Wetzig, Sie haben im Januar 2009 die Leitung der Abteilung Laserabtragen und -trennen von Herrn Dr. Morgenthal, der in den Ruhestand getreten ist, übernommen. Wie werden Sie die Arbeit fortführen und wo wollen Sie neue Schwerpunkte setzen?

**Dr. Wetzig:** Zuerst einmal möchte ich festhalten, dass mir Herr Dr. Morgenthal ein »gut bestelltes« Haus hinterlassen hat. So gilt es, bewährte und gleichzeitig erfolgreiche Geschäftsfelder fortzuführen und weiterzuentwickeln. In diesem Zusammenhang sind alle Aktivitäten auf dem Gebiet des Laserschneidens mit hochbrillanten Strahlquellen, der Remote-Laserbearbeitung, der Lasermikromaterialbearbeitung sowie der Biosystemtechnik zu nennen. So werden wir die Anwendungsmöglichkeiten der Remote-Technik erweitern auf die Bearbeitung von Faserverbundwerkstoffen, insbesondere auf das Trennen von GFK und CFK-Werkstoffen. Sowohl die Verfügbarkeit hochbrillanter Strahlquellen im Mehr-kW-Bereich als auch die Verfügbarkeit von Kurzpulslasern im Leistungsbereich von 100 W erfordern neben der Weiterentwicklung der Remote-Technik auch die Verfolgung alternativer Konzepte zur Strahlführung und Strahlablenkung. Ergänzend zu diesen Technologien ist es uns im vergangenen Jahr außerdem gelungen, die Gruppe Oberflächenfunktionalisierung, die von Herrn Dr. Lasagni geleitet wird, zu etablieren. Sie stellt eine gute Ergänzung zu den bisherigen Aktivitäten bei der Mikromaterialbearbeitung dar. Wir sind stolz darauf, mit Herrn Dr. Lasagni einen hervorragenden Nachwuchswissenschaftler von außen mit Hilfe des Fraunhofer-internen Attract-Programms gewonnen zu haben, der eine neue Arbeitsrichtung innerhalb der Abteilung aufbaut.

**Redaktion:** Das Jahr 2009 war geprägt von einer Wirtschaftskrise, wie sie Deutschland seit 60 Jahren nicht mehr erlebt hat, wobei die Laserbranche insgesamt unter einem starken Umsatz- und damit verbundenen Gewinnrückgang gelitten hat. Inwiefern hat sich das auf die Industrieerträge Ihrer Abteilung ausgewirkt?

**Dr. Wetzig:** Erstaunlich wenig. Wir haben nur einen sehr geringen Rückgang der Mittel aus der industriellen Auftragsforschung zu verzeichnen. Das ist zum großen Teil darauf zurückzuführen, dass viele unserer Industriekunden trotz Wirtschaftskrise ihre Entwicklungsbudgets nur geringfügig gekürzt haben, um mit der Entwicklung neuer Technologien und Produkte im Bereich des Lasertrennens und -abtragens vom nächsten Aufschwung zu profitieren. Außerdem erweist es sich in solchen Zeiten als besonders hilfreich, wenn man zu den meisten Partnern im industriellen Bereich langfristige Geschäftsbeziehungen unterhält. Und nicht zuletzt spricht es natürlich für die Qualität der Arbeit der Kollegen.



# KOMPETENZEN

## FASERLASER UND SCANNERTECHNOLOGIE

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. Sind die systemtechnischen Komponenten noch nicht kommerziell verfügbar, entwickeln wir kundengerechte Lösungen. Beispiele sind Bearbeitungsoptiken mit erweiterter Funktionalität, Steuerungstechnik und CAD / CAM-Tools für die Remote- und »on the fly«-Bearbeitung sowie Systemtechnik und Software für die online-Prozesskontrolle, -überwachung und -regelung.

## SCHNEIDEN

Forschungsschwerpunkte im Bereich Laserstrahlschneiden sind Technologieentwicklungen, wie beispielsweise die Prozess- oder Teiletaktzeitoptimierung für Bauteile aus allen in der modernen Fertigung eingesetzten Werkstoffen. Dafür stehen am IWS hochdynamische 2D- und 3D-Schneidmaschinen mit Lineardirektantrieben und moderne Roboter sowie Laser unterschiedlicher Leistung und Strahlqualität zur Verfügung. Für die Strahlfokussierung werden neben kommerziellen Bearbeitungsoptiken auch Sonderlösungen und Eigenentwicklungen, wie z. B. Scannersysteme für die Remote-Bearbeitung, eingesetzt.

## MIKROBEARBEITEN

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

## OBERFLÄCHENFUNKTIONALISIERUNG

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

**ABTEILUNGSLEITER**

**DR. ANDREAS WETZIG**

Telefon +49 351 83391-3229  
andreas.wetzig@iws.fraunhofer.de



**GRUPPENLEITER FASERLASER  
UND SCANNERTECHNOLOGIE**

**DR. ANDREAS WETZIG**

Telefon +49 351 83391-3229  
andreas.wetzig@iws.fraunhofer.de

**GRUPPENLEITER SCHNEIDEN**

**DR. THOMAS HIMMER**

Telefon +49 351 83391-3238  
thomas.himmer@iws.fraunhofer.de



**GRUPPENLEITER**

**MIKROBEARBEITEN**

**DR. UDO KLOTZBACH**

Telefon +49 351 83391-3252  
udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de



**GRUPPENLEITER**

**OBERFLÄCHFUNKTIONALISIERUNG**

**DR. ANDRÉS-FABIÁN LASAGNI**

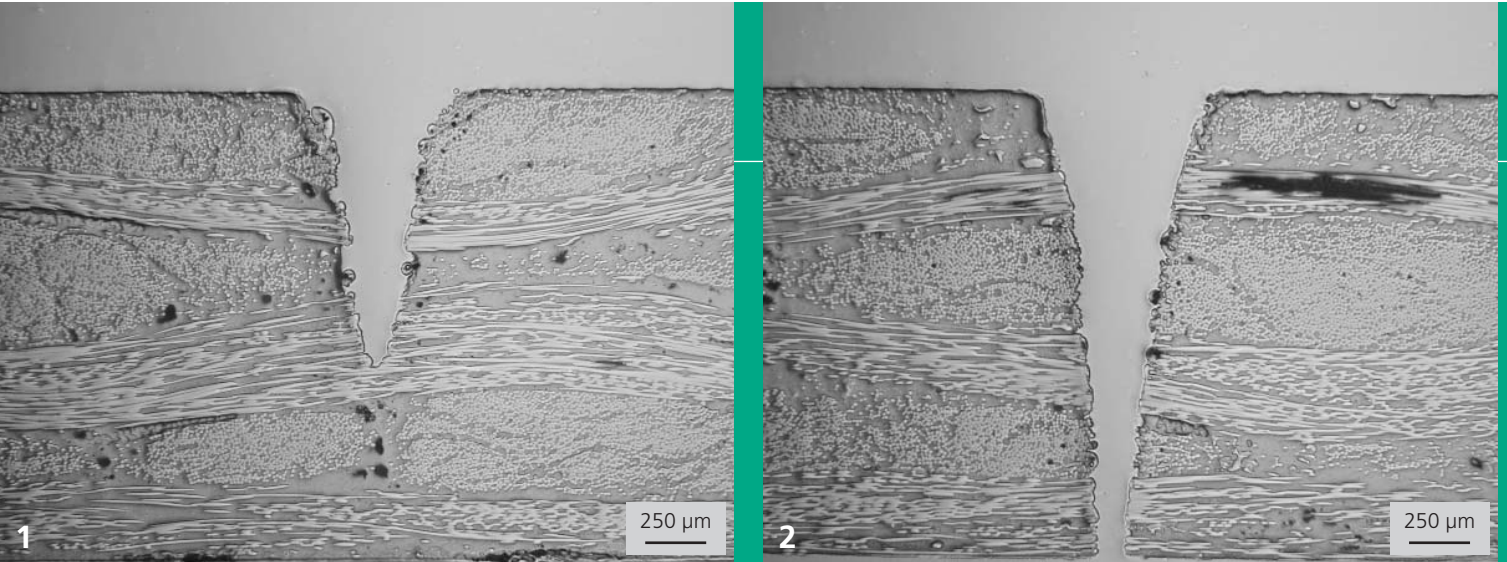
Telefon +49 351 83391-3007  
andres-fabian.lasagni@iws.fraunhofer.de



## BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2009

1. Schnelles Abtragen und Trennen von Faserverbundwerkstoffen mit Hochleistungslasern 20
2. Industrielle Anwendungsmöglichkeiten des Remote-Schneidens 22
3. Laserbasierte Fertigung von Glas-Silizium-Glas-Mikroreaktorsystemen 24
4. Herstellung periodischer Mikrostrukturen auf Metalloberflächen 26





# SCHNELLES ABTRAGEN UND TRENNEN VON FASERVERBUNDWERKSTOFFEN MIT HOCHLEISTUNGSLASERN

## DIE AUFGABE

Ausgehend von der Luft- und Raumfahrtindustrie haben sich Hochleistungs-Faserverbundwerkstoffe in vielen Anwendungsbereichen etablieren können. Optimierte Konstruktionsstrukturen dieser Hochleistungskunststoffe ermöglichen höchste Beanspruchungen bei gleichzeitig geringem Materialeinsatz. Hauptgrund ist das mechanische Eigenschaftsprofil. Dazu gehören hohe Festigkeit, Steifigkeit und geringe Dichte. Auch die sehr gute Korrosionsbeständigkeit sowie gutes Dämpfungsverhalten werden bei vielen Anwendungen ausgenutzt.

Das Trennen dieser aus hochfestem und steifem Fasermaterial sowie einer Polymermatrix bestehenden Materialverbünde gestaltet sich schwierig, da die Komponenten sich deutlich in ihren physikalischen und stofflichen Eigenschaften unterscheiden. Dies gilt nicht nur für die mechanische Bearbeitung bzw. das Trennen mit dem Wasserstrahl sondern auch für thermische Trennverfahren. Problembereiche bei der mechanischen Bearbeitung sind insbesondere der hohe Werkzeugverschleiß und die allgemeine Kräfteinleitung in das Bauteil. Delaminationen der untersten Faserlagen sowie Zugänglichkeitsprobleme an gekrümmten Flächen begrenzen die Einsatzgebiete des Wasserstrahlschneidens.

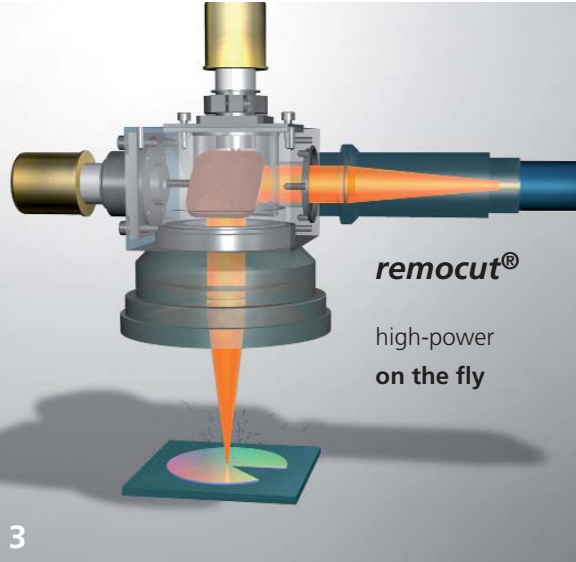
Beim konventionellen, gasunterstützten Laserstrahlschneiden kommt es durch stark unterschiedliche Schmelztemperaturen von Matrix und Faser zur gegenläufigen Verschiebung der geometrischen Grenzen beider Verbundkomponenten. Bei vollständiger Trennung der Faserlagen wird je nach Materialtyp

eine mehr oder minder starke Schädigung der Matrix beobachtet. Im Bereich der Wärmeeinflusszone ist der Matrixwerkstoff größtenteils verdampft bzw. verkohlt. Die Haftung der Laminatschichten untereinander wird herabgesetzt, die Scherzugfestigkeit des Verbundes verringert. Diese Erkenntnisse erfordern die Suche nach neuen flexiblen und prozesseffizienten Technologien.

## UNSERE LÖSUNG

Deutliche Qualitätsverbesserungen bei der Bearbeitung von polymerbasierten Hochleistungs-Faserverbundwerkstoffen konnten am Fraunhofer IWS durch den Einsatz der hochdynamischen Strahlableitung erzielt werden. Bei dieser Technologie wird der Laserstrahl über schnell verkippbare Spiegel abgelenkt und auf das Material projiziert. Die Strahlbewegung ist aufgrund der geringen Masse der vorwiegend mittels Galvanometerscanner bewegten Ablenkspiegel auch bei sehr hohen Bahngeschwindigkeiten äußerst präzise. Beschleunigungen von mehreren 10 g sind erreichbar.

Die Besonderheit von sehr hohen Prozessgeschwindigkeiten und damit sehr kurzen Wechselwirkungszeiten zwischen der Laserstrahlung und dem zu trennenden Material verringert im Vergleich zum klassischen, gasunterstützten Laserschnitt die thermische Schädigung des Matrixwerkstoffes an der Schnittfuge erheblich.



## GESCHÄFTSFELD ABTRAGEN UND TRENNEN

3

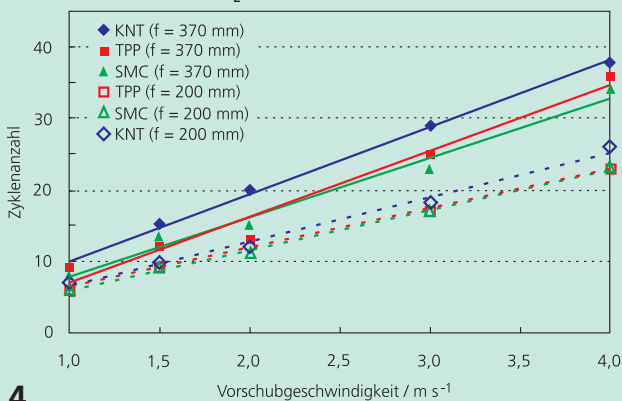
### ERGEBNISSE

Die Reduzierung der Wechselwirkungszeit zwischen Laserstrahl und Verbund verringert die Verdampfung und Verkohlung des Matrixwerkstoffes und ermöglicht so bessere Abtrags- und Trennergebnisse. Durch den Einsatz von Lasern im kW-Bereich betragen die Abtragsraten in Abhängigkeit von Materialstärke und -zusammensetzung einige 100  $\mu\text{m}$ . Dies bedeutet, dass bei Werkstoffdicken im Millimeterbereich ein zyklischer Materialabtrag erfolgt. Die Zyklanzahl zum vollständigen Durchtrennen ist dabei maßgeblich abhängig von der verwendeten Strahlintensität im Fokus und der Abtragsgeschwindigkeit.

- 1/2 Schnittfugen eines Glasfaser-PP-Verbundes nach dem Trennen mittels hochdynamischer Strahlableitung
- 3 Prinzip der high-speed-Strahlableitung

Abhängigkeit der Zyklanzahl von Vorschubgeschwindigkeit und Brennweite für verschiedene glasfaserverstärkte Kunststoffe

KNT, TPP: Lang-Glasfaser + PP-Matrix; SMC: Kurz-Glasfaser + duroplastische Matrix ( $P_L = 2 \text{ kW}$ ; Materialstärke: 4 mm)



4

Mit Hilfe der schnellen Strahlableitung ist es auch möglich, kleine Strukturen oder Bohrungen in die Faserverbundmaterialien mit hoher Produktivität und Qualität einzubringen. Eine aktive Bewegungskopplung der Bearbeitungsoptik mit anderen Handlingsystemen, wie z. B. Industrie-Robotern, garantiert außerdem die effiziente Bearbeitung von komplexen 3D-Teilen.

### KONTAKT

Dipl.-Ing. Annett Klotzbach  
 Tel.: +49 351 83391-3235  
 annett.klotzbach@iws.fraunhofer.de



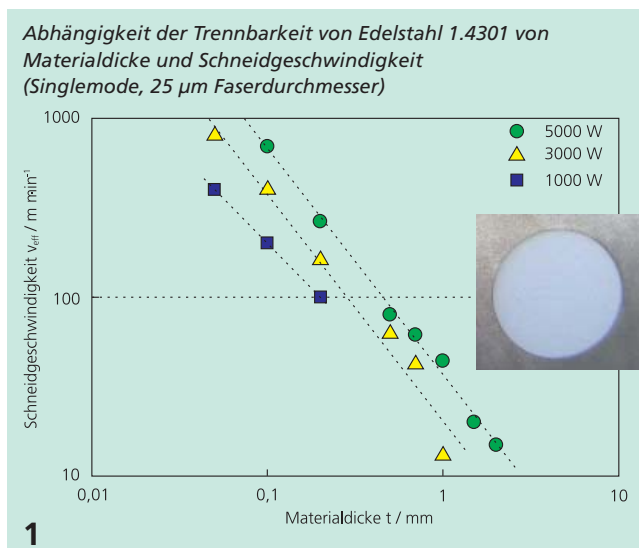
# INDUSTRIELLE ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN DES REMOTE-SCHNEIDENS

## DIE AUFGABE

Mit Bearbeitungsgeschwindigkeiten von 800 m / min auf der Kontur besitzt das Remote-Schneiden ein enormes Potenzial zum Trennen metallischer Werkstoffe. Die hervorragende Strahlqualität der Strahlquellen garantiert höchste Intensitäten und offeriert somit die Möglichkeit des Schneidens ohne Schneidgasunterstützung im cw-Betrieb. Die Strahlmanipulation erfolgt über ein hochdynamisches Spiegelablenssystem. Ein F-Theta-Planfeldobjektiv hält dabei den Fokus in der Bearbeitungsebene. Den Aufbau einer Bearbeitungsanlage, die diese Technik nutzt, wurde erstmals auf der LASER 2009 vom Fraunhofer IWS in München präsentiert (Abb. 2 und 3).

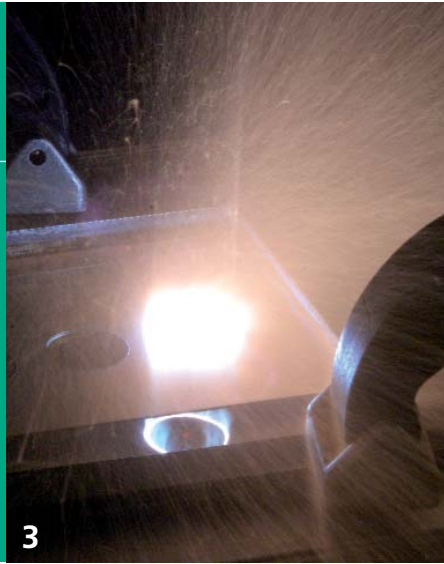
Unter Nutzung einer neu am Fraunhofer IWS verfügbaren Strahlquelle, ein Singlemode-cw-Faserlaser mit bis zu 5 kW Laserausgangsleistung, ist Edelstahl 1.4301 bis zu einer Materialdicke von 1,3 mm sicher trennbar. Bei Materialdicken von 1,0 mm sind sogar noch Schneidgeschwindigkeiten von 44 m / min möglich (Abb. 1).

Es stellt sich die Frage nach der Umsetzbarkeit dieser hohen Prozessgeschwindigkeiten auf beliebigen Konturen. Gerade das Erzeugen kleiner Radien und rechtwinkliger Ecken stellt extreme Anforderungen an das dynamische Verhalten des Spiegelablenssystems, die es zu bewältigen gilt.



## UNSERE LÖSUNG

Die in der Vergangenheit durchgeführten Untersuchungen zur Charakterisierung des Remote-Schneidens haben gezeigt, dass während des Schneidprozesses eine kritische Prozessgeschwindigkeit nicht unterschritten werden darf. Dies ist erforderlich, um unerwünschte Schmelzeffekte und damit unvollständige Materialtrennung zu vermeiden. Die kritische Prozessgeschwindigkeit liegt bei mehreren m / s. Sie ist auch bei Richtungsänderungen einzuhalten. Das bekannte Einfügen von Verzögerungszeiten ist deshalb nicht praktikabel. Als Lösungsmöglichkeiten stellen sich das Anfügen von Ein- und Auslaufphasen sowie die Kombination aus cw- und moduliertem Betrieb dar.



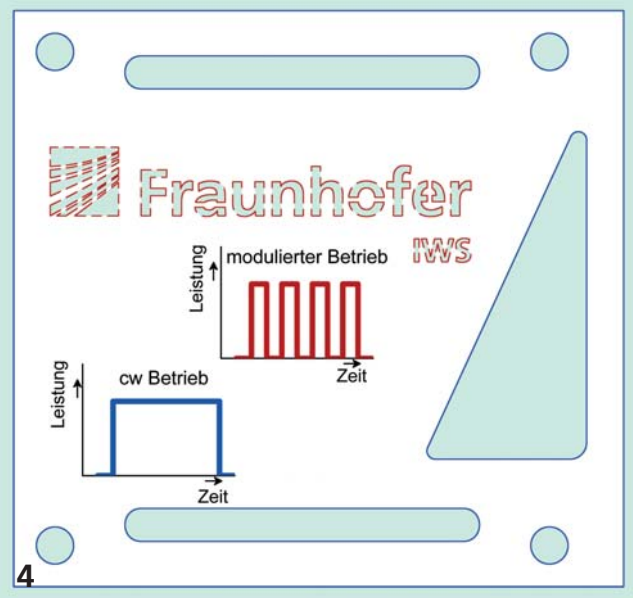
## ERGEBNISSE

Durch das Anfügen der Ein- und Auslaufphasen werden die in kritischen Bereichen notwendigen Beschleunigungen und Verzögerungen besser ausgeführt und die kritische Prozessgeschwindigkeit auf der gewünschten Schneidkontur garantiert eingehalten. Je nach gewünschter Kontur kann der Laser dabei zusätzlich ein- oder ausgeschaltet werden. Das Ausschalten des Lasers ist vor allem beim Erzeugen von Innenecken erforderlich.

Die verwendete Strahlquelle erlaubt einen schnellen Wechsel zwischen den Betriebsarten cw-Betrieb und modulierter Betrieb. Die Kombination der beiden Betriebsarten stellt eine zweite Möglichkeit dar, die effektive Schneidgeschwindigkeit auf der Kontur auch beim Erzeugen von Bauteilen mit detailreichen Schneidgeometrien (Abb. 4) zu erhöhen. Immer dann, wenn lange Strecken zu schneiden sind, wird die Strahlquelle im cw-Betrieb genutzt, um möglichst kurze Bearbeitungszeiten zu erzielen. Für feine Konturen und kurze Strecken wird in den modulierten Betrieb gewechselt.

An dem in Abb. 4 dargestellten Bauteil wurden die langen Strecken der Außenkontur sowie die innenliegenden, größeren Geometrien wie Schlitzlöcher und Kreise im cw-Betrieb geschnitten. Bei den Strukturen des Fraunhofer-Logos kam die modulierte Betriebsart zum Einsatz. Da es sich bei diesen Geometrien lediglich um verhältnismäßig kurze Strecken handelt, ist auch ihr Einfluss auf die Gesamtbearbeitungszeit entsprechend gering. Erst durch die Kombination der beiden Betriebsarten konnten die filigranen Konturen im Remote-Schneidverfahren bei insgesamt sehr hohen Bearbeitungsgeschwindigkeiten erzeugt werden.

Durch Kombination von cw- und moduliertem Betrieb optimal schneidbare Bauteilgeometrie



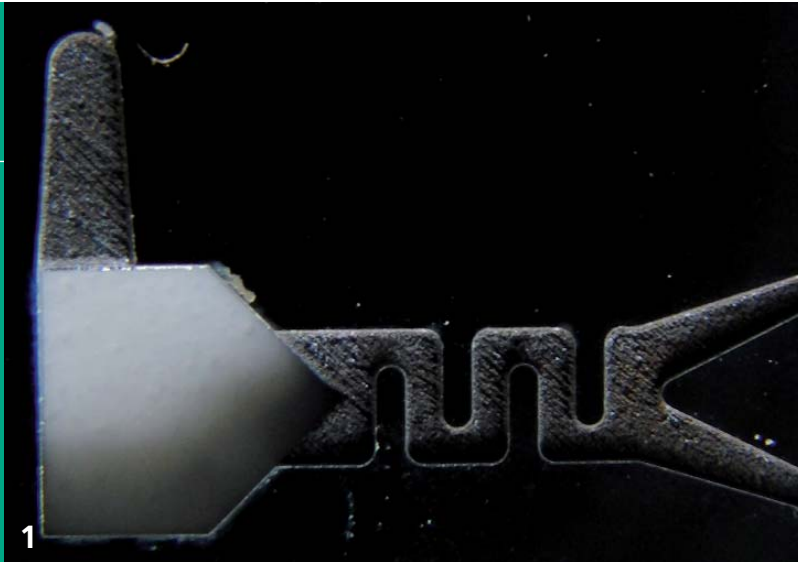
- 2 Remote-Schneidanlage
- 3 Prozessaufnahme

## KONTAKT

Dipl.-Ing. Matthias Lütke  
 Tel.: +49 351 83391-3292  
 matthias.luetke@iws.fraunhofer.de







# LASERBASIERTE FERTIGUNG VON GLAS-SILIZIUM-GLAS-MIKROREAKTORSYSTEMEN

## DIE AUFGABE

Lab-on-a-Chip- und Mikroreaktorsysteme ermöglichen durch ihren hohen Grad an Miniaturisierung und Automatisierung die Umsetzung komplexer chemischer und biologischer Abläufe mit minimalem technischem und personellem Aufwand. Neben geringen Investitions- und Betriebskosten zeichnen sich diese Systeme durch eine sehr kompakte Bauweise und ein einfaches Handling der Prozessparameter aus. Durch die Umsetzung von komplexen Geometrien bietet sich die Möglichkeit, Mikromilieus nachzubilden.

Derartige Systeme gewinnen in vielen Bereichen der Point-of-Care Diagnostik, der Wirkstoffforschung und -entwicklung, der individuellen Medizin oder der Substanztestung zunehmend an Bedeutung. Von besonderem Interesse sind dabei neben Diagnostiksystemen zum Nachweis spezifischer Marker wie Antikörper oder DNA, Testsysteme zur Charakterisierung von Zell- bzw. Gewebereaktionen auf bestimmte Substanzen.

## UNSERE LÖSUNG

Mikroreaktorsysteme sollen über einen weiten Bereich mechanisch und chemisch stabil sein, um ein großes Spektrum an Versuchsparametern abzudecken. Die Materialkombination Glas und Silizium ist aufgrund ihrer Eigenschaften dafür geeignet. Durch die Materialwahl sind die Reaktionsräume optisch zugänglich.

Die Photolithografie ist eines der etablierten Verfahren zum Strukturieren beider Materialien. Bei dieser Technologie wird für jede Höhenebene eine separate Photomaske für die Belichtung des Photolacks benötigt. Die Herstellung von

Masken bedingen hohe Systemkosten bei geringen Stückzahlen. Als alternativer Herstellungsprozess für Mikroreaktorsysteme sollte ein laserbasiertes Prototypingkonzept umgesetzt werden, das vor allem für die Kleinserienproduktion geeignet ist.

Nach dem CAD/CAM-Ansatz wird die gesamte Prozesskette vom 3D-Modell bis zum fertigen Mikroreaktorsystem realisiert. Die Fertigung der Systeme erfolgt im Multilagenverfahren mit den verschiedenen Mikrostrukturierungstechnologien der Laserbearbeitung. Diese umfassen das Schneiden, Strukturieren sowie das Polieren der Materialien.

Für die Online-Überwachung chemischer und biochemischer Prozesse sind Sensoren im Verbundsystem zu integrieren. Deren Umsetzung erfolgt mit einer Kombination aus PVD-Schichtabscheidung und lasergefertigten Schattenmasken. Die fluidisch dichte Fügeverbindung von Glas und Silizium wird durch Laserstrahlbonden erreicht. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit dem konventionellen anodischen Bonden. Alternativ können die Materialien durch adhäsives Bonden unter Einsatz von biokompatiblen Klebern gefügt werden.

Die Aufteilung des Schichtsystems ist in Abb. 2 dargestellt. Basis des ganzen Systems ist eine Glaslage, die mit verschiedenen Sensorelementen ausgestattet sein kann. Darüber folgt der Siliziumträger mit den Reaktionsräumen, Kavitäten, Mikrokanälen und Mikroaktoren. Abgeschlossen wird das Schichtsystem durch eine weitere Glaslage. In diesem Layer sind die fluidischen Kontaktierungen des Systems eingebracht. Durch Verwendung von Reservoirien aus Polydimethylsiloxan (PDMS) können Vorratskapazitäten bereitgestellt werden.

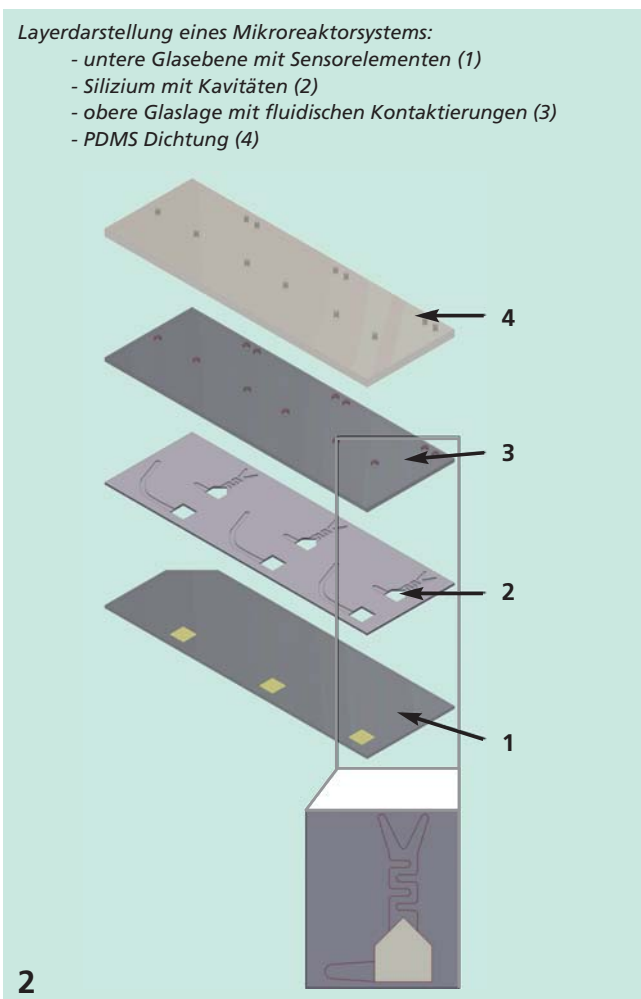
**ERGEBNISSE**

Mit Umsetzung der vorgestellten Fertigungskette ist es möglich, Prototyping und Kleinserienfertigung von Mikroreaktorsystemen umzusetzen. Am Fraunhofer IWS wurde ein Systemdesign realisiert, das die photometrische Überwachung von Laktatdehydrogenase-Konzentrationen erlaubt. Das System lässt sich teilautomatisiert betreiben und kann in unterschiedlichen Betriebsmodi laufen. Durch die Reaktion erfolgt eine Kontrolle der Vitalität biologischer Systeme. Das Design wurde auf einem Siliziumträger umgesetzt und in Betrieb genommen (Abb. 1).

Weitere Anwendungsgebiete für diese Mikroreaktorsysteme liegen im Bereich des Pharmascreenings. Durch ein speziell angepasstes Design sollen Zellverbände miteinander in Kontakt gebracht werden, welche die biologische Anordnung möglichst genau widerspiegeln. Auf diesem Weg lassen sich im Bereich der Substanztestung nachhaltige Aussagen über deren Wirkungsbereich auf den Menschen generieren.

Ein weiteres Anwendungsfeld ist die chemische Industrie. Durch das erleichterte Handling der Prozessparameter können auch kritische Reaktionen leichter umgesetzt und überwacht werden. Zudem verringert sich die Menge der einzusetzenden Katalysatoren, da deren Wirkung auf sehr kleine Volumina beschränkt ist.

*Layerdarstellung eines Mikroreaktorsystems:*  
 - untere Glasebene mit Sensorelementen (1)  
 - Silizium mit Kavitäten (2)  
 - obere Glaslage mit fluidischen Kontaktierungen (3)  
 - PDMS Dichtung (4)

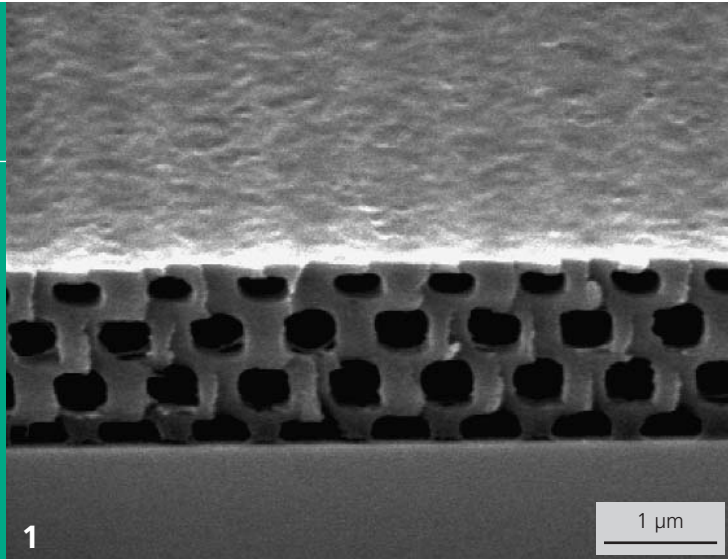


1 Laserstrukturierte Siliziumträger mit Kanalstrukturen und Kavität

**KONTAKT**

Dipl.-Ing. Niels Schilling  
 Tel.: +49 351 83391-3436  
 niels.schilling@iws.fraunhofer.de





## HERSTELLUNG PERIODISCHER MIKRO-STRUKTUREN AUF METALLOBERFLÄCHEN

### DIE AUFGABE

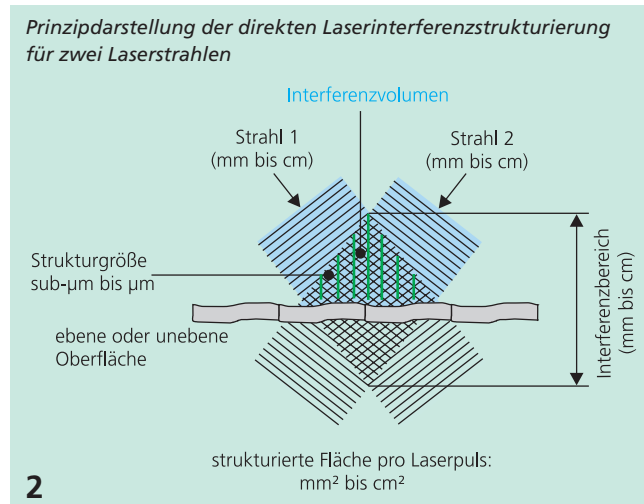
Die Herstellung von periodischen Mikro- und Submikrometer großen Strukturen auf Oberflächen stellt ein zunehmend wachsendes Anwendungsfeld in verschiedensten Bereichen der Industrie dar. Derartig strukturierte Oberflächen können unter anderem in der Biotechnologie, der Photonik und in der Tribologie eingesetzt werden. So ermöglicht die Oberflächenstrukturierung zum Beispiel eine Verbesserung der tribologischen Eigenschaften. Mikrostrukturen können auch die Biokompatibilität von Materialien in der Medizintechnik gezielt beeinflussen. In der industriellen Produktion gibt es jedoch aktuell kein Verfahren, das die Herstellung großflächiger Strukturen bei entsprechend hohen Prozessgeschwindigkeiten realisiert.

Das Fraunhofer IWS bietet hier ein leistungsstarkes und konkurrenzfähiges Verfahren zur direkten Oberflächenstrukturierung an. Im Vergleich zu konventionellen Strukturierungsmethoden bietet dieser Prozess die Möglichkeit, eine hohe Anzahl topographisch komplexer Strukturen mit hoher Präzision auf beinahe jede denkbare Bauteilgeometrie anzuwenden. Damit eignet sich diese Methode hervorragend für industrielle Anwendungen

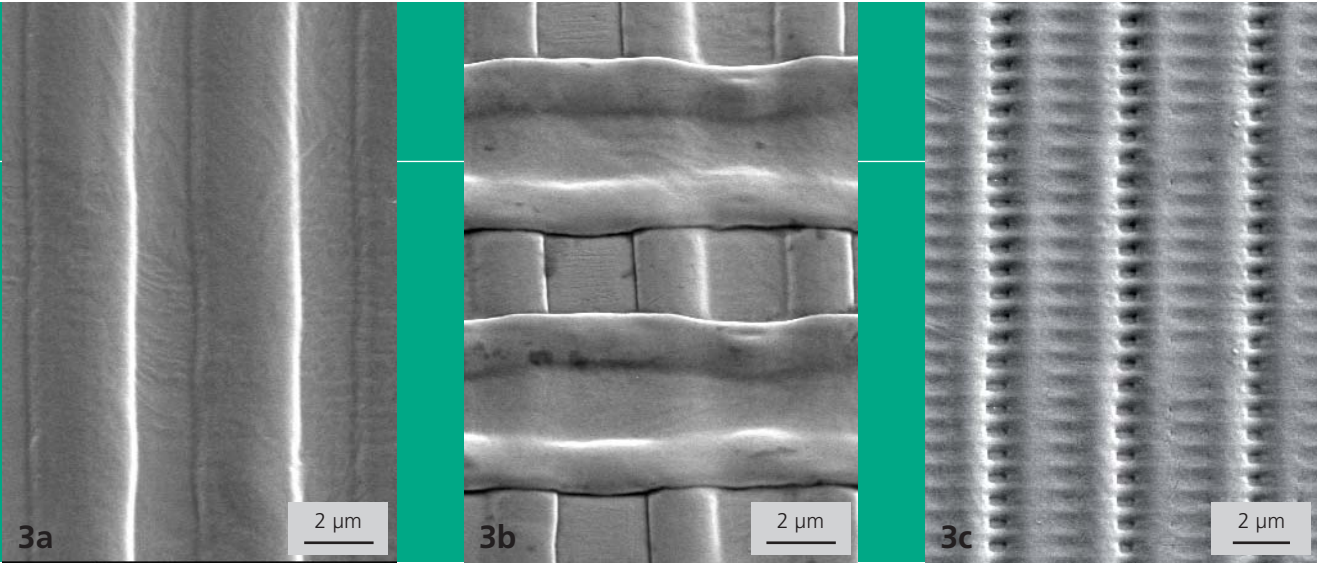
### UNSERE LÖSUNG

Die direkte Laserstrahlinterferenzstrukturierungsmethode (DLIP: Direct Laser Interference Patterning) ermöglicht die Herstellung periodischer 2- und 3-dimensionaler Mikrostrukturen auf allen Arten von Oberflächen und Bauteilgeometrien. Um eine Interferenzstruktur zu erzeugen, werden  $N$  kollimierte und kohärente Laserstrahlen auf einer Oberfläche überlagert.

Damit ergibt sich die außerordentliche Möglichkeit der Strukturierung sowohl von ebenen als auch nicht ebenen Oberflächen (Abb. 2).



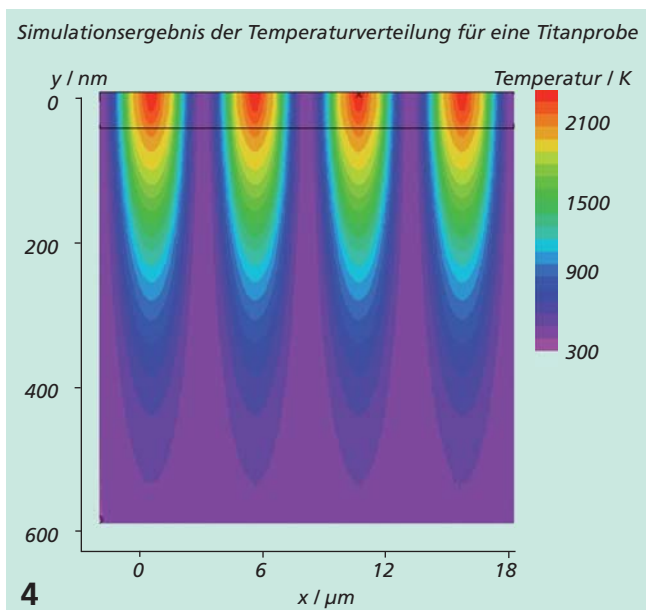
Aus der fundamentalen Wellenlänge 1064 nm eines gütegeschalteten Nd:YAG-Lasers können Wellenlängen von 532 nm, 355 nm und 266 nm für die präzise Bearbeitung von Polymeren, Metallen, Keramiken und Beschichtungen generiert werden. Durch geeignete Wahl der Prozessparameter sind metallurgische Prozesse wie Schmelzen, Ausheilen, Defekt- und Phasenbildung steuerbar. Hierbei werden über eine regelbare Anzahl an Laserpulsen und variabel einstellbare Pulsenergien die elektrischen, chemischen und / oder mechanischen Eigenschaften periodisch variiert. Die strukturierten Oberflächen weisen damit über einen makroskopischen Bereich hinweg Mikro- bzw. Nanomerkmale auf. Das Verfahren der Oberflächenstrukturierung mittels DLIP ist dabei ein sehr schneller Prozess. Es erreicht Geschwindigkeiten von mehreren Quadratzentimetern pro Sekunde, während andere Technologien einige Stunden oder sogar Tage benötigen.



## ERGEBNISSE

Bei Metallen führt das Verfahren der direkten Laserstrahlinterferenzstrukturierung unter Verwendung ausreichend hoher Energiedichten zu lokalen Aufschmelzungen im Bereich der Interferenzmaxima. Verursacht durch einen starken Oberflächenspannungsgradienten erstarrt die Metallschmelze anschließend entlang der Interferenzminima. Der Temperaturunterschied zwischen Interferenzmaximum und -minimum erzeugt somit lokale Veränderungen der Materialeigenschaften.

Sowohl die zu verwendenden Laserparameter als auch die erhaltenen Oberflächenstrukturen werden maßgeblich durch die jeweiligen thermischen Eigenschaften des Materials bestimmt. In Abb. 4 ist beispielgebend die Temperaturverteilung dargestellt, wie sie für eine Laserstrukturierung auf Titan mit einem Puls bei einer Energiedichte von  $0,5 \text{ J / cm}^2$  und einer Strukturperiode von  $5 \text{ µm}$  simuliert wurde. Der Temperaturunterschied zwischen Interferenzmaxima und -minima beträgt fast  $2000 \text{ K}$ .



Die Abbildungen 3a, 3b und 3c zeigen mittels Zweistrahlinterferenz erzeugte periodische Oberflächenstrukturen auf Titanproben. Diese Strukturen wurden mit einem Puls bei  $0,5 \text{ J / cm}^2$  erzeugt. In den Abbildungen 3b und 3c ist die Oberflächenprägung zweier orthogonal zueinander versetzter Linienstrukturen zu erkennen. Dafür wurden sequentiell zwei gekreuzte Interferenzstrukturen erzeugt, wobei vor dem Aufbringen der zweiten Linienstruktur das Substrat um  $90^\circ$  gedreht wurde.

Damit stellt DLIP ein geeignetes Verfahren dar, um zum Beispiel in der Implantattechnik definierte Mikrostrukturen für ein gerichtetes Zellwachstum zu erzeugen. Genauso einfach können tribologisch beanspruchte Bauteile funktionalisiert werden.

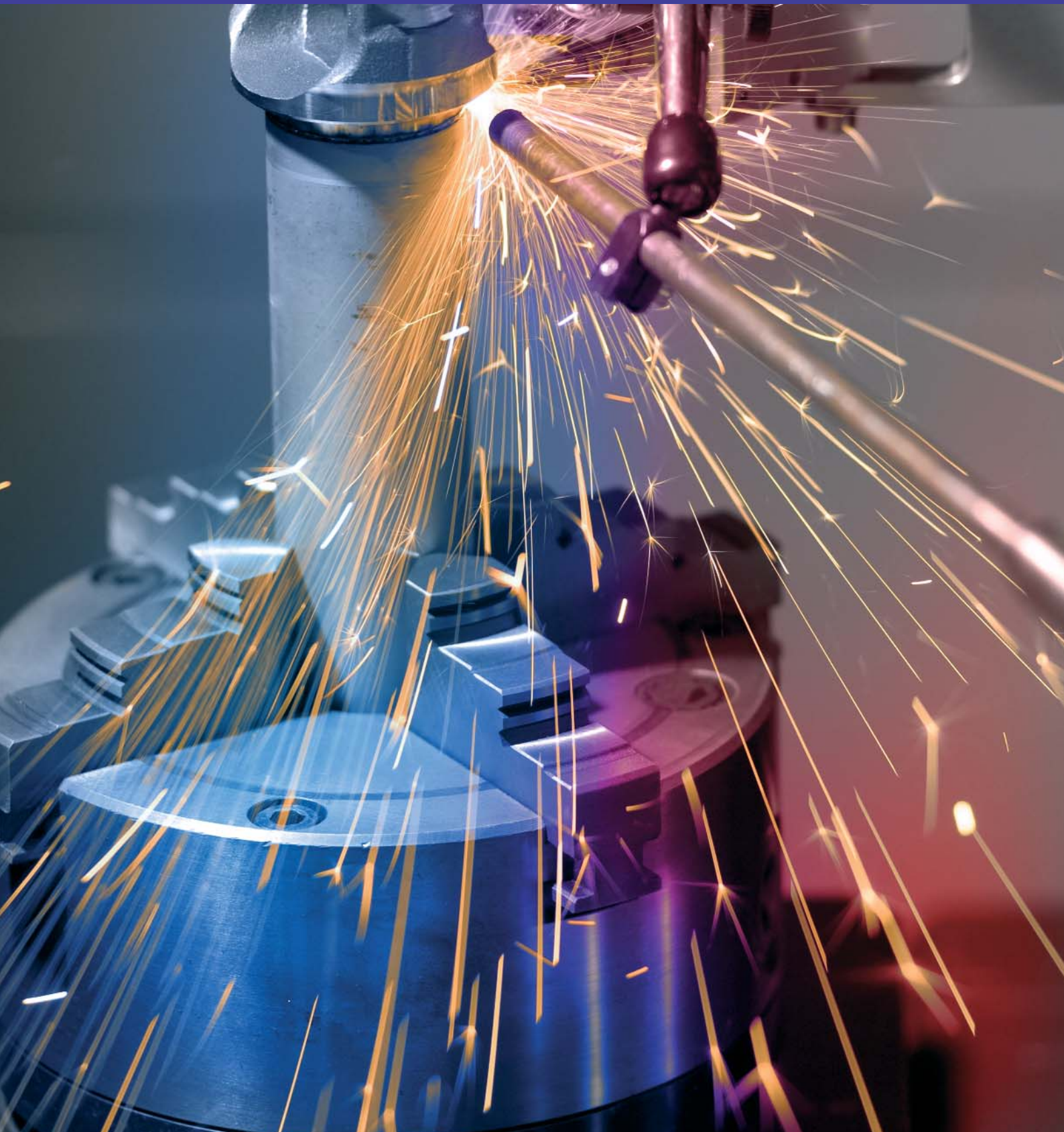
- 1 *Mikrokanäle mit höchstem Aspektverhältnis in Fotopolymer*
- 3 *REM-Aufnahmen strukturierter Titanoberflächen*

## KONTAKT

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Bieda  
 Tel.: +49 351 83391-3348  
[matthias.bieda@iws.fraunhofer.de](mailto:matthias.bieda@iws.fraunhofer.de)











## GESCHÄFTSFELD FÜGEN

**Redaktion:** Seit Jahren zählt das Schweißen von Komponenten des Antriebsstranges von Pkw und Nkw zu den wesentlichen Kompetenzfeldern Ihrer Abteilung. In letzter Zeit und insbesondere im letzten Jahr wurde jedoch offensichtlich, dass die Automobilindustrie sich mit einem dramatisch und sehr dynamisch ändernden ökologischen und wirtschaftlichen Umfeld konfrontiert sieht, das auch den Fokus der Kundenerwartungen stark ändert. Sind Ihre einschlägigen Erfahrungen in diesem Kontext zukünftig überhaupt noch gefragt?

**Prof. Brenner:** Als Antwort – ein eindeutiges Ja. Wir erwarten im Gegenteil, dass die fügetechnischen Herausforderungen und damit auch der Bedarf an anspruchsvollen, fehlerfreien, gut automatisierten, taktzeitkompatiblen und zugleich kostengünstigen fügetechnischen Lösungen deutlich steigen werden. Aus fügetechnischer Sicht betrifft das Fügeverfahren, für den automobilen Leichtbau, höchstbeanspruchte Fügeverbindungen im Bereich Powertrain, bisher nicht oder nicht ausreichend gut fügbare Werkstoffkombinationen und das Fügen von elektrischen Funktionswerkstoffen sowohl untereinander wie auch mit mechanischen Funktionselementen.

Zu diesen neuen Fügeverfahren und Verfahrensvarianten zählen: das Scannerschweißen mit Festkörperlasern höchster Brillanz, die verschiedenen Kombinationen zwischen Laserstrahlschweißen und prozessintegrierter induktiver Wärmeübertragung, das Laserstrahlschweißen mit werkstoffangepasstem Schweißzusatzwerkstoff, das Rührreibschweißen, das Laserinduktionswalzplattieren und nicht zuletzt das EMP-Fügen. Vom Scannerschweißen mit Festkörperlasern höchster Brillanz, dem wir zusammen mit Automobilherstellern, Zulieferern, Laser- und Lasersystemtechnik-Herstellern in einem öffentlich geförderten Projekt nachgehen, versprechen wir uns eine deutliche Erweiterung der rissfrei schweißbaren Werkstoffpalette ohne Preisgabe der fertigungstechnischen Vorteile des Laserstrahlschweißens.

Schmelzmetallurgisch nicht beherrschbare Werkstoffkombinationen wollen wir mit den anderen genannten Verfahren angehen. So z. B. lassen sich mit dem Laserinduktionswalzplattieren Halbzeuge aus konventionell nicht schmelzschweißbaren Werkstoffkombinationen wie z. B. Vergütungsstahl / Baustahl; Stahl / Al; Stahl / Cu; Al / Ti u. ä. herstellen, die direkt zu Bauteilen weiterverarbeitet oder als sogenannte »transition joints« mit unterschiedlichen Partnern verschweißt werden können. Die Bedeutung, die wir diesen mechanisch-thermischen bzw. mechanischen Verfahren zumessen, findet ihren Niederschlag auch in dem Aufbau und der Gründung einer neuen Arbeitsgruppe »Sonderfügeverfahren«.

**Redaktion:** Stichwort Rührreibschweißen. Eine Reihe von Forschungsinstituten weltweit beschäftigt sich schon längere Zeit mit dieser Technologie. Worin sehen Sie als Neueinsteiger Ihre Chancen und neuen Ansätze?

**Prof. Brenner:** Unser Ansatz ist in mehrfacher Hinsicht neu. Zum Einen verwenden wir mit einer speziell ausgelegten Pentapod-Fräsmaschine mit parallelkinematischem Bewegungsprinzip einen neuen Anlagentyp mit bestechenden Vorteilen gegenüber bisherigen Anlagenkonzepten. Solche Vorteile bestehen in der Einfachheit der maschinentechnischen Realisierung, einer sehr hohen Steifigkeit bei gleichzeitig sehr geringen bewegten Massen, einem größeren Verhältnis von Arbeitsraum zum umbautem Volumen, einer sehr energieeffizienten Bearbeitung, sehr guten Möglichkeiten zu einer 3D-Bearbeitung usw.. Weiterhin wollen wir erstmalig wirtschaftlich interessante Fertigungsprozessketten wie z. B. Fräsen zur Nahtvorbereitung, Laserstrahlschweißen zum Heften und Rührreibschweißen zum Fügen in einer Maschine bzw. sogar in einer Aufspannung entwickeln. Wir freuen uns besonders, dass für dieses neue Fertigungskonzept interessante Projekte ins Haus stehen, die wir für die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie durchführen wollen.



# KOMPETENZEN

## SCHWEISSEN SCHWER SCHWEISSBARER WERKSTOFFE

Das Laserstrahlschweißen ist ein modernes Schweißverfahren, das einen breitgefächerten industriellen Einsatz, insbesondere in der Massenfertigung, gefunden hat. Einen neuen Zugang zur Herstellung rissfreier Schweißverbindungen aus härtbaren und hochfesten Stählen, Guss-eisen, Al- und Sonderlegierungen sowie Bauteilen mit hoher Steifigkeit ermöglichen Laserstrahl-schweißverfahren mit integrierter Kurzzeitwärmebehandlung sowie werkstoffangepassten Zusatzwerkstoffen. Auf der Basis eines umfangreichen metallphysikalischen und anlagentechnischen Hintergrundwissens bieten wir Ihnen die Entwicklung von Schweißtechnologien, Proto-typschweißungen, Verfahrens- und Anlagenoptimierung sowie Ausarbeitung von Schweißan-weisungen an.

## OBERFLÄCHENVORBEHANDLUNG UND KONSTRUKTIVES KLEBEN

Um eine gute Benetzung und eine hohe Klebfestigkeit zu erreichen, werden die Fügeteil-oberflächen vor dem Kleben häufig vorbehandelt. Dafür werden am IWS vor allem Plasma- und Lasertechniken verwendet. Die Charakterisierung der vorbehandelten Oberflächen sowie der geklebten Verbunde erfolgt mittels Kontaktwinkel-, Rauheits- und Schichtdickenmessun-gen, Lichtmikroskopie, REM / EDX und spektroskopischer Methoden. Eine neue Zielrichtung besteht in der Integration von Carbon-Nanotubes in Klebstoffe, wodurch die Klebfestigkeiten erhöht oder / und elektrisch leitfähige Verbunde hergestellt werden können. Wir bieten die Fügeflächenvorbehandlung und Oberflächencharakterisierung, konstruktives Kleben verschie-denster Materialien und die Bestimmung der Klebfestigkeit und Alterungsuntersuchungen.

## SONDERFÜGEVERFAHREN

Häufig lassen sich moderne Funktionswerkstoffe nur noch eingeschränkt mittels Standard-Schmelzschweißverfahren fügen, bei Metallen betrifft dies beispielweise viele hochfeste Aluminiumlegierungen. Wird eine Verbindung verschiedener Metall gewünscht, etwa Aluminium und Kupfer, verschärft sich das Problem noch: In der Regel entstehen aus der Schmelze stark festigkeitsmindernde intermetallische Phasen. Am Fraunhofer IWS werden daher gezielt Fügeverfahren weiterentwickelt, die eine Schmelze vermeiden und so diese Probleme umgehen. Unser primärer Fokus liegt dabei auf den Verfahren Rührreibschweißen, dem Laserstrahllöten sowie dem elektromagnetischen Pulsfügen, für die wir Prozess-entwicklungen und Prototypenschweißungen anbieten.

**ABTEILUNGSLEITER**

**PROF. BERNDT BRENNER**

Telefon +49 351 83391-3207  
berndt.brenner@iws.fraunhofer.de



**BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2009**

1. Lasergeschweißte Integral-Strukturen für Schienenfahrzeuge	32
2. Laserstrahlschweißen mit 5 kW-Single-Mode-Faserlaser	34
3. Pentapod-Bewegungsmaschine für Füge- und Hybrid-Technologien	36
4. Lokale Laserverfestigung zur Verbesserung des Crashverhaltens	38
5. Preformfertigung für textilverstärkte Kunststoffe	40

**GRUPPENLEITER SCHWEISSEN**

**DR. JENS STANDFUSS**

Telefon +49 351 83391-3212  
jens.standfuss@iws.fraunhofer.de



**GRUPPENLEITERIN KLEBEN**

**DR. IRENE JANSEN**

Telefon +49 351 463-35210  
irene.jansen@iws.fraunhofer.de



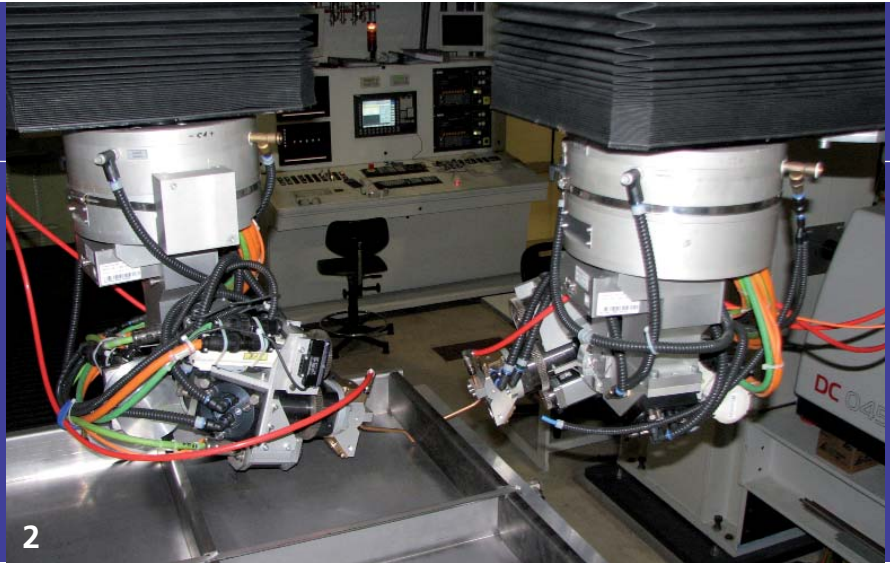
**GRUPPENLEITER**

**SONDERFÜGEVERFAHREN**

**DR. GUNTHER GÖBEL**

Telefon +49 351 83391-3211  
gunther.goebel@iws.fraunhofer.de





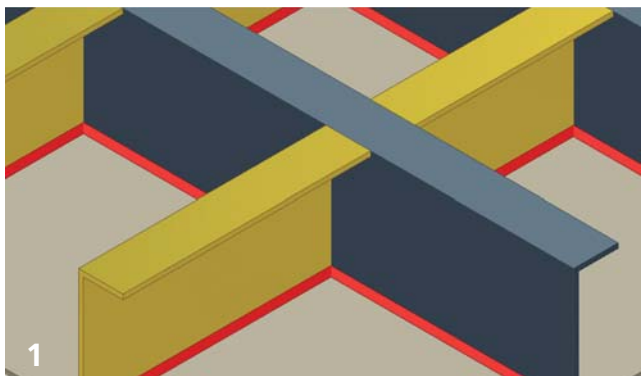
# LASERGESCHWEISSTE INTEGRAL-STRUKTUREN FÜR SCHIENENFAHRZEUGE

## DIE AUFGABE

Schienefahrzeugbaugruppen wie Waggonseitenwände werden derzeit in differenzieller Bauweise hergestellt. Die Verbindung zwischen Außenhautblech und Versteifungselementen erfolgt dabei üblicherweise als Punktschweißung im Überlapstoß.

Das Fraunhofer IWS hat sich das Ziel gesetzt, auf der Grundlage der Integralbauweise eine neuartige Konstruktion mit Vollanschluss der Versteifungselemente zu entwickeln (Abb. 1). Vorteile dieser Bauweise sind eine deutliche Gewichtsreduzierung sowie die Erhöhung von Strukturfestigkeit und -steifigkeit.

Wird zudem das Laserstrahlschweißen zum Verschweißen von Außenhautblech und Versteifungselementen verwendet, wird gleichzeitig ein minimaler Bauteilverzug garantiert. Somit entsteht eine sehr wirtschaftliche Fertigungsmethode.



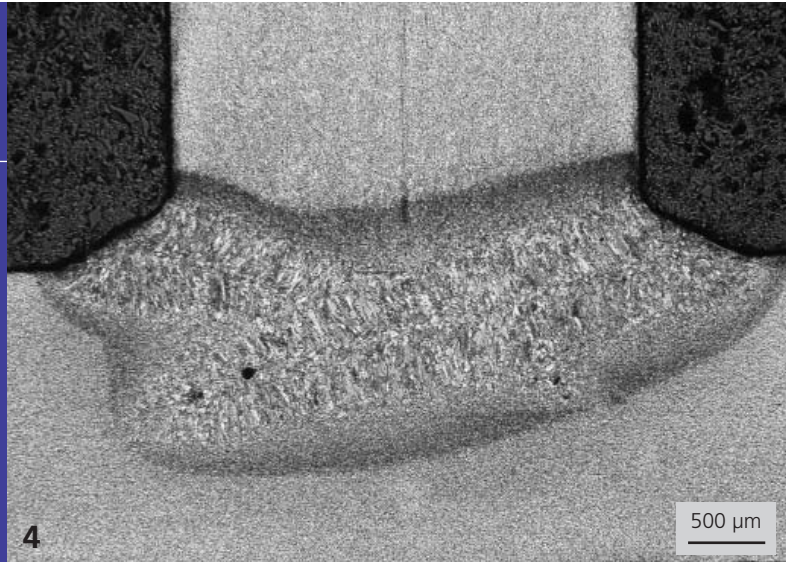
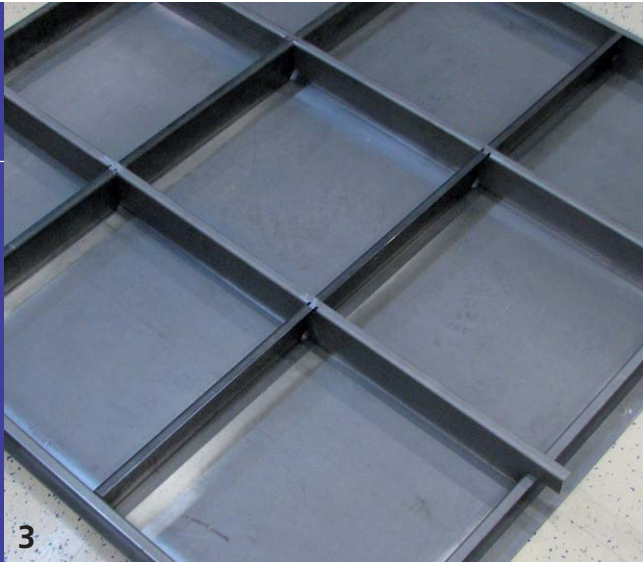
## UNSERE LÖSUNG

Die Grundlage der Integralbauweise bildet eine T-Stoß-Verbindung. Auf diese Weise kann die für die ursprüngliche Überlappverbindung erforderliche Materialdopplung eliminiert und damit eine signifikante Gewichtseinsparung realisiert werden. Diese Konstruktionsweise ermöglicht den Einsatz einfacherer Versteifungselemente (L-Profil) und erlaubt eine vereinfachte Auslegung der Integralknoten (Verbindung der Versteifungselemente untereinander).

Für die Herstellung der Schweißverbindungen wurde eine spezielle Technologie entwickelt. Dabei wird der Steg der Steife mittels Laserstrahlschweißen unter sehr flachem Einstrahlwinkel von beiden Seiten gleichzeitig geschweißt (Abb. 2). Für Bereiche mit eingeschränkter Zugänglichkeit bzw. in Zonen mit reduzierten Qualitätsanforderungen ist auch ein Vollanschluss über eine einseitige Schweißung möglich. Maßgabe für die Prozessauslegung ist die Realisierung des vollständigen Anschlusses des Stegquerschnittes bei minimaler Wärmeeinbringung.

Infolge der konsequenten Umsetzung der laserspezifischen hohen Schweißgeschwindigkeit von derzeit mehr als 4 m / min kann ein immenses Potenzial zur Einsparung der Fertigungszeit erschlossen werden. Die fertigungsoptimierte Schweißreihenfolge, bei der bevorzugt lange durchgehende Nahtabschnitte geschweißt werden, führt zu einer spürbaren Reduzierung der Fertigungsnebenzeiten.





Unter Verwendung einer hochmodernen Großraum-Portalanlage sind derzeit am Fraunhofer IWS Baugruppen bis zu einer Abmessung von 10 m x 3 m herstellbar. Die Grundplatte wird in einer Vakuumspannvorrichtung aufgenommen. Eine prozessintegrierte mobile Spanneinrichtung realisiert die exakte Positionierung und Fixierung der Anschweißelemente während des Schweißprozesses. Eine sensorgesteuerte Positionierung des Schweißkopfes garantiert dabei einen stabilen Schweißprozess und eine konstant hohe Schweißnahtqualität.

## ERGEBNISSE

Durch die entwickelte Integralstruktur können Seitenwandelemente für Schienenfahrzeuge mit im Vergleich zur differenziellen Bauweise deutlich verbesserten Eigenschaften realisiert werden (Abb. 3). Die Vorteile sind:

- reduziertes Bauteilgewicht,
- konstante, hohe Schweißnahtqualität,
- verbesserte Struktursteifigkeit und Festigkeit,
- geringer Bauteilverzug durch minimale Wärmeeinbringung,
- minimaler Winkelverzug durch symmetrisches Schweißen,
- verbesserte Korrosionsbeständigkeit durch Vermeidung von Spalten,
- minimale Beeinträchtigung der Oberflächenqualität auf der Sichtseite der Außenwand.

Infolge der entwickelten Laserschweißtechnologie können Baugruppen in hoher Qualität und Reproduzierbarkeit sowie in minimaler Fertigungszeit hergestellt werden. Die Verwendung einer integrierten Spanntechnik erlaubt zudem eine Fertigung ohne vorheriges Heften.

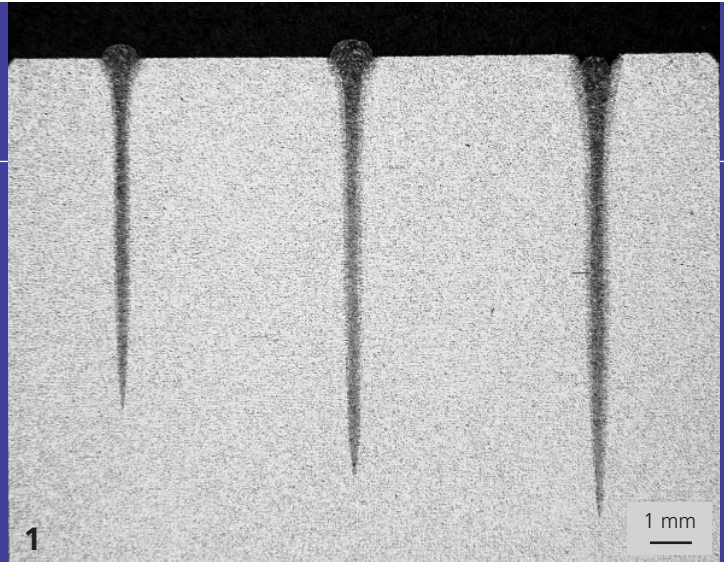
- 2 *Beidseitig gleichzeitiges Laserstrahlschweißen von Quersteifen*
- 3 *Laserstrahlgeschweißte Integralstruktur der Abmessung 1,25 m x 1,25 m und Prinzip der Integralbauweise von Seitenwandstrukturen für Schienenfahrzeuge*
- 4 *Querschliff eines beidseitig geschweißten T-Stoßes*

## KONTAKT

Dipl.-Ing. Axel Jahn  
 Telefon: +49 351 83391-3237  
 axel.jahn@iws.fraunhofer.de







# LASERSTRAHLSCHWEISSEN MIT 5 KW-SINGLE-MODE-FASERLASER

## DIE AUFGABE

5 kW-Single-Mode-Faserlaser stellen derzeit die neueste, kommerziell verfügbare Entwicklungsstufe hochfokussierbarer Laserstrahlquellen mit hoher Laserleistung bei extrem guter Strahlgüte dar. Mit einem Strahlparameterprodukt von ca. 0,5 mm-mrad und einem Faserdurchmesser von 30  $\mu\text{m}$  ergeben sich Fokussierbedingungen und Intensitätsverhältnisse, die mit dem Elektronenstrahlschweißen vergleichbar oder sogar besser sind. Für Laserschweißanwendungen stellt sich die Frage der prozessseitigen Umsetzbarkeit der extrem guten Fokussierbarkeit.

In ersten grundlegenden Untersuchungen werden dazu die Prozessgrenzen ermittelt sowie potenzielle Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt.

## UNSERE LÖSUNG

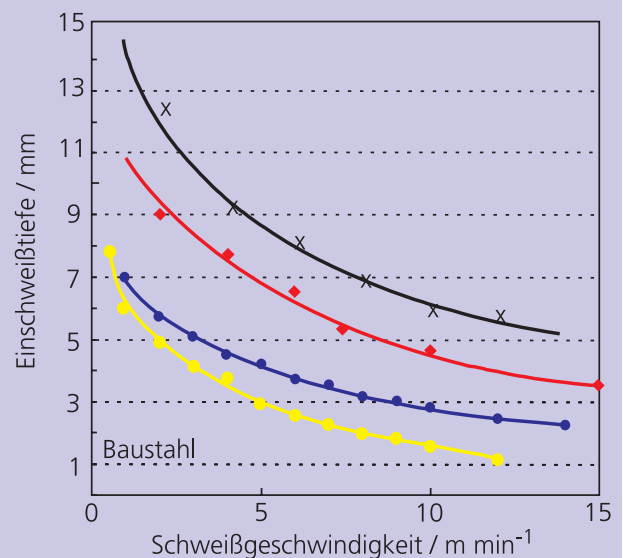
Für den Vergleich von Lasersystemen bieten sich Einschweißkurven in Vollmaterial an. Verglichen werden die Einschweiß-tiefen und die im Querschnitt charakterisierte Nahtausbildung in Abhängigkeit von Streckenenergie und Fokusslage. Teil der Untersuchungen zur Prozessstabilität sind Tests zur Strahlen-gangspülung nach der Fokussierung und deren Einfluss auf die Einschweißtiefe.

Der 5 kW-Single-Mode-Faserlaser ist mit einer standardmäßi-gen Kollimation (Brennweite  $f_{\text{Koll}} = 200 \text{ mm}$ ) ausgestattet. Für die Einschweißversuche wurde mit Brennweiten von 300 mm und 500 mm gearbeitet. Als Werkstoffe kamen ein unlegierter Baustahl und eine naturharte Aluminiumlegierung zur Anwendung.

## ERGEBNISSE

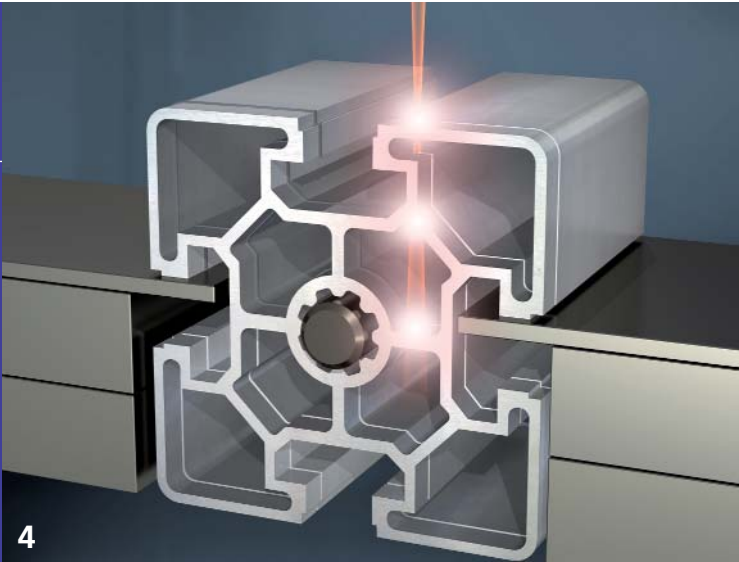
Im Vergleich zu einem 4 kW-Multi-Mode-Faserlaser (Faser-durchmesser 50  $\mu\text{m}$ ; Strahlparameterprodukt 2 mm-mrad) wird eine Steigerung der Einschweißtiefe um mehr als 30 % erreicht (Abb. 2).

Einschweißtiefe für verschiedene Lasertypen mit unterschiedlichen Strahlqualitäten ( $f$  - Brennweite,  $d_f$  - Fokussdurchmesser),



X Faserlaser, 4,0 kW,  $f = 300 \text{ mm}$ ,  $d_f = 30 \mu\text{m}$ , BPP: 0,5 mm mrad  
 ♦ Faserlaser, 4,0 kW,  $f = 300 \text{ mm}$ ,  $d_f = 125 \mu\text{m}$ , Bpp: 2,0 mm mrad  
 ● Scheibenlaser, 4,0 kW,  $f = 200 \text{ mm}$ ,  $d_f = 200 \mu\text{m}$ , BPP: 8,0 mm mrad  
 ● Faserlaser, 4,0 kW,  $f = 200 \text{ mm}$ ,  $d_f = 510 \mu\text{m}$ , BPP: 18,5 mm mrad

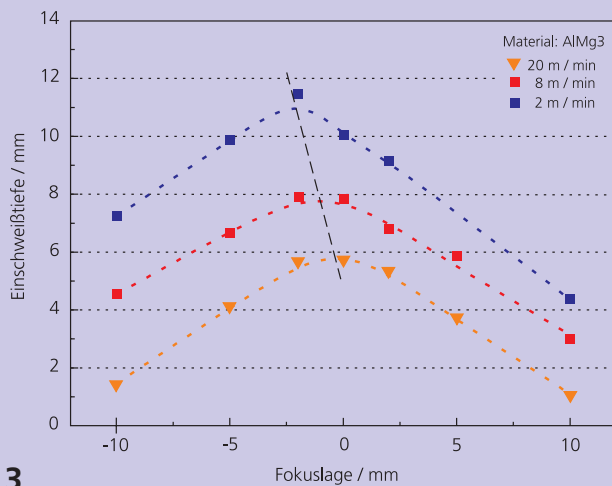
2



Die Schweißnähte zeichnen sich durch ein extrem hohes Aspektverhältnis aus, die Nahtflanken sind sehr parallel. Auffällig sind starke Schwankungen der Einschweißtiefe besonders bei geringen Schweißgeschwindigkeiten («spiking»). Maßgeblich bestimmend auf die Einschweißtiefe ist auch bei der sehr hohen Strahlqualität die Intensität auf der Bauteiloberfläche. Bei einer gemessenen Rayleighlänge von ca. 1,4 mm (bei  $f = 300$  mm) wird dies bei Versuchen mit einer Variation der Fokusslage deutlich. Dabei werden die höchsten Einschweißtiefen bei Aluminium bei einer Fokusslage im Bauteil erreicht (Abb. 3).

- 1 *Einschweißungen in unlegiertem Stahl bei 5 kW mit Fokuspositionierung auf der Oberfläche, v. l. n. r.: 8 m / min, 6 m / min, 4 m / min*
- 4 *Möglichkeit des Schweißens verdeckter Schweißpositionen mit Lasern höchster Strahlqualität*

Einschweißtiefe in Abhängigkeit von der Fokusslage für Aluminium AlMg3, (5 kW Laserleistung)

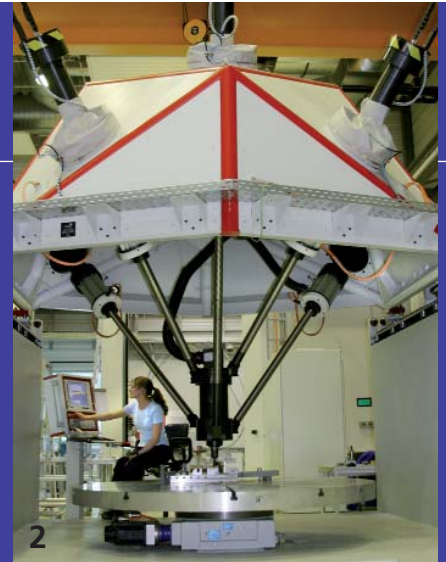


Hochfokussierbare Laserstrahlquellen wie der hier untersuchte 5 kW-Single-Mode-Faserlaser sind unter anderem hervorragend für das Laserstrahlschweißen verdeckter Schweißpositionen geeignet. In einem ersten Muster wurden mit einem Laserstrahldurchgang gleichzeitig zwei Überlappstöße in einer Fokusslagendifferenz von 40 mm geschweißt. Dabei betrug die Gesamtblechstärke 8 mm (Einzelblechstärke 2 mm). Hier ergeben sich erhebliche technologische Vorteile bei Spanntechnik, Handling und Prozesszeit.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Renald Schedewy  
 Telefon: +49 351 83391-3151  
[renald.schedewy@iws.fraunhofer.de](mailto:renald.schedewy@iws.fraunhofer.de)





# PENTAPOD-BEWEGUNGSMASCHINE FÜR FÜGE- UND HYBRID-TECHNOLOGIEN

## DIE AUFGABE

Ein wichtiger Bestandteil der Projektarbeit des Fraunhofer IWS ist die Überführung von Verfahren und Technologien in die industrielle Fertigung. Kundenwünsche wie die Erweiterung bestehender technologischer Grenzen, ein immer flexiblerer Einsatz von Fertigungsmitteln und niedrige Investitionskosten erfordern dabei immer auch die Einbeziehung neuer Ideen und Konzepte zu Maschinen und Anlagentechnik. Initiiert wurde die hier vorgestellte Entwicklung durch eine Machbarkeitsanalyse, deren Ziel (die Aufarbeitung von Gasturbinen vor Ort) nicht mit herkömmlicher Anlagentechnik erreichbar gewesen wäre. Anfragen aus dem Bereich der Luftfahrtanwendungen zeigten ebenfalls ein Defizit der verfügbaren Anlagenkonzepte auf. Perspektivisch sollten daher folgende Randbedingungen erfüllt werden:

- präzise 3D-Bearbeitung an großen Bauteilen (Länge > 10 m), inkl. der Option zum Laserstrahlschweißen bei Schweißtiefen von bis zu 20 Millimeter,
- Option zum Rührreißschweißen,
- eine integrierte Nahtvorbereitung (präzises Fräsen der Fügeanten) ohne Wechsel der Bauteileinspannung,
- einfacher und schneller Wechsel zwischen Fräsen und Schweißen,
- Option zum mobilen Einsatz des Verfahrens (Vor-Ort Durchführung auf der Baustelle) mit geringem Zeit- und Kostenaufwand für Transport, Aufbau und Einrichtung des Systems.

## UNSERE LÖSUNG

Der Lösungsansatz bestand in der Erweiterung des Anwendungsbereiches einer sogenannten Pentapod-Fräsmaschine. Derartige Maschinen, die auf dem parallelkinematischen Prinzip basieren, müssen bei vergleichbarem Arbeitsraum, Steifigkeit und Positionierungspräzision deutlich weniger Eigenmasse als herkömmliche CNC-Maschinen bewegen, in der Regel nur etwa 10 %. Die standardmäßig stationären Anlagen (Abb. 1 und 2) sind bei geeignetem modularem Aufbau auch als mobile Variante einsetzbar.

Durch Adaption der im IWS entwickelten Laserstrahlblenkoptiken (SAO-Baureihe) auf den Einsatz in Pentapod-Anlagen kann nun erstmalig an solchen Systemen vom Fräsen (etwa zur Nahtvorbereitung) zum Schweißen durch einfaches Einwechseln der Optik als Werkzeug umgeschaltet werden. Als Verfahren für die genannten großen Schweißtiefen wurde das am Fraunhofer IWS entwickelte Mehrlagen-Engspaltschweißen genutzt.

Neben Laserstrahlschweißanwendungen ist der Pentapod auch für Rührreißschweißaufgaben geeignet (Abb. 3, 5). Auch hier ist die Flexibilität für verschiedene Verfahren von Vorteil: Durch Kombination mit einer Fräsvorbereitung sowie dem Laserstrahlschweißen lassen sich bekannte Einschränkungen des Rührreibens begrenzen. So kann die erforderliche Konturnauigkeit an gröber tolerierten Bauteilen leicht durch Vorab-Überfräsen der Kontur erreicht werden. Auch die Gefahr einer Verschiebung der Fügepartner durch die relativ hohen Bearbeitungskräfte kann durch ein vorgeschaltetes Laserheften reduziert werden, eine Spaltbildung und Verformung an Strukturen mit geringer Eigensteifigkeit (etwa Flugzeug-Rumpfstrukturen) wird minimiert.



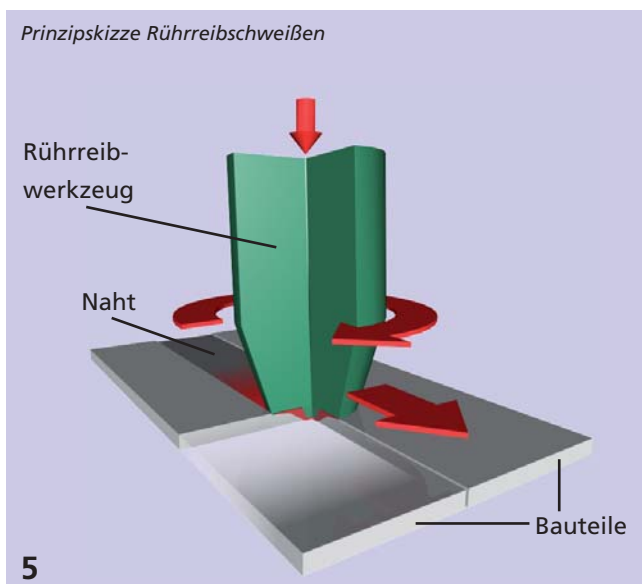
Ebenfalls denkbar sind mechanische oder thermische Nahtnachbehandlungen, etwa um die Dauerschwingfestigkeit durch Einbringen von Druckspannungen oder besseren Gefügestrukturen zu erhöhen.

## ERGEBNISSE

Die Machbarkeit der Erweiterung des Pentapod-Konzepts auf neue Füge- und Verfahrenskombination wurde im IWS-Labor an einer mobilen Pentapod-Anlage nachgewiesen. Als Laser kam ein (ebenfalls einfach transportierbarer) Faserlaser zum Einsatz. Abb. 4 zeigt beispielhaft verschiedene mögliche Werkzeuge: einen einwechselbaren Laserstrahlweißkopf einen Fräser sowie ein Rührreibwerkzeug.

Durch die kürzlich mit maßgeblicher finanzieller Unterstützung des Landes Sachsen und der EU erfolgte Investition in eine eigene Großfeld-Pentapodanlage (Arbeitsraum 5 x 2 x 2 m<sup>3</sup>) (Abb. 1, 2) sollen am IWS weitere Verfahrenstechnologien ausgebaut werden und das neue Konzept unter anderem Eingang in die Luft- und Raumfahrtindustrie finden.

- 1 Außenansicht der neuen stationären Großfeld-Pentapodanlage am Fraunhofer IWS
- 2 Großfeld-Pentapod mit weit ausgefahrener Hauptspindel
- 3 Einsatz der stationären Anlage für das Rührreibschweißen von Aluminium-Strukturen
- 4 Angepasste Strahlblenkoptik, die als Werkzeug am Pentapod eingewechselt werden kann, sowie ein Fräser und ein Rührreibwerkzeug zum Vergleich

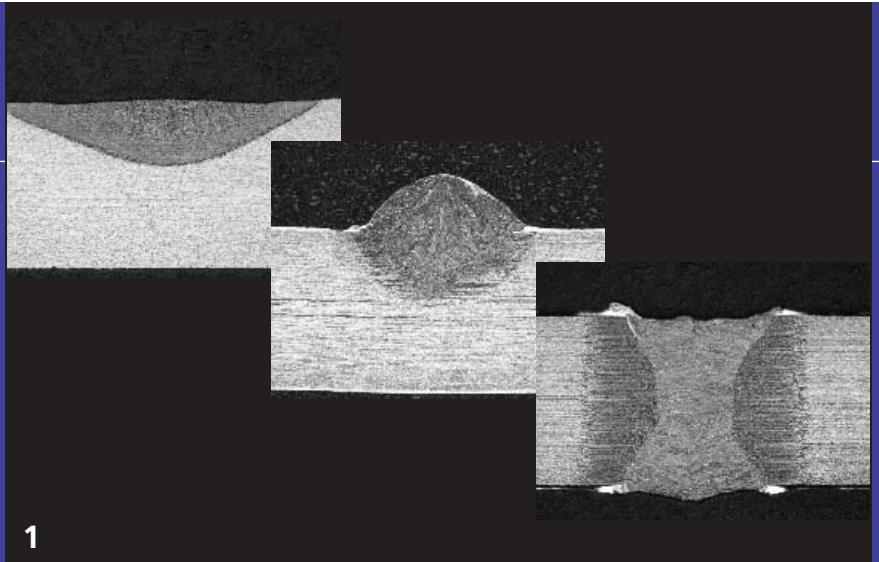


## KONTAKT

Dr. Gunther Göbel  
 Telefon: +49 351 83391-3211  
[gunther.goebel@iws.fraunhofer.de](mailto:gunther.goebel@iws.fraunhofer.de)







## LOKALE LASERVERFESTIGUNG ZUR VERBESSERUNG DES CRASHVERHALTENS

### DIE AUFGABE

Mit dem Ziel einer effektiven Ressourcenschonung sowie einer wirksamen Umweltentlastung werden im modernen Karosseriebau zunehmend innovative Leichtbaukonzepte realisiert. Der werkstofftechnische Ansatz des Einsatzes hoch- oder höchstfester Werkstoffe, wie zum Beispiel kaltverfestigter, höchstfester Mehrphasenstähle oder Presshärstähle, bildet die Grundlage einer Vielzahl auf diesem Gebiet entwickelter Lösungen. Die Verarbeitung derartiger hochfester Werkstoffe stellt aber an die Fertigungstechnik erhöhte Anforderungen. Dies betrifft insbesondere:

- fertigungstechnische Schwierigkeiten, wie zum Beispiel reduzierte Umformbarkeit hochfester Werkstoffe bzw. gefügter Halbzeuge oder eingeschränkte Schweißneigung hochfester Materialien,
- erhöhte Umformkräfte, unkontrolliertes Rückfederverhalten und ungünstige Schnittbedingungen,
- letztendlich eine eingeschränkte Beanspruchbarkeit der Bauteile infolge der komplexen Materialbelastung während der Fertigung.

Die genannten Probleme verursachen in der Produktion erhöhte Aufwendungen und erhebliche Fertigungsunsicherheiten, schränken die Produkteigenschaften ein und können zu einer enormen Kostensteigerung führen.

### UNSERE LÖSUNG

Ein Lösungsansatz ist es, in Karosseriebauteile erst während des Zusammenbaus lokale Verfestigungszonen einzubringen. Bei härtbaren Stahlblechqualitäten bieten sich dafür ein lokales Härten, Einschweißen oder Auftragschweißen als mögliche Verfahren an. Im Hinblick auf die notwendige Präzision der Wärmeeinbringung und die erforderliche Modulationsfähigkeit des Temperaturfeldes, stellt der Einsatz von Hochleistungslasern mit der entsprechenden Strahlformung einen technologisch viel versprechenden Ansatz dar.

Durch eine solche lokale Gefügemodifizierung sollen hoch beanspruchte Bauteilbereiche verstärkt werden. Damit wird eine Reihe von Vorteilen angestrebt:

- Verbesserung der Bauteileigenschaften im Betrieb (Erhöhung der Belastbarkeit durch Steigerung der Strukturfestigkeit; optimierte Spannungsverteilung und damit Verringerung der lokalen Beanspruchung in Lasteinleitungspunkten der Karosserie; belastungsangepasstes Bauteildesign und somit Reduzierung der Gesamtmasse)
- Verbesserung des Crashverhaltens und damit Erhöhung der Fahrzeugsicherheit durch Anhebung der lokal ertragbaren Belastung; Steigerung der aufnehmbaren Verformungsenergie; Realisierung eines kontrollierten Bauteilversagens
- Reduzierung von Herstellungskosten durch Verringerung der Fertigungsaufwendungen (parallele Nutzung der vorhandenen Laseranlagen zum Schweißen im ZSB und Wärmebehandeln; Verwendung einfacher und preiswerter Halbzeuge; Realisierung einfacher Umform- und Schneidoperationen)

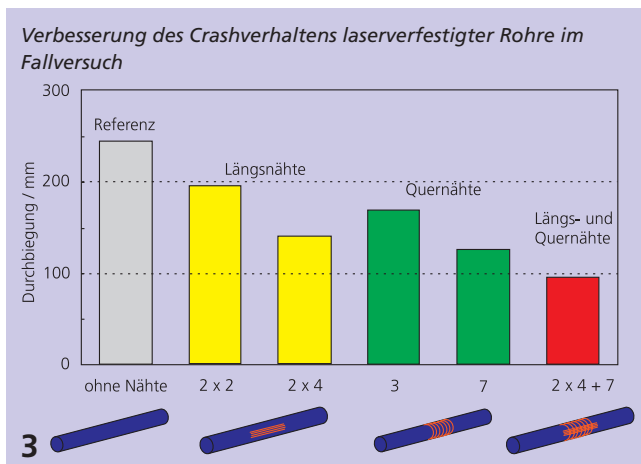




## ERGEBNISSE

Durch eine lokale Laserverfestigung mittels Einschweißen (Abb. 1 unten), welches im Hinblick auf die fertigungstechnische Umsetzung Vorteile bietet, konnte das Bauteilverhalten bei Crashbeanspruchung deutlich verbessert werden. Stauchversuche zeigten, dass der angestrebte Effekt eines gezielten Versagensablaufes realisierbar ist (Abb. 2).

Die Forschungsergebnisse wurden im Rahmen eines durch die SAB geförderten Projektes mit den Partnern Volkswagen, IMA sowie FES erarbeitet.



Am Beispiel von laserverfestigten Rohren konnte darüber hinaus die Durchbiegung im Fallversuch deutlich reduziert werden (Abb. 3).

Mit dem Verfahren der lokalen Laserverfestigung ist es somit möglich,

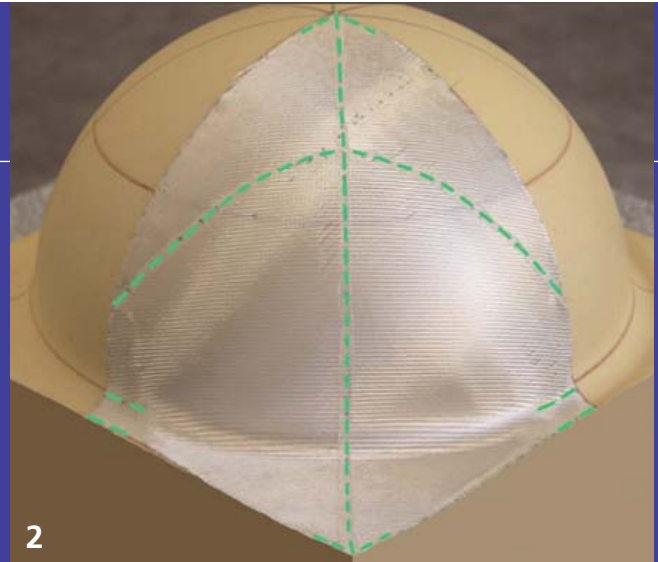
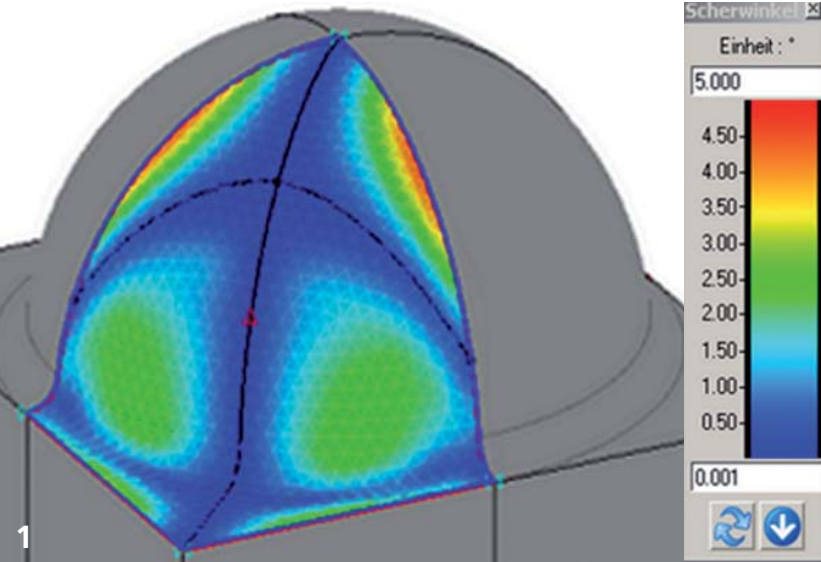
- belastungsangepasste Bauteileigenschaften durch freies Design der Verfestigungsstruktur entsprechend der komplexen mechanischen Beanspruchung zu erzeugen,
- Bauteilgewicht durch Verwendung reduzierter Blechdicken zu senken,
- hochwertige Bauteileigenschaften mit preiswerten, niedrigfesten Stahlgüten zu erzielen sowie
- bereits vorhandene Lasertechnik zur Laserverfestigung zu nutzen.

- 1 *Möglichkeiten der lokalen Verfestigung härtpbarer Stähle durch Laserhärten (oben), Auftragschweißen (Mitte) und Einschweißen (unten)*
- 2 *Durch Einschweißen laserverfestigte Rohre zeigen im Stauchversuch ein besseres Versagensverhalten*

## KONTAKT

Dipl.-Ing. Axel Jahn  
 Telefon: +49 351 83391-3237  
 axel.jahn@iws.fraunhofer.de





# PREFORMFERTIGUNG FÜR TEXTILVERSTÄRKTE KUNSTSTOFFE

## DIE AUFGABE

Im Vergleich mit metallischen Werkstoffen weisen textilverstärkte Kunststoffe interessante Eigenschaftsprofile, aber auch erhöhte Fertigungskosten auf. Die Herstellung von Faserverbundkunststoffen (FVK) ist insbesondere für komplexe Geometrien mit trockenen textilen Preforms kostengünstig. Leider erfüllt die Preformfertigung die in Hochtechnologiebereichen gestellten Qualitätsanforderungen bisher nur teilweise. Zur reproduzierbaren Preformfertigung wird deshalb eine Verstärkung durch lokale Fixierung mittels Klebstoffen (Binder) oder Laserstrahlung angestrebt. Sie verhindert eine ungewollte Veränderung der textilen Halbzeuge bei den anschließenden Stapel- und Formgebungsvorgängen. Eine Einschränkung der gewünschten Formgebung muss dabei vermieden werden, und die mechanischen Eigenschaften des Faserverbundkunststoffes dürfen durch die Fixierung nicht negativ beeinflusst werden.

## UNSERE LÖSUNG

Das Drapierverhalten der textilen Halbzeuge wurde mittels Scherprüfung mit Scherrahmen untersucht. Des Weiteren wurden die Verbundeigenschaften an konsolidierten Prüfkörpern mit Fixierung (Filmstacking-Verfahren) nach der Vierpunkt-Biegeprüfung und der scheinbaren interlaminaren Scherfestigkeitsprüfung geprüft.

Für die Erprobung des Fixierens mit Klebstoffen werden als Referenzmaterialien Glasfasergewebe und die Matrixwerkstoffe Polyester (PET) und Polypropylen bzw. Glasfaser / Polypropylen (GF / PP)-Hybridgarngewebe ausgewählt. Um matrixkompatible Klebstoffe zu ermitteln, wurde intensiv recherchiert und experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Neben manuellen Auftragsvarianten mit variierenden Auftragsdüsen werden die Klebstoffe mittels Roboterführung appliziert.

Weiterhin wird beim GF / PP-Hybridgarngewebe die Laserstrahlung für das Fixieren genutzt, wobei der Laserstrahl durch Wärmeeintrag den PP-Faden aufschmilzt und nach Abkühlung ein Fixiereffekt entsteht. Das Absorptionsverhalten der Strahlung beim Nd:YAG- und CO<sub>2</sub>-Laser wurde in Vorversuchen durch spektroskopische Untersuchungen bestimmt. Neben der Laserbearbeitung mit fester Bearbeitungsoptik wird die Laserfixierung mit einer robotergekoppelten Bearbeitungsoptik untersucht.

Um die Verstärkungsstrukturen belastungsgerecht und ohne Nacharbeit in die gewünschte 3D-Bauteilform zu bringen, wird die Zuschnittentwicklung direkt auf der Modellgeometrie realisiert. Mittels inverser Berechnungsverfahren erfolgt die Ableitung der Zuschnitte aus der 3D-Referenzgeometrie. Eine nachfolgende Analyse der Verzerrung dient der Ermittlung von Bereichen geringfügiger Fadenverschiebungen, -aufweitungen und Winkelveränderungen, die zur lokalen Fixierung genutzt werden können (Abb. 1, 2). Eine Behinderung der zur Formgebung benötigten Scherung wird damit weitgehend ausgeschlossen.



## ERGEBNISSE

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass bei der lokalen Fixierung kaum Haftungsprobleme zwischen der Glasfaser und den ausgewählten Klebstoffen auftreten. Spektroskopische Untersuchungen zur Laserfixierung des GF / PP-Hybridgarngewebes zeigten erwartungsgemäß, dass die Absorption der CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung höher als die der Nd:YAG-Laserstrahlung war. Durch eine geeignete Parameterwahl, wie z. B. die Erhöhung der Leistung, wurde mit beiden Lasern die gewünschte Bearbeitung realisiert. Außerdem konnte mittels Prüfung des Scherverhaltens bei beiden Fixierungsmethoden nachgewiesen werden, dass bei einer geeigneten linienförmigen Fixierung der Referenzschnitte nicht mit einer Einschränkung der Drapierbarkeit gerechnet werden muss. Das Ergebnis der Verbundprüfungen ist, dass einige Klebstoffsysteme geeignet sind, die mechanische Verbundfestigkeit zu erhalten. Um negative Einflüsse auszuschalten, ist darauf zu achten, dass der Binder im Konsolidierungsprozess ohne Rückstand wieder aufschmelzen muss, sich thermisch nicht zersetzen darf und die Kompatibilität von Binder- und Matrixschmelzen zu gewährleisten ist.

Bei beiden Laserbehandlungsvarianten lag die ermittelte Biegespannung der Prüfproben etwas unter der der Referenz. Der Grund dafür könnte eine Vorschädigung des PP durch Pyrolyseprozesse oder die Zerstörung der Glasfasern sein. Die Biegespannungsreduzierung durch Pyrolyse wird in dem Nd:YAG-Laserversuch mit Stickstoff als Schutzgas nicht beseitigt. Weitere Möglichkeiten zur Optimierung der Laserfixierung werden in der Nutzung von Laserwellenlängen mit höherem Absorptionsgrad im Kunststoff oder aber im Zusatz von geeigneten Absorbieren zum Matrixharz gesehen. Die Klebstoff- und Laserfixierung kann mittels Roboter umgesetzt werden.

Nach Anwendung einer lokalen Fixierung mittels Schmelzklebstoffsprühauftrag (automatisierbar) entspricht die Preform exakt der zu erzielenden Bauteilgeometrie (außer Änderung der Preformdicke) und ist eigenstabil (Abb. 3). Sie kann außerdem problemlos vom Formwerkzeug abgenommen und temporär gelagert werden, bevor die eigentliche Konsolidierung ausgeführt wird. Somit ist eine Minimierung der Taktzeiten bei der Bauteilherstellung aus FVK möglich.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des AiF-Projektes »Reproduzierbare Preformfertigung für textilverstärkte Kunststoffe« (IGF-Vorhaben Nr. 151 29 BR) zusammen mit dem Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der TU Dresden durchgeführt.

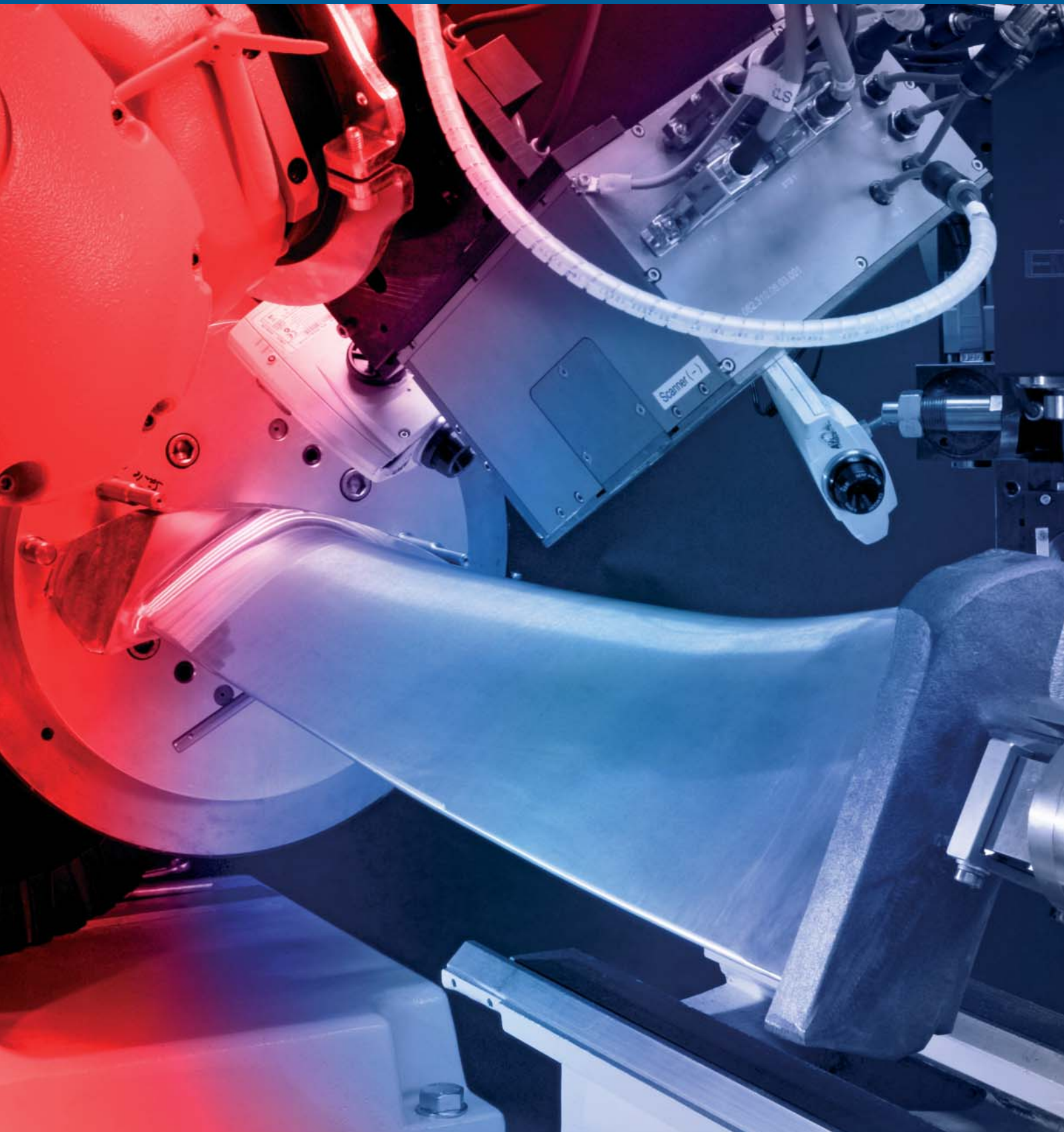
- 1 *Simulation zur Festlegung der Fixierungslinien*
- 2 *Referenzgeometrie*
- 3 *Die fertigestellte Preform auf dem Formwerkzeug*

## KONTAKT

Dipl.-Ing. Ralf Böhme  
 Telefon: +49 351 463-35210  
[ralf.boehme@iws.fraunhofer.de](mailto:ralf.boehme@iws.fraunhofer.de)









## GESCHÄFTSFELD RANDSCHICHTTECHNIK

**Redaktion:** In den letzten Jahren gelangen dem Geschäftsfeld Randschichttechnik regelmäßig sehr interessante Industrieüberführungen. Wie sieht angesichts der konjunkturellen Talsohle die Bilanz für das letzte Jahr aus?

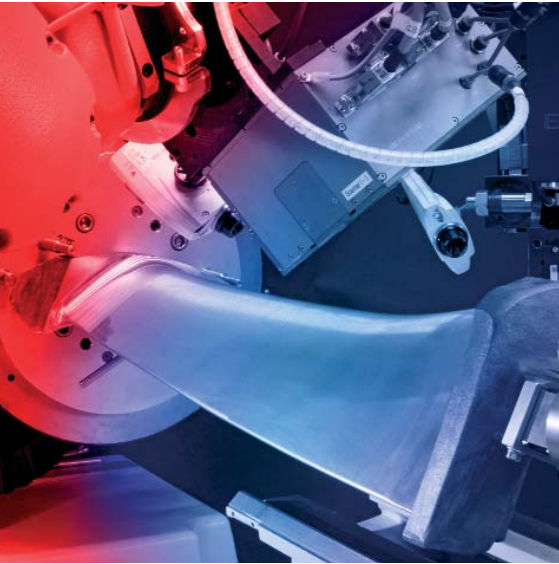
**Prof. Brenner:** Eingangs möchte ich betonen, dass wir unseren Geschäftspartnern dafür sehr dankbar sind, dass sie uns in wirtschaftlich schwierigen Zeiten die Treue gehalten haben. So war es möglich, so viele Überführungen wie nie zuvor zu realisieren. Zugleich freuen wir uns, dass es uns gelungen ist, mit unseren verfahrens- und systemtechnischen Neuentwicklungen die Wettbewerbsfähigkeit unserer Kunden in wirtschaftlich schweren Zeiten zu verbessern und sie sich überzeugen konnten, dass ihr in Krisenzeiten in Forschung und Entwicklung investiertes Geld sehr gut angelegt war. Unsererseits haben wir versucht, unsere Lösungen noch punktgenauer auf die Anforderungen und Wünsche unserer Kunden abzustimmen.

So konnten wir gemeinsam mit der IWS-Ausgründung ALOtec GmbH wiederum eine roboterbasierte Laserstrahlhärteanlage bei einem ausländischen Kunden überführen, diesmal erstmalig mit einer flexiblen Strahlformungseinheit LASSY mit integrierter Regelung der Austenitisierungstemperatur. Sehr erfolgreich gestaltet sich auch die Weiterentwicklung eines Hochgeschwindigkeits-Temperaturregelsystems zum Laserstrahlhärten von Solarzellen, das gleich mehrfach in industrielle Anlagen integriert wurde. Die Entwicklung systemtechnischer Komponenten ist dabei in der Regel auf das Engste mit Verfahrensentwicklungen verknüpft und macht etliche dieser Neuentwicklungen erst möglich, wie andererseits neue Verfahrensentwicklungen in der Regel auch den Bedarf an systemtechnischen Lösungen generieren.

**Redaktion:** Können Sie diesen Sachverhalt an einem Beispiel plastisch machen?

**Prof. Brenner:** Ja, natürlich. So konnten wir uns durch unser systemtechnisches Know-how im letzten Jahr ganz aus eigenen Kräften eine Laserroboteranlage für den Mehrzweck-einsatz aufbauen, die etliche bisher nicht kommerziell erwerb-bare Features und Zusatzeinrichtungen aufweist. Sie ist gekoppelt mit einem 5 kW-fasergekoppelten Hochleistungs-diodenlaser mit zwei Ausgängen für je eine 0,4 mm- und eine 1,5 mm-Faser. Sie ermöglicht damit sowohl Entwicklungen zum Laserstrahlhärten wie auch zum Laserstrahlhärten, -um-schmelzen, -gaslegieren, -weichglühen usw. Mit einer eigens entwickelten sehr flexiblen Schutzgaskammer sind eine Vielzahl von thermischen Wärmebehandlungsprozessen oxidationsfrei möglich. So beschäftigen wir uns derzeit in einem Industriauftrag mit einer sehr interessanten Verfah-rensentwicklung zum Aufskalieren des Lasergaslegierens auf 3D-gekrümmte Bauteile. Eine weitere spezielle Zusatzvor-richtung ermöglicht uns das Rotationshärten von Kugelflächen, eine Aufgabe, die bisher sowohl dem Laser- wie auch dem Induktionshärten nicht ausreichend gut zugänglich war. Die Nutzung unserer Doppelroboter-Laseranlage dagegen ermöglichte uns die Verfahrensentwicklung und Anwendungs-überführung des beidseitig-gleichzeitigen Laserstrahlhärten von Turbinenschaufeln ohne Erzeugung einer Anlasszone. Gerade hier sehen wir in Ergänzung zum Induktionshärten noch viele industriell interessante Möglichkeiten, größere 3D-gekrümmte Bauteile mit geschlossenen, auch zueinander geneigten Härtebahnen ohne Anlasszonen am Überlapp beanspruchungsgerecht Randschicht zu veredeln.





# KOMPETENZEN

## TECHNOLOGIEN ZUM BEANSPRUCHUNGSGERECHTEN HÄRTEN VON STÄHLEN MITTELS LASER UND INDUKTION

Bei Bauteilgeometrien, Verschleißfällen und Werkstoffen, bei denen konventionelle Härte-technologien 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 und 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.

## KOMPLEXE WERKSTOFF- UND BAUTEILCHARAKTERISIERUNG

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

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

**ABTEILUNGSLEITER**

**PROF. BERNDT BRENNER**

Telefon +49 351 83391-3207  
berndt.brenner@iws.fraunhofer.de



## BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2009

- |                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Komponenten für die Laserrandschichtveredlung                    | 46 |
| 2. Neue Prüfverfahren für gefügte und randschichtveredelte Bauteile | 48 |

**GRUPPENLEITER**

**RANDSCHICHTVERFAHREN**

**DR. STEFFEN BONSS**

Telefon +49 351 83391-3201  
steffen.bonss@iws.fraunhofer.de



**GRUPPENLEITER**

**WERKSTOFFCHARAKTERISIERUNG**

**DR. JOHANNES RÖDEL**

Telefon +49 351 83391-3384  
johannes.roedel@iws.fraunhofer.de



# KOMPONENTEN FÜR DIE LASER-RANDSCHICHTVEREDLUNG

## DIE AUFGABE

Das Härten zur Erhöhung des Verschleißwiderstandes oder der Festigkeit ist ein Standardverfahren für Maschinen- oder Fahrzeugbauteile aus Stahl oder Gußeisen. Umschmelz- und Legierverfahren finden für andere metallische Werkstoffe ihren Einsatz, um die Standzeiten belasteter Bauteilbereiche zu verbessern. Das lokale Ausführen dieser Verfahren bietet Vorteile hinsichtlich der Minimierung des Gesamtwärmeeintrages und letztlich auch bezüglich des energetischen Aufwandes. Dadurch lassen sich sowohl aufwändige verzugsbedingte Nachbearbeitungen reduzieren als auch Energiekosten senken. Stets steht die Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit der Produktionsprozesse im Vordergrund, insbesondere bei der Neuinstallation von Anlagentechnik. Um das Härten, Randschichtlegieren und Umschmelzen erfolgreich, zuverlässig und nachvollziehbar ausführen zu können, sind zusätzlich zum Laser systemtechnische Regelkomponenten notwendig.

## UNSERE LÖSUNG

Im Verlauf von über 10 Jahren wurden am Fraunhofer IWS genau solche Regelsysteme zur Produktreife entwickelt. Inzwischen existiert eine ganze Reihe solcher Komponenten, die kundenspezifisch für die jeweilige Aufgabe ausgewählt und angepasst werden können. Angetrieben durch Kundenanforderungen entstanden so sehr vielseitig einsetzbare Systeme, deren Entwicklung stets weitergeführt wird.

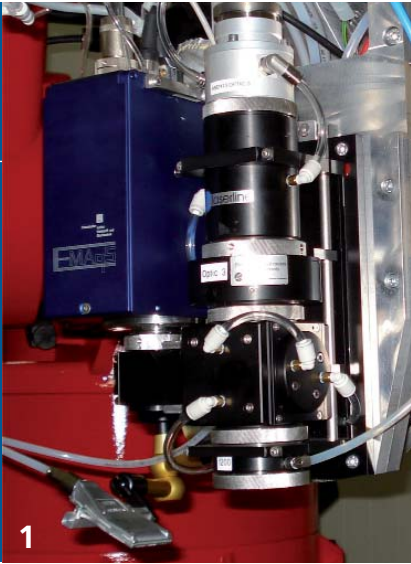
## ERGEBNISSE

Basis der Regelsysteme ist der Prozessregler »LompocPro«, ein Software-Regler, der variabel an die Nutzung verschiedener Hardwarekomponenten angepasst wurde.

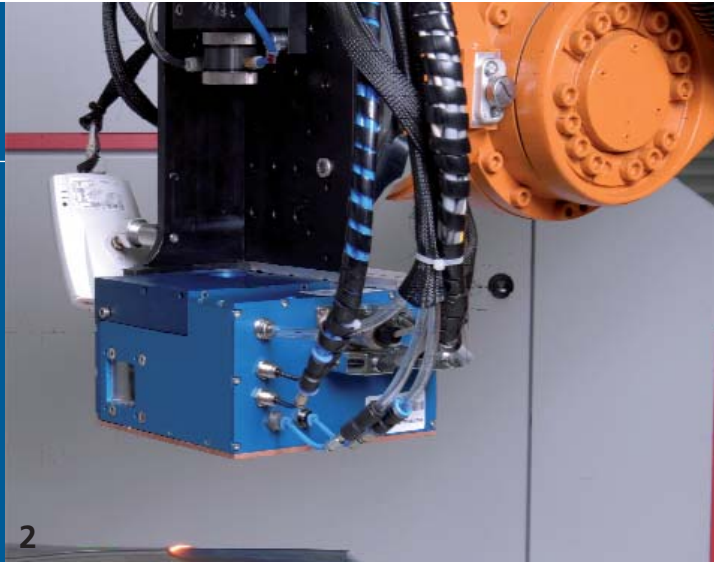
Daran können Temperaturerfassungssysteme verschiedener Art angeschlossen werden. Als Sonderentwicklung gibt es das kamerabasierte Temperaturerfassungssystem »E-MAqS« (Abb. 1). Mit einer Messfrequenz von über 200 Hz können damit Temperaturverteilungen ab Temperaturen von etwa 600 °C aufgenommen und daraus auf verschiedene Weise eine geeignete Prozessführungstemperatur ermittelt und dem Prozessregler übergeben werden.

Für Hochgeschwindigkeitsprozesse enthält der Systembaukasten das schnelle Pyrometer »E-FAqS«. Dieses Gerät ist in der Lage, mit Abtastzeiten von weniger als 100 µs Temperaturen ab etwa 160 °C zu erfassen. Während »E-MAqS« bisher vorwiegend beim Laserstrahlhärten eingesetzt wird, kommt das wesentlich schnellere »E-FAqS« inzwischen mehrfach in industriellen Anlagen zum Weichlöten zum Einsatz.

Umschmelz- und Härteprozesse mit dem Laser erfordern häufig speziell angepasste Laserstrahlgeometrien. Von Laser- und Optikherstellern werden dafür fest eingestellte Optiken angeboten. Um flexibel auf verschiedenste Bauteilgeometrien reagieren zu können, bietet das dynamische Strahlformungssystem »LASSY« (Abb. 2) eine wesentlich bessere Variabilität. Es handelt sich dabei um eine Schwingspiegeloptik, die es erlaubt, den Laserstrahl quer zur Behandlungsrichtung aufzuweiten. Die Energieverteilung im Laserstrahlfleck wird dabei gleichzeitig an nicht konstante Wärmeableitungsbedingungen angepasst. Mit optimierten Schwingfunktionen gelingt es so zum Beispiel, eine gleichmäßige Härtetiefe trotz lokal unterschiedlicher Bauteildicke zu erzeugen. »LASSY« verfügt üblicherweise über ein integriertes Temperaturerfassungssystem »E-MAqS«, welches die erzeugte Oberflächentemperaturverteilung zuverlässig erfasst (Abb. 3).



1



2

Der Prozessregler »LompocPro« passt die Leistung der Energiequelle so an, dass einem vorgegebenen Sollwert schnell gefolgt wird. Eine Reihe von Sensoren erfasst kritische Zustände, zum Beispiel die Temperatur funktionsentscheidender wärmebelasteter Komponenten im »LASSY«. Eine separate SPS wertet diese Zustände aus und übergibt Zustandsmeldungen an übergeordnete Steuerungen. Auf Kundenwunsch sind alle Komponenten über Bussysteme ansteuerbar. Zeitkritische Signale können direkt weiter übertragen werden.

Der Prozessregler »LompocPro« verfügt über variabel einstellbare Prozessüberwachungsfunktionen. So können zum Beispiel Temperatur- oder Laserleistungs-Zeit-Verläufe exakt überwacht und bereits kleinste Abweichungen vom Normalprozess detektiert werden, noch bevor ein Ausschussteil produziert wird. Ebenso können während des Prozesses variable Prozesssollwerte verarbeitet werden.

Das kamerabasierte System »E-MAqS« ist nicht nur in der Lage, einen geeigneten Temperatur-Ist-Wert zu ermitteln, sondern auch eine Flächengröße innerhalb derer ein vorgegebener Temperatur-Schwellwert überschritten ist. Damit lassen sich zum Beispiel bei Umschmelz- und Auftragschweißprozessen Schmelzbadgrößen konstant regeln. Diese Art der Regelung ist bei Flüssigphasenprozessen häufig besser geeignet als eine Temperaturregelung. Je nach Kundenanforderungen können alle oder Teile der Prozessdaten inklusive der Videos des Temperaturerfassungssystems »E-MAqS« mitgeschrieben und archiviert werden. Verschiedene Varianten des Teleservice bieten Möglichkeiten der Ferndiagnose der Kundenprozesse.

Der bisher vorhandene Baukasten von Systemen zur Laserrandschichtveredlung wird im Fraunhofer IWS täglich zur Prozessentwicklung eingesetzt. Ausgehend von den dabei gewonnenen Erfahrungen und den neu hinzukommenden Kundenanforderungen wird er ständig weiterentwickelt.

- 1 *Kamerabasiertes Temperaturerfassungssystem »E-MAqS«, montiert an Laseroptik zur koaxialen Prozessbeobachtung*
- 2 *Dynamische Strahlformungseinheit »LASSY« während eines Laserstrahlhärteprozesses, montiert an einem Roboter*

*Falschfarbenbild eines Laserstrahlhärteprozesses mit ringförmigen Laserstrahlflecken, aufgenommen mit dem System »E-MAqS«*

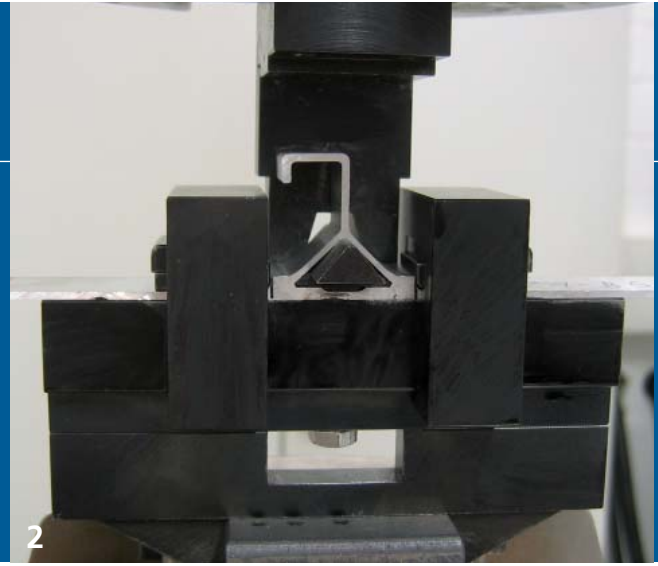
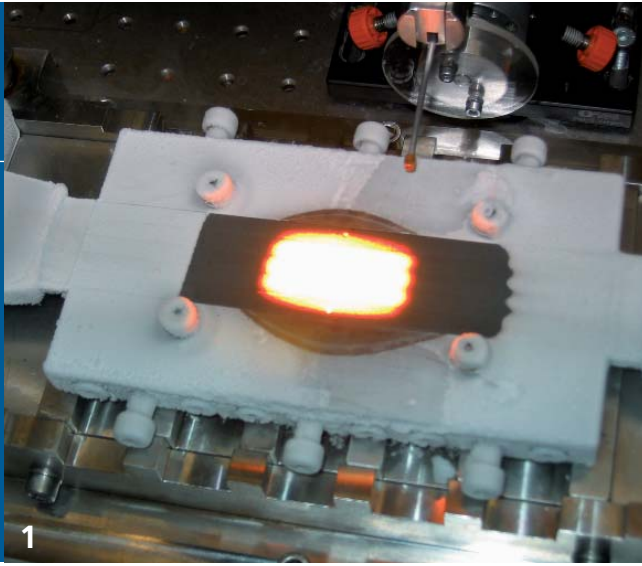


3

#### KONTAKT

Dr. Steffen Bonß  
 Telefon: +49 351 83391-3201  
[steffen.bonss@iws.fraunhofer.de](mailto:steffen.bonss@iws.fraunhofer.de)





# NEUE PRÜFVERFAHREN FÜR GEFÜGTE UND RANDSCHICHT-VEREDELTE BAUTEILE

## DIE AUFGABE

Verfahren zum Fügen und lokalen Härten hochbeanspruchter Bauteile haben sich in den letzten Jahren in modernen Fertigungsprozessen etabliert. Um die mechanische und tribologische Belastbarkeit der gefügten bzw. randschichtveredelten Zonen unter Einsatzbedingungen bewerten zu können, sind bei der Verfahrensentwicklung und zur Qualitätssicherung geeignete effiziente Charakterisierungsmethoden unerlässlich. Da Standardverfahren der Werkstoffprüfung in der Regel nicht in der Lage sind, das Verschleiß- bzw. Festigkeitsverhalten von randschichtveredelten Bauteilen und Schweißkonstruktionen zu ermitteln und Bauteiltests oft viel zu aufwändig sind, hat sich das Fraunhofer IWS Dresden darauf spezialisiert, dafür spezielle Prüfverfahren zu entwickeln bzw. bereits bestehende Verfahren den besonderen Geometrien und Beanspruchungsbedingungen anzupassen. Stellvertretend für diese Arbeiten sollen hier einige aktuelle Beispiele vorgestellt werden, die für verschiedene Industriezweige von Bedeutung sind.

## ANWENDUNGSBEISPIELE

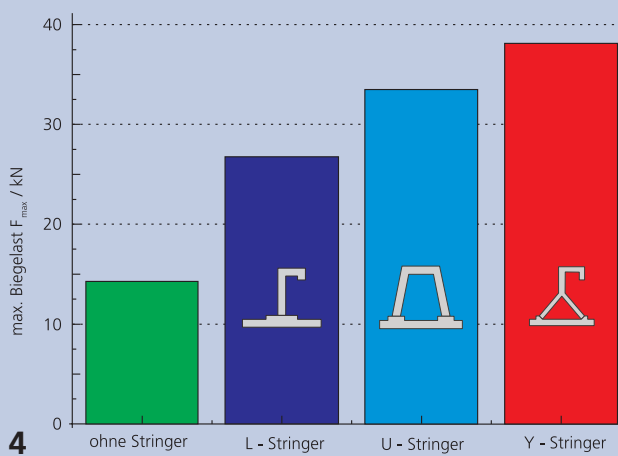
Versteifte Hautbleche für Flugzeugrumpfstrukturen zeigen unter Schub- / Druckbeanspruchung ein typisches Beulverhalten, das durch alternierendes Aus- bzw. Einbeulen auf beiden Seiten des Stringers gekennzeichnet ist. Es bestand die Frage, wie sich eine geschweißte Struktur unter dieser speziellen Beanspruchung verhält, wie sich die strukturelle Integrität der Schweißverbindung in einem geeigneten Experiment beschreiben und die Belastbarkeit geschweißter Strukturen durch eine Auslegungs- und schweißtechnische Optimierung steigern lässt. Daraus wurde die Aufgaben-

stellung abgeleitet, ein mechanisches Prüfverfahren zu entwickeln, das an im Vergleich zur realen Rumpfstruktur kleinen Proben die Belastungssituation im Labormaßstab nachbildet und die Schweißnähte bis zum Versagen beansprucht. Ausgehend von Simulationsrechnungen zum Beulverhalten von versteiften Hautblechen unter Druckbelastung und den dabei gewonnenen Informationen zur Deformation des Hautblechs (Beulmoden) wurde eine 10-Punkt-Biegevorrichtung entwickelt und gebaut, mit der es möglich ist, an vergleichsweise einfachen Komponenten qualitativ ähnliche Hautblechverformungen wie unter Druckbeanspruchung zu erzeugen (Abb. 3). Die Untersuchung von Streifenproben mit aufgeschweißten Versteifungselementen gleicher Querschnittsfläche aber unterschiedlicher geometrischer Gestaltung erlaubt die quantitative Bewertung der mechanischen Belastbarkeit dieser Strukturen. Der in Abb. 4 grafisch dargestellte Vergleich der maximalen Biegelast zeigt deutlich den Vorteil von geschlossenen Versteifungsstrukturen (Y- und U-Stringer) gegenüber konventionellen Stringern (L-Stringer). Weiterhin wurde eine angepasste Prüfeinrichtung entwickelt, die es erlaubt, die Schweißnahtfestigkeit der neuen Stringergeometrien im sogenannten Kopfzugversuch zu ermitteln (Abb. 2).





Maximale Biegelast im 10-Punkt-Biegeversuch für verschiedene Stringergeometrien



Weitere Arbeiten zur Entwicklung von angepassten Prüfverfahren zur mechanischen und tribologischen Charakterisierung von Randschichten umfassen unter anderem Verfahren zur präzisen und reproduzierbaren Härtemessung an gekrümmten Oberflächen, der teilautomatisierten Ermittlung und Darstellung von zweidimensionalen Härteverläufen, sowie Prüfmethode zur Charakterisierung der Thermoschockbeständigkeit von Bauteilbeschichtungen bzw. gefügten Strukturen sowie Prüfmethode zur Bewertung des Rissausbreitungsverhaltens von Verschleißschutzschichten in unterschiedlichen Umgebungsatmosphären. Ein zusätzlicher Schwerpunkt bei der Entwicklung von Prüftechnologien liegt in der Charakterisierung der Thermoschock- / Thermozyklertestbeständigkeit von Bauteilbeschichtungen bzw. gefügten Strukturen (Abb. 1).

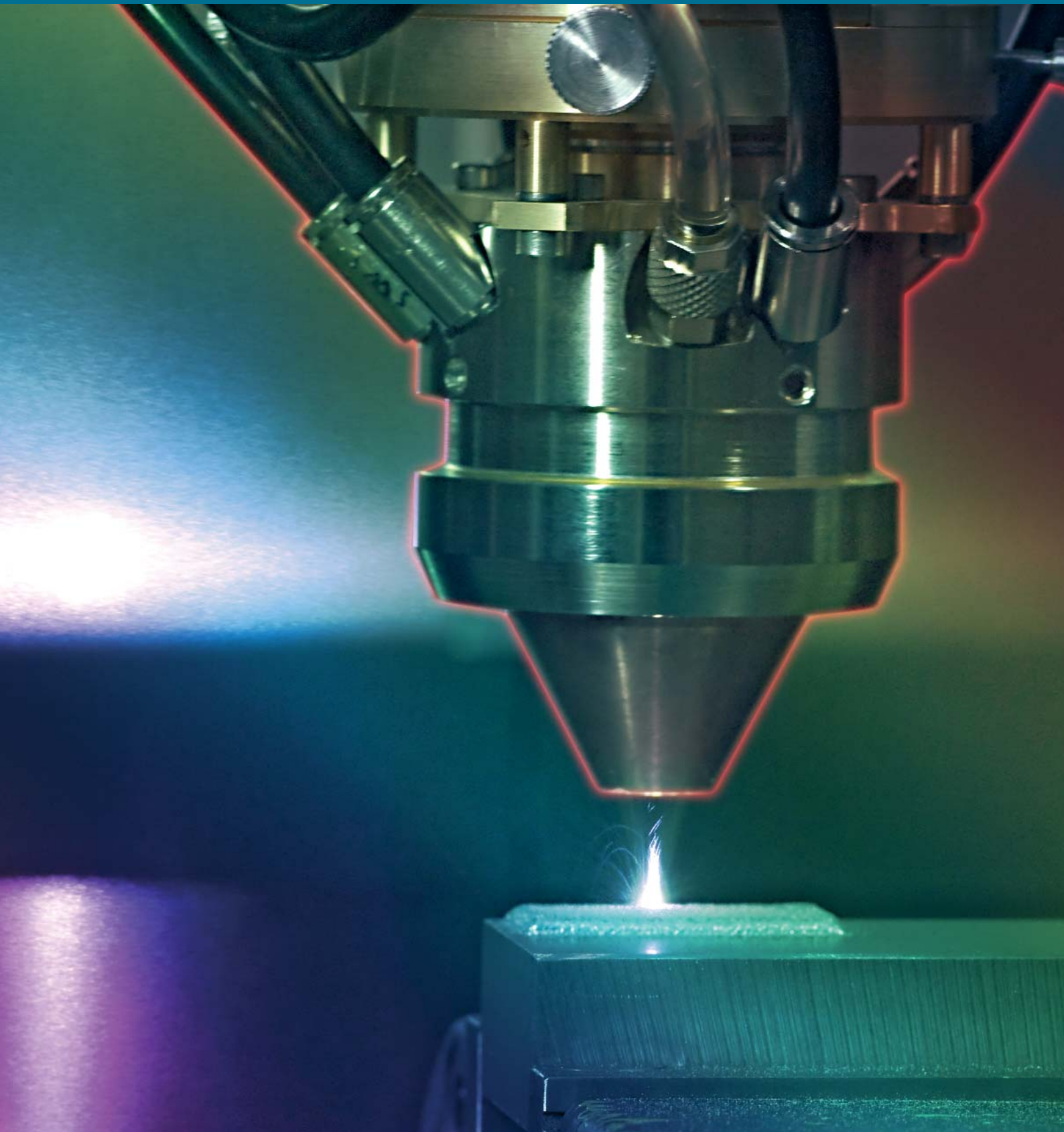
Eine weiteres typisches Beispiel für die im IWS Dresden durchgeführten Arbeiten beinhaltet die Weiterentwicklung eines Prüfverfahrens mit dem Ziel, das Ermüdungsverhalten von neuen und bereits verschlissenen gehärteten Randschichten bewerten und vorhersagen zu können. Hier bestand ein Problem darin, definiert lokale Störungen in die Oberfläche der gehärteten und damit spröden Randschichten einzubringen ohne dabei bereits Risse zu erzeugen. Aus diesem Grund und wegen der relativ geringen Schichtdicken war der übliche Weg der Startkerberzeugung durch Sägen oder Erodieren nicht verwendbar. Ein geeigneter Lösungsweg bestand darin, Vickershärteeindrücke, mit unterschiedlich hohen Lasten in die Oberfläche der gehärteten Schichten einzubringen und an diesen Proben 4 Punkt-Biegeversuche durchzuführen. Durch diese Vorgehensweise ist es gelungen, zuverlässige Aussagen zur Rissempfindlichkeit, Dauerschwingfestigkeit und zur Kerbempfindlichkeit lasergasnitrierter Titanproben zu ermitteln. Darüber hinaus war es durch diese Untersuchungen möglich, Aussagen darüber zu treffen, wie sich das Ermüdungsverhalten gleichartig lasergasnitrierter Bauteile ändern würde, wenn diese im Einsatzfall, z. B. als Turbinenschaufeln, verschleiben.

- 1 *Thermozyklertest an beschichteten Teststrukturen für Triebwerkskomponenten*
- 2 *Kopfzugversuch für geschlossene Strukturen (geöffnete Vorrichtung)*
- 3 *10-Punkt-Biegevorrichtung im Einsatz*

#### KONTAKT

Dr. Johannes Rödel  
Telefon: +49 351 83391-3384  
johannes.roedel@iws.fraunhofer.de







## GESCHÄFTSFELD THERMISCHES BESCHICHTEN

**Redaktion:** Seit November 2009 steht die Abteilung Thermische Beschichtungsverfahren unter neuer Leitung. Wird nun alles anders werden?

**Prof. Leyens:** Wir werden weiterhin auf Altbewährtes setzen, gleichzeitig aber Neues implementieren. Insbesondere unsere werkstofftechnische Kompetenz wollen wir applikationsorientiert ausbauen. Dabei hilft uns auch eine intensivere Kooperation mit der TU Dresden.

**Redaktion:** Die neuen Faser- und Scheibenlaser revolutionieren gegenwärtig die Laser-Materialbearbeitung. Hat dies auch Einfluß auf die Technologien des Auftragschweißens?

**Dr. Nowotny:** In der Tat: die gute Fokussierbarkeit bei gleichzeitig großen Arbeitsabständen eröffnet auch dem Auftragschweißen neue Möglichkeiten. So können wir heute Metallstrukturen mit lateralen Abmessungen von 50 µm herstellen, die insbesondere bei Anwendern im Bereich des Turbomaschinenbaus auf großes Interesse stoßen. Dennoch wird das Gebiet des Auftragschweißens unverändert von den modernen, fasergekoppelten Diodenlasern dominiert. Aktuelle industrielle Anwendungen erstrecken sich über ein breites Spektrum von hoher Präzision bis zu hoher Produktivität.

**Redaktion:** Wird das Laser-Auftragschweißen also die konventionellen Schweißverfahren ablösen?

**Dr. Nowotny:** Natürlich nicht. Die preiswerten und effizienten Lichtbogen- und Plasmaverfahren werden weiterhin hochwertige Schichten für die klassischen Anwendungsfelder liefern. Der Laserstrahl ergänzt diese vorteilhaft in all jenen Bereichen, wo trotz der hohen Auftragsraten eine gute Endkonturnähe, geringste Aufmischgrade sowie spezielle Legierungszusammensetzungen gefragt sind. Beispiele sind unsere aktuellen FuE-Vorhaben für kombinierten Verschleiß- und Korrosions-

schutz von Werkzeugen im Bergbau einschließlich der Erdölförderung sowie für innovative Beschichtungslösungen im Fahrzeug-Powertrainbereich.

**Redaktion:** Wie hat sich das Thermische Spritzen im letzten Jahr weiterentwickelt und welche Verfahren stehen jetzt zur Verfügung?

**Dr. Berger:** Wir konzentrieren uns schon seit einiger Zeit auf thermisch gespritzte Beschichtungen oxidkeramischer Werkstoffe aus dem System  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  und Hartmetallen. Während Hartmetallschichten durch das Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) hergestellt werden, können oxidkeramische Schichten mit mehreren Verfahren gespritzt werden – hauptsächlich mit dem atmosphärischen Plasmaspritzen (APS), aber auch mittels HVOF und in verstärktem Maße mittels Suspensions-spritzen. Neben dem klassischen Plasmaspritzverfahren steht jetzt ein neues, erst vor kurzem entwickeltes Plasmaspritzverfahren mit einer Dreianodentechnik zur Verfügung. Dies wird sowohl die Schichtqualität als auch die Effektivität wesentlich erhöhen. Beim Hochgeschwindigkeitsflammspritzen gibt es jetzt ein drittes Verfahren im IWS. Im englischsprachigen Raum wird es als HVAf (high velocity air-fuel) bezeichnet, weil es an Stelle von reinem Sauerstoff Luft zur Verbrennung verwendet.

**Redaktion:** Sie haben vorhin das Suspensions-spritzen erwähnt – wie ist hier die Entwicklung?

**Dr. Berger:** Wir arbeiten jetzt seit drei Jahren erfolgreich an dieser Technologie, die an Stelle der klassischen Beschichtungspulver Suspensionen verwendet. Die Phasenzusammensetzung und daraus resultierend die Eigenschaften dieser Schichten unterscheiden sich erheblich von denen aus Pulvern. Dazu kommt die Möglichkeit, Schichten mit einer Schichtdicke im Bereich 10 - 50 µm gut herstellen zu können.



# KOMPETENZEN

## THERMISCHES SPRITZEN

Zum thermischen Beschichten von Bauteilen aus Stahl, Leichtmetallen oder anderen Werkstoffen mit Metallen, Hartmetallen und Keramik stehen im IWS das atmosphärische (APS) und das Flamm- und Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF) mit Pulvern und Suspensionen zur Verfügung.

In Kooperation mit weiteren Fraunhofer-Instituten 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.

## AUFTRAGSCHWEISSEN

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

Für diese Anwendungsfelder bieten wir an:

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



**ABTEILUNGSLEITER**

**PROF. CHRISTOPH LEYENS**

(seit 1.11.2009)

Telefon +49 351 83391-3242

christoph.leyens@iws.fraunhofer.de



## BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2009

1. Bearbeitungsköpfe zum 3D-Laser-Auftragschweißen bei erschwerter Zugänglichkeit 54
2. Suspensionsspritzen – ein neues Verfahren in der Prozessgruppe des thermischen Spritzens 56

**GRUPPENLEITER**

**THERMISCHES SPRITZEN**

**DR. LUTZ-MICHAEL BERGER**

Telefon +49 351 83391-3330

lutz-michael.berger@iws.fraunhofer.de



**GRUPPENLEITER**

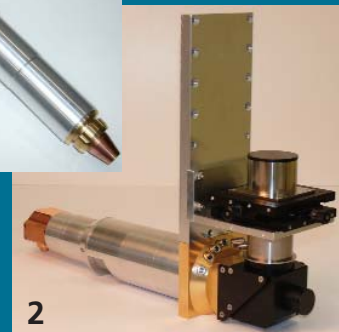
**AUFTRAGSCHWEISSEN**

**DR. STEFFEN NOWOTNY**

Telefon +49 351 83391-3241

steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de





# BEARBEITUNGSKÖPFE ZUM 3D-LASER-AUFTRAGSCHWEISSEN BEI ERSCHWERTER ZUGÄNGLICHKEIT

## DIE AUFGABE

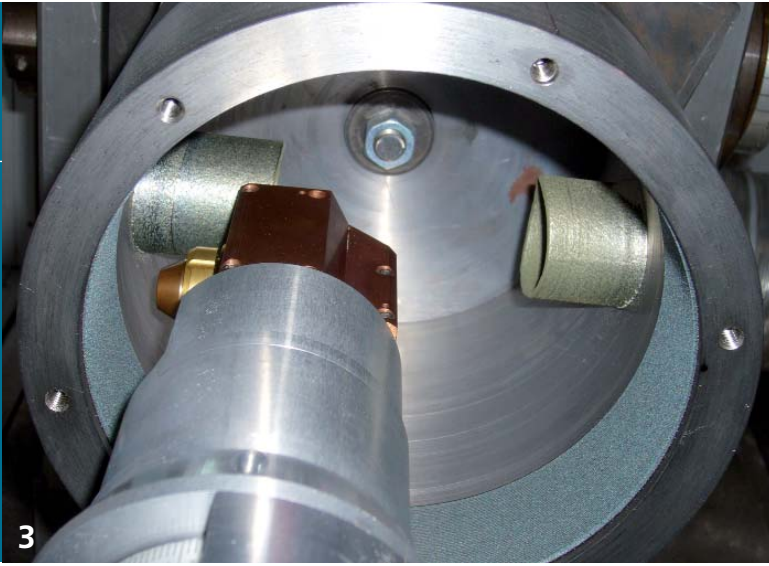
Lasertechnische Beschichtungsverfahren besitzen eine Schlüsselposition in modernen Fertigungs- und Instandsetzungsprozessen der Luftfahrtindustrie, der Energieerzeugung sowie des Formen- und Werkzeugbaus. Für die Oberflächenfunktionalisierung, Reparatur und Designänderung von langlebigen und komplexen Baugruppen und Werkzeugen sind leistungsfähige Strahlwerkzeuge gefragt, die unterschiedliche Werkstoffe metallurgisch verbinden oder zu Strukturen formen können. Die konstruktiv vorgegebene Gestalt der betreffenden Bauteile erfordert dabei oftmals einen schweißtechnischen Werkstoffauftrag an sehr engen und tief liegenden Stellen sowie an schwer zugänglichen Innenflächen. Die besonderen Herausforderungen an die benötigten Laseroptiken und Bearbeitungsköpfe ergeben sich hierbei nicht nur aus der Forderung, reproduzierbare Auftragschweißungen auch in schlecht erreichbaren Zwangslagen zu realisieren. Gleichzeitig ist typischerweise auch eine Richtungsunabhängigkeit der Zufuhr des Schweißgutes gefordert, damit sowohl Konturen als auch reale dreidimensionale Strukturen beschichtet und generiert werden können. Im Sinne der Anwenderfreundlichkeit müssen die Auftragschweißköpfe zudem kompatibel zu den heute üblichen Materialbearbeitungslasern und Pulverfördergeräten sein.

## UNSERE LÖSUNG

Systemtechnische Lösungen für die beschriebene Aufgabenstellung werden im Folgenden exemplarisch anhand einer neuen Koaxial-Pulverdüse aus der IWS-COAXn-Familie sowie eines Innenbeschichtungskopfes vorgestellt.

Das Design der Koaxial-Pulverdüse nutzt in vorteilhafter Weise die langen Brennweiten bei gleichzeitig guter Fokussierbarkeit der modernen Festkörperlaser. Die Richtungsunabhängigkeit der Pulverzufuhr wird durch Aufteilung der pulverstrahlformenden Düsenspitze in 4 Kreissegmente erreicht, was zusätzlich zu einer Minimierung des Schwerkrafteinflusses auf den Pulverstrom führt.

Das Kernelement des Innenbeschichtungskopfes ist ebenfalls eine Koaxial-Mehrstrahl-Pulverdüse, und zwar in miniaturisierter Ausführung. Durch einen modularen Aufbau können große Eintauchlängen von mehr als einem Meter erreicht werden. Dabei ist die gesamte Medienzufuhr sicher im Inneren des Bearbeitungskopfes untergebracht.



## ERGEBNISSE

Die Koaxial-Pulverdüse COAX13 bietet mit einer Länge des zylindrischen Düsenkörpers von 180 mm und einem Störkontur-Durchmesser von maximal nur 30 mm gute Voraussetzungen, um auch an schwer erreichbaren Schweißpositionen präzise Konturschweißungen auszuführen. Die Medienzufuhr, einschließlich einer lokalen Schutzgaszufuhr, ist innenliegend. Der gesamte Bearbeitungskopf ist bis zur Düsen Spitze wassergekühlt. Somit können bei Laserleistungen von bis zu 2,5 kW lange, ununterbrochene Bearbeitungszeiten in der Größenordnung von Stunden realisiert werden. Die typischen Pulverförderraten betragen 0,6 bis 1,2 kg / h (für Metall). Die Düsen Spitze ist als preiswertes Verschleißteil ausgelegt und kann bei Bedarf leicht gewechselt werden.

Der Grundkörper des Innenbeschichtungskopfes besteht aus ringförmigen Normsegmenten, die jeweils zur Gesamteinheit mit der vom Anwender gewünschten Eintauchlänge kombiniert werden können. Ab einer Eintauchlänge von 600 mm kann eine Kugelrolle die Führung des Kopfes entlang der Bauteiloberfläche übernehmen. Die gesamte Medienzufuhr (Pulver, Schutzgas, Kühlwasser) erfolgt über spezielle Kanäle im Inneren der Ringmodule. Die Feinjustierung des Laserbrennflecks zum Pulverfokus wird über eine Verstellung des kollimierten Rohstrahls mittels einer x-y-Justiereinheit außerhalb der eigentlichen Bearbeitungszone realisiert.

Abb. 3 veranschaulicht die technologischen Möglichkeiten des Bearbeitungskopfes beim direkten Metallauftrag. Die in der Abbildung gezeigten zylindrischen 3D-Strukturen sind direkt auf einer Rohrrinnenwand, und zwar in horizontaler Schweißposition, aufgebaut worden. Neben Konturschweißungen ist somit auch ein Materialauftrag in stark von der Wannelage abweichenden Schweißpositionen und permanent wechselnder Schweißrichtung möglich.

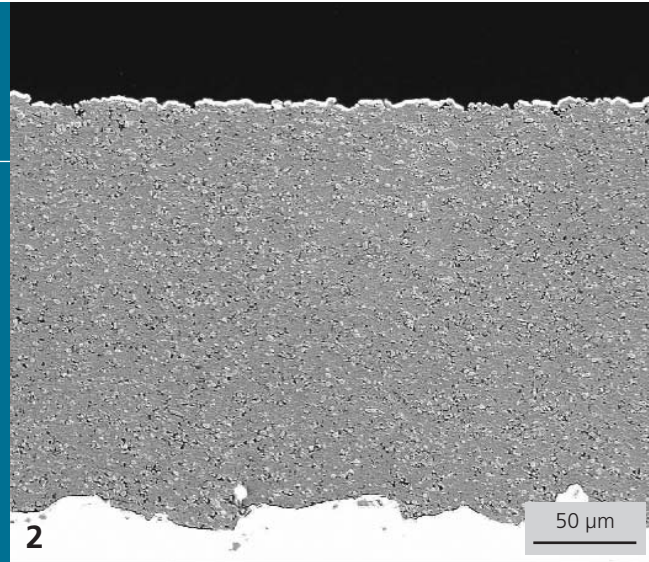
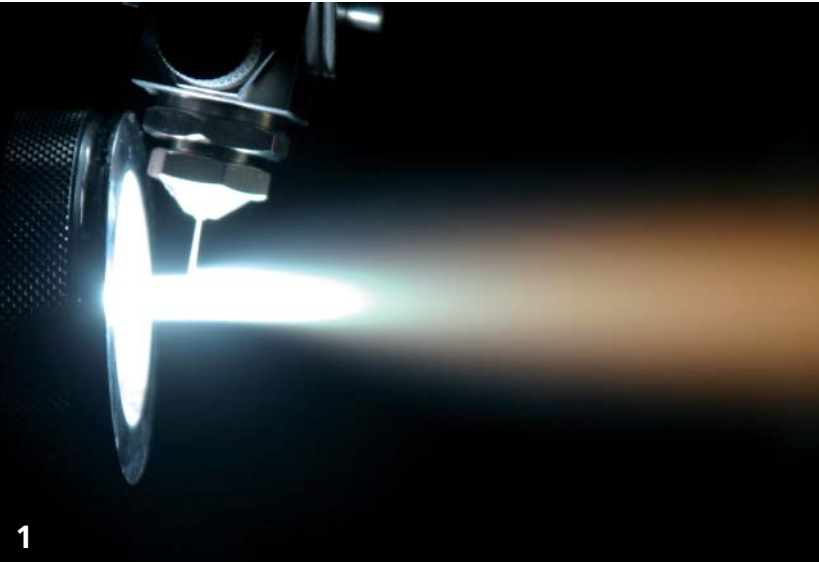
Es können dabei handelsübliche Metallpulver mit gängigen Korngrößen (z. B. 63 - 150  $\mu\text{m}$ ) verarbeitet werden. Bei einer Laserleistung bis zu 3,5 kW und einer Schweißgeschwindigkeit von 0,7 m / min werden Spurbreiten von 3,5 mm erzeugt. Ein stabiler, ununterbrochener Betrieb konnte bisher für Bearbeitungszeiten von bis zu einer Stunde nachgewiesen werden. Der minimale Innendurchmesser des auftragzuschweißenden Bauteils beträgt aktuell 100 mm.

- 1 *Koaxial-Bearbeitungskopf COAX13 zum Auftragschweißen in der Triebwerkinstandsetzung*
- 2 *Modulares Innenbeschichtungssystem zum Konturauftragschweißen an tiefliegenden Innenflächen*
- 3 *Flächenbeschichtung und generierte 3D-Formkörper an einer zylindrischen Innenfläche*
- 4 *Prozeß des Auftragschweißens an senkrecht stehender Wand*

## KONTAKT

Dr. Steffen Nowotny  
 Telefon: +49 351 83391-3241  
[steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de](mailto:steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de)





# SUSPENSIONSSPRITZEN – EIN NEUES VERFAHREN IN DER PROZESSGRUPPE DES THERMISCHEN SPRITZENS

## DIE AUFGABE

Thermisches Spritzen ist eine Verfahrensgruppe im Bereich der Oberflächentechnik, welche sich durch eine hohe Flexibilität sowohl bezüglich der Verfahren als auch der Werkstoffe auszeichnet. Atmosphärisches Plasmaspritzen (APS) und Hochgeschwindigkeitsflamspritzen (HVOF) sind wichtige Vertreter dieser Verfahrensgruppe. Die Schichtdicke liegt üblicherweise im Bereich zwischen 100 µm und 500 µm. Für viele Werkstoffe werden bevorzugt Beschichtungspulver mit einer Partikelgröße im Bereich 10 - 50 µm eingesetzt.

Der Einsatz von Suspensionen an Stelle von Beschichtungspulvern verspricht mehrere Vorteile, darunter die Möglichkeit der direkten Verwendung feindisperser Pulver und somit die Einsparung der Herstellung spezieller Ausgangspulver, aber auch die Herstellung nanostrukturierter Schichten. Darüber hinaus werden prinzipiell Möglichkeiten gesucht, thermisch gespritzte Schichten mit einer Schichtdicke unterhalb 100 µm gut herstellen zu können. Dies könnte dazu beitragen, die technologische Lücke bezüglich der Schichtdicke zwischen CVD / PVD und klassischen Spritzschichten zu schließen.

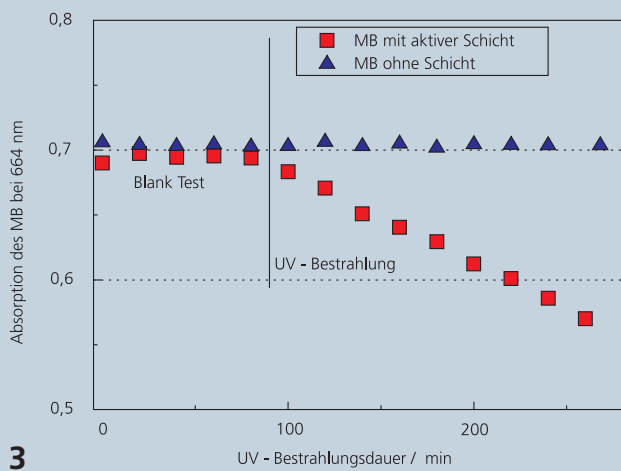
Die Entwicklung suspensionsgespritzter Schichten auf der Basis von Aluminiumoxid und Titanoxid und deren spezielle Eigenschaften sollen im Folgenden dargestellt werden.

## UNSERE LÖSUNG

Die Herstellung suspensionsgespritzter Schichten erfordert einerseits Modifizierungen der Anlagentechnik für das APS- und das HVOF-Spritzen, inklusive der Entwicklung geeigneter Fördersysteme, und andererseits die Herstellung geeigneter wässriger und alkoholischer Suspensionen. Schichten auf der Basis von Aluminiumoxid und Titanoxid sind multifunktional einsetzbar. Für die suspensionsgespritzten Schichten beider Oxide stehen die Langzeitstabilität der elektrischen Eigenschaften und im Fall von Titanoxid deren photokatalytischen Eigenschaften im Vordergrund.



**Photokatalytischer Test: Entfärbung einer Methylenblau-Lösung (MB) in Gegenwart einer suspensionsgespritzten photokatalytisch aktiven TiO<sub>2</sub>-Schicht**



Für beide Werkstoffe lassen sich leicht gut haftende Schichten im Bereich 10 - 50 µm Schichtdicke herstellen. Die Härten der suspensionsgespritzten Schichten sind, wenn dies für die Anwendung von Bedeutung ist, mit denen aus Pulver hergestellten Schichten vergleichbar. Auch die ökonomischen Parameter Spritz- und Auftragsraten sind für das Verfahren mittlerweile attraktiv.

## ERGEBNISSE

Suspensionen können sowohl beim APS- als auch beim HVOF-Spritzen eingesetzt werden. Suspensionsgespritzte Schichten unterscheiden sich in ihrer Phasenzusammensetzung und Mikrostruktur von den aus konventionellen Beschichtungspulvern hergestellten Schichten. Die Schichten haben bei der Verwendung der entsprechenden Pulver für die Suspensionen eine nanoskalige Struktur. Im Fall des Titanoxids bestehen die Schichten aus der photokatalytisch aktiveren Anatas-Phase. Die photokatalytische Aktivität einer Titanoxidschicht, getestet mittels Entfärbung einer Methylenblau-Lösung ist in der Grafik dargestellt.

Die Verwendung einer speziellen Aluminiumoxid-Suspension ermöglicht einen hohen Korundanteil ohne stabilisierende Zusätze. Hierfür wurde in Deutschland ein Patent erteilt. Die Langzeitstabilität der elektrischen Eigenschaften wird gegenwärtig untersucht.

- 1 *Suspensionspritzen mit APS*
- 2 *REM-Aufnahme einer suspensionsgespritzten Aluminiumoxidschicht*

## KONTAKT

Dr. Lutz-Michael Berger  
 Telefon: +49 351 83391-3330  
[lutz-michael.berger@iws.fraunhofer.de](mailto:lutz-michael.berger@iws.fraunhofer.de)





IWVS



## GESCHÄFTSFELD CVD-ATMOSPHERENDRUCK-SCHICHTTECHNIK

**Redaktion:** Sie haben für Ihre Abteilung das Themenfeld »Materials4Energy« neu definiert. Was versteht man darunter?

**Prof. Kaskel:** Mittelfristig stellen uns die Verknappung von Ressourcen und die Sicherung der Energiereserven vor erhebliche Probleme, bei deren Lösung neue Materialien und energieeffiziente Prozesse gefragt sind. Wir sehen eine Vielzahl von neuen, unterschiedlichen Herausforderungen: Solarzellen mit erhöhter Effizienz, Batterien mit größerer Speicherkapazität bis hin zu Brennstoffzellen mit längerer Lebensdauer. In all diesen sehr unterschiedlichen Technologien tragen dünne Schichten maßgeblich zur Effizienzsteigerung bei.

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

**Prof. Kaskel:** Besonders aktuell sind die neuen Entwicklungen zu Superkondensatoren. Das sind innerhalb von Sekunden ladbare elektrische Energiespeicher, sozusagen als Batterieersatz. Sie wissen ja, wie lange es dauert, bis man einen normalen Akku wieder voll aufgeladen hat. Da wartet man Stunden!

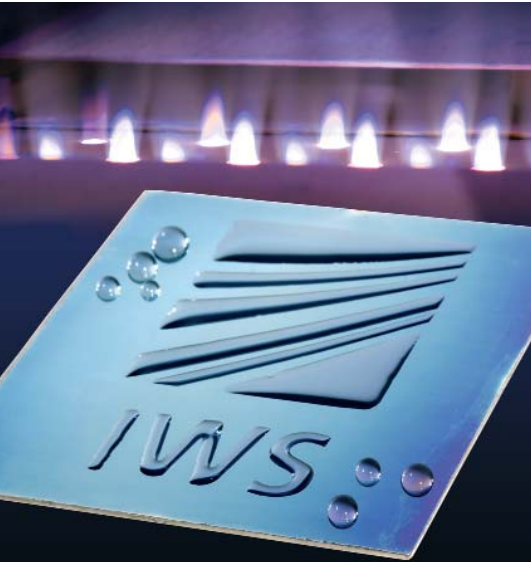
Durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD) können wir jetzt hohe Wälder aus Kohlenstoffnanoröhren wachsen lassen. Man braucht dazu nur eine sehr gut definierte Katalysatorschicht, die wir natürlich selbst herstellen. Durch die spezielle Ausrichtung der Kohlenstoffnanoröhren erhält man einen Energiespeicher, der sich durch besonders schnelle Be- und Entladegeschwindigkeit auszeichnet. Durch unsere Atmosphärendruckprozesse lassen sich beliebig große Folien herstellen. In Kooperation mit der TU Dresden haben wir ein neues Material gefunden, das erheblich besser als die CNT die Energie speichert. Daher wollen wir jetzt eine kleine Produktionslinie am IWS aufbauen, um die neuen Superkondensatoren einer breiteren Anwendung zugänglich zu machen.

**Redaktion:** Sie erwähnten eingangs auch Solarzellen?

**Prof. Kaskel:** Wir konzentrieren uns auf transparente Elektroden für die Dünnschichtphotovoltaik. Dazu haben wir ein neues Atmosphärendruckverfahren entwickelt, das auch eine strukturierte Abscheidung gestattet und erzeugen so eine hierarchische Mikro-Nanostruktur, die eine optimale Lichteinkopplung und damit einen höheren Wirkungsgrad ermöglicht. Alternativ können wir dies auch mit nicht strukturierten Schichten durch unsere plasmachemischen Ätzprozesse erreichen. Auch in der Prozessoptimierung sehen wir bei der Herstellung von klassischen Solarzellen aus Si-Wafern Möglichkeiten Kosten zu sparen. Deshalb beschäftigt sich eine eigene Gruppe nur mit Prozessmonitoring und -steuerung, allerdings nicht nur bei Photovoltaikprozessen und chemischen Prozessen, sondern auch bei Prozessen der Nanopartikelherstellung im industriellen Maßstab.

**Redaktion:** Nanopartikel, sind die nicht gefährlich?

**Prof. Kaskel:** Nanomaterialien weisen herausragende Eigenschaften auf. Ob sie giftig sind oder nicht, hängt wie immer von der chemischen Zusammensetzung und Dosis ab. Kritisch einzuschätzen sind Stäube, also wenn Nanopartikel in die Atemluft gelangen. Das ist aber gerade unser Ansatz. Um Prozesse, in denen Nanopartikel produziert werden oder als Nebenprodukte auftreten, sicherer zu machen, nutzen wir neue Methoden und Technologien, mit denen man die Konzentration und Partikelgröße bestimmen kann. Wir können sowohl im Produktionsprozess als auch dort, wo Mitarbeiter eventuell mit gefährlichen Partikeln in Kontakt kommen könnten, genau sagen, ob eine Gefährdung zu erwarten ist. Wir hoffen, damit einen Beitrag zur Sicherheit industrieller Prozesse sowie einer saubereren Umwelt leisten zu können.



# KOMPETENZEN

## CVD-TECHNOLOGIEN BEI ATMOSPHÄRENDRUCK

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

## 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. Eine industrietaugliche insitu-Gasanalytik ist essentiell für die 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 Methoden wie FTIR-Spektroskopie, Spektro-Ellipsometrie oder Raman-Mikroskopie charakterisiert.

## CHEMISCHE OBERFLÄCHENTECHNOLOGIE

An die Oberflächeneigenschaften und -funktionen vieler Werkstoffe und Materialien werden unterschiedlichste Anforderungen gestellt. Das reicht von Korrosions- oder Kratzschutzeigenschaften über Antifingerprint- oder selbstreinigende Effekte bis zur elektrischen Leitfähigkeit oder optischen Transparenz. Diese Eigenschaften lassen sich durch das Auftragen funktioneller Schichten oder durch Oberflächenbehandlungen einstellen, jedoch erfordert dies preisgünstige Verfahren für ein kontinuierliches und großflächiges Prozessieren. In der Arbeitsgruppe Chemische Oberflächentechnologie werden entsprechende chemische gasphasenbasierte (CVD) und nasschemische Verfahren entwickelt, für die Generierung verschiedener Funktionen auf unterschiedlichen Materialoberflächen eingesetzt und miteinander kombiniert.



**ABTEILUNGSLEITER**

**PROF. STEFAN KASKEL**

Telefon +49 351 83391-3331  
stefan.kaskel@iws.fraunhofer.de



## BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2009

1. Klimaschonendes Ätzgas für die Silizium-Photovoltaik-Evaluierung von  $\text{COF}_2$  für plasmachemische Ätzprozesse bei Atmosphärendruck 62
2. Nanopartikel sicher nachweisen – ein Zollstock für  $10^{-9}$  Meter 64
3. Kleine Röhrcchen als große Energiespeicher: Wälder aus Kohlenstoffnanoröhren als Elektrodenmaterial 66

**GRUPPENLEITERIN**  
**CVD-TECHNOLOGIE**

**DR. INES DANI**

Telefon +49 351 83391-3405  
ines.dani@iws.fraunhofer.de



**GRUPPENLEITER**  
**PROZESS-MONITORING**

**DR. WULF GRÄHLERT**

Telefon +49 351 83391-3406  
wulf.graehlert@iws.fraunhofer.de

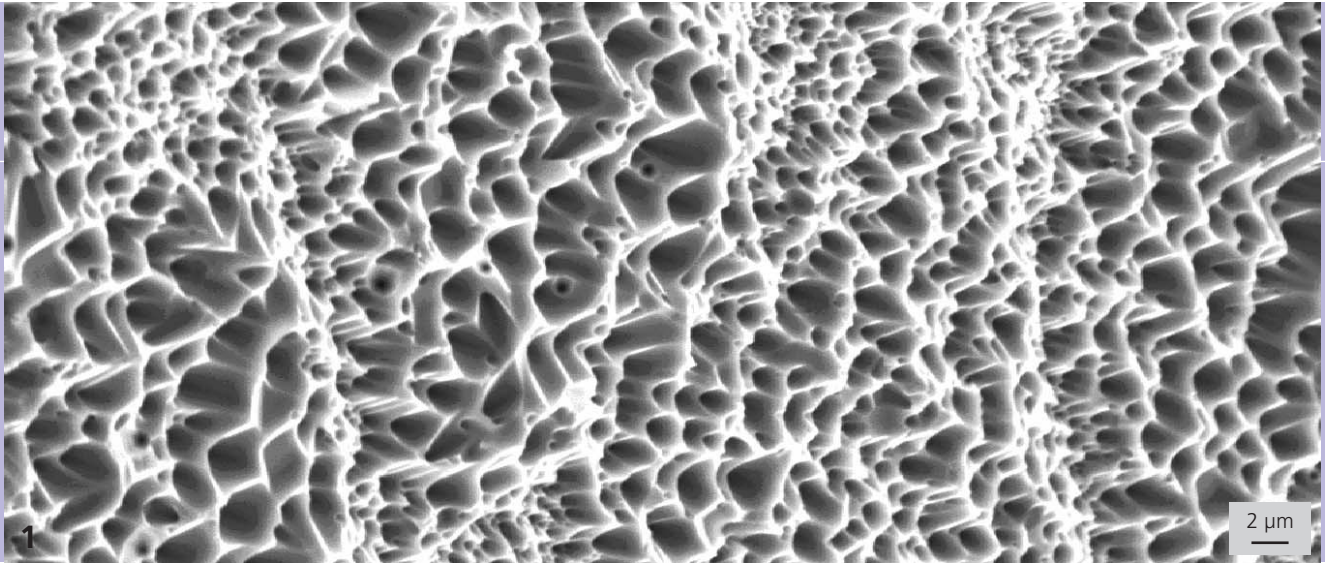


**GRUPPENLEITER**  
**CHEM. OBERFLÄCHENTECHNOLOGIE**

**DR. HOLGER ALTHUES**

Telefon +49 351 83391-3476  
holger.althues@iws.fraunhofer.de





# KLIMASCHONENDES ÄTZGAS FÜR DIE SILIZIUM-PHOTOVOLTAIK - EVALUIERUNG VON $\text{COF}_2$ FÜR PLASMACHEMISCHE ÄTZPROZESSE BEI ATMOSPHÄRENDRUCK

## DIE AUFGABE

Bei der industriellen Herstellung kristalliner Silizium-Solarzellen werden heute für die meisten Ätzschritte nasschemische Prozesse eingesetzt. Das Aufbringen der Antireflexions- und Passivierungsschicht erfolgt mittels plasmagestützter chemischer Gasphasenabscheidung (PECVD) im Vakuum. Die Kombination unterschiedlichster Verfahren verursacht hohe Prozesskosten nicht zuletzt durch massiven Robotereinsatz für das Waferhandling. Ein kontinuierlicher Produktionsprozess mit einer geringen Anzahl von Handhabeschritten erfordert den Einsatz einer einheitlichen Technologie für möglichst viele Prozessschritte. Atmosphärendruck-Plasmaprozesse sind aufgrund ihrer vielseitigen Anwendbarkeit, der kompakten Anlagengröße und der kontinuierlichen Arbeitsweise besonders für eine solche durchgängige Prozesskette geeignet.

Am Fraunhofer IWS werden kontinuierliche Plasmaätzprozesse bei Atmosphärendruck für künftige durchgängige Produktionsanlagen entwickelt. Bisher verwendete Ätzgase wie  $\text{NF}_3$  und  $\text{SF}_6$  besitzen jedoch ein hohes relatives Treibhauspotenzial, welches ihre Anwendung in der Photovoltaikindustrie verhindern könnte. Daher wurde der Einsatz von  $\text{COF}_2$  als klimafreundliche Alternative für das Ätzen von Silizium und Phosphorsilikatglas evaluiert.

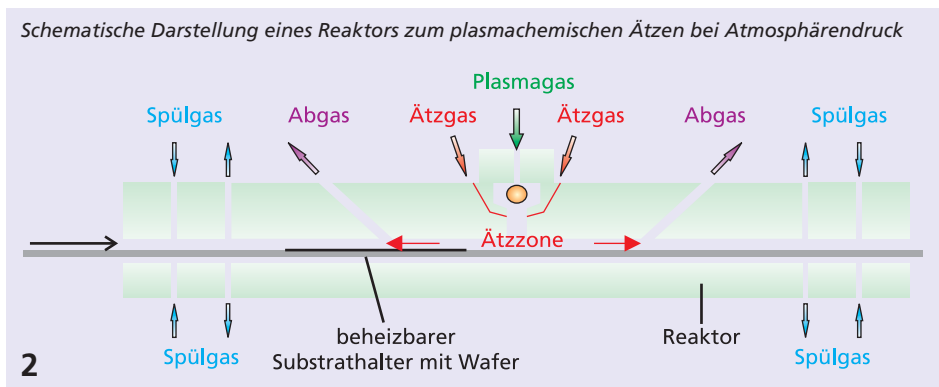
## UNSERE LÖSUNG

Am Fraunhofer IWS wird eine auf einer Gleichspannungsbogenentladung beruhende Linearplasmaquelle (LARGE) genutzt, um die Ätzgase aufzuspalten. Die Bogenlänge in der verwendeten Plasmaquelle beträgt 250 mm, damit können Wafer bis zu einer Größe von 156 mm x 156 mm gleichmäßig und kontinuierlich geätzt werden. Die beim Ätzprozess entstehenden Produkte sind gasförmig und damit leicht von der Oberfläche entfernbar. Die industrielle Anwendbarkeit des plasmachemischen Ätzens bei Atmosphärendruck wurde für verschiedene Schritte der Produktionskette getestet. Neben aus der Mikroelektronik bekannten traditionellen Ätzgasen wie  $\text{SF}_6$  oder  $\text{NF}_3$  wurde erstmals auch  $\text{COF}_2$  verwendet, was sich durch ein extrem niedriges Treibhauspotenzial von 1 auszeichnet.  $\text{SF}_6$  ist durch seine Langlebigkeit in der Atmosphäre 22 800-mal so klimaschädigend wie  $\text{CO}_2$ , für  $\text{NF}_3$  gilt ein Faktor von 17 200.

**ERGEBNISSE**

Die Verwendung von  $\text{COF}_2$  für das plasmachemische Ätzen von Silizium führt zu hohen Ätzzraten, die die Voraussetzung für eine industrielle Anwendung sind. Dynamische Ätzzraten von  $0,42 \mu\text{m m}^{-1}$  wurden erreicht. Diese Ätzzraten liegen im Bereich derer von  $\text{SF}_6$ ,  $\text{COF}_2$  ist aber deutlich klimafreundlicher als  $\text{SF}_6$ .

$\text{COF}_2$  kann auch zur Texturierung von Siliziumoberflächen angewendet werden. Eine texturierte Frontseite des Solarwafers vermindert die Reflexion und ermöglicht damit eine stärkere Ausnutzung des auftreffenden Lichts und höhere Wirkungsgrade. Die stärkste Verminderung der diffusen Reflexion wurde für poröse Nanostrukturen erreicht (Abb. 1).



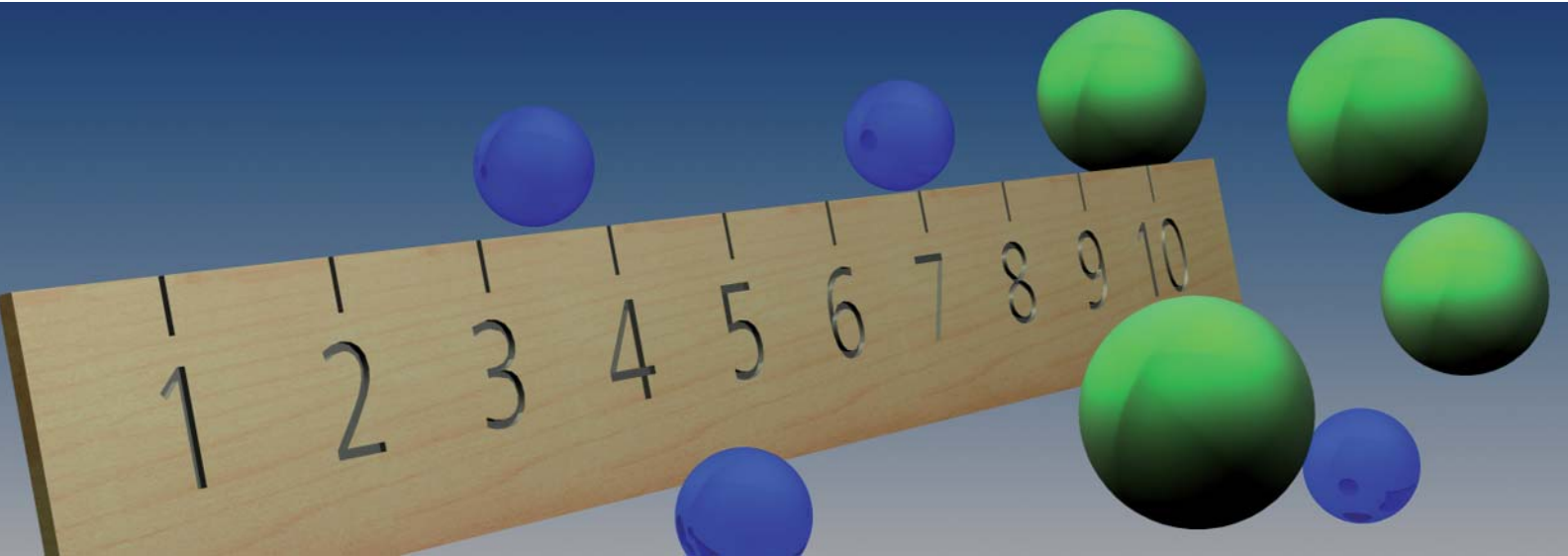
$\text{COF}_2$  ist für das selektive Ätzen von Phosphorsilikatglas (PSG) geeignet. Dies ist speziell für die Herstellung von kristallinen Silizium-Solarzellen interessant, da hierbei die nach der Emitterbildung entstandene unerwünschte dünne PSG-Schicht entfernt werden muss. Dabei darf jedoch der darunterliegende Emitter aus dotiertem Silizium nicht geschädigt werden. Der Quotient PSG-Ätzzrate / Silizium-Ätzzrate (die sogenannte Selektivität) soll dafür hoch sein. Die bei Verwendung von  $\text{COF}_2$  erreichte Ätzzrate für PSG ist 15 mal höher als für Silizium. Für  $\text{NF}_3$  oder eine Mischung aus  $\text{CHF}_3$  und  $\text{O}_2$  beträgt der Quotient der Ätzzraten nur 1,8 bzw. 12.  $\text{COF}_2$  hat deswegen ein großes Anwendungspotenzial in der selektiven Entfernung von Phosphorsilikatglas-Schichten.

1 REM-Aufnahme einer mit  $\text{COF}_2$  geätzten Oberfläche

**KONTAKT**

Dipl.-Ing. Elena Lopez  
 Telefon: +49 351 83391-3296  
 elena.lopez@iws.fraunhofer.de





# NANOPARTIKEL SICHER NACHWEISEN - EIN ZOLLSTOCK FÜR $10^{-9}$ METER

## DIE AUFGABE

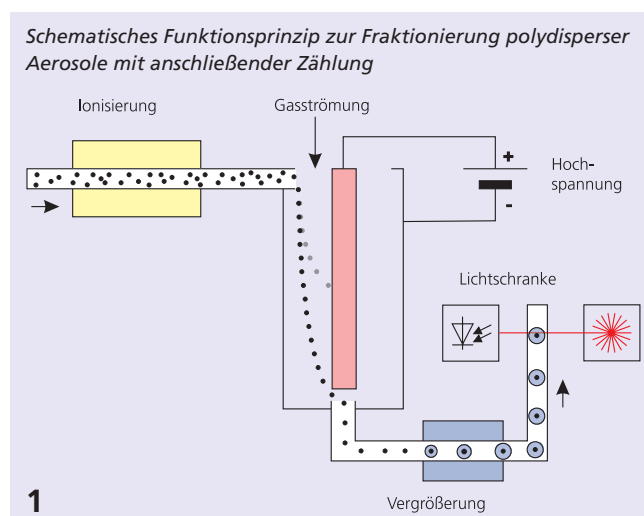
Nanopartikel treten seit einigen Jahren stärker ins gesellschaftliche Bewusstsein: die von Beginn an hochgesteckten Erwartungen werden durch eine stetig wachsende Zahl vielseitiger und nutzbringender Anwendungen erfüllt. In gleichem Maße erhöhte sich jedoch auch die Sensibilität für gesundheitliche Belange. Hierdurch ergeben sich insbesondere im Hinblick auf zuverlässige Nachweismethoden hohe messtechnische Herausforderungen. In hochtechnologischen – vor allem industriellen bzw. industrienahen – Bereichen erweist sich das Wissen um die Art und das Ausmaß partikulärer Belastungen oft als entscheidender Faktor auf dem Weg zu Prozessverständnis und -optimierung, aber auch als mächtiges Werkzeug bei der Eliminierung von Prozessmängeln.

Für Anwender sind insbesondere Partikel im Durchmesserbereich von 10 bis 1000 nm mit Konzentrationen bis  $10^8 \text{ cm}^{-3}$  interessant. Für in Suspensionen gebundene Nanopartikel existieren bereits zahlreiche bis in den Bereich weniger Nanometer Partikeldurchmesser zuverlässige Charakterisierungsverfahren. Der größenklassifizierende Nachweis gasgetragener Partikel (Aerosole) ist jedoch wesentlich schwieriger, da die physikalischen Wechselwirkungen wegen der ungleich geringeren Partikelkonzentrationen extrem gering ausfallen. Geeignete Messsysteme sind dementsprechend kompliziert und erfordern fundiertes Know-how hinsichtlich der Beurteilung der Ergebnisse.

Am Fraunhofer IWS werden daher für den Anwender maßgeschneiderte messtechnische Lösungen entwickelt, die eine Bewertung partikelhaltiger Atmosphären ermöglichen.

## PRINZIPIEN UND LÖSUNGSWEGE

Die Elektromobilitäts-Fraktionierung mit anschließender Zählung wird bei der Bewertung von Aerosolen als international anerkanntes Referenzmessverfahren eingesetzt. Das mit einer Oberflächenladung versehene Aerosol wird im Kräftegleichgewicht eines Strömungs- und eines durchstimmbaren Hochspannungsfeldes größenklassifiziert. Aufgrund der extrem geringen Größe der Partikel erfolgt anschließend in einer gesättigten Butanol-Atmosphäre ein Vergrößerungsschritt, bei dem die Nanopartikel als Kondensationskerne wirken. Die so aufbereiteten Partikel können nachfolgend mit einem laseroptischen Detektor – ähnlich einer Lichtschranke – erfasst und gezählt werden (Abb. 1). Die gesamte Messtechnik wird als State-of-the-art-Gerät SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer™) am Fraunhofer IWS für die Charakterisierung partikelhaltiger Gasatmosphären genutzt (Abb. 2).







2

Oft herrschen in partikelhaltigen Prozessen Bedingungen, für die ein Elektromobilitäts-Klassierer nicht verwendbar ist, z. B. Nieder- oder Hochdruck oder eine aggressive und reaktive Prozessgasatmosphäre. Zur partikulären Charakterisierung solcher Prozesse wird auf extinktionsspektroskopische Verfahren zurückgegriffen, die mittels berührungslosem optischen Zugriff auf das Aerosol Informationen über Partikelgrößenverteilung und Konzentration liefern.

**APPLIKATIONEN UND ERGEBNISSE**

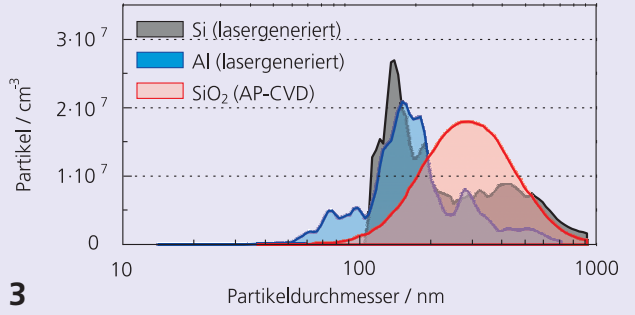
In verschiedenen Messkampagnen wurden lasertechnische und chemische Dampfphasenprozesse einer Bewertung hinsichtlich ihrer – zunächst sekundär gewünschten – Eigenschaft, Nanopartikel zu generieren, unterzogen. So konnte die hervorragende Eignung der ebenfalls im Haus verfügbaren Kurzpuls-Festkörperlasertechnik zum maßgeschneiderten Erzeugen von halbleitenden, metallischen bzw. metall-oxidischen Nanopartikeln mit teilweise engen Verteilungsbreiten nachgewiesen werden (Abb. 3).

Schichtbildende Prozesse auf Basis der chemischen Dampfphasenabscheidung bei Atmosphärendruck (AP-CVD) sind seit vielen Jahren Forschungsschwerpunkt am Fraunhofer IWS. Als Herausforderung bei der homogenen Schichtabscheidung stellt sich stets ein geringer Anteil unvermeidbaren Partikelauftommens dar. Um Minimierungsstrategien zu erarbeiten, ist es zuerst erforderlich, das jeweilige Partikelauftommen messtechnisch zu erfassen und zu quantifizieren. Zum anderen lassen sich ebenso direkt zur Partikelgenerierung optimierte Chemical Vapour Synthesis (CVS) – Verfahren zum Zweck der Erhöhung der Partikelausbeute monitorieren. Beispiele sind die Charakterisierung von Prozessen zur Generierung industrieller Ruße oder die Erzeugung nanopartikulären Siliziumoxids.

Weiteres hochaktuelles Betätigungsfeld ist die Qualitätssicherung, z. B. bei der Kontrolle gasförmiger Prozessausgangsstoffe auf die vom Lieferanten spezifizierte Partikelfreiheit und die Beurteilung der evtl. auf dem Weg zum

point-of-use erfolgten partikulären Verschmutzung. Parallel zu technischen Aufgaben sind stets inhalationstoxikologische Fragestellungen im Laborumfeld von Interesse. Mit Aerosol-Untersuchungen in zur Partikelgenerierung genutzten Laboren konnte die Partikelbelastung der Raumluft beispielsweise bei Verbrennungsprozessen quantifiziert werden.

Beispielhafte Partikelverteilungen bei Laserabtrags- und AP-CVD-Prozessen



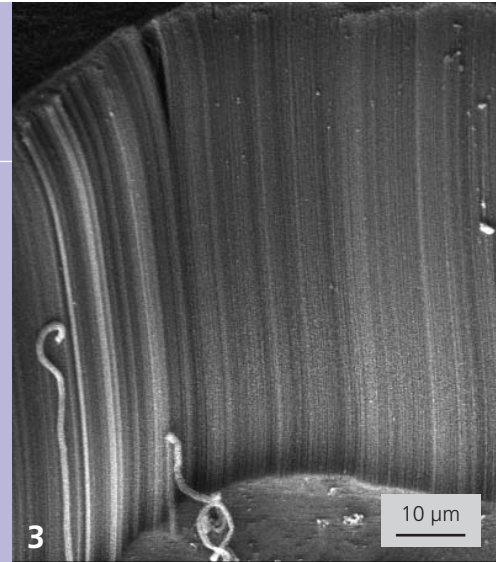
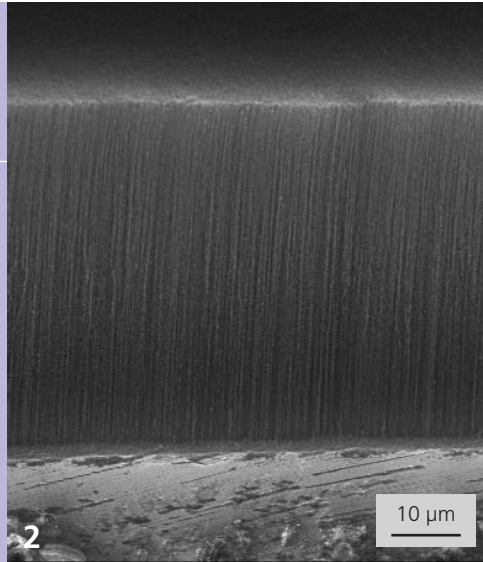
3

2 System zur Charakterisierung gasgetragener Nanopartikel SMPS™

**KONTAKT**

Dipl.-Ing. Thomas Kuntze  
 Telefon: +49 351 83391-3227  
 thomas.kuntze@iws.fraunhofer.de





# KLEINE RÖHRCHEN ALS GROSSE ENERGIE-SPEICHER: WÄLDER AUS KOHLENSTOFFNANO-RÖHREN ALS ELEKTRODENMATERIAL

## DIE AUFGABE

Kohlenstoffnanoröhren (CNT) erweisen sich durch eine hohe spezifische Oberfläche und eine hohe elektrische Leitfähigkeit als besonders vielversprechendes Elektrodenmaterial in der elektrischen Energiespeichertechnik. Besonders vorteilhaft sind dabei sogenannte CNT-Wälder aus vertikal-orientierten Röhrrchen auf Oberflächen. Um diese für die Energiespeichertechnik nutzbar zu machen, ist die Anbindung der CNT an flexible, leitfähige Substrate gefordert. Die Entwicklung preisgünstiger, skalierbarer Prozesse für das direkte Wachstum von CNT-Wäldern auf Metallfolien war daher das Ziel dieser Arbeit.

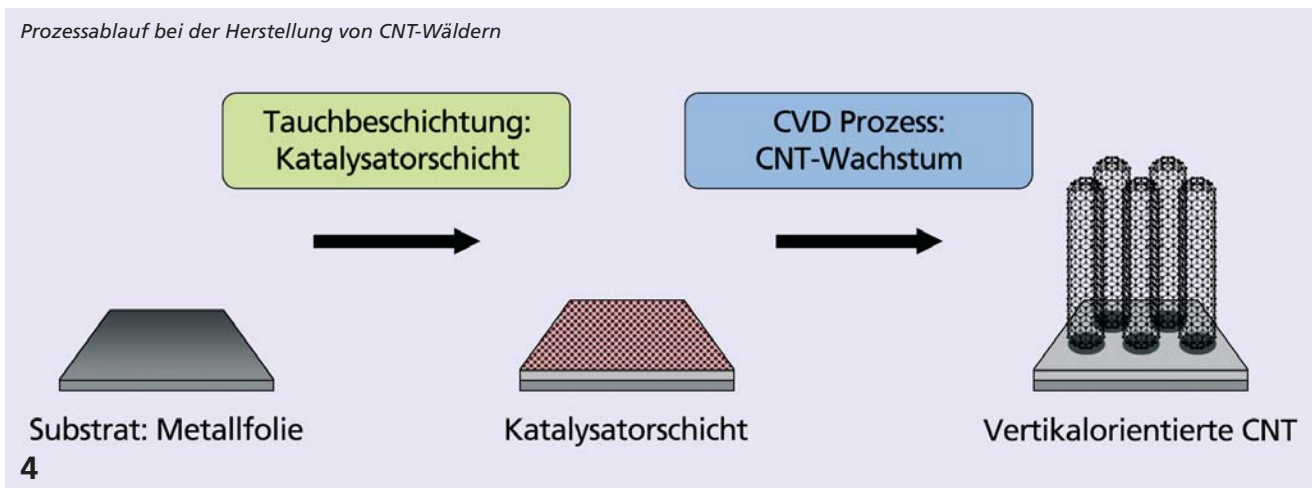
## UNSERE LÖSUNG

Die Herstellung von CNT-Wäldern besteht im Wesentlichen aus zwei Prozessschritten:

- Aufbringung einer Katalysatorschicht,
- CNT-Wachstum.

Für die Herstellung der Katalysatorschicht wurde am IWS ein skalierbares Tauchverfahren entwickelt. Dadurch lassen sich aus preisgünstigen Ausgangsverbindungen Nanometerschichten auf verschiedensten Substratmaterialien erzeugen. Für das CNT-Wachstum wird die chemische Gasphasenabscheidung bei Atmosphärendruck eingesetzt. Bei einer Temperatur von 750 °C wird ein gasförmiger Kohlenstoff-Precursor an der Katalysatoroberfläche zersetzt und dadurch das CNT-Wachstum initiiert.

Prozessablauf bei der Herstellung von CNT-Wäldern



Beide Verfahren arbeiten bei Atmosphärendruck und lassen sich prinzipiell als kontinuierliche Bandbeschichtung realisieren.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Vorteile:

- verfügbare und preisgünstige Ausgangsverbindungen,
- kurze Prozessdauer,
- verschiedene Substratmaterialien verwendbar,
- beidseitige Beschichtung von Folien in einem Schritt,
- Prozesse bei Atmosphärendruck.

## ERGEBNISSE

Mit den am Fraunhofer IWS entwickelten Verfahren lassen sich in wenigen Minuten CNT-Rasen mit einer Schichthöhe von bis zu 200 µm abscheiden. Die CNT sind dabei an das Substrat gebunden, und die Schichthöhe entspricht der Länge der einzelnen Röhrchen. Die CNT-Wälder bestehen aus einwandigen und mehrwandigen Kohlenstoffnanoröhren mit Durchmessern von ca. 10 - 20 nm. Neben Silizium-Wafern als Standardsubstrat konnte das Verfahren auch auf technische Metallfolien aus Edelstahl und Nickel übertragen werden. Die beschichteten, leitfähigen Folien können somit direkt für den Aufbau von Energiespeichern, wie zum Beispiel Doppelschichtkondensatoren, eingesetzt werden.

Laufende Arbeiten beschäftigen sich mit der elektrochemischen Untersuchung der CNT-Schichten und mit der Übertragung der Synthese auf einen kontinuierlichen Prozess. Erste elektrochemische Untersuchungen demonstrieren dabei die prinzipielle Eignung der Schichten für diese Anwendung. Laufende Arbeiten im Rahmen des EU-Projektes N2P beschäftigen sich mit der Weiterentwicklung der CNT-Schichten und mit der Übertragung der Synthese auf einen kontinuierlichen Prozess.

Im Rahmen der Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität werden am IWS Methoden erarbeitet, um die CNT durch Beschichtungen weiter zu funktionalisieren und somit deren Einsatz als Elektrodenmaterial in Batterie- und Kondensatorsystemen der nächsten Generation zu ermöglichen.

- 1 *CNT auf rauher Nickelfolie*
- 2 *CNT auf poliertem Nickel-tape*
- 3 *CNT auf Stahlfolie*

## KONTAKT

Dipl.-Chem. Susanne Dörfler  
 Telefon: +49 351 83391-3182  
[susanne.doerfler@iws.fraunhofer.de](mailto:susanne.doerfler@iws.fraunhofer.de)











## GESCHÄFTSFELD PVD-VAKUUM-SCHICHTTECHNIK

**Redaktion:** Ihre Abteilung ist auf die Themenfelder PVD-Dünnschichttechnik und Nanotechnologie fokussiert. Welche Aktivitäten waren und sind für Sie die wesentlichen Schwerpunkte?

**Dr. Leson:** Das Thema Energie ist derzeit in aller Munde. Neben der Erzeugung alternativer Energien ist dabei insbesondere die Energieeffizienz ein hochaktuelles und wichtiges Thema. Im Bereich der Mobilität können Beschichtungen von Komponenten im Motor wie im Antriebsstrang erheblich zur Effizienzverbesserung und damit zu einer Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes beitragen. In der Vergangenheit konnten wir zeigen, dass unsere Diamor®-Schichten hierfür exzellent geeignet sind, da sie extrem belastbar sind und zudem eine drastische Reduktion der Reibung ermöglichen. Derzeit arbeiten wir im Rahmen eines großen Projektes, das vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert wird, mit Automobilisten, Zulieferern und Anlagenbauern daran, die Diamor®-Schichten für diese Anwendungen zu optimieren und unsere Laser-Arc-Technologie zur Abscheidung dieser Schichten für die Serienproduktion zu qualifizieren.

**Redaktion:** Bei der Ultrapräzisionsbeschichtung, wie sie beispielsweise für Röntgenoptiken oder Anwendungen im EUV-Bereich erforderlich ist, kann Ihre Abteilung auf umfangreiches Know-how und langjährige Erfahrungen zurückgreifen. Gibt es hier trotz des hohen Kenntnisstandes noch Fortschritte zu vermelden?

**Dr. Leson:** Aber sicher. Die Anforderungen der Nutzer sind in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen. Dies betrifft sowohl die Anzahl der Einzelperioden wie auch die erforderliche Grenzflächenschärfe sowie Fragen der Genauigkeit und Homogenität des Abscheidungsprozesses. Hier haben wir erhebliche Verbesserungen erzielen und unsere Spitzenposition festigen können. Aber auch Fragen der Aufskalierbarkeit spielen gerade unter industriellen Gesichtspunkten eine wichtige Rolle. Hier gelang es uns im vergangenen Jahr, gemeinsam mit einem Anlagenbauer unsere Technologie auf eine Großflächenanlage zu übertragen und in die Industrie zu überführen.

**Redaktion:** Ihre Abteilung arbeitet ja auch an der Herstellung einwandiger Carbon Nanotubes. Hat es hier ebenfalls Fortschritte gegeben?

**Dr. Leson:** Bei den Carbon Nanotubes konzentrieren wir uns im Gegensatz zu vielen anderen Gruppen auf die Herstellung qualitativ hochwertiger einwandiger Röhren, die zwar schwieriger herzustellen sind, aber deutlich bessere Eigenschaften aufweisen. Hier ist es uns gelungen, größere Mengen im kg-Maßstab herzustellen, so dass wir das besondere Potenzial dieser CNT jetzt erschließen können. Hierzu arbeiten wir intensiv mit einer Vielzahl von Partnern im Rahmen der BMBF-Initiative InnoCNT zusammen.



# KOMPETENZEN

## RÖNTGEN- UND EUV-OPTIK

Zur Abscheidung von Nanometer-Einzel- und Multischichten für EUV- und Röntgenoptiken setzen wir die Verfahren der Magnetron- und Ionenstrahl-Sputter-Deposition sowie der Puls-Laser-Deposition ein. Die Schichtsysteme genügen höchsten Ansprüchen hinsichtlich Schichtdickengenauigkeit, Rauheit, chemischer Reinheit, lateraler Homogenität und Reproduzierbarkeit. Neben der Entwicklung und Herstellung von Präzisionsschichten bieten wir langjährige Erfahrungen auf den Gebieten der Charakterisierung und Modellierung von Nanometerschichten an.

## CARBON-NANOTUBES

Carbon-Nanotubes zeigen eine Reihe besonderer Eigenschaften und bewirken in Verbunden schon bei sehr geringen Anteilen völlig neue Funktionalitäten des Matrixmaterials. Ein am IWS entwickelter, neuartiger verdampfungsbasierter Syntheseprozess erzeugt reine, einwandige Carbon-Nanotubes mit sehr engem Eigenschaftsspektrum. Wir bieten Carbon-Nanotubes in verschiedenen Qualitäten und Verarbeitungsstadien an. Verbundentwicklungen können durch Modellierungen und umfangreiche Charakterisierungen der Verbundmaterialien begleitet werden.

## KOHLENSTOFFSCHICHTEN

Die vom IWS entwickelten amorphen Kohlenstoffschichten (Diamor®) eignen sich hervorragend als Schutzschichten und 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 -anlagen sowie die laserakustische Prüftechnik LAwave® zur Qualitätssicherung und Schichtoptimierung.

## PVD-SCHICHTEN

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.

**ABTEILUNGSLEITER**

**DR. ANDREAS LESON**

Telefon +49 351 83391-3317  
andreas.leson@iws.fraunhofer.de



**BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2009**

- |                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Neue EUV-Spiegel mit minimierter IR-Reflexion                          | 72 |
| 2. Röntgenoptiken für Synchrotronanwendungen                              | 74 |
| 3. Skalierte Synthese und Verarbeitung einwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren | 76 |
| 4. Ewig scharfe Kochmesser durch Beschichtung mit Diamor®                 | 78 |
| 5. Schichtdesign mit hochaktivierten Metallplasma                         | 80 |

**GRUPPENLEITER**

**RÖNTGEN- UND EUV-OPTIK**

**DR. STEFAN BRAUN**

Telefon +49 351 83391-3432  
stefan.braun@iws.fraunhofer.de



**GRUPPENLEITER**

**NANOTUBES UND -PARTIKEL**

**DR. OLIVER JOST**

Telefon +49 351 83391-3477  
oliver.jost@iws.fraunhofer.de



**GRUPPENLEITER**

**KOHLENSTOFFSCHICHTEN**

**DR. VOLKER WEIHNACHT**

Telefon +49 351 83391-3247  
volker.weihnacht@iws.fraunhofer.de



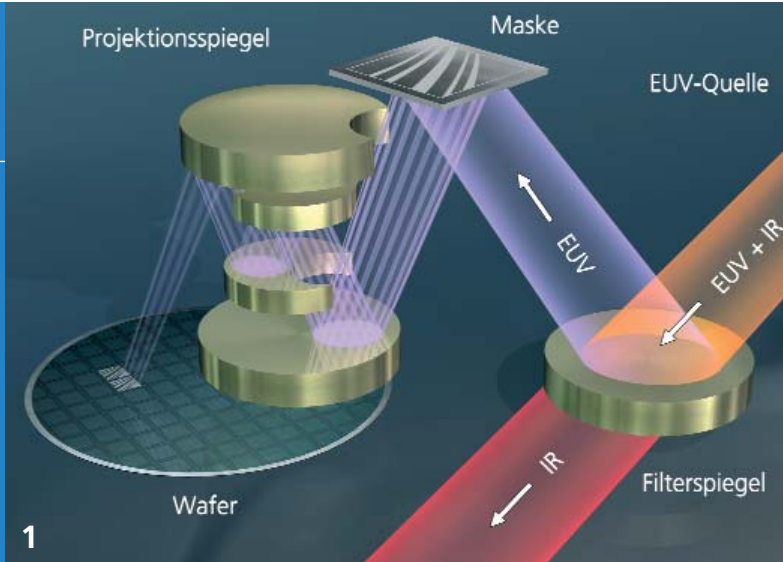
**GRUPPENLEITER**

**PVD-SCHICHTEN**

**DR. OTMAR ZIMMER**

Telefon +49 351 83391-3257  
otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de





# NEUE EUV-SPIEGEL MIT MINIMIERTER IR-REFLEXION

## DIE AUFGABE

In zukünftigen Lithographiesystemen zur Belichtung kleinster Halbleiterstrukturen wird äußerst kurzwellige EUV-Strahlung (Extremes Ultraviolett,  $\lambda = 13,5 \text{ nm}$ ) zum Einsatz kommen (Abb. 1). Neueste Entwicklungen lassen vermuten, dass sich das Verfahren der Laser-Puls-Plasmaerzeugung (LPP) zur Generierung dieser Strahlung durchsetzt. Dabei wird das durch Beschuss von Zinn-Schmelztröpfchen mit einem hochintensiven, gepulsten  $\text{CO}_2$ -Laser erzeugte Plasma als Strahlungsquelle benutzt.

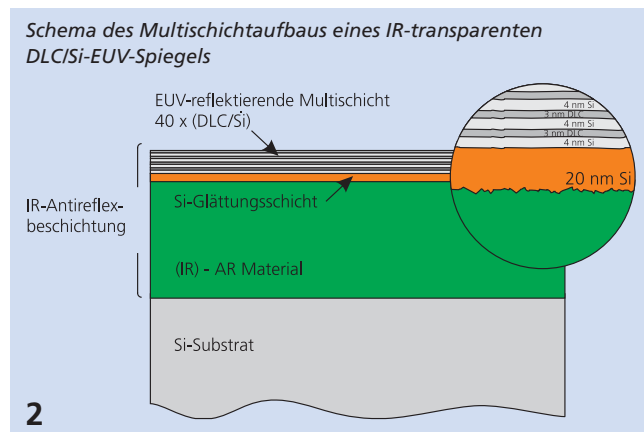
Ein Problem dieser Art von Strahlungserzeugung ist es, dass nur ein relativ geringer Teil der Laserausgangsleistung in nutzbare EUV-Strahlung umgewandelt werden kann. Der weitaus größere Teil der Primärleistung wird als UV- und IR-Strahlung (Wärme), speziell auch durch gestreute  $\text{CO}_2$ -Strahlung ( $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ ), aus dem Prozess emittiert. Der Schutz sowohl des wärmeempfindlichen Fotolacks als auch der Masken und Optiken vor dieser Strahlung ist für den Erfolg der EUV-Lithographie zwingend erforderlich.

Da herkömmliche EUV-Spiegel (bestehend aus Molybdän-Silizium-Multischichten) ebenso hervorragende Reflektoren im Infrarotbereich sind ( $R > 80 \%$  für  $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ ), erfolgt die spektrale Trennung in allen bisherigen Systemen unabhängig von diesen Spiegeln durch separate optische Komponenten (z. B. dünne Metallfolien, Beugungsgitter usw.). Diese Komponenten sind hinsichtlich Transparenz und thermischer Belastbarkeit jedoch limitiert oder nur mit hohem Aufwand herstellbar.

## UNSERE LÖSUNG

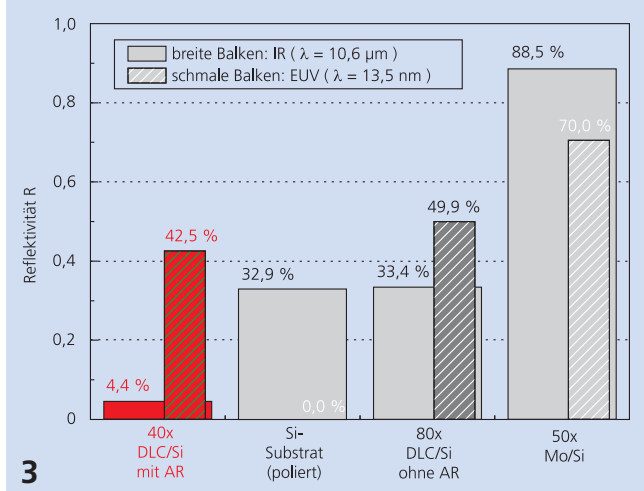
Als neuartiger Ansatz der spektralen Filterung der LPP-Quellenstrahlung kommen in dieser Arbeit DLC/Si-Multischichten in Kombination mit einer IR-Antireflexschicht zur Anwendung (Abb. 2). Dieses System fungiert **gleichzeitig** als hoch reflektierender EUV-Spiegel und transmittierender IR-Filter.

Hintergrund hierbei ist die sehr gute IR-Transparenz der Schichtmaterialien Silizium und diamantartiger Kohlenstoff (DLC) bei gleichzeitig relativ gutem optischen Kontrast für EUV-Strahlung. In Kombination mit einer kommerziell standardisierten IR-Antireflexbeschichtung können die IR-Reflexionsgrade der DLC/Si-Spiegel auf nahe Null gebracht werden.





Experimentell erzielte IR- und EUV-Reflexionsgrade verschiedener Schichtsysteme im Vergleich



1 Prinzipskizze eines EUV-Lithographiesystems mit IR-transparentem Filterspiegel

**ERGEBNISSE**

Für die Realisierung des in Abb. 2 dargestellten Schichtsystems eines IR-transparenten EUV-Spiegels waren zwei wesentliche Aspekte zu lösen. Zum einen benötigen Multischichtspiegel für EUV-Strahlung Oberflächen- und Grenzflächenrauheiten im Bereich weniger Ångström (0,1 nm), welche für herkömmliche IR-Antireflexbeschichtungen nicht verfügbar sind. Zweitens ist die Abscheidung des Kohlenstoffs in diamantähnlicher Konfiguration in dieser hochpräzisen Multischichtkonfiguration bisher noch nie gezeigt worden.

Mit Hilfe des Ionenstrahlbearbeitens der optischen Oberflächen und der Ionenstrahl-Sputterdeposition (IBSD) konnten beide Aspekte in einer Bearbeitungsanlage gelöst werden. Durch Einfügen einer Silizium-Glättungsschicht, die in alternierenden Schritten durch Beschichtung und Politur aufgebracht wird, kann die für die nachfolgende DLC/Si-Multi-

schicht notwendige Oberflächenrauheit von ca. 0,2 nm gewährleistet werden. In Abb. 3 sind die experimentell erzielten EUV- und IR-Reflexionsgrade verschiedener Schichtkonfigurationen gegenübergestellt. Der Prototyp eines IR-transparenten EUV-Spiegels (mit 40 x DLC/Si auf Si-Substrat mit (IR)-AR-Beschichtung) weist einen verbliebenen IR-Reflexionsgrad von 4,4 % bei EUV-Werten von ca. 42,5 % auf. Dies ist nahe den theoretisch modellierten Werten und unterstreicht die Funktionalität des Schichtsystems und die hervorragende Eignung des eingesetzten Verfahrens der Ionenstrahlpolitur und -beschichtung.

**KONTAKT**

Dipl.-Phys. Peter Gawlitza  
 Telefon: +49 351 83391-3431  
 peter.gawlitza@iws.fraunhofer.de





# RÖNTGENOPTIKEN FÜR SYNCHROTRONANWENDUNGEN

## DIE AUFGABE

Synchrotronstrahlungsringe wie z. B. BESSY oder DESY zeichnen sich dadurch aus, dass sie äußerst brillante Röntgenstrahlung zur Verfügung stellen. Dies eröffnet völlig neue Möglichkeiten bei der Untersuchung physikalischer, biologischer oder materialwissenschaftlicher Fragestellungen. Ohne Synchrotronstrahlung sind viele Grundlagenuntersuchungen heutzutage undenkbar.

Um gezielt einen spektralen Bereich der von den Speicherringen bereitgestellten Strahlung zu selektieren und für die Experimente bereitzustellen, werden Röntgenoptiken in den Strahlengang eingebracht. Insbesondere für Anwendungen, die einen hohen Photonenfluss bei moderater spektraler Reinheit erfordern, ist der Einsatz von Multischicht-Röntgenspiegeln (Abb. 1) sehr vorteilhaft. Die Herausforderungen bei der Entwicklung und Herstellung dieser Optiken bestehen darin, höchste Reflexionsgrade, exzellente Schichthomogenitäten sowie bestmögliche Langzeit- und Strahlungsstabilität gleichzeitig zu erreichen.

## UNSERE LÖSUNG

Röntgenspiegel für Synchrotronstrahlung bestehen aus einem Grundkörper, dem Substrat, und darauf aufgetragenen Reflexionsschichten, die das spektrale Reflexionsverhalten festlegen. Dabei ist es zwingend erforderlich, dass bereits die Substrate atomar glatte sowie saubere und defektfreie Oberflächen aufweisen. Zur weiteren Verbesserung der mit konventionellen Techniken erreichbaren Oberflächenqualität wurden im IWS Ionenstrahlreinigungs- und -politurverfahren

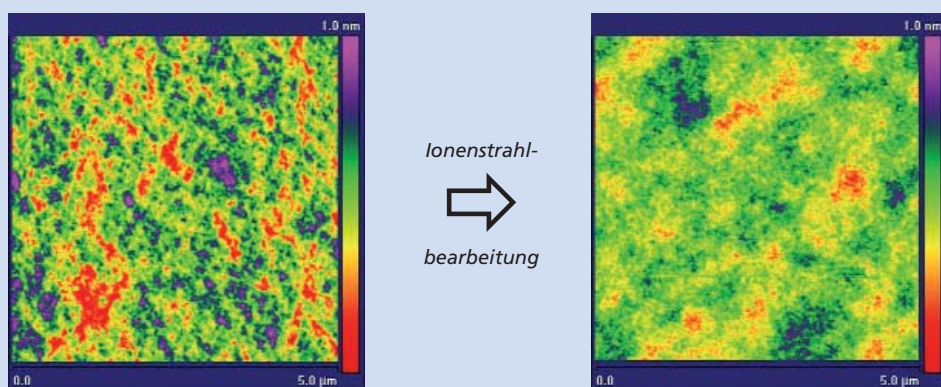
entwickelt (Abb. 2). Je nach Wahl der Ionenstrahlparameter können so Oberflächenadsorbate entfernt oder Rauheiten reduziert werden. Gleichzeitig wird damit auch die Haftung der nach der Oberflächenbearbeitung aufzubringenden Schicht verbessert.

Röntgenspiegel sind typischerweise aus 100 - 1000 Nanometer-Einzelschichten aufgebaut, die jeweils Dicken im Bereich von 0,5 - 5 nm aufweisen. Um diese Schichten atomar glatt, dicht und geschlossen aufbringen zu können, werden im Fraunhofer IWS Sputterverfahren eingesetzt. Sowohl die Ionenstrahl-Sputter-Deposition (Abb. 3) als auch die Magnetron-Sputter-Deposition ermöglichen bei geeigneter Prozessführung eine hochreproduzierbare und präzise Schichtherstellung mit einer breiten Materialvielfalt.

## ERGEBNISSE

Die von verschiedenen Lieferanten bereitgestellten Substrate weisen typischerweise Rauheiten von rund 0,2 nm rms auf. Diese bereits sehr gute Oberflächenqualität muss für bestimmte Anwendungen, bei denen Multischichten mit extrem geringen Periodendicken von  $d_p \leq 2$  nm benötigt werden, jedoch weiter verbessert werden. Das im Fraunhofer IWS entwickelte Ionenstrahlpoliturverfahren ermöglicht es, auch für einkristalline Siliziumkristalloberflächen mit einer (100)-Orientierung eine Glättung zu erreichen. In Abb. 4 sind rasterkraftmikroskopische Aufnahmen von Oberflächen vor und nach der Ionenstrahlbearbeitung dargestellt. Die Auswertung der Höhenprofile ergibt, dass die Rauheiten von 0,18 nm rms auf 0,12 nm rms reduziert werden konnten.

Rasterkraftmikroskopische Aufnahme einer Scanfläche von  $5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$  einer Siliziumsubstratoberfläche vor (links) und nach (rechts) der Ionenstrahlbearbeitung



4

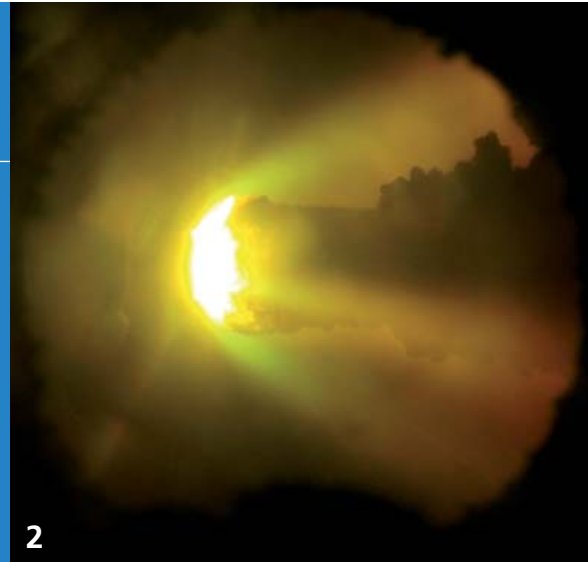
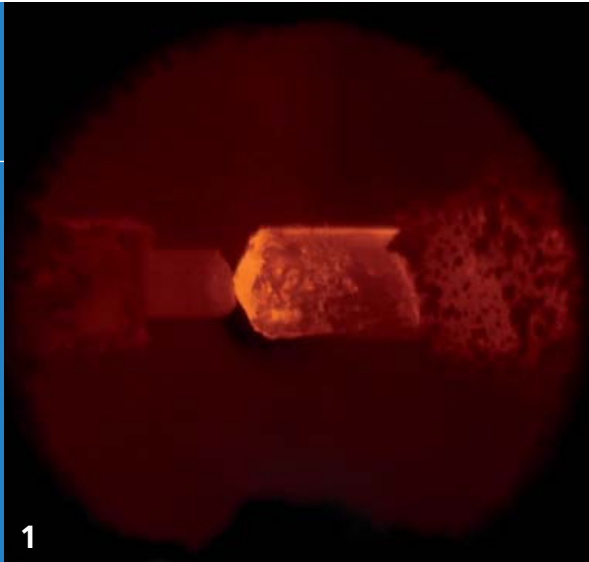
- 1 Synchrotronspiegel mit zwei verschiedenen Reflexionsschichten: Gold-Einzelschicht für Totalreflexion, Nanometer-Multischicht für Braggreflexion bei größeren Glanzwinkeln.
- 2 Prozessfoto der Ionenstrahltechnik zur Bearbeitung (Reinigung, Glättung) von röntgenoptischen Oberflächen.
- 3 Prozessfoto der Ionenstrahltechnik zur Beschichtung von Optiken mit Nanometer-Einzel- oder Multischichten.

Mit der verbesserten Oberflächenqualität konnten unter Anwendung der für die Beschichtung von superpolierten Siliziumwafern optimierten Prozesse Nanometer-Multischichten mit optimalen Eigenschaften abgeschieden werden. Typischerweise werden derzeit Grenzflächenweiten (Rauheit + Interdiffusion) von  $< 0,3\ \text{nm rms}$  erreicht. Dies ermöglicht z. B. für das Materialsystem  $\text{Ni/B}_4\text{C}$  Reflexionsgrade von  $> 90\ \%$  für  $\text{Cu-K}\alpha$ -Strahlung (Wellenlänge  $\lambda = 0,154\ \text{nm}$ ). Darüber hinaus wurden auch sogenannte low-d-spacing Multischichten mit Einzelschichtdicken  $< 1\ \text{nm}$  hergestellt, die trotz dieser extrem geringen Schichtdicken Reflexionsgrade von  $> 70\ \%$  aufweisen ( $\text{Mo/B}_4\text{C}$  mit  $d_p = 1,5\ \text{nm}$  bei  $\lambda = 0,0775\ \text{nm}$ ).

#### KONTAKT

Dr. Stefan Braun  
 Telefon: +49 351 83391-3432  
[stefan.braun@iws.fraunhofer.de](mailto:stefan.braun@iws.fraunhofer.de)





# SKALIERTE SYNTHESE UND VERARBEITUNG EINWANDIGER KOHLENSTOFF-NANORÖHREN

## DIE AUFGABE

Insbesondere einwandige Kohlenstoff-Nanoröhren (Single-Walled Carbon Nanotubes, SWCNT) sind diejenigen Nanoröhren, die wegen ihrer besonderen Eigenschaften und Eigenschaftsweltrekorden auf unterschiedlichsten Gebieten weltweit seit mehr als fünfzehn Jahren im Fokus des Interesses von Forschern und Technologen stehen. Gegenüber mehrwandigen Kohlenstoff-Nanoröhren und Carbon-Nanofasern weisen sie ein um mehrere Größenordnungen geringeres Gewicht bei gleichzeitig vergleichbaren oder besseren mechanischen und elektrischen Eigenschaften auf.

Während Carbon-Nanofasern und mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhren jedoch bereits seit Jahren im Tonnen-Maßstab weltweit ausreichend für Entwicklungs- und Anwendungszwecke verfügbar sind, gilt dies nach wie vor nicht für einwandige Kohlenstoff-Nanoröhren – trotz vieler Jahre der Bemühungen zur Herstellung dieses besonderen Nanoröhrentypus.

Neben der Herausforderung einer skalierten Herstellung der SWCNT ist es aber auch in fast jedem Fall erforderlich, SWCNT mit Matrixmaterialien zu integrieren, um die besonderen Eigenschaften der einwandigen SWCNT schon bei geringsten SWCNT-Füllgraden auf ausgesuchte Matrixwerkstoffe durch Verbundwerkstoffbildung übertragen zu können. Das heißt, SWCNT müssen zuerst aus SWCNT-Bündeln exfoliiert und anschließend in geeigneten Matrixmaterialien bzw. deren Vorstufen dispergiert werden.

## UNSERE LÖSUNG

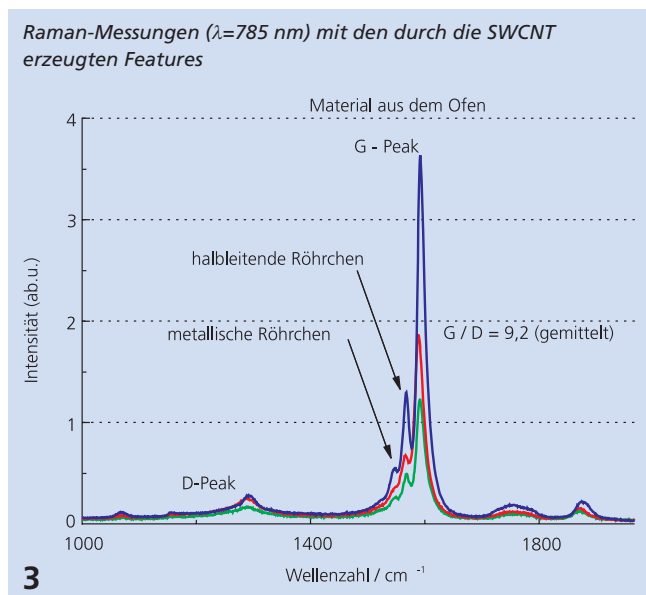
Mit einem am Fraunhofer IWS entwickelten gepulsten Hochstrombogenverfahren unter atmosphärennahen Bedingungen können sehr hohe Verdampfungsraten des als Rohstoff dienenden metallhaltigen Graphits erreicht werden, eine nötige Bedingung für große Synthesemengen einwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren. Hinzu kommen Eigenentwicklungen zur geeigneten Abkühlung der metall- und kohlenstoffhaltigen Dämpfe in einem geheizten und mit Gas gespülten Ofen, um eine ungestörte Keimbildung einwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren und anschließend ein ungestörtes Wachstum derselben erreichen zu können. Die Nanoröhren werden am Ende des Prozesses in einem mit Standard-Lösungsmitteln oder Wasser gefüllten Gaswäscher aus der Gasphase gewaschen und liegen anschließend vordispersiert und gebunden vor. Sie können nun gefahrlos weiterverarbeitet werden.



## ERGEBNISSE

Es konnten erfolgreich größere Mengen einwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren mittels eines Ein-Elektroden-Prozesses hergestellt werden, die bei mehr als 1 kg SWCNT je Woche liegen. Neben den bereits angesprochenen dispergierten bzw. pastösen SWCNT können auch SWCNT-Pulver sehr niedriger Dichte in großen Volumina für Forschungs- und Entwicklungszwecke bereitgestellt werden. Zukünftige Entwicklungen beinhalten einen Mehr-Elektroden-Prozess, mit dem die Synthesemenge weiter erhöht werden kann.

Im unten dargestellten Diagramm sind die Ergebnisse der Raman-Messungen an pastösem SWCNT-Material und damit Aussagen zur Qualität der SWCNT dargestellt.



Die im skalierten Syntheseprozess hergestellten SWCNT weisen anhand der Raman-Messungen eine niedrige Defektdichte (hohes G / D-Peakverhältnis) sowie deutlich

unterscheidbare Peaks für metallische und halbleitende SWCNT auf – im Gegensatz zu mehrwandigen Kohlenstoff-Nanoröhren. Die einwandigen Kohlenstoff-Nanoröhren sind damit aufgrund ihrer Qualität, ihres extrem niedrigen Gewichtes und aufgrund der technologisch relevanten Herstellmenge für diverse Anwendungszwecke sehr geeignet. Sie werden sich mittelfristig im Markt etablieren können.

*1 / 2 Einblick in die skalierte Synthese einwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren mittels Lichtbogenentladung. Mit diesem Verfahren können einwandige Kohlenstoff-Nanoröhren in technisch relevanten (großen) Mengen hergestellt werden.*

## KONTAKT

Dr. Oliver Jost  
 Telefon: +49 351 83391-3477  
 oliver.jost@iws.fraunhofer.de





1



2

# EWIG SCHARFE KOCHMESSER DURCH BESCHICHTUNG MIT DIAMOR®

## DIE AUFGABE

Die Herstellung scharfer Messer gilt als eine hohe Handwerkskunst, deren Anfänge bis in das frühe Mittelalter zurückreichen. Große Berühmtheit erlangten dabei die orientalisches-asiatischen Klingen aus Damast-Stahl, einem besonderen Stahl aus harten und weichen Lagen. Heutige scharfe Messerklingen, wie sie auch bei hochwertigen Kochmessern verwendet werden, basieren nur in Ausnahmefällen noch auf der Damast-Stahl-Technologie, und werden meist auf Basis ebenbürtiger monolithischer Stähle hergestellt. So scharf ein Messer auch anfänglich geschliffen wird, nach der Benutzung sinkt die Schärfe meist rasch auf ein Bruchteil der Ausgangsschärfe ab. Entscheidend ist dabei, inwieweit ein Messer eine akzeptable Gebrauchsschärfe beibehalten kann.

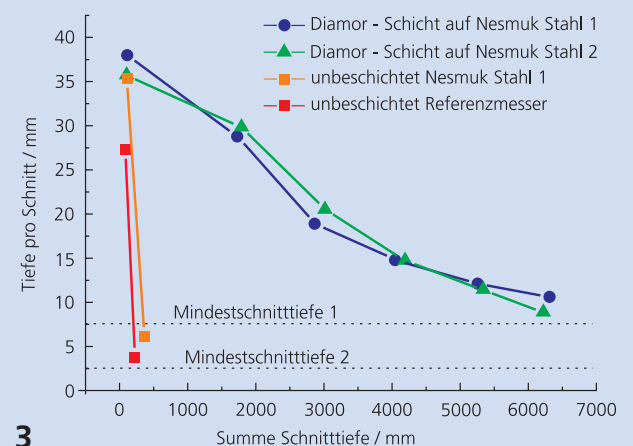
Die Beschichtung von Klingen mit dünnen CVD- oder PVD-Hartstoffschichten gilt als ein aussichtsreicher Ansatz zur Verlängerung der Schärfe, z. B. bei Rasierklingen oder technischen Schneidwerkzeugen. Im Anwendungsbereich von Kochmessern gibt es jedoch bisher kein überzeugendes Beispiel für Beschichtungen. Die am Fraunhofer IWS hergestellten diamantähnlichen ta-C-Diamor®-Schichten bieten ein großes Potenzial für einen derartigen Einsatz, da sie aufgrund ihrer extremen Verschleißbeständigkeit bereits mit geringer Schichtdicke eine scharfe Schneidkante schützen, ohne sie stark zu verrunden. Mit diesem Ansatz sollte versucht werden, die Schärfe eines hochwertigen Kochmessers der Firma Nesmuk signifikant zu verlängern. Ein weiteres Ziel war, die Beschichtung mit einem ansprechenden Design der beidseitig hohlgeschliffenen Klinge zu verbinden.

## UNSERE LÖSUNG

Bereits in zurückliegenden Untersuchungen am Fraunhofer IWS in Zusammenarbeit mit der FGW (Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoff e. V.) deutete sich an, dass eine beidseitige Klingenbeschichtung mit ta-C keine nennenswerten Vorteile bringt, jedoch eine einseitige Beschichtung den Schärfeabfall stark verlangsamt. Dabei erwies sich eine Schichtdicke von 3 µm als optimal. Der zugrunde liegende Test nach DIN EN ISO 8442-5 der FGW beinhaltet den definierten wiederholten Anschnitt von Papierkarten-Stapeln, wobei die Anzahl der durchtrennten Karten bzw. die Schnitttiefe pro Schnitt als Maß für die Klingenschärfe dient.

FGW-Test für Kochmesser durch Schneiden von Papierstapeln  
Mindestschnitttiefe:

- 1 Anforderung für nicht nachzuschärfende Messer
- 2 Anforderung für nachzuschärfende Messer



In die Untersuchung wurden vier verschiedene Messerklingen einbezogen. Neben einem Referenzmesser (Testsieger eines namhaften Testinstituts) wurden ein unbeschichtetes Nesmuk-Messer (1.4153) und zwei mit 3 µm Diamor®-beschichtete Nesmuk-Messer bestehend aus zwei unterschiedlichen Stahlsorten (1.4116 sowie 1.4153) untersucht.

## ERGEBNISSE

Die im Diagramm dargestellten Ergebnisse der Schneidversuche zeigen einen signifikanten Unterschied des Schneidverhaltens von den unbeschichteten Klingen auf der einen und den Diamor®-beschichteten Klingen auf der anderen Seite. Während die Schärfe der unbeschichteten Klingen schon nach kurzer Zeit auf einen Bruchteil der Ausgangsschärfe zurückgeht, behalten die Diamor®-beschichteten Klingen auf zwei unterschiedlichen Stahlsorten außerordentlich lange eine akzeptable Schärfe bei. Als akzeptable Gebrauchsschärfe gilt für nicht nachzuschärfende Messer eine Schnitttiefe von 7,5 mm und für (normale) nachschärfbare Messer eine Schnitttiefe von 2,5 mm. Mit den beiden Diamor®-beschichteten Klingen liegt man auch nach über 6 m durchtrennter Papierkartendicke immer noch über beiden Grenzwerten. Mit diesem Ergebnis können die Diamor®-Messer als quasi »ewig scharfe« Messer bezeichnet werden.

Eine technologische Schwierigkeit bestand darin, die vom Design her erwünschte Kontur eines Beschichtungstreifens entlang der Klinge zu erzeugen sowie eine Rückseitenbeschichtung der beidseitig hohlgeschliffenen Klinge vollständig zu vermeiden. Für diesen Zweck wurde eine spezielle Halterung entworfen und in die Praxis umgesetzt. Sie ermöglicht eine Beschichtung größerer Stückzahlen in hoher Qualität und Reproduzierbarkeit.

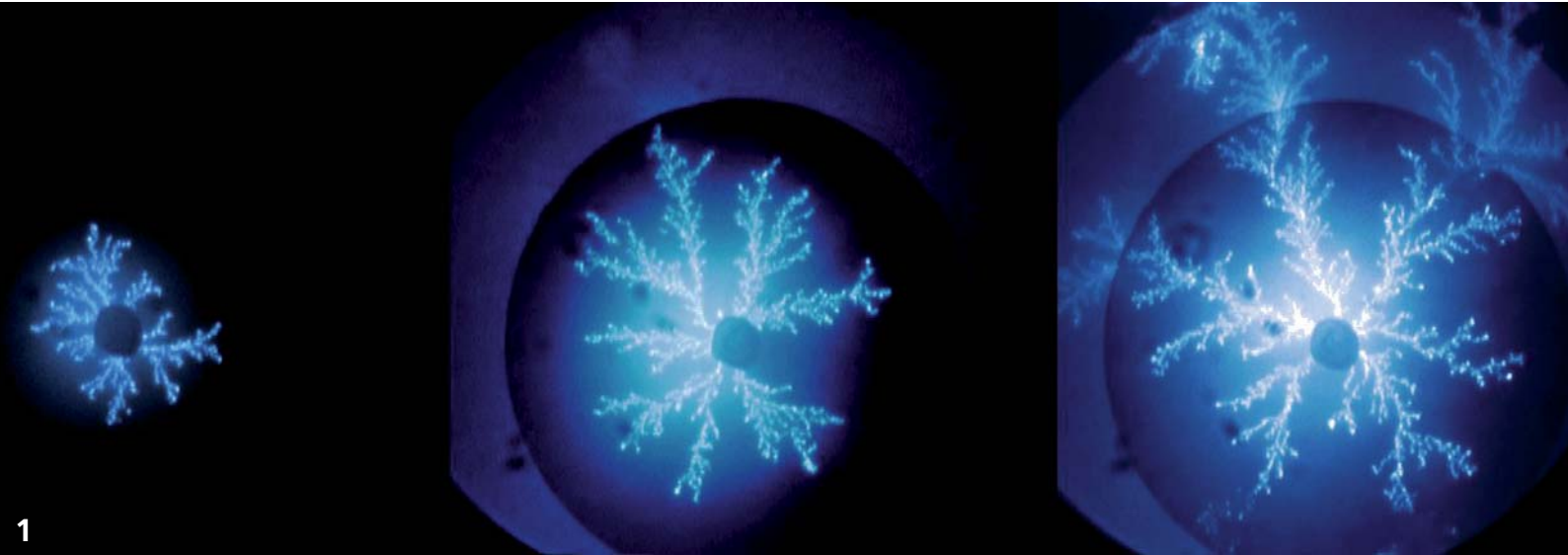


- 1 Maskenhalterung für die exakte Konturbeschichtung der Messerklinge
- 2 beschichtete Klingen

## KONTAKT

Dr. Volker Weihnacht  
 Telefon: +49 351 83391-3247  
[volker.weihnacht@iws.fraunhofer.de](mailto:volker.weihnacht@iws.fraunhofer.de)





# SCHICHTDESIGN MIT HOCHAKTIVIERTEN METALLPLASMEN

## DIE AUFGABE

Die technische Realisierung transparenter Elektroden ist eine Schlüsselfrage bei der Entwicklung von Zukunftstechnologien, so z. B. in der Solartechnik, bei der Entwicklung optoelektronischer Bauelemente oder in der Displaytechnik. Für die Herstellung dieser transparenten Elektroden kommen bisher vorwiegend ausgewählte Keramikschichten (TCO: transparent conductive oxides) zum Einsatz. Allerdings haben diese Materialien eine vergleichsweise geringe Leitfähigkeit, für viele Anwendungen ungünstige mechanische Eigenschaften und einen hohen Herstellungsaufwand.

Grundlegende Innovationen auf diesem Gebiet könnten vielen Bereichen der High-Tech-Branche neue Impulse geben. Als alternative Schichtwerkstoffe kommen z. B. extrem dünne Metallschichten in Frage. Prinzipiell sind damit Leitfähigkeiten erreichbar, die um den Faktor 100 bis 1000 höher sind als bei den gängigen TCO-Materialien. Die Schichten können also entsprechend dünner und damit transparent abgeschieden werden.

Mit herkömmlichen Beschichtungsverfahren, wie z. B. der Bedampfung oder der Sputtertechnik, wachsen dünne Metallschichten jedoch zunächst inselförmig auf, bevor bei einer bestimmten Mindestschichtdicke (Perkolationsschwelle), ein Zusammenwachsen der Inseln eintritt und die Schichten elektrisch leitfähig werden. Dies tritt meist bei Schichtdicken oberhalb von 10 nm auf, bei denen die Transparenz der Schichten bereits deutlich abnimmt. Solche Schichten sind als transparente Elektroden nicht einsetzbar.

## UNSERE LÖSUNG

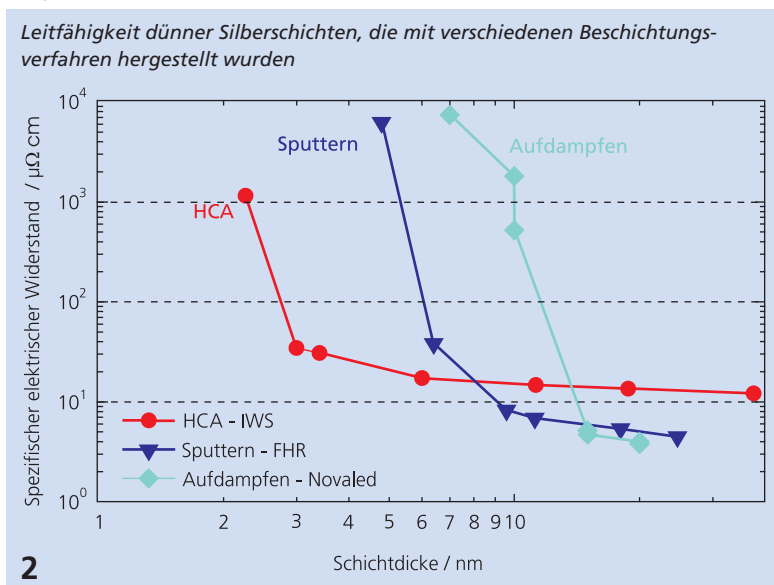
Mit dem am Fraunhofer IWS entwickelten gepulsten Hochstrombogenverfahren (High Current pulsed Arc - HCA) können Metallplasmen mit extrem hohen Ionisierungsgraden und Ionenenergien erzeugt werden. Schichten, die mit diesem Verfahren hergestellt werden, wachsen nicht inselförmig auf die Substratoberfläche auf, sondern werden in die Oberfläche subplantiert, wodurch extrem dichte und gleichmäßige Strukturen entstehen. Die HCA-Technologie bietet durch die gepulste Betriebsweise eine sehr große Variationsbreite bezüglich der Plasmamaparameter an, die für die Einstellung optimaler Bedingungen für das Schichtwachstum genutzt werden können.

Zur Herstellung transparenter, leitfähiger Schichten, wurde Silber mit der HCA-Technologie auf Glassubstrate aufgebracht und bezüglich der elektrischen Leitfähigkeit und der Transparenz vermessen. Vergleichende Untersuchungen wurden auch mit Schichten gemacht, die bei Projektpartnern mit Sputterverfahren und Aufdampfverfahren hergestellt wurden.



**ERGEBNISSE**

Im Diagramm sind die Ergebnisse der elektrischen Widerstandsmessungen in Abhängigkeit von der Silberschichtdicke dargestellt.



Deutlich sichtbar sind die unterschiedlichen Perkolations-schwellen für die elektrische Leitfähigkeit bei den unterschiedlichen Beschichtungsverfahren. Während bei aufgedampften Schichten eine signifikante Widerstandsabnahme erst ab ca. 10 nm Dicke eintritt, ist dies bei der Sputtertechnologie schon ab ca. 5 bis 6 nm der Fall. Bei Verwendung der HCA-Technologie erreicht man diesen Effekt bereits zwischen 2 und 3 nm Schichtdicke.

Die mit der HCA-Technologie hergestellten Silberschichten haben eine für viele Anwendungen bereits ausreichende Transparenz und Leitfähigkeit, allerdings ist es Aufgabe laufender Forschungsarbeiten, die Eigenschaften dieser Schichten weiter zu optimieren und sie langfristig als Ergänzung zu bekannten TCO-Materialien am Markt zu etablieren.

1 Hochstrombogenentladungen verschiedener Puls-längen auf einer Metall-kathode. Sichtbar sind die Brennflecken der Ent-ladung, die mit steigender Puls-länge (im Bild von links nach rechts) eine immer größere Fläche abtragen. Mit Hochstromentladungen im Kilo-Ampere-Bereich können hochionisierte Plas-men mit mehrfach gelade-nen Ionen erzeugt werden.

**KONTAKT**

Dr. Otmar Zimmer  
 Telefon: +49 351 83391-3257  
 otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de



# AUSZEICHNUNGEN UND EHRUNGEN 2009



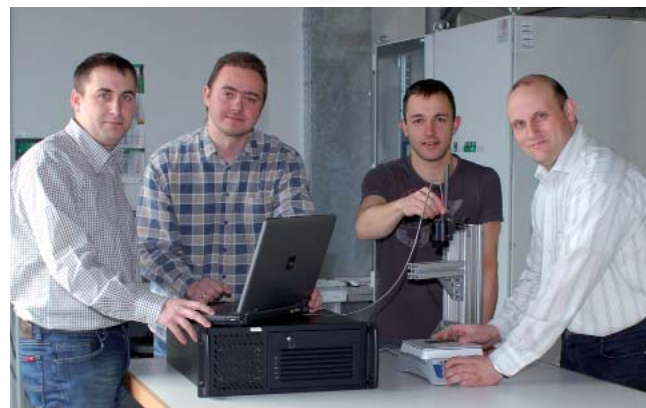
**Sachsens bester Jungfacharbeiter** im Ausbildungsberuf Werkstoffprüfer kommt auch im Jahr 2009 wieder aus dem Fraunhofer IWS Dresden. Frau **Lisa Tengler** empfing am 02.11.2009 die Anerkennungsurkunde von Sachsens Staatsminister für Kultus und Sport, Prof. Dr. Roland Wöller und IHK-Präsident Hartmut Paul.

Als Ausbildungsbetrieb wurde dem Fraunhofer IWS Dresden bereits zum 4. Mal besondere Anerkennung für herausragende Leistungen in der dualen Berufsausbildung ausgesprochen.

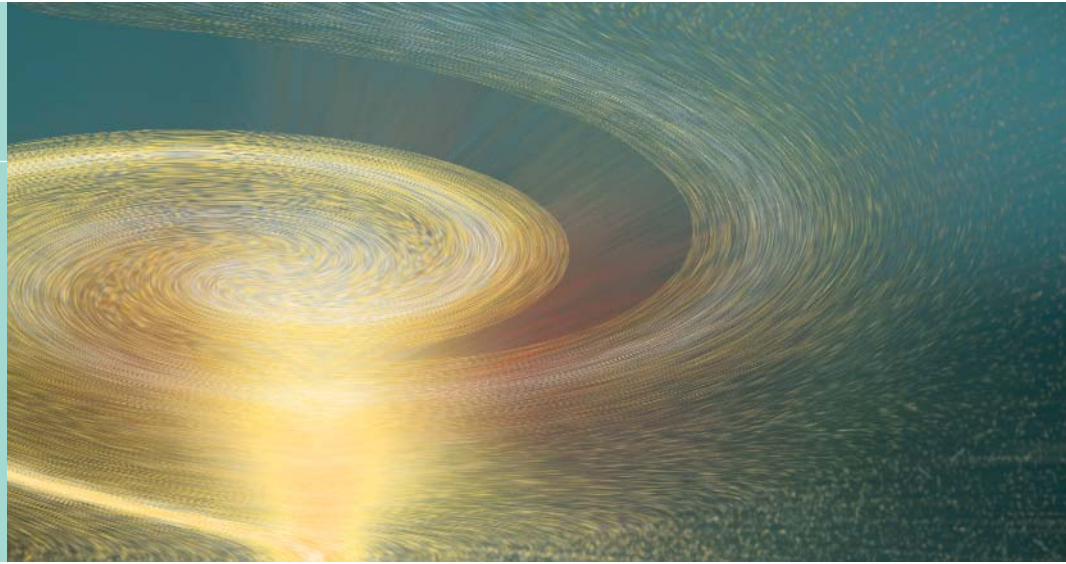


Am 18. Dezember wurden die IWS-Preise des Jahres 2009 verliehen:

Als **beste innovative Produktidee zur Eröffnung eines neuen Geschäftsfeldes** wurde in diesem Jahr die Hochgeschwindigkeits-Temperaturregelung »E-FAqS« ausgezeichnet. Mit dem neuen Regelsystem können bei Hochgeschwindigkeitsprozessen sehr kurze Regelzyklen realisiert werden. Für das Laserlöten von Solarzellen ist darüber hinaus das geringe Arbeitsfenster zwischen Schmelz- und Überhitzungstemperatur genauestens zu überwachen. Aufbauend auf langjährige Erfahrungen im Bau von Regelkomponenten und eigener Softwareentwicklung gelang es **Stefan Kühn, Marko Seifert, Sven Bretschneider und Udo Karsunke** (im Bild v.l.n.r.), ein preisgünstiges vielseitig einsetzbares Regelsystem zu entwickeln und dessen Industrietauglichkeiten nachzuweisen.



23 überführte Systeme zum Laserstrahllöten von Solarzellen (Fa. teamtechnik), 1 System zur Temperaturregelung beim laserunterstützten Zerspanen (Fa. Sitec), 1 System zum Laserstrahlschweißen von Kunststoffen und ca. 500 T€ Umsatz in nur zwei Jahren belegen das hohe Innovationspotenzial des Regelsystems. Die interne Nutzung für industrielle Verfahrensentwicklungen, wie z.B. das Laserweichglühen chirurgischer Nadeln, das Härten von Dichtplatten oder das Härten von Schneidlinien garantiert die kontinuierliche Weiterentwicklung und Optimierung des Systems.



Für die Entwicklung einer Technologie für die partiell einseitige Beschichtung von hochwertigen Messerklingen zur Ausnutzung eines Selbstschärfereffektes wurden **Marko Schneider** (2.v.l.), **Andreas Brückner** (3.v.l.) und **Annett Döring** (2.v.r.) mit dem Preis für eine **hervorragende technische Leistung** geehrt. Gewürdigt wurde insbesondere die Anfertigung von Spezialmasken für die Beschichtung mit Diamor®. Die wissenschaftlich/technischen Ergebnisse der Arbeiten sind auf Seite 78 / 79 des Jahresberichtes ausführlich dargestellt.



Mit dem Preis für die **beste wissenschaftliche Leistung eines Nachwuchswissenschaftlers** wurde Herr **Georg Dietrich** ausgezeichnet. Er beschäftigt sich seit dem Abschluss seiner Diplomarbeit im Jahr 2007 mit der Herstellung von Nanometer-Reaktivmultischichten (RMS) als präzise kontrollierbare Energiespeicher für Fügeanwendungen. RMS bestehen aus mehreren hundert bis zu einigen tausend 10 bis 100 nm dicken Einzelschichtlagen von mindestens zwei unterschiedlichen Materialien (meist Metalle), die unter Freisetzung von Energie miteinander reagieren. Das Schichtdesign definiert die frei werdende Wärmemenge und die Reaktionstemperatur. Herr Dietrich setzt für die Herstellung von RMS die Verfahren Magnetron- und Ionenstrahl-Sputter-Deposition ein. Damit gelingt es, Beschichtungen bis maximal 100 µm Gesamtdicke direkt auf Bauteilen abzuschneiden oder freistehende Folien zu erzeugen. Erste Lötapplikationen sind in Arbeit.

Der Preis für **hervorragende studentische Leistungen** wurde in diesem Jahr dreimal verliehen.



Frau **Blanca Menendez-Ormaza** widmete sich erfolgreich dem Thema »Laser Interferenz Lithography zur Fertigung komplexer periodischer Gitter in Fotopolymeren« und erzeugte so komplexe periodische Gitter und sub-µm-Kanäle. Statt den Laserstrahl in drei oder vier Teilstrahlen aufzuteilen und auf der Probenoberfläche wieder zusammenzuführen, teilte sie den Laser nur in zwei Teilstrahlen auf und belichtete die unter dem Strahl positionierte Probe mehrfach unter verschiedenen Winkeleinstellungen. Die Mehrfachbelichtung ermöglicht die Fertigung unterschiedlichster 2D-Muster. Neigt man das Substrat zusätzlich unter dem aufgeteilten Laserstrahl, können Mikrokanäle (< 500 nm) mit höchstem Aspektverhältnis (> 2000!) gefertigt werden. Derartige Strukturen sind unter anderem anwendbar für Mikrofilter, Mikromixer und neue optische Eigenschaften.



Für ihre Arbeit zur Synthese von vertikal orientierten Kohlenstoffnanoröhren mittels thermischer CVD auf elektrisch leitfähigen Substraten wurde Frau **Susanne Dörfler** geehrt. Die mit ihrer Unterstützung entwickelten preisgünstigen skalierbaren Prozesse für das direkte Wachstum von CNT-Rasen auf Metallfolien sind auf Seite 66 / 67 des Jahresberichtes ausführlich dargestellt.

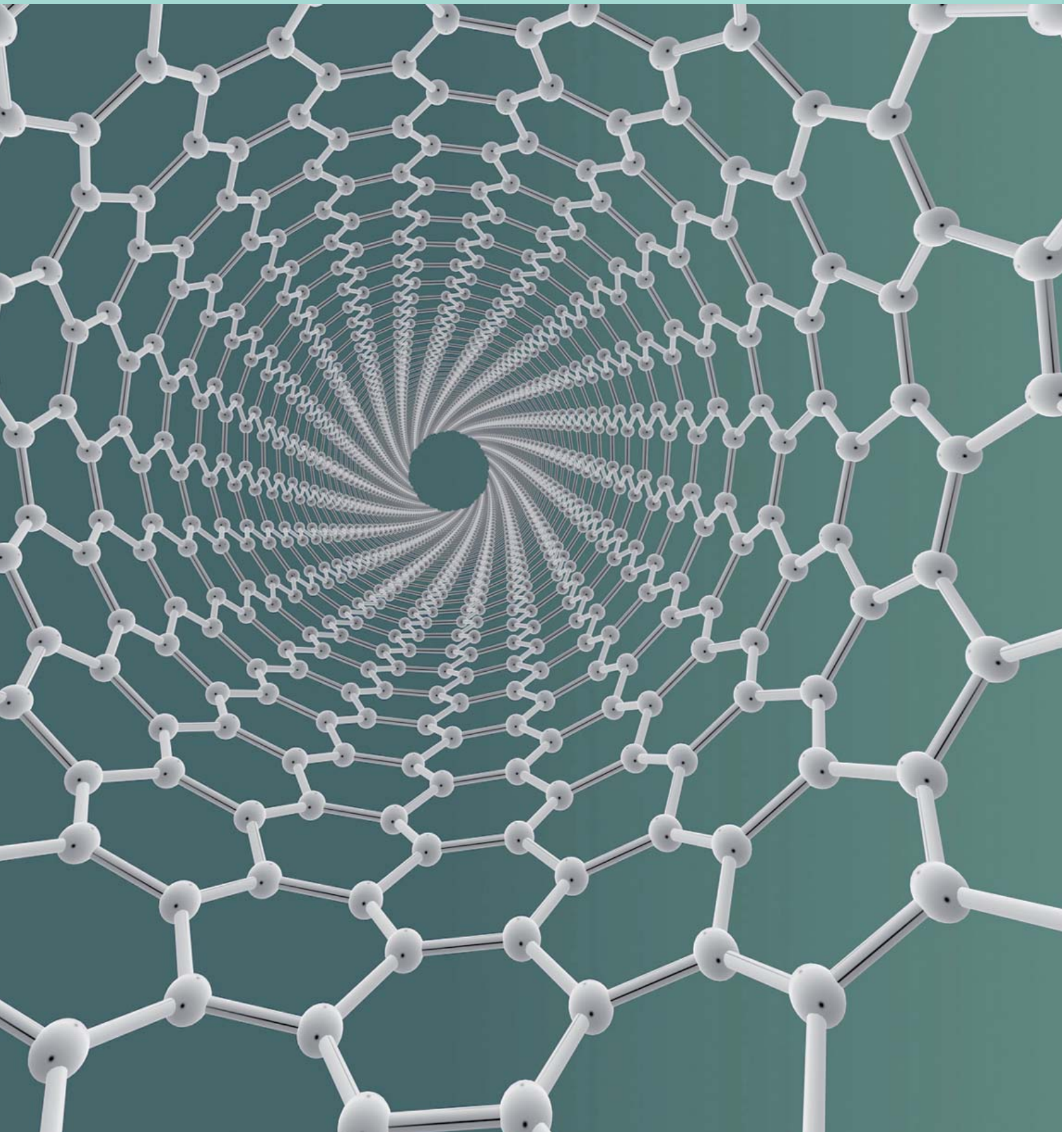


Weiterhin wurde Herr **Frank Kubisch** für die konstruktive Entwicklung einer modular aufgebauten Innenbeschichtungsoptik für das richtungsunabhängige 3D-Laser-Auftragschweißen prämiert. Das neuartige, vom IWS patentierte System für große Eintauchtiefen wird auf den Seiten 54 / 55 des Jahresberichtes detailliert vorgestellt.

Die **Sonderpreise** des Institutes gingen an Frau **Birgit Mörbe** für die hervorragende Betreuung und Beratung in allen Patentangelegenheiten sowie an Herrn **Frank Stauber** für sein außerordentliches Engagement bei der Betreuung der IT-Systeme.



# NETZWERKE







# DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 59 Institute. 17 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,6 Milliarden Euro. Davon fallen 1,3 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

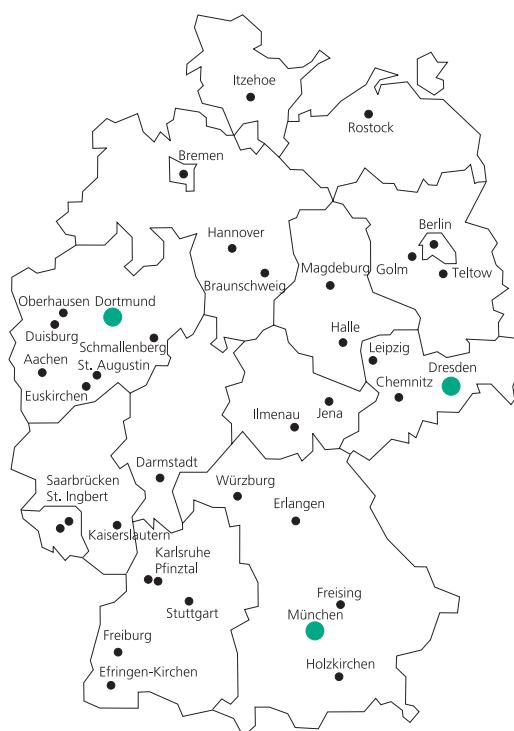
Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie

fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

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

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





## ANBINDUNG AN DIE TU DRESDEN

### LEHRSTUHL FÜR LASER- UND OBERFLÄCHENTECHNIK

2009 waren am Lehrstuhl 35 Mitarbeiter und 17 studentische Hilfskräfte beschäftigt. Die Drittmittelträge lagen über 1,0 Mio. €.

Der Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik ist Teil des Institutes für Oberflächen- und Fertigungstechnik der Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden. Die durchgeführten Projekte sind stärker grundlagenorientiert und ergänzend zu den Arbeiten des IWS angelegt.

Folgende Vorlesungen wurden angeboten:

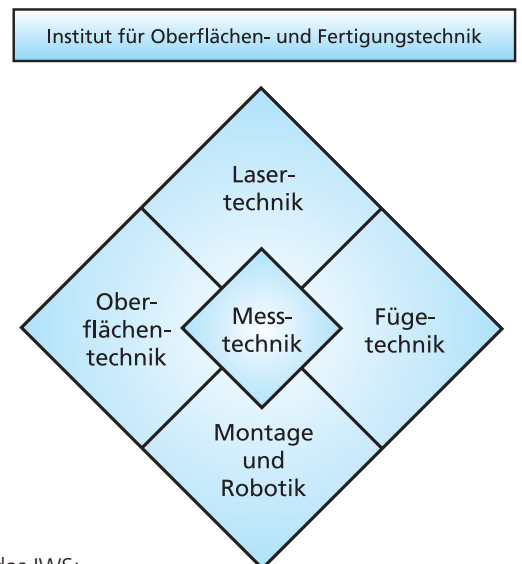
- Prof. Beyer: Fertigungstechnik II
- Prof. Beyer: Lasergrundlagen
- Prof. Beyer: Lasersystemtechnik
- Prof. Beyer: Plasmen in der Fertigungstechnik
- Prof. Beyer: Rapid Prototyping
- Prof. Beyer: Laserrobotik / Lasertronik
- Dr. Leson: Nanotechnologie
- Prof. Schulrich: Dünnschichttechnologie
- Prof.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



**Lehrstuhl**  
**Laser- und Oberflächentechnik LOT**

### KOOPERATION FRAUNHOFER IWS - TU DRESDEN

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



Vorteile für das IWS:

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

Vorteile für die TU:

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

## »DRESDEN-CONCEPT«

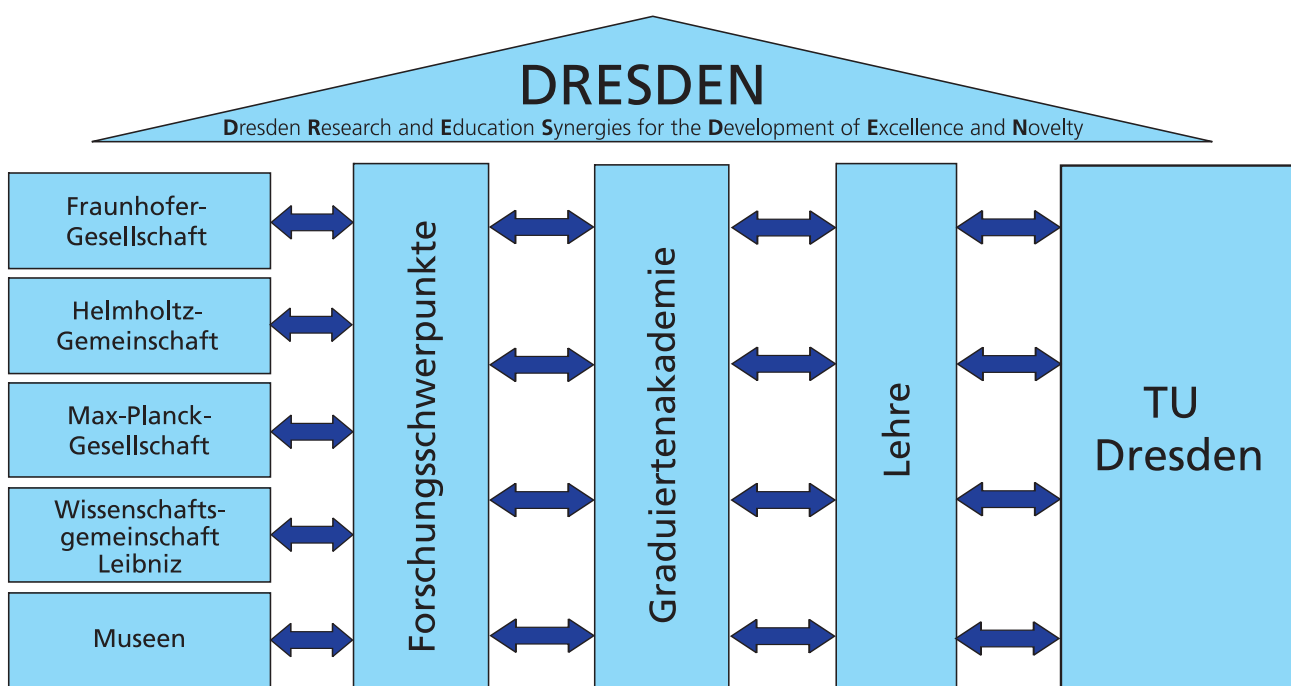
Dresden gehört zu den führenden Forschungsstandorten Deutschlands mit einer hohen Dichte wissenschaftlich arbeitender Institutionen: zehn Hochschulen, darunter die TU Dresden, die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW), 12 Fraunhofer-Einrichtungen, drei Institute der Max-Planck-Gesellschaft und vier Institute der Leibniz-Gemeinschaft, darunter das Forschungszentrum Dresden-Rossendorf.

Um diesen Vorsprung weiter auszubauen und die TU Dresden auf die nächste Runde der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder vorzubereiten, wird die Dresdner Wissenschaftslandschaft zu einem exzellenten Forschungs- und universitären Ausbildungsraum vernetzt. Dazu bilden seit Februar 2009 die TU Dresden und die in der Region Dresden ansässigen außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie Museen der Landeshauptstadt eine Allianz der Spitzenforschung, die es in dieser Form bisher in Deutschland und auch weltweit nicht gibt.

Der Name dieser Allianz ist ihr Programm: DRESDEN-concept (**D**resden **R**esearch and **E**ducation **S**ynergies for the **D**evelopment of **E**xcellence and **N**ovelty). In einem gemeinsamen Dresdner Forschungs- und universitären Ausbildungsraum werden Synergien zwischen den außeruniversitären Instituten und der TU Dresden hinsichtlich Forschung, Graduiertenausbildung und wissenschaftlicher Infrastruktur geschaffen.

Als konkrete Ziele des DRESDEN-concept wurden vereinbart:

- Definition gemeinsamer Forschungsschwerpunkte,
- Gründung von Graduiertenschulen in diesen Bereichen,
- Zusammenarbeit bei der Gewinnung exzellenter Wissenschaftler aus aller Welt,
- Nutzung von Synergien bei der vorhandenen Infrastruktur (Labore, Geräte) sowie der Ausbildung der Studenten.



## »DRESDNER INNOVATIONSZENTRUM ENERGIEEFFIZIENZ DIZE<sup>EFF</sup>«

Als erster »Bauabschnitt« des DRESDEN-concept startete im Februar 2009 das Dresdner Innovationszentrum Energieeffizienz DIZE<sup>EFF</sup>. Es ist eine themenspezifische Weiterentwicklung der bereits erfolgreichen und gut funktionierenden Kooperation zwischen der Technischen Universität Dresden und der Fraunhofer-Gesellschaft. Seit Jahren ist die Fraunhofer-Gesellschaft über die gemeinsame Berufung von Institutsleitern eng mit der Universität verzahnt.

Ziel des Innovationszentrums ist es daher, in enger wissenschaftlicher Zusammenarbeit sowohl die akademische Lehre und Forschung als auch die Innovationskompetenz beider Einrichtungen zu stärken. Dies wiederum kommt auch dem Forschungsstandort Dresden und der Region zugute.

4 Institute der Fraunhofer-Gesellschaft und 10 Institute der TU Dresden bündeln ihre jeweiligen Stärken und bearbeiten gemeinsam den Forschungsschwerpunkt Energieeffizienz in den Komplexen:

- Hochleistungssolarzellen,
- Leichtbau und energieeffiziente Fertigung,
- Energiesparende Displays,
- Hochtemperatur-Energietechnik,
- Brennstoffzellen.

In diesen Bereichen besteht seitens der Industrie ein hoher Bedarf an Forschungsleistungen und an herausragend ausgebildeten Naturwissenschaftlern und Ingenieuren.

Das Fraunhofer IWS koordiniert das Verbundprojekt und ist autorisierter Ansprechpartner.

### PROJEKTKOORDINATION

#### PROF. ECKHARD BEYER

Telefon +49 351 83391-3420  
eckhard.beyer@iws.fraunhofer.de



### ANSPRECHPARTNER

#### DR. STEFAN SCHÄDLICH

Telefon +49 351 83391-3411  
stefan.schaedlich@iws.fraunhofer.de



[www.dresden.fraunhofer.de/energieeffizienz/energieeffizienz.html](http://www.dresden.fraunhofer.de/energieeffizienz/energieeffizienz.html)  
[www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)





Das Dresdner Innovationszentrum Energieeffizienz erreicht durch die enge Verbindung der Grundlagenforschung an der Technischen Universität Dresden mit der Kompetenz zur industriellen Umsetzung von Fraunhofer eine höhere Leistungsfähigkeit. Die Geschwindigkeit der Einführung von Innovationen in die industrielle Praxis steigt. Damit stärken Universität und Fraunhofer den Wirtschaftsstandort Deutschland.

Innerhalb des Dresdner Innovationszentrums engagieren sich die TU Dresden und die Fraunhofer-Gesellschaft intensiv für die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Sie bieten jungen Forscherinnen und Forschern an ihren hervorragend ausgestatteten Standorten attraktive Arbeitsbedingungen.

Von der Fraunhofer-Gesellschaft wird das Innovationszentrum mit sechs Millionen Euro gefördert, der Freistaat Sachsen stellt weitere vier Millionen Euro bereit. Damit werden in den Jahren 2009 bis 2013 zahlreiche hochqualifizierte Arbeitsplätze im Wissenschaftsbereich finanziert. Zusätzliche finanzielle Mittel aus der Industrie garantieren die Schaffung von weiteren Wissenschaftlerstellen in den Folgejahren.

TU - Institute	Fraunhofer - Institute	Werkstoff- und Strahltechnik	Elektronenstrahl- und Plasmatechnik	Keramische Technologien und Systeme	Photonische Mikrosysteme
Oberflächen- und Fertigungstechnik		■			
Anorganische Chemie		□		□	
Angewandte Physik			□	□	
Werkstoffwissenschaft				■	
Angewandte Photophysik					□
Leichtbau und Kunststofftechnik		□			
Halbleiter- und Mikrosystemtechnik					□
Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik					□
Festkörperelektronik			□		
Energietechnik			□	□	



## PROJEKTGRUPPE IM DORTMUNDER OBERFLÄCHENCENTRUM (DOC)

Das DOC Dortmund Oberflächen-Centrum entwickelt maßgeschneiderte Beschichtungen, die in kontinuierlichen Verfahren auf Stahlband applizierbar sind. Entwicklungsziele sind die Weiterentwicklung von Funktionen wie Korrosionsbeständigkeit, Kratzfestigkeit oder Reinigungseigenschaften.

Das Fraunhofer IWS ist als Kooperationspartner direkt am DOC® mit einer Projektgruppe vertreten. Schwerpunkte der Entwicklungstätigkeiten dieser Gruppe liegen in der Beschichtung von Oberflächen mittels PVD-, PACVD- sowie in Spritzverfahren und der Lasermaterialbearbeitung.

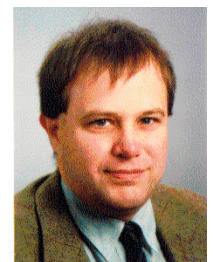
Ein herausragendes Ergebnis dieser Zusammenarbeit sind neuartige Zink-Legierungsüberzüge (ZE-Mg). Sie vereinen bei einer Halbierung der Überzugsdicke die sehr gute Korrosionsbeständigkeit bewährter Zinküberzüge mit einer wesentlich verbesserten Laserschweißignung. Außerdem wurden Hybrid- und Kombinationsprozesse entwickelt, insbesondere das Hybrid-schweißen von hochfesten Stahlbaukomponenten. Auch Kombinationen aus Reinigen und Schweißen oder aus Schweißen und Nachverzinken sind möglich.

Darüber hinaus bietet die Fraunhofer-Projektgruppe auf einer Fläche von 1100 m<sup>2</sup> eine Reihe sich ergänzender Verfahren zur Oberflächenveredlung 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 Höchst-

### LEITER DER PROJEKTGRUPPE AM DOC IN DORTMUND

**DR. AXEL ZWICK**

Telefon +49 231 844 3512  
[www.iws.fraunhofer.de/doc](http://www.iws.fraunhofer.de/doc)



leistungsschichten, z. B. mit Diamor®-Schichtsystemen, versehen. Diese zeichnen sich durch eine überragende Härte und exzellente Gleiteigenschaften aus. Schichtsysteme mit zusätzlichem Korrosionsschutz sind in der Entwicklung.

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



## PROJECT CENTER (PCW) LASER INTEGRATED MANUFACTURING IN WROCŁAW

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

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

Eine ganze Reihe gemeinsamer Projekte ist bereits geplant. Beispielsweise sollen durch Laserverfahren Strukturen aufgebaut werden, die in zwischen- und nachgeschalteten Arbeitsschritten in derselben Aufspannung mechanisch endbearbeitet werden. Mit diesem und ähnlichen Projekten soll das Rapid-Prototyping zum Rapid-Manufacturing mit dem Ziel der individuellen Einzelproduktion durch generierende Verfahren erweitert werden.

### INSTITUTSDIREKTOR

**PROF. EDWARD CHLEBUS**

TU Wrocław

Telefon +48 71 320 2705



### PROJEKTKOORDINATION

**DR. JAN HAUPTMANN**

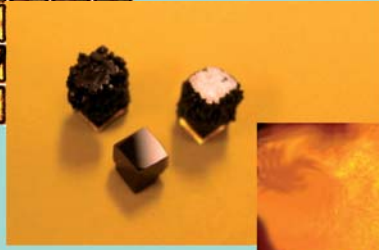
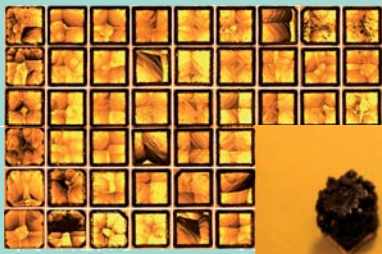
Fraunhofer IWS

Telefon +49 351 83391-3236



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

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



## FRAUNHOFER CENTER FOR COATINGS AND LASER APPLICATIONS (CCL)

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

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

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

### Coating Technology Division

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

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

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

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



## Laser Applications Division

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

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

Die enge Vernetzung mit dem Fraunhofer CCL bietet dem IWS mehrere Vorteile. Über Angebot und Nachfrage werden neue Trends und Entwicklungen in den USA schneller erkannt, wodurch die Entwicklungsrichtungen im IWS beeinflusst werden. Durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den USA entsteht zusätzliches Know-how und eine erweiterte Kompetenz, welche der Akquisition auf dem deutschen und europäischen Markt zugute kommt. Durch einen zeitweisen Aufenthalt von IWS-Mitarbeitern in den USA werden Erfahrungen gesammelt, die dem Mitarbeiter während seiner gesamten beruflichen Laufbahn zugute kommen.

### CENTER DIRECTOR CCL / USA

**PROF. JES ASMUSSEN**

Telefon +1 517 355 4620



### LEITER DER DIVISION COATING TECHNOLOGY

**DR. THOMAS SCHÜLKE**

Telefon +1 517 432 8173

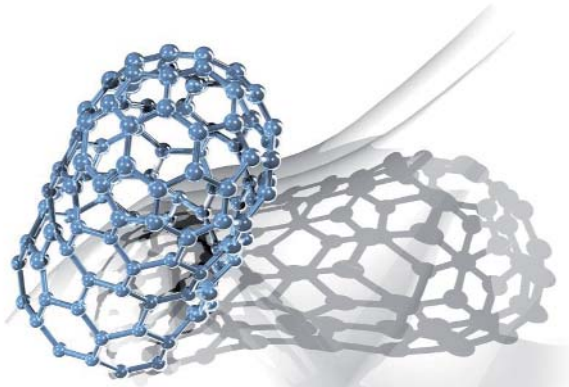


### LEITER DER DIVISION LASER APPLICATIONS

**CRAIG BRATT**

Telefon +1 734 738 0550





# nano for production

## NANOTECHNOLOGIE-AKTIVITÄTEN

Von der Nanotechnologie können alle Branchen profitieren - vom Autobau bis zur Medizintechnik. Damit die Forschungsergebnisse dieser Zukunftstechnologie in Deutschland schneller und besser in Anwendungen umgesetzt werden, kooperieren Forscher und Unternehmer. In Dresden, einem erfolgreichen Standort für Nanotechnologie, arbeiten Firmen und Forschungseinrichtungen seit November 2006 im **Nanotechnologie-Innovationscluster »nano for production«** zusammen. Ziel der Arbeit des Innovationsclusters ist es, nanotechnologische Entwicklungen aus dem Stadium der Grundlagenforschung an die Schwelle zur industriellen Einführung zu bringen und damit die Voraussetzungen für eine breite wirtschaftliche Nutzung zu schaffen. Zum anderen werden wesentliche Elemente der Nanoproduktionstechnik entwickelt, erprobt und für einen weiten Anwenderkreis zugänglich gemacht.

Zur konsequenten Erschließung dieser industriellen Anwendungsmöglichkeiten haben sich im September 1998 51 Unternehmen, 10 Hochschulen, 22 außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und 5 Verbände im **Nanotechnologie-Kompetenzzentrum »Ultradünne funktionale Schichten«** zusammengeschlossen, welches vom BMBF als bundesweites Kompetenzzentrum für den Bereich ultradünne funktionale Schichten ausgezeichnet wurde. Die Arbeiten des Kompetenzzentrums konzentrieren sich auf den Bereich der Öffentlichkeitsarbeit (z. B. Teilnahme an Messen, Unterstützung und Durchführung von Veranstaltungen) bis hin zur Ausschreibung und Förderung von Machbarkeitsstudien.

Im Rahmen der Nanotechnologie-Aktivitäten war das IWS in den letzten Jahren Mitorganisator der »Nanofair – Internationales Nanotechnologie-Symposium«, welche am 26. und 27.

### PROJEKTKOORDINATION

#### DR. ANDREAS LESON

Telefon +49 351 83391-3317  
andreas.leson@iws.fraunhofer.de



### KOMPETENZZENTRUM

#### DR. RALF JÄCKEL

Telefon +49 351 83391-3444  
ralf.jaekel@iws.fraunhofer.de



### INNOVATIONSCLUSTER

#### DR. OTMAR ZIMMER

Telefon +49 351 83391-3257  
otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de



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

Mai 2009 zum 7. Mal stattfand. Bereits jetzt wird die 8. Nanofair vorbereitet, die am 6. und 7. Juli 2010 im Internationalen Kongresszentrum Dresden in der gemeinsamen Trägerschaft der Landeshauptstadt Dresden, Amt für Wirtschaftsförderung und des Fraunhofer IWS Dresden stattfinden wird.



## LASERINTEGRATION IN DIE FERTIGUNGSTECHNIK - INITIATIVE LiFT

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

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

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

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

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

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

### PROJEKTKOORDINATION

#### DR. STEFFEN BONSS

Telefon +49 351 83391-3201  
steffen.bonss@iws.fraunhofer.de



### ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

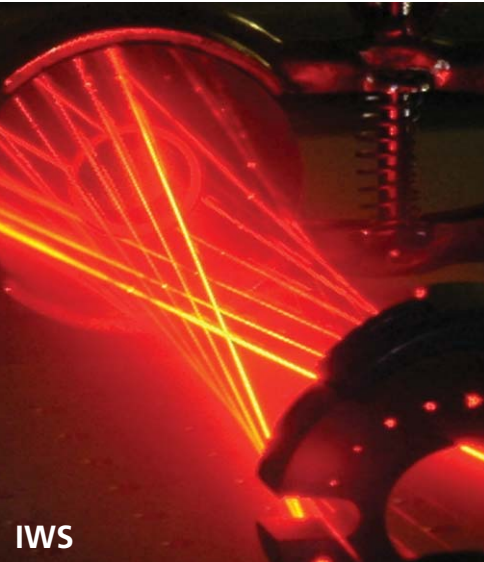
#### CLAUDIA ZELLBECK

Telefon +49 351 83391-3332  
claudia.zellbeck@iws.fraunhofer.de

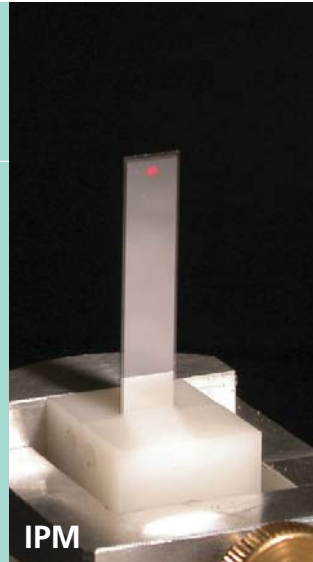


[www.laserintegration.de](http://www.laserintegration.de)  
[www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)

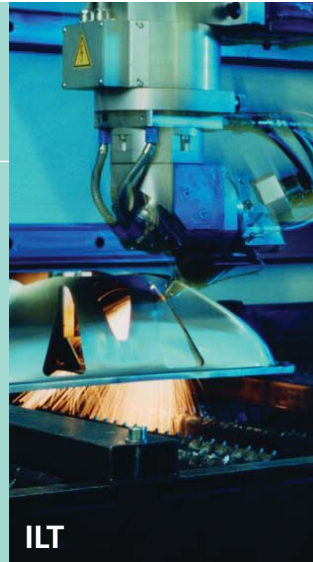
Beratungen anhand von bereits realisierten Beispielen und individuellen Anforderungen im Einzelfall sind unabdingbar und gehören zu den Kernaufgaben des Projektes. Neben der Informations- und Beratungsleistung werden im Rahmen des Projektes auch Erprobungen in begrenztem Umfang durchgeführt.



IWS



IPM



ILT



IST

## FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

Oberflächentechnik und Photonik stellen zwei Kernkompetenzen der Fraunhofer-Gesellschaft dar. Ihre Komplexität besteht einerseits in der Bedeutung der Oberflächentechnik für die Herstellung optischer und optoelektronischer Komponenten und Produkte und andererseits in der zunehmenden Bedeutung der Lasertechnik für oberflächentechnische Produktions- und Messverfahren. Um ihre Kompetenzen abgestimmt einzusetzen und strategische Entwicklungen gemeinsam voranzutreiben, haben sich sechs Fraunhofer-Institute zum Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces zusammengeschlossen.

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und  
Feinmechanik IOF  
[www.iof.fraunhofer.de](http://www.iof.fraunhofer.de)

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

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT  
[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM  
[www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)

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

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

### FORSCHUNG IM VERBUND LIGHT & SURFACES

Die Kernkompetenzen des Verbunds bestehen in der Entwicklung von Schichtsystemen und Beschichtungsprozessen für verschiedenste Anwendungen, Funktionalisierung von Oberflächen, Entwicklung von Strahlquellen, Entwicklung mikrooptischer und präzisionsmechanischer Systeme, Materialbearbeitung sowie in der optischen Messtechnik. Rund 1080 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern mit einem Budget von 86 Mio. € arbeiten in dem Verbund an einer Vielzahl von Forschungsthemen.

Schwerpunkte der Forschungsaktivitäten der beteiligten Laserinstitute sind die Entwicklung von innovativen Laserstrahlquellen und -komponenten und die Entwicklung von Technologien und Anlagenkonzepten zur Lasermaterialbearbeitung sowie zur Laserintegration in die moderne Fertigung. Zunehmende Bedeutung gewinnt dabei die Entwicklung und Erprobung der dazugehörigen Systemtechnik zur Prozessüberwachung, -steuerung und -regelung sowie Qualitätskontrolle.

Oberflächentechnik und Photonik sind Schlüsseltechnologien, die mit wachsendem technologischen Fortschritt in einer Vielzahl von Anwendungen, wie der Fertigungstechnik, der optischen Sensorik, der IuK-Technik und im Bereich der Biomedizintechnik, eingesetzt werden.





IOF



FEP

**VORTEILE DER KOOPERATION**

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.

Zum Nutzen des Kunden wird ein breiteres Leistungsangebot erzielt.

*Kompetenzverteilung und Leistungsschwerpunkte im Verbund*

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

**Verbundvorsitz:**

Prof. Dr. Eckhard Beyer  
(bis 31.08.2009)  
Tel.: +49 351 83391-3324  
Fax: +49 351 83391-3300  
eckhard.beyer@iws.fraunhofer.de

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

Prof. Dr. Andreas Tünnermann  
(ab 1.09.2009)  
Tel.: +49 3641 807-201  
Fax: +49 3641 807-600  
andreas.tuennermann@  
iws.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik  
Albert-Einstein-Straße 7  
07745 Jena

www.vop.fraunhofer.de

# BESONDERE EREIGNISSE



## **09. JANUAR 2009**

Kolloquium »Lasermaterialbearbeitung mit innovativer Systemtechnik« zu Ehren des 61. Geburtstages von Dr. Lothar Morgenthal

## **21. JANUAR 2009**

Workshop »AMZ-Campus: Unternehmer und Forschung im Gespräch« der Verbundinitiative Automobilzulieferer Sachsen im Fraunhofer IWS Dresden

## **29. – 30. JANUAR 2009**

Tagung »Laseranwendung in Restaurierung und Denkmalpflege – Grundlagen, Chancen, Perspektiven« der DBU in Osnabrück (Organisator: Fraunhofer IWS Dresden)

## **27. FEBRUAR 2009**

Eröffnungsveranstaltung des Dresdner Innovationszentrums Energieeffizienz der TU Dresden und der Fraunhofer-Gesellschaft

## **04. - 05. MÄRZ 2009**

Workshop »Laser + Blech – Lasereinsatz in der Blechbearbeitung« des Carl-Hanser-Verlages in Dortmund (Mitorganisator: Fraunhofer IWS Dresden)

## **10. – 11. MÄRZ 2009**

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

## **23. APRIL 2009**

Beteiligung des Fraunhofer-Institutszentrums am bundesweiten »Girls Day«

## **15. MAI 2009**

»Technology Day Dresden« - 5. Treffen der ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer IWS Dresden und des Lehrstuhls LOT der TU Dresden

## **25. MAI 2009**

»Nachwuchsforum« – Veranstaltung im Rahmen der »Nanofair 2009« (Organisator: Fraunhofer IWS Dresden)

## **26. – 27. MAI 2009**

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



### **28. – 29. MAI 2009**

»Commercializing Future Technologies for Energy and Energy Efficiency« – Veranstaltung mit Gästen aus Japan und Großbritannien im Rahmen der »Nanofair 2009« (Organisator: Fraunhofer IWS Dresden)

### **19. JUNI 2009**

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

### **30. SEPTEMBER – 01. OKTOBER 2009**

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

### **20. – 22. OKTOBER 2009**

V2009 – Industrieausstellung und Workshopwoche »Vakuumbeschichtung und Plasmaoberflächentechnik« der Europ. Forschungsgesellschaft »Dünne Schichten« (EFDS) e.V. (Mitorganisator: Fraunhofer IWS Dresden)

*Bild links:*

*Professor Beyer während der Eröffnung der »Langen Nacht der Wissenschaft« der Landeshauptstadt Dresden*

*Bild rechts:*

*Eine Tanzshow eröffnet den Internationalen Faserlaser-Workshop im Kongresszentrum Dresden*

# VERÖFFENTLICHUNGEN

**RV** = Rezensierte Veröffentlichung

## [L01]

T. Abendroth, H. Althues,  
B. Leupolt, W. Grählert, S. Kaskel

»Atmosphärendruck-CVD liefert dünne, photokatalytisch aktive Tiandioxid-Schichten«

Branchenindex Galvanotechnik /  
Dünne Schichten 1 (2009)

## [L02]

D.-F. Acevedo, A.-F. Lasagni,  
M. Cornejo, M. Politano,  
C. Barbero, F. Mücklich

»Large Area Fabrication of Tuned Polystyrene / Poly(Methylmethacrylate) Periodic Structures Using Laser«

The ACS Journal of Surfaces and Colloids 25 (2009) 16, S. 9624-9628

## [L03]

V. Albrecht, T. Himmer, J. Thieme

»Die entscheidende Wellenlänge besser«

Reportage, Industrieanzeiger 11 (2009)

## [L04]

H. Althues, R. Pötschke, G.-M. Kim,  
S. Kaskel

»Structure and Mechanical Properties of Transparent ZnO / PBDMANanocomposites«

Journal of Nanoscience and Nanotechnology 9 (2009) 4, S. 2739-2745

## [L05]

H.-A. Bahr, M. Hofmann,  
H.-J. Weiss, U. Bahr, G. Fischer,  
H. Balke

»Diameter of Basalt Columns Derived from Fracture Mechanics Bifurcation Analysis«

Physical Review. E 79 (2009) 5,  
Art. 056103, S. 9

## [L06]

F. Bartels, A. Klotzbach, T. Schwarz,  
A. Techel, E. Beyer

»Gesteigerte Dynamik für das Laserstrahlschneiden«

Maschinenmarkt MM, das Industriemagazin (2009) 23, S. 24-26,  
ISSN 0341 5775

## [L07]

L.-M. Berger, K. Lipp, U. May

»Influence of the Substrate Hardness on the Rolling Contact Fatigue of WC-17% Co Hardmetal Coatings«

International Thermal Spray Conference, 04.-07. Mai 2009, Las Vegas, USA, Proc. Eds.: B. R. Marple, M. M. Hyland, Y.-C. Lan, C. S. Li, R. S. Lima, G. Montavon, Mater. Park / OH, ASM International (2009) S. 1036-1040

## [L08]

L.-M. Berger, S. Saaro, C.-C. Stahr,  
S. Thiele, M. Woydt

»Entwicklung keramischer Schichten im System Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>«

Thermal Spray Bulletin 2 (2009) 1,  
S. 64-77, ISSN 1866 6248

## [L09]

L.-M. Berger, J. Spatzier,  
J. Bretschneider, K. Lipp, S. Thiele

»Rollkontaktermüdung von HVOF-gespritzten Hartmetallschichten auf ungehärteten Substraten«

Thermal Spray Bulletin 2 (2009) 2,  
S. 40-56

## [L10]

L.-M. Berger, C.-C. Stahr, S. Saaro,  
S. Thiele, M. Woydt, N. Kelling

»Dry Sliding up to 7.5 m / s and 800 °C of Thermally Sprayed Coatings of the TiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> System and (Ti,Mo)(C,N)-Ni(Co)«

Wear 267 (2009) 5-8, S. 954-964

## [L11]

L.-M. Berger, C.-C. Stahr, S. Saaro,  
S. Thiele

»Microstructure and Electrical Properties of Coatings of the Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> System«

International Thermal Spray Conference, 04.-07. Mai 2009, Las Vegas, USA, Proc. Eds.: B. R. Marple, M. M. Hyland, Y.-C. Lan, C. S. Li, R. S. Lima, G. Montavon, Mater. Park / OH, ASM International (2009) S. 103-108

## [L12]

L.-M. Berger, C.-C. Stahr,  
F.-L. Toma, S. Saaro, M. Herrmann,  
D. Deska, G. Michael, S. Thiele

»Korrosion thermisch gespritzter oxidkeramischer Schichten «

Thermal Spray Bulletin 2 (2009) 1,  
S. 40-56

## [L13]

L.-M. Berger, M. Woydt, S. Saaro

»Comparison of Self-Mated Hardmetal Coatings Under dry Sliding Conditions up to 600 °C«

Wear 266 (2009) 3-4, S. 404-416

## [L14]

L.-M. Berger, C.-C. Stahr, S. Saaro,  
S. Thiele, M. Woydt

»Dry Sliding Wear Properties of Thermal Spray Coatings in the TiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> System«

International Symposium on Friction, Wear and Wear Protection, 09.-11. April 2008, Aachen Proc. Eds.: A. Fischer, K. Bobzin, Weinheim, Wiley-VCH (2009) S. 404-416

## [L15]

E. Beyer, M. Lütke, F. Bartels,  
T. Himmer

»Übersichtsvortrag Schneiden«

Laser+Blech 2009, Carl Hanser Verlag Tagungsband, CD-ROM

## [L16]

E. Beyer, M. Lütke, A. Klotzbach,  
A. Wetzig

»Advanced Remote Cutting of Non-metal Webs and Sheets«

28th International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics ICALEO, Orlando/USA Proceedings, Cutting, Orlando / USA (2009), Paper 609, ISBN: 978 0 912035 59 8

## [L17]

B. Brenner, J. Standfuß, U. Stamm,  
G. Göbel, S. Schrauber, V. Fux,  
A. Mootz

»Industrial Laser Beam Welding of Hart-to-Weld Materials for Powertrain Components«

Automotive Laser Application Workshop, 13.-14. Mai 2009, Plymouth, USA, Tagungs-CD

## [L18] RV

P. Bringmann, O. Rohr,  
F.-J. Gammel, I. Jansen

»Atmospheric Pressure Plasma Deposition of Adhesion Promotion Layers on Aluminium«

Plasma Process. Polym. (2009) 6,  
S. 496-502

## [L19]

F. Brückner, D. Lepski, E. Beyer

»Calculation of Stresses in two- and three-Dimensional Structures Generated by Induction Assisted Laser Cladding«

Proceedings of The 5th International WLT-Conference Lasers in Manufacturing, Stuttgart: AT-Fachverlag GmbH (2009), S.115-121



- [L20]**  
S. Bonß  
»Laserstrahlhärten – Integration in die Fertigung ermöglicht schlanke Prozesse«  
Werkstoffe in der Fertigung, Ausgabe 3 (2009), S. 27-28
- [L21]**  
S. Bonß, B. Brenner, E. Beyer  
»Laser Beam Hardening – Energy Efficient Heat Treatment«  
28th International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics ICALEO, Orlando/USA  
Proceedings, Surface Modification II, Paper 502, Orlando/USA, 2009, ISBN: 978 0 912035 59 8
- [L22]**  
S. Bonß, J. Hannweber, U. Karsunke, M. Seifert, B. Brenner, E. Beyer  
»Precise Laser Automotive Die Hardening«  
Heat Treating Progress März/April 9 (2009) 2, S. 44-47
- [L23]**  
S. Bonß, C. Zellbeck  
»Laserstrahlhärten – Integration in die Fertigung ermöglicht schlanke Prozesse«  
VDWF im Dialog, Ausgabe 1 (2009), S. 18-20
- [L24]**  
S. Bonß, C. Zellbeck  
»Laserintegration in die Fertigungstechnik«  
Produktionstechnik (2009), S. 40-41
- [L25]**  
R. Böhme, L. Girdauskaite, I. Jansen, S. Krzywinski  
»Komplexe 3D-Bauteile maßgeschneidert! - Reproduzierbare Preformfertigung für textilverstärkte Kunststoffe«  
Lightweightdesign (2009) 6, S. 34-39
- [L26]**  
J. Chen, C.-J. Lee, E. Louis, F. Bijkerk, R. Kunze, H. Schmidt, D. Schneider, R. Moors  
»Characterization of EUV Induced Carbon Films Using Laser-Generated Surface Acoustic«  
19th European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes, Nitrides and Silicon Carbide, 7.-11. September 2008, Amsterdam, Niederlande
- [L27]**  
J. Chen, E. Louis, C.-J. Lee, H. Wormeester, R. Kunze, H. Schmidt, D. Schneider, R. Moors, W. van Schaik, M. Lubomska, F. Bijkerk  
»Detection and Characterization of Carbon Contamination on EUV Multilayer Mirrors«  
Optics Express 17 (2009) 19, S. 16969-16979
- [L28]**  
I. Dani, E. Lopez, D. Linaschke, S. Kaskel, E. Beyer  
»Trockenätzen von Solarwafern mit Oberflächenstrukturen im sub-Mikrometer Bereich«  
EFDS Workshop 2009, Mikro- und Nanostrukturen an Oberflächen - Herstellung und Anwendungen, Dresden, 09. Oktober 2009, Tagungsband S. 5
- [L29]**  
I. Dani, G. Mäder, P. Grabau, B. Dresler, D. Linaschke, E. Lopez, S. Kaskel, E. Beyer  
»Atmospheric-Pressure Plasmas for Solar Cell Manufacturing«  
Contrib. Plasma Phys. 49 (2009) 9, S. 662-670
- [L30]**  
I. Dani, E. Lopez, B. Dresler, D. Linaschke, M. Leistner, W. Grähler, S. Kaskel, E. Beyer  
»Atmospheric Pressure Plasma Processes for Crystalline Silicon Wafer Processing«  
Complete Works of Innovative Solar Cell Technology taiyo denchi kakushinteki gijutuzenshuu 2009 Edition, S. 179-196  
Publisher: Association of Information Technology (gijutsu johokyoikai)  
ISBN978-4-86104-297-3 C3054
- [L31]**  
P.-A. Dearnley, A. Neville, S. Turner, H.-J. Scheibe, R. Tietema, R. Tap, M. Stüber, P. Hovsepian, A. Layous, B. Stenbim  
»Coatings Tribology Drivers for High Density Plasma Technologies«  
Surface Engineering 26 (2010) 1-2, S. 80-96
- [L32]**  
G. Dietrich, S. Braun, P. Gawlitza, A. Leson  
»Reaktive Nanometer-Multischichten als maßgeschneiderte Wärmequellen beim Fügen«  
Vakuum in Forschung und Praxis 21 (2009) 1, S. 15-21
- [L33]**  
D. Dittrich, B. Brenner, G. Kirchhoff, A. Reim, P. Horst, M. Sähn, J. Hackius  
»Advanced Structure Concepts for Closed Metallic Stringer Geometries Regarding Lower and Upper Fuselage«  
European Conference on Materials and Structures in Aerospace, 01.-02. Juli 2009, Augsburg
- [L34]**  
C. Dölle, S. Böhm, M. Peschka, I. Jansen, S. Markus  
»Klebertechnische Gemeinschaftsforschung im Auftrag der Industrie«  
Adhäsion. Kleben & Dichten 53 (2009) 5, S. 34-37
- [L35]**  
K. Florschütz, A. Schröter, M. Körner, S. Schmieder, F. Sonntag, U. Klotzbach, G. Kunze  
»Nachweis phytopathogener RNA – Viren«  
9. Dresdner Sensor-Symposium / DECHEMA e.V., Dresden
- [L36]**  
V. Franke, U. Klotzbach  
»Lasers Join Ceramic and Polymer Components«  
Industrial Laser Solutions 24 (2009) 10, S. 10-14
- [L37]**  
V. Fux  
»Induktiv unterstütztes Laserwalzplattieren: Schwer schweißbare metallische Werkstoffe schnell und effektiv verbinden«  
Photonik 2 (2009), S. 15-16
- [L38]**  
V. Fux, K. Merz, B. Brenner  
»Laser-Walzplattieren erzeugt attraktive Werkstoffpaarungen: Bandbeschichtung«  
Maschinenmarkt. MM, das Industriemagazin (2009) 5, S. 42-45
- [L39]**  
M. Gelsinsky, K. Meißner, A. Lode, B. Nies, S. Glorius, F. Sonntag  
»3D-Plotten von Calciumphosphat-Zementpasten: Ein neues Verfahren zur Herstellung von Biokeramiken mit definierten Geometrien«  
Biomaterialien 10 (2009) 3/4, S. 110
- [L40]**  
L. Girdauskaite, S. Krzywinski, H. Rödel, R. Böhme, I. Jansen  
»Trockene Preforms für komplexe Faserverbundkunststoffbauteile«  
Technische Textilien (2009) 6, S. 280-282
- [L41]**  
K.-W. Hemawan, I.-S. Wichman, T. Lee, T.-A. Grotjohn, J. Asmussen  
»Compact Microwave Re-Entrant Cavity Applicator for Plasma-Assisted Combustion«  
Review of Scientific Instruments 80 (2009) 5, Art. 053507, S. 9
- [L42]**  
J. Hildebrand, F. Werner, R. Rechner, M. Müller, I. Jansen  
»Experimentelle Untersuchungen zu Klebstoffen für Glas-Kunststoff-Hybridelemente«  
17. Internationale Baustofftagung, 23.-26. November 2009, Weimar, Bd. 2, S. 961-966
- [L43]**  
D. Hrunski, W. Grähler, H. Beese, T. Kilper, A. Gordijn, W. Appenzeller  
»Control of Plasma Process Instabilities During Thin Silicon Film Deposition«  
Thin Solid Films 517 (2009), S. 4188-4191
- [L44]**  
A. Jahn, J. Standfuß, B. Brenner, M. Ahnert, T. Kühn, R. Mauermann  
»Bessere Umformigenschaften und Belastbarkeit von Karosseriebauteilen durch lokales Laserstrahlverfestigen«  
Schweißen und Schneiden 61 (2009) 5, S. 249-253
- [L45] RV**  
I. Jansen, D. Schneider, R. Häbler  
»Laser-Acoustic, Thermal and Mechanical Methods for Investigations of Bond Lines«  
International Journal of Adhesion and Adhesives 29 (2009) 2, S. 210-216

**[L46]**

J. Kaspar, J. Bretschneider, S. Bonß, B. Brenner

»Laser Nitriding: A Promising Way to Improve the Cavitation Erosion Resistance of Components Made of Titanium Alloys«

International Symposium on Friction, Wear and Wear Protection, 09.-11. April 2008, Aachen

**[L47]**

J. Kaspar, B. Brenner, A. Luft, F. Tietz, J. Bretschneider

»Enhanced Wear Resistance of Precipitation Hardening Steels by Laser Solution Annealing and Subsequent Aging Treatment«

International Symposium on Friction, Wear and Wear Protection, 09.-11. April 2008, Aachen

**[L48]**

D.-Y. Kim, B. Merzougui, G.-M. Swain

»Preparation and Characterization of Glassy Carbon Powder Modified with a Thin Layer of Boron-doped Ultrananocrystalline Diamond«

Chemistry of Materials 21 (2009) 13, S. 2705-2713

**[L49]**

A. Klausch, H. Althues, C. Schrage, P. Simon, A. Szatkowski, M. Bredol, S. Kaskel

»Preparation of Luminescent ZnS : Cu Nanoparticles for the Functionalization of Transparent Acrylate Polymers«

Journal of Luminescence (accepted)

**[L50]**

U. Klotzbach

»Verfahrensgrundlagen / Gerätetechnik für die Laserrestaurierung«

Laseranwendung in der Restaurierung und Denkmalpflege; Osnabrück

**[L51]**

U. Klotzbach, V. Franke, W. Gries, R. Patel, M. Kauf

»Faserbasierte UV-Lasersysteme für die Polymerelektronik«

EFDS Workshop 2009, Laseranwendung in der Elektronik- und Photovoltaik-Industrie, Dresden, 23. Juni 2009, Tagungsband S. 6/1-11

**[L52]**

U. Klotzbach, M. Panzner, L. Morgenthal, E. Beyer, M. Theuer, B. Pradarutti

»Chancen und Möglichkeiten der THz- Messtechnik für Kunst- und Kulturgut«

Laseranwendung in der Restaurierung und Denkmalpflege; Osnabrück

**[L53]**

A. Klotzbach, T. Schwarz, F. Bartels, A. Wetzig, E. Beyer

»High dynamic axes systems for laser processing "on the fly«

Proceedings of the 5th International WLT-Conference Lasers in Manufacturing, Stuttgart: AT-Fachverlag GmbH (2009), S.221-227

**[L54]**

A. Lange, A. Cramer, E. Beyer

»Thermoelectric Currents in Laser Induced Melts Pools«

Journal of Laser Applications 21 (2009) 2, Melville/New York, USA ISSN 1042-346X

**[L55]**

A.-F. Lasagni

»Direct Laser Interference Patterning - An Overview on one-Step Fabrication of Periodic Arrays«

Proceedings of the 7th International Nanotechnology Symposium »Nanofair 2009«, Dresden, 26.-27. Mai 2009, S 26-27, ISBN: 978 3 00 027076 5

**[L56]**

A.-F. Lasagni

»Large Area Fabrication of Micro and Nano Periodic Structures on Polymers by Direct Laser Interference Patterning«

17. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium, Dresden, 30.-31. Oktober 2009, S 15-19

**[L57]**

A.-F. Lasagni, M. Bieda, J. Berger, B.S. Menéndez-Ormaza

»Exploring the Possibilities of Direct Laser Interference Patterning for the Fabrication of Periodic Arrays on Macroscopic Areas«

Journal Scientific Reports der Hochschule Mittweida, Proceedings of the 20. Internationalen Wissenschaftlichen Konferenz Mittweida, 4 (2009), ISSN 1437-7624, 112-115

**[L58]**

A.-F. Lasagni, M. Bieda, J. Berger, T. Roch, B.-S. Menéndez-Ormaza

»Herstellung von periodischen Oberflächenstrukturen mittels Laserinterferenzstrukturierung«

EFDS Workshop 2009, Mikro- und Nanostrukturen an Oberflächen - Herstellung und Anwendungen, Dresden, 09. Oktober 2009, Tagungsband S. 8

**[L59]**

A.-F. Lasagni, J.-L. Hendricks, C.-M. Shaw, D.-J. Yuan, D.-C. Martin, S. Das

»Direct Laser Interference Patterning of Poly(3,4-Ethylene Dioxythiophene)-Poly(Styrene Sulfonate) (PEDOT-PSS) Thin Films«

Applied Surface Science 255 (2009) 22, S. 9186-9192

**[L60]**

A.-F. Lasagni, B.-S. Menéndez-Ormaza

»How to Fabricate two and Three Dimensional Micro and Sub-Micrometer Periodic Structures using two-Beam Laser Interference Lithography«

Advanced Engineering Materials (in Druck)

DOI: 10.1002 / adem 200900221

**[L61]**

A.-F. Lasagni, D. Yuan, S. Das

»Layer-by-Layer Interference Lithography of three-Dimensional Microstructures in SU-8«

Advanced Engineering Materials 11 (2009) 5, S. 408-411

**[L62]**

A.-F. Lasagni, D. Yuan, P. Shao, S. Das

»Fabrication of Periodic Microstructures in Pentaerythritol Triacrylate through Femtosecond Laser Interference Two-Photon Polymerization«

Advanced Engineering Materials 11 (2009) 7, S. 595-599

**[L63]**

A.-F. Lasagni, D. Yuan, P. Shao, S. Das

»Periodic Micropatterning of Polyethylene Glycol Diacrylate Hydrogel by Laser Interference Lithography Using Nano- and Femtosecond Pulsed Lasers«

Advanced Engineering Materials 11 (2009) 3, S. B20-B24

**[L64] RV**

D. Lepski, F. Brückner

»Laser Cladding«

The Theory of Laser Materials Processing, Bristol (UK), Canopus Academic Publishing Limited (2009) 8, S. 235-280, ISBN 978 1 4020 9339 5

**[L65]**

A. Leson

»Die Nanotechnologie wird erwachsen«

NanoS, Wiley-VCH Verlag (2009)

**[L66]**

A. Leson

»Wege aus der Krise«

Vakuum in Forschung und Praxis 21 (2009) 1, S. 3

**[L67]**

A. Leson, M. Werner

»Carbon Nanotubes - A New Material for Packaging«

Micromaterials and Nanomaterials (2009) 9, S. 71-73

**[L68]**

D. Linaschke, M. Leistner, P. Grabau, G. Mäder, W. Grähler, I. Dani, S. Kaskel, E. Beyer

»In-Line Plasma-Chemical Etching of Crystalline Silicon Solar Wafers at Atmospheric Pressure«

IEEE Transactions on Plasma Science 37 (2009) 6, S. 979-984, ISSN: 0093 3813

**[L69]**

M. Lütke, T. Himmer, E. Beyer

»Remote-Schneiden mit brillanten Strahlquellen«

Maschinenbau (2009) 5, S. 22-25

**[L70]**

M. Lütke, T. Himmer, A. Wetzig

»Recent Developments in Remote-Cutting«

5. Internationaler Workshop »Faserlaser« 2009, CD-ROM, Fraunhofer IRB-Verlag

**[L71]**

M. Lütke, T. Himmer, A. Wetzig, E. Beyer

»Opportunities to Enlarge the Application Area of Remote-Cutting«

28th ICALEO 2009, Tagungsband, Paper 608, ISBN: 978 0 912035 59 8

- [L72]**  
M. Lütke, A. Klotzbach, T. Himmer, A. Wetzig, E. Beyer  
»Remote-Cutting one Technology Fits for Various Materials«  
Proceedings of The 5th International WLT-Conference Lasers in Manufacturing, Stuttgart: AT-Fachverlag GmbH (2009), S. 221-227, ISBN: 978-3-00-027994-2
- [L73]**  
M. Lütke, A. Klotzbach, T. Himmer, A. Wetzig, E. Beyer  
»Remote-Cutting – One Technology Fits for Various Materials«  
The Laser User, Issue 56 (2009), S. 26-27, Abingdon, ISSN: 1755 5140
- [L74]**  
M. Lütke, A. Klotzbach, A. Wetzig, E. Beyer  
»Laserschneiden von Faserverbundwerkstoffen – Remote-Bearbeitung ohne Schneidgasunterstützung«  
Laser Technik Journal, Wiley-VCH (2009) 2, S. 23-26
- [L75] RV**  
A. Mahrle, E. Beyer  
»Heat Sources of Hybrid Laser-Arc Welding Processes«  
Hybrid Laser arc Welding, Cambridge (UK), Woodhead Publishing Limited (2009) 3, S. 47-84, ISBN 978 1 84569 370 1
- [L76]**  
A. Mahrle, E. Beyer  
»Theoretical Estimation of Achievable Travel Rates in Inert-Gas Fusion Cutting with Fibre and CO<sub>2</sub> Lasers«  
Proceedings of The 5th International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing, Stuttgart: AT-Fachverlag GmbH (2009), S. 215-220, ISBN 978 3 00 027994 2
- [L77] RV**  
A. Mahrle, E. Beyer  
»Theoretical Aspects of Fibre Laser Cutting«  
Journal of Physics D: Applied Physics 42 (2009) 17, Art. 175507, S. 9-17
- [L78]**  
A. Mahrle, E. Beyer  
»Thermodynamic Evaluation of Inert-Gas Laser Beam Fusion Cutting with CO<sub>2</sub>, Disk and Fiber Lasers«  
Proceedings of the 28th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Orlando, USA, Laser Institute of America (2009) Paper 1404, S. 610-619, ISBN 978 0 912035 59 8
- [L79]**  
M. Mertig, A. Kick, M. Bönsch, B. Katzschner, J. Voigt, F. Sonntag, N. Schilling, U. Klotzbach, N. Danz, S. Begemann, A. Herr, M. Jung  
»A Novel Platform Technology for the Detection of Genetic Variations by Surface Plasmon Resonance«  
IEEE Sensors 2009 Conference, 25.-28. Oktober 2009, Christchurch, New Zealand
- [L80]**  
A. Njeh, D. Schneider, H. Fuess, M.-H. Ben Ghazlen  
»X-Ray Residual Stress Gradient Analysis in Annealed Silver Thin Films Using Asymmetric Bragg Diffraction«  
Zeitschrift für Naturforschung. A 64 (2009) 1-2, S. 112-122
- [L81]**  
S. Nowotny  
»Laser-Auftragschweißen - Präzisionstechnologie für die moderne industrielle Fertigung«  
TAW-Symposium Thermisches Beschichten mit laserbasierten Fertigungsverfahren, Dresden, 10.-11. März 2009, Tagungsband, S. 1-9
- [L82]**  
S. Nowotny, R. Münster, S. Scharek  
»Laser-Einheit macht Auftragschweißen auf Bearbeitungszentrum möglich«  
Maschinenmarkt. MM, das Industriemagazin (2009) 17, S. 42-44
- [L83]**  
S. Nowotny, R. Münster, S. Scharek, E. Beyer  
»Integrated Laser Cell for Combined Laser Cladding and Milling«  
Emerald's Assembly Automation 2009, im Druck
- [L84]**  
J.-S. Pap, T. Schiefer, T. Köckritz, I. Jansen, E. Beyer  
»Einflüsse verschiedener Oberflächenbehandlungen auf den Klebverbund von textilverstärkten Verbundkomponenten«  
22. International Symposium, 11.-13. Mai 2009, Rapperswil, Schweiz, P10
- [L85]**  
H. Pinto, M. Corpas, J.-A. Guio, A.-R. Pyzalla, A. Jahn, J. Standfuß  
»Microstructure and Residual Stress Formation in Induction-Assisted Laser Welding of the Steel S690QL«  
Steel Research International 80 (2009) 1, S. 39-49
- [L86]**  
R. Puschmann, C.-C. Stahr, L.-M. Berger  
»Möglichkeiten der Online-Schichtdickenmessung beim thermischen Spritzen«  
Thermal Spray Bulletin 2 (2009) 2, S. 39-42
- [L87]**  
R. Rechner, J.-S. Pap, I. Jansen, E. Beyer  
»Laser- und Plasmaverfahren zur Klebstellenvorbehandlung der Aluminiumlegierungen AW 6016 und Al 6050«  
22. International Symposium, 09.-13. Mai 2009, Rapperswil, Schweiz, P3
- [L88]**  
R. Rechner, I. Jansen, E. Beyer  
»Lasergestütztes Fügen ohne Fugen: Kantenanleimen in der Möbelfertigung«  
Adhäsion, Kleben und Dichten 53 (2009) 5, S. 38-43
- [L89]**  
R. Rechner, I. Jansen, E. Beyer  
»Using Lasers in Edge Banding«  
Adhesion ADHESIVES & SEALANTS 53 (2009) 10, S. 36-40
- [L90]**  
R. Schedewy, D. Dittrich, J. Standfuß, B. Brenner, E. Beyer  
»Neue Design-Möglichkeiten für Leichtbaukonstruktionen: Laserstrahlgeschweißte Steg-Schlitz-Verbindungen«  
Laser-Magazin (2009) 2/3, S. 8-10

**[L91]**

M. Schnick, S. Rose, U. Füssel,  
A. Mahrle, C. Demuth, E. Beyer

»Numerische und experimentelle  
Untersuchungen zur Wechselwir-  
kung zwischen einem Plasmalicht-  
bogen und einem Laserstrahl  
geringer Leistung«

DVS-Berichte, DVS Media GmbH,  
Düsseldorf, (2009) Band 258, S. 16-  
21, ISBN 978 3 87155 584 8

**[L92]**

C. Schrage, S. Kaskel

»Flexible and Transparent SWCNT  
Electrodes for Alternating Current  
Electroluminescence Devices«

ACS Applied Materials & Interfaces  
1 (2009) 8, S. 1640-1644

**[L93]**

B. Schultrich, V. Weihnacht

»Tribological Behavior of Superhard  
Amorphous Carbon Films«

Vakuum in Forschung und Praxis 21  
(2009), Sonderheft »Vacuum's  
Best«, S. 17-21

**[L94]**

B. Schultrich, O. Zimmer

»Vakuumbogenabscheidung dün-  
ner Schichten«

Jahrbuch Oberflächentechnik 2009  
in Druck

**[L95]**

L. Scintilla, L. Tricarico, A. Mahrle,  
T. Himmer

»Aspects of laser fusion cutting of  
thick-section steel sheets with high-  
brightness lasers«

5. Internationaler Workshop  
»Faserlaser«, CD-ROM, Fraunhofer  
IRB-Verlag 2009

**[L96]**

F. Sonntag, N. Schilling, K. Mader,  
M. Gruchow, U. Klotzbach,  
G. Lindner, R. Horland, I. Wagner,  
R. Lauster, S. Howitz, U. Marx

»Design and Prototyping of a Chip-  
Based-Micro-Organoid Culture  
System for Substance Testing,  
Predictive to Human (substance)  
Exposure«

Journal of Biotechnology 2009

**[L97]**

F. Sonntag, N. Schilling, K. Mader,  
U. Klotzbach, G. Lindner, R. Lauster,  
S. Howitz, and U. Marx

»Prototyping of Chip-Based Multi-  
Tissue Culture Systems«

Conference Organotypic Tissue  
Culture 2009, Potsdam

**[L98]**

A. Techel

»Kohlenstoff – ein attraktiver Be-  
schichtungswerkstoff für innovative  
Anwendungen«

Ingenieurspiegel 1 (2009) S. 83-84

**[L99]**

A. Techel, A. Klotzbach, F. Bartels,  
M. Lütke, P. Herwig, A. Wetzig

»Laserstrahlschneiden mit höchster  
Dynamik«

Laser + Produktion (2009), S. 22-24

**[L100]**

F.-L. Toma, L.-M. Berger,  
C.-C. Stahr, T. Naumann,  
S. Langner

»Microstructures and Functional  
Properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> Sus-  
pension Sprayed Coatings«

International Thermal Spray Confe-  
rence, 04.-07. Mai 2009, Las  
Vegas, USA, Proc. Eds.: B. R. Mar-  
ple, M. M. Hyland, Y.-C. Lan,  
C. S. Li, R. S. Lima, G. Montavon,  
Mater. Park / OH, ASM Internatio-  
nal (2009) S. 168-173

**[L101]**

F.-L. Toma, L.-M. Berger,  
D. Jacquet, D. Wicky, I. Villaluenga,  
Y. R. de Miguel, J. S. Lindelov

»Comparative Study on the Photo-  
catalytic Behaviour of Titanium  
Oxide Thermal Sprayed Coatings  
from Powders and Suspensions«

Surface and Coatings Technology  
203 (2009) S. 2150-2156

**[L102]**

F.-L. Toma, C.-C. Stahr,  
L.-M. Berger, M. Herrmann,  
D. Deska, G. Michael

»Corrosion of APS- and HVOF-  
Sprayed Coatings of the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>  
System«

International Thermal Spray Confe-  
rence, 04.-07. Mai 2009, Las  
Vegas, USA, Proc. Eds.: B. R. Mar-  
ple, M. M. Hyland, Y.-C. Lan,  
C. S. Li, R. S. Lima, G. Montavon,  
Mater. Park / OH, ASM Internatio-  
nal (2009) S. 673-678

**[L103]**

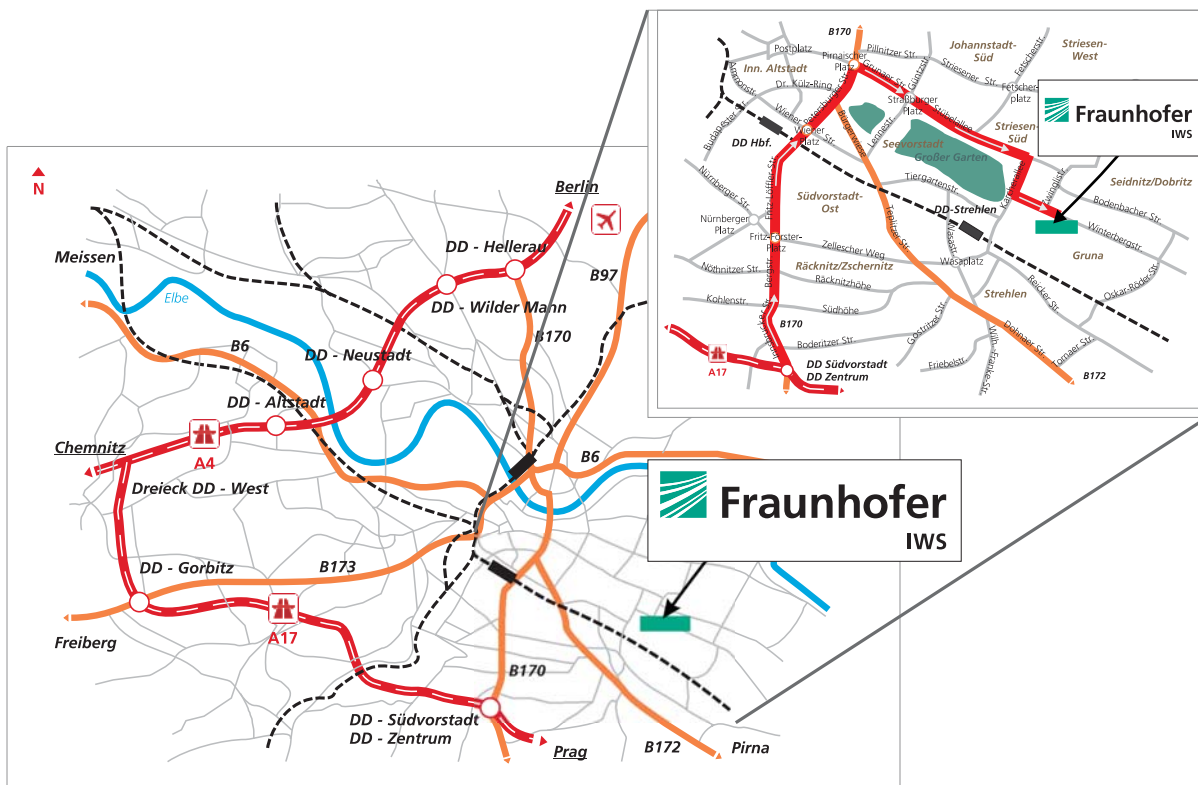
M. F. Zaeh, R. Daub, A. Mahrle,  
E. Beyer

»Influence of CO<sub>2</sub> in the Ar Process-  
Gas on the Heat-Conduction Mode  
Laser Beam Welding Process with  
Nd:YAG and Diode Lasers«

Proceedings of The 5th Internatio-  
nal WLT-Conference on Lasers in  
Manufacturing, Stuttgart: AT-Fach-  
verlag GmbH (2009), S. 45-53,  
ISBN 978 3 00 027994 2



# KONTAKTADRESSEN UND ANFAHRT



## 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.

## Post-Adresse:

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

## Mit der Straßenbahn (ab Dresden-Hauptbahnhof):

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

## Internet-Adresse:

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

## Mit dem Flugzeug:

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

Tel.: (0351) 83391-0

Fax: (0351) 83391-3300

E-mail: [info@iws.fraunhofer.de](mailto:info@iws.fraunhofer.de)

# IMPRESSUM

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

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

Bildnachweis: S. 6 (u.): Fraunhofer WKI Braunschweig  
S. 7 (m.): Roth & Rau Microsystems GmbH  
S. 8 Dr. Peter Wirth (privat)  
S. 65 (Abb. 2): TSI Inc.

© Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden 2010

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.