



**JAHRESBERICHT**  
**2017**

**TITELBILD** *Neuartiges Werkzeugkonzept zur Finishbearbeitung von Zylinderlaufbahnen:  
Honleiste mit Pyramidenstruktur und rauer CVD-Diamantschicht.*



## VORWORT DER INSTITUTSLEITUNG

Sehr geehrte Damen und Herren,

2017 war für das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST in vielfacher Hinsicht ein besonderes Jahr mit interessanten neuen Entwicklungen. Die aktuellsten Forschungsergebnisse und bedeutendsten Geschehnisse haben wir für Sie auf den folgenden Seiten zusammengestellt.

Unser besonderer Dank geht an dieser Stelle an all diejenigen, deren Leistung, Engagement, Vertrauen und Unterstützung diese Erfolge überhaupt möglich gemacht haben: allen voran den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts, unseren Partnern aus Forschung und Entwicklung, den Auftraggebern aus der Industrie, unseren Förderern, Kollegen und Freunden. Wir danken Ihnen für eine vertrauensvolle Zusammenarbeit.

Ihnen, liebe Leserin und lieber Leser, wünschen wir viel Freude mit dem vorliegenden Jahresbericht und freuen uns auf Ihre Ideen für eine zukünftige Kooperation.

<sup>1</sup> Rechts: *Institutsleiter Prof. Dr. Günter Bräuer*, links: *stellvertretender Institutsleiter Dr. Lothar Schäfer*.

Prof. Dr. Günter Bräuer

Dr. Lothar Schäfer

# INHALT

Vorwort der Institutsleitung	3	Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik	29	Optik	59	Das Fraunhofer IST in Netzwerken	91
2017 im Rückblick	6	Sensorik für die effiziente Herstellung naturfaserverstärkter Kunststoffe	30	Defektfreie Siliziumoxid-Schichten für das Avogadro-Projekt	60	Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick	93
Aus dem Kuratorium	8	Anwendungsspezifische Fertigung von Sensorsystemen	32	Entwicklung optischer Strahlteiler mit sehr steiler Kante	62	Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces	94
Ausgezeichnete Zusammenarbeit	11	Titanlegierungen effizient umformen	34	Simulation der Staubteilchenbewegung im Plasma	64	Nachwuchsförderung und Ausbildung am Fraunhofer IST	96
Das Institut im Profil	12	Strukturierte CVD-Diamant-Honleisten	36	Life Science und Umwelt	67	Das Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik e.V. –INPLAS	98
Das Institut in Zahlen	14	Gasborieren von hochlegierten Werkzeugstählen	38	LabBag®–Labor im Beutel	68	Publikationen	100
Ihre Ansprechpartner	16	Thermoschocktester für Leichtmetallguss- und Schmiedewerkzeuge	40	Plasmajet zur Beschichtung mit funktionellen Gruppen	70	Mitgliedschaften	100
Forschungs- und Dienstleistungsangebot	20	Prozesskette zur Vorbehandlung von Werkzeugen für die Plasmabeschichtung	42	Atomlagenabscheidung in fluidischen Systemen	72	Mitarbeit in Gremien	101
Analytik und Qualitätssicherung	22	HIPIMS-Arc-Abscheidung von ta-C-Schichten	44	Leistungen und Kompetenzen	75	Publikationen	104
Laborausstattung und Großgeräte	24	DLC-Beschichtungen für die Umformung	46	Modellierung der Beschichtung auf 3D-Bauteilen	80	Vorträge, Poster	109
Nachhaltige Lösungen mit Schicht- und Oberflächentechnik	26	Luft- und Raumfahrt	49	Die Lebensdauer von Hartstoffschichten testen	82	Dissertationen	115
		Metallisierte CFK-Spiegel für den Weltraum	50	Namen, Daten, Ereignisse 2017	85	Diplomarbeiten	115
		Energie und Elektronik	53	Messen, Ausstellungen, Konferenzen	86	Masterarbeiten	115
		Gasfluss-gesputterte Siliziumschichten	54	Ereignisse, Kolloquien, Workshops	88	Bachelorarbeiten	116
		Neue Materialien für schaltbare Verglasungen	56	Preise und Auszeichnungen	89	Schutzrechtsanmeldungen	117
						Anhang	118
						Bildverzeichnis	118
						Impressum	120



1



2



3

# 2017 IM RÜCKBLICK

Maschinenbau und Medizin – geht nicht? Doch! Am Fraunhofer IST haben wir auch im Berichtsjahr wieder gezeigt, dass wir scheinbar getrennte Welten miteinander verknüpfen können.

Das »Plasma im Beutel«, die bereits 2013 preisgekrönte Entwicklung zur Innenbeschichtung von geschlossenen Beuteln, war eine der Basistechnologien für die aktuelle Entwicklung des Prototypen eines »Labors im Beutel«. Mit LabBag® haben die Fraunhofer-Institute IST, IBMT und IVV ein steriles All-in-One-System zur Kultivierung, Differenzierung und zum Einfrieren pluripotenter humaner Stammzellen entwickelt, mit dem nicht nur kostbares Material für regenerative Therapien oder für Modellsysteme zur Medikamentenentwicklung gewonnen, sondern gleichzeitig auch Zeit und Geld gespart werden kann.

Das genannte Projekt ist nur ein Beispiel für das Innovationspotenzial, das wir an der Schnittstelle von Plasmatechnik und Medizin sehen. Um dieses künftig noch stärker auszuschöpfen, haben wir den Leiter der Transplantationsmedizin des Städtischen Klinikums Braunschweig in unser Institut eingebunden. Ziel ist es, hier neue Projekte zu initiieren – ganz im Sinne der zukünftigen strategischen Ausrichtung des Instituts, die auf einer Klausurtagung im März 2017 beschlossen wurde und bei der »Oberflächen für die Medizintechnik« eine zentrale Bedeutung zukam. Schwerpunkte sind dabei die Oberflächenbehandlung, -beschichtung oder -funktionalisierung von Scaffolds, d. h. Gerüststrukturen, mit denen Gewebe gezüchtet werden können, sowie von medizinischen Einwegartikeln.

Als weitere strategische Themen des Instituts wurden darüber hinaus u. a. die Beschichtung von Leichtbaumaterialien, die additive Fertigung und die adaptive Verglasung sowie Sensoranwendungen für die Industrie 4.0 identifiziert.

Bereits heute ist unsere Dünnschichtsensorik regelmäßig eines unserer Highlights und ein Besuchermagnet auf der Hannover Messe, so auch in diesem Jahr. Interessant ist der Einsatz von Dünnschichtsensoren nicht nur in der Fabrik der Zukunft; auch wenn es um die Sicherheit von Gebäuden und Brücken geht, haben die scheinbar unscheinbaren Sensorstrukturen ein erhebliches Potenzial. Sicherheit, Industrie 4.0 und Digitalisierung stehen in Hannover zunehmend im Fokus, dementsprechend beobachten wir ein stetig wachsendes Interesse an unseren Lösungen im Bereich der Simulation von Prozessen und Schichtsystemen. Aber auch traditionelle Themen des IST wie Tribologie, d. h. Reibungsminderung und Verschleißschutz, haben nichts von ihrer Aktualität verloren, wie uns die Besucher der Hannover Messe auch im Jahr 2017 einmal mehr gezeigt haben.

Für die Stadt Braunschweig war das Jahr 2017 ein Jubiläumsjahr: Mit einer Cloud der Wissenschaft auf dem Burgplatz feierte sie gemeinsam mit der Forschungsregion Braunschweig zwei Wochen lang ihr 10-jähriges Jubiläum als Stadt der Wissenschaft. Wie vor 10 Jahren war auch das Fraunhofer IST wieder mit dabei und zeigte der interessierten Bevölkerung unter anderem, wie sich altes Tafelsilber mit Plasma reinigen lässt. Bei der abschließenden Podiumsdiskussion mit namhaften Vertretern aus Wissenschaft und Wirtschaft konnte unser Institut dem Braunschweiger Publikum seinen Beitrag zu den Zukunftsthemen wie Energiewende und E-Mobilität nahebringen.

In einer Stadt der Wissenschaft, die in eine Forschungsregion eingebettet ist, erwartet man natürlich auch gelegentlich spektakuläre regionale Projekte. Zwischen dem IST und den Braunschweiger Wissenschaftlern der Physikalisch-Technischen

Bundesanstalt gibt es zurzeit eine solche Zusammenarbeit: Das Ur-Kilogramm wird neu definiert und soll künftig von Naturkonstanten abgeleitet werden. Notwendig wird dies, weil das alte Referenznormal, das seit 1889 in Paris liegt, an Masse verliert. An der PTB wird dazu eine Siliziumkugel hergestellt. Das Silizium oxidiert an der Oberfläche, und genau das ist das Problem, denn die native Siliziumoxidschicht wächst langsam und ungleichmäßig. Die Lösung liefert das Fraunhofer IST: Mit unserer ALD-Beschichtungsanlage zur Atomlagenabscheidung (Atomic Layer Deposition, ALD) wird eine extrem dünne und homogene Quarzschicht reproduzierbar auf die Oberfläche aufgebracht.

Ein weiteres Highlight aus dem IST darf an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben: Nach mehr als 15 Jahren Vorlaufforschung im Bereich der Entwicklung präzisionsoptischer Schichtsysteme ist uns 2017 endlich der Durchbruch gelungen. Die EOSS®-Beschichtungsanlage wurde drei Mal lizenziert und erfolgreich bei den Kunden in Betrieb genommen. Das Fraunhofer IST ist damit zu einem zuverlässigen und kompetenten Partner der Anlagenbauer geworden. Ganz gemäß der Fraunhofer-Idee ist hier ein weiteres Musterbeispiel für den Technologietransfer erbracht worden. Geht doch!

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen beim Lesen unseres Jahresberichts viele Inspiration und spannende Ideen für ambitionierte Projekte.

Ihr Günter Bräuer

1 *LabBag® – das »Labor im Beutel« zur Kultivierung von Stammzellen.*

2 *Verschiedene Produktionsstadien eines Werkzeugeinsatzes mit Sensorsystem für die Herstellung naturfaserverstärkter Kunststoffe.*

3 *Mittels Atomlagenabscheidung beschichtete Siliziumkugel.*



## KURATORIUM

### Vorsitz

Dr. Philipp Lichtenauer

*Plasmawerk Hamburg GmbH*

Prof. Dr. Peter Awakowicz

*Ruhr-Universität Bochum*

Prof. Dr. Hans Ferkel

*ThyssenKrupp Steel Europe AG*

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.

Jürgen Hesselbach

*Braunschweig*

Dr. Tim Hosenfeldt

*Schaeffler Technologies*

*AG & Co. KG*

Dr. Sebastian Huster

*Niedersächsisches Ministerium für*

*Wissenschaft und Kultur*

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Leohold

*Volkswagen AG*

Dr. Carola Reimann

*Mitglied des Bundestags*

Michael Stomberg

*EagleBurgmann Germany GmbH*

*& Co. KG*

Dr. Gerrit van der Kolk

*IonBond Netherlands BV*

Dr. Ernst-Rudolf Weidlich

*GRT GmbH & Co. KG*

## AUS DEM KURATORIUM

Die Plasmatechnik ist eine sehr wichtige Schlüssel- und Querschnittstechnologie, die seit den 1960er Jahren in nahezu allen Branchen Anwendung findet und deren Einsatzbereich sich seither ständig erweitert. Bedingt wird dies nicht zuletzt durch technologische Innovationen wie die Entwicklung des Hochleistungsimpuls-Magnetronspatters HIPIMS. Bei diesen Sputterprozessen weisen die eingesetzten Plasmen einen hohen Anteil an schichtbildenden Ionen auf, deren Energie über einen Substratbias einstellbar ist. Auf diese Weise können Schichtsysteme mit verbesserten, aber auch völlig neuen Eigenschaften abgeschieden werden, die bisher mit keiner anderen Technologie realisierbar sind. Seit geraumer Zeit wird das Hochleistungsimpuls-Magnetronspatter am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST sehr erfolgreich eingesetzt, weiterentwickelt und zur Produktionsreife geführt. Zum Prozessverständnis und zur Optimierung der Technologie steht in Braunschweig eine Vielzahl an unterschiedlichsten HIPIMS-Generatoren zur Verfügung, die dort mit verschiedenen industriellen Beschichtungsanlagen kombiniert werden. Ergänzt durch hervorragende Kompetenzen im Bereich der Plasmadiagnostik, Plasmasimulation und der Prozesskontrolle wird das Institut zu einem wertvollen Partner, wenn es um die industrielle Umsetzung dieser Technologie geht.

Seit einiger Zeit sind Atmosphärendruckplasmen fernab vom thermischen Gleichgewicht Gegenstand großen wissenschaftlichen und auch industriellen Interesses. Vorteilhaft ist sicherlich, dass der apparative Aufwand der zugehörigen Plasmasysteme vergleichsweise gering ist und das Einsatz-

gebiet nahezu unbeschränkt erscheint. Diesem so wichtigen innovativen technologischen und auch wissenschaftlichen Trend in der Plasmatechnik trägt das Fraunhofer IST mit seinen FuE-Aktivitäten Rechnung. Insbesondere in den Bereichen Medizin und Life Science wurden mit diesen Plasmen in den letzten Jahren große Fortschritte erzielt, denen sich im Hinblick auf ihren jeweiligen Anwendungsfall das Fraunhofer IST ganz besonders widmet. Gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten für Biomedizinische Technik IBMT und für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV entwickelte das IST einen Prototypen für ein »Labor im Beutel«. In diesem transparenten mit IST-Technologie beschichteten Beutelsystem lassen sich Stammzellen, die für regenerative Therapien oder als Modellsysteme für Medikamentenentwicklungen benötigt werden, kostengünstig, schnell und steril kultivieren, differenzieren und einfrieren. Zurzeit arbeiten die Wissenschaftler an der weiteren Optimierung und entwickeln Strategien zur industriellen Umsetzung, die auch das Kuratorium mit großem Interesse verfolgt.

Ich freue mich auf spannende neue Ergebnisse nicht nur in den genannten Bereichen und wünsche allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer IST und der Institutsleitung viel Erfolg für das Jahr 2018.

Prof. Dr. Peter Awakowicz  
Lehrstuhl für »Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik«  
Ruhr-Universität Bochum



## AUSGEZEICHNETE ZUSAMMENARBEIT

Tantec A/S wurde 1974 in Dänemark gegründet und entwickelt nun schon seit über 40 Jahren innovative Plasma- und Coronalösungen zur elektrischen Vorbehandlung von Kunststoff- und Metalloberflächen für Produkte unserer Kunden, von kleinen und komplexen medizinischen Instrumenten bis hin zu Bauteilen für die Automobilindustrie oder großen Kunststoffrohren. Dabei können wir auf ein vielfältiges Produktspektrum von Plasmaquellen, Generatoren und Überwachungssystemen zurückgreifen, mit dem wir mit zurzeit 35 Mitarbeitern individuelle kundenspezifische Lösungen erarbeiten.

Seit fast 15 Jahren besteht eine erfolgreiche Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST. Diese wurde in den letzten Jahren durch gemeinsame Forschungsprojekte und Workshops stetig intensiviert. Hier ist insbesondere das Engagement sowie das wissenschaftliche und prozesstechnische Knowhow der Mitarbeiter des Fraunhofer IST hervorzuheben, das – kombiniert mit der hervorragenden analytischen und technischen Ausstattung – dieses Institut auszeichnet.

Viele kundenspezifische Lösungen konnten so in dieser Zeit mit großem Erfolg gemeinsam erarbeitet werden. Ein Beispiel ist die Integration zur Vorbehandlung unter definierter Gasatmosphäre in unsere Rototec-X Technologie. Dadurch können Hochleistungskunststoffe wie PEEK so vorbehandelt werden, dass die Haftfestigkeit von Klebstoffen deutlich erhöht wird.

Insbesondere neue Kunststoffe oder Veränderungen in der Zusammensetzung stellen uns als Anlagenhersteller immer wieder vor große Herausforderungen, da eine Materialumstellung z. B. Vorbehandlungsprobleme auslösen kann. In einem kürzlich abgeschlossenen Projekt wurde vom IST der negative Einfluss von höheren Füllstoffgehalten auf die Haftung nachgewiesen und damit die Voraussetzung für uns geschaffen, das Problem durch Umrüstung der Anlage zu lösen. Aufgrund dieser positiven Erfahrungen baut das IST seit letztem Jahr eine Materialdatenbank für uns auf.

Besonders bemerkenswert ist darüber hinaus, dass sich die Mitarbeiter des Fraunhofer IST immer wieder neuen Herausforderungen stellen. Aufgrund des aktuellen Abgasskandals kommt auch im Bereich der Plasmatechnik immer wieder die Frage auf, wieviel Stickoxide eine Plasmaquelle erzeugt. Um hier zukünftig Kunden eine Antwort geben zu können und um darüber hinaus Prozesse zu entwickeln, die die Entstehung von Stickoxiden vermeiden, wurde gemeinsam mit dem IST eine Messapparatur aufgebaut.

Dies sind nur einige Beispiele unserer vertrauensvollen und ausgezeichneten Zusammenarbeit in den letzten 15 Jahren, für die ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer IST herzlich danken möchte. Auch für die Zukunft freue mich auf eine weiterhin erfolgreiche Partnerschaft.

Morten Thrane  
Tantec A/S





## DAS INSTITUT IM PROFIL

Das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST bietet als innovativer FuE-Partner Lösungen in der Oberflächentechnik, die gemeinsam mit Kunden aus Industrie und Forschung erarbeitet werden. Das »Produkt« ist die Oberfläche, die durch Modifizierung, Strukturierung und/oder Beschichtung für Anwendungen primär in den folgenden Geschäftsfeldern optimiert wird:

- ┃ Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik
- ┃ Luft- und Raumfahrt
- ┃ Energie und Elektronik
- ┃ Optik
- ┃ Life Science und Umwelt

Die zentralen Technologiefelder des IST sind die Atmosphärendruckverfahren mit den Schwerpunkten elektrochemische Verfahren und Atmosphärendruck-Plasmaverfahren, die Niederdruck-Plasmaverfahren mit den Schwerpunkten Magnetronspütern, hochionisierte Plasmen und plasmaaktivierte Gasphasenabscheidung sowie die

chemische Gasphasenabscheidung mit dem Schwerpunkt Heißdraht-CVD. Im Zentrum für Tribologische Schichten stehen Reibungsminderung, Verschleiß- und Korrosionsschutz und die Mikro- und Sensortechnik im Vordergrund. Das Anwendungszentrum für Plasma und Photonik arbeitet an Atmosphärendruck- und mobilen Plasmaquellen sowie an Laser-Plasma-Hybridsystemen.

Die Kompetenz des Fraunhofer IST besteht vor allem in der Beherrschung der Prozesse und ihrer Kombination mit einer Vielzahl von Schichten, wobei ein breites Spektrum an Schichtfunktionen realisiert werden kann. Die umfangreichen Erfahrungen in der Schichtherstellung und Schichtanwendung werden unterstützt durch eine entsprechende Schicht- und Oberflächenanalytik, für die die modernsten Geräte zur Verfügung stehen, sowie durch die Simulation der vakuum-basierten Beschichtungsprozesse.

Eine der besonderen Stärken des Instituts besteht darin, aus dem vorhandenen Spektrum an Verfahren die für die jeweilige Aufgabenstellung optimale Kombination auszuwählen.

Neben der Erforschung wissenschaftlicher Grundlagen in Kooperation mit Universitäten und Forschungseinrichtungen entwickeln rund 120 Mitarbeiter in enger Zusammenarbeit mit Anwendern aus der Industrie maßgeschneiderte Oberflächen und Prozesse: vom Prototyp über wirtschaftliche Produktionsszenarien und die Skalierung auf industrielle Maßstäbe bis hin zu Transfer und Implementierung der Technologie beim Kunden.

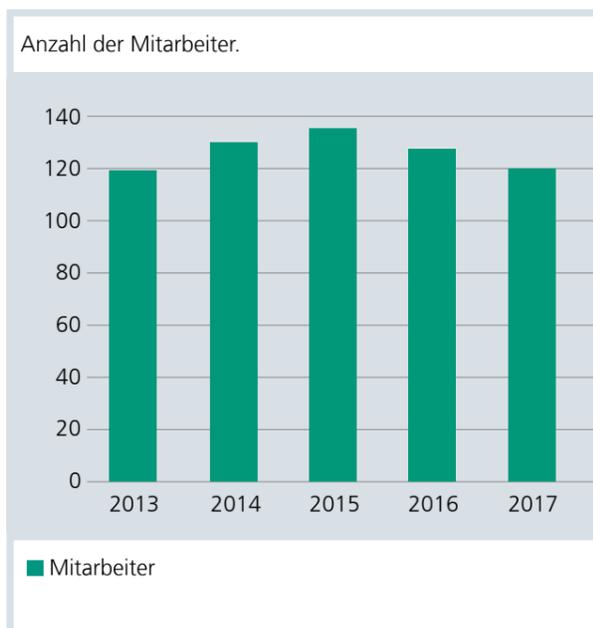
Am Standort Braunschweig verfügt das Institut über 4000 m<sup>2</sup> Büro- und Laborfläche. Darüber hinaus stehen am Anwendungszentrum für Plasma und Photonik des Fraunhofer IST am Standort Göttingen weitere 1500 m<sup>2</sup> Labor- und Bürofläche zur Verfügung. Das Leistungsangebot des Fraunhofer IST wird sowohl durch die Kompetenzen anderer Institute des Fraunhofer-Verbunds »Light & Surfaces« als auch durch die des Instituts für Oberflächentechnik IOT der TU Braunschweig ergänzt, das Prof. Günter Bräuer neben dem Fraunhofer IST in Personalunion leitet. Viele Projekte werden mit öffentlichen Mitteln des Landes Niedersachsen, des Bundes, der Europäischen Union und anderer Institutionen gefördert.



# DAS INSTITUT IN ZAHLEN

## Mitarbeiterentwicklung

Im Berichtszeitraum beschäftigte das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST rund 120 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen. 50 Prozent gehören dabei zum Anteil des wissenschaftlichen Personals, der Doktoranden und der Ingenieure. Technisches und kaufmännisches Personal sowie eine Vielzahl von Diplomanden und studentischen Hilfskräften unterstützen darüber hinaus die Forschungsarbeit. Im Jahr 2017 wurde das Angebot zur Ausbildung in den Berufszweigen Galvanik, Physik und Fachinformatik genutzt.



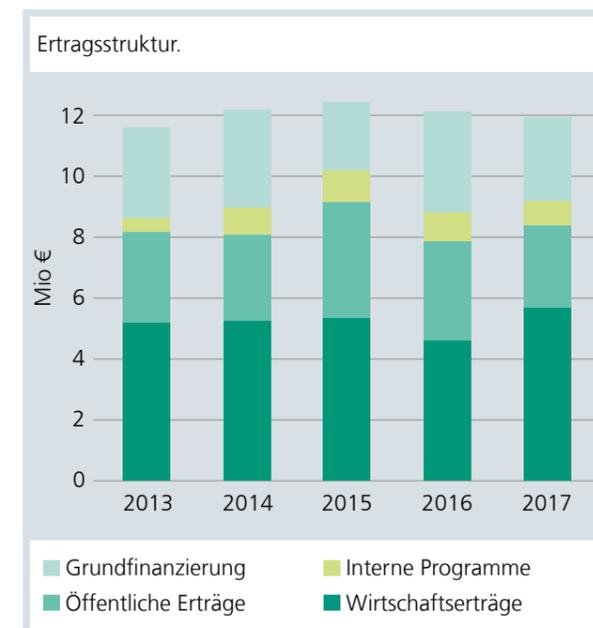
## Betriebshaushalt

2017 lag der Betriebshaushalt bei fast 12,0 Mio €. Gut 30 Prozent davon wurden für Sachaufwendungen verwendet, der Personalaufwand betrug dementsprechend rund 8,0 Mio €.



## Ertragsstruktur

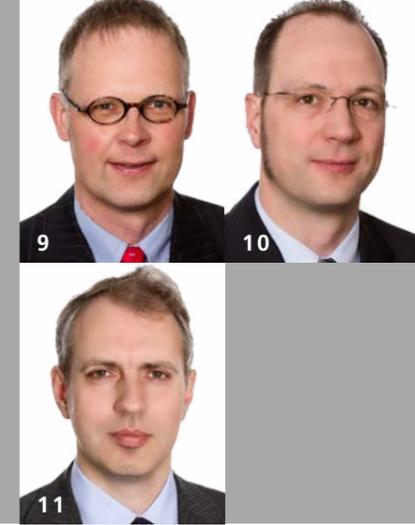
Mit 5,7 Mio € Wirtschaftserträgen erreichte das Fraunhofer IST einen neuen Rekordwert, die positive Folge ist ein sogenanntes RhoWi von 49,4 Prozent. Darüber hinaus wurden 2,7 Mio € öffentliche Erträge erzielt, sodass in Summe 8,4 Mio € externe Erträge erwirtschaftet wurden.



## Investitionshaushalt

Insgesamt tätigte das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST Investitionen in Höhe von 750 000 €. Rund 180 000 € konnten hier durch externe Projektmittel investiert werden. 300 000 € wurden durch sogenannte Normalinvestitionen realisiert. Für strategische Investitionen wurden 270 000 € verwendet. Daraus ergibt sich für das Fraunhofer IST ein Gesamthaushalt (B+) von 12,75 Mio €.





# IHRE ANSPRECHPARTNER

## Institutsleitung und Verwaltung

### Institutsleitung

Prof. Dr. Günter Bräuer<sup>1</sup>  
 Telefon: +49 531 2155-500  
 guenter.braeuer@ist.fraunhofer.de

### Stellvertretende Institutsleitung

Dr. Lothar Schäfer<sup>2</sup>  
 Durchwahl: 520  
 lothar.schaefer@ist.fraunhofer.de

### Verwaltung

Ulrike Holzhauer<sup>3</sup>  
 Durchwahl: 220  
 ulrike.holzhauer@ist.fraunhofer.de

### Marketing und Kommunikation

Dr. Simone Kondruweit<sup>4</sup>  
 Durchwahl: 535  
 simone.kondruweit@ist.fraunhofer.de

### Geschäftsfeldentwicklung

Dr. Guido Hora<sup>5</sup>  
 Durchwahl: 373  
 guido.hora@ist.fraunhofer.de

## Geschäftsfelder

### Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik

Dr. Lothar Schäfer<sup>2</sup>  
 Durchwahl: 520  
 lothar.schaefer@ist.fraunhofer.de

### Luft- und Raumfahrt

Dr. Andreas Dietz<sup>6</sup>  
 Durchwahl: 646  
 andreas.dietz@ist.fraunhofer.de

### Energie und Elektronik

Dr. Oliver Kappertz<sup>7</sup>  
 Durchwahl: 519  
 oliver.kappertz@ist.fraunhofer.de

### Optik

Dr. Oliver Kappertz<sup>7</sup>  
 Durchwahl: 519  
 oliver.kappertz@ist.fraunhofer.de

### Life Science und Umwelt

Dr. Jochen Borris<sup>8</sup>  
 Durchwahl: 666  
 jochen.borris@ist.fraunhofer.de

## Abteilungs- und Gruppenleiter und -leiterinnen

### Niederdruckplasmaverfahren

Dr. Michael Vergöhl<sup>9</sup>  
 Durchwahl: 640  
 michael.vergoehl@ist.fraunhofer.de  
*Optische Schichtsysteme | Prozessentwicklung | Materialentwicklung*

### Magnetronzerstäubung

*Großflächenelektronik | Transparente und leitfähige Schichtsysteme |  
 Prozesstechnologie | Anlagen- und Prozessentwicklung | Neue Halbleiter  
 für Photovoltaik und Mikroelektronik*

### Hochionisierte Plasmen und PECVD

Dr.-Ing. Ralf Bandorf<sup>10</sup>  
 Durchwahl: 602  
 ralf.bandorf@ist.fraunhofer.de  
*Sensorische Multifunktionsschichten | Hochionisierte Pulsprozesse  
 (HIPIMS) | Mikrotribologie | Elektrische Funktionsschichten |  
 Hohlkathodenverfahren (HKV, GFS) | Plasmaunterstützte CVD (PECVD)*

### Simulation

Dr. Andreas Pflug<sup>11</sup>  
 Durchwahl: 629  
 andreas.pflug@ist.fraunhofer.de  
*Simulation von Anlagen, Prozessen und Schichteigenschaften |  
 Modellbasierte Auslegung von Beschichtungsprozessen*

### Chemische Gasphasenabscheidung

Dr. Volker Sittinger<sup>12</sup>  
 Durchwahl: 512  
 volker.sittinger@ist.fraunhofer.de  
*Werkzeuge und Bauteile | Diamantelektroden für elektrochemische  
 Wasserbehandlung | Diamantbeschichtete Keramiken DiaCer®*

### Dr. Markus Höfer<sup>13</sup>

Senior Scientist  
 Durchwahl: 620  
 markus.hoefler@ist.fraunhofer.de

### Atomlagenabscheidung

*Produktnaher Systembau | Schicht- und Prozessentwicklung | Hoch-  
 konforme Beschichtung von 3D-Strukturen*

### Photokatalyse

*Luft-, Wasser- und Selbstreinigung | Produktevaluierung und Effizienz-  
 bestimmung | Prüftechnik*

### Heißdraht-CVD

Dr. Christian Stein<sup>14</sup>  
 Durchwahl: 647  
 christian.stein@ist.fraunhofer.de  
*Diamantschichten und Silizium-basierte Schichten | Werkzeug- und  
 Bauteilbeschichtung für extreme Verschleißbeständigkeit | Elektrische  
 Anwendungen für Halbleiter, Barrieren | Antireflex*



### Atmosphärendruckverfahren

Dr. Michael Thomas<sup>15</sup>  
Durchwahl: 525  
michael.thomas@ist.fraunhofer.de

### Elektrochemische Verfahren

*Komposite | Leichtmetallbeschichtung | Verfahrensentwicklung |  
Kunststoffmetallisierung | Elektrochemische Prozesse*

### Atmosphärendruck-Plasmaverfahren

Dr.-Ing. Marko Eichler<sup>16</sup>  
Durchwahl: 636  
marko.eichler@ist.fraunhofer.de  
*Mikroplasmen | Niedrig-Temperatur-Bonden | Oberflächen-  
funktionalisierung und -beschichtung | Plasma-Printing*

### Oberflächenchemie

Dr. Kristina Lachmann<sup>17</sup>  
Durchwahl: 683  
kristina.lachmann@ist.fraunhofer.de  
*Biofunktionale Schichten | Polyelektrolyt-Schichten | Quantitative Analyse  
reaktiver Oberflächen | Photochemische Verfahren*

### Zentrum für tribologische Schichten

Dr.-Ing. Jochen Brand<sup>18</sup>  
Durchwahl: 600  
jochen.brand@ist.fraunhofer.de  
*Systemanalyse und Systemoptimierung | Tribologische Beschichtungen |  
Tribotesting | Anlagenkonzeptionierung*

### Mikro- und Sensortechnologie

Dr.-Ing. Saskia Biehl<sup>19</sup>  
Durchwahl: 604  
saskia.biehl@ist.fraunhofer.de  
*Dünnschichtsensorik | Mikrostrukturierung 2D und 3D |  
Adaptronische Schichtsysteme*

### Tribologische Systeme

Dr.-Ing. Martin Keunecke<sup>20</sup>  
Durchwahl: 652  
martin.keunecke@ist.fraunhofer.de  
*Prototypen- und Kleinserienfertigung | Plasmadiffusion | Reinigungs-  
technologie | Maschinenbau und Fahrzeugtechnik | Kohlenstoff-  
basierte Schichten (DLC) | Harte und superharte Schichten | Definierte  
Benetzung | Werkzeugbeschichtungen (Umformen, Schneiden,  
Zerspanen)*

### Dortmunder OberflächenCentrum DOC

Dipl.-Ing. Hanno Paschke<sup>21</sup>  
Telefon: +49 231 844 5453  
hanno.paschke@ist.fraunhofer.de  
*Duplex-Behandlungen durch Plasmanitrieren und PACVD-Technologie |  
Borhaltige Hartstoffschichten | Werkzeugbeschichtungen | Schichten  
für die Warmformgebung | Beschichtungen von Industriemessern |  
Brennstoffzellen*

### Anwendungszentrum für Plasma und Photonik

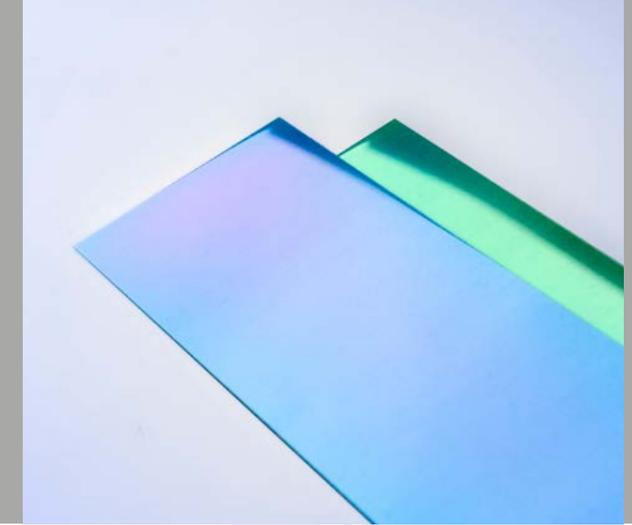
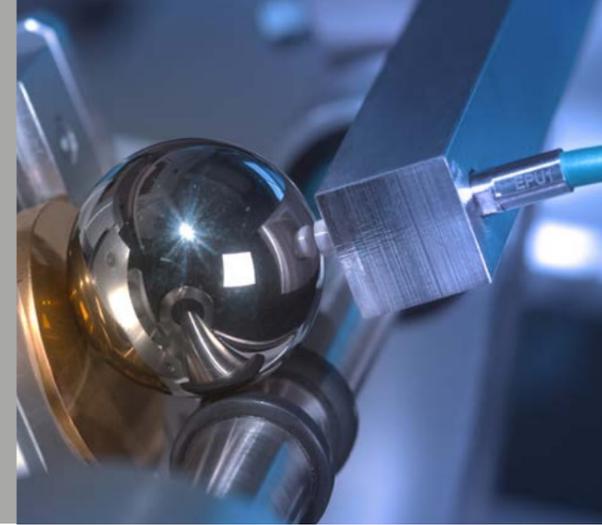
Dr.-Ing. Marko Eichler<sup>16</sup>  
Durchwahl: 636  
marko.eichler@ist.fraunhofer.de

### Prof. Dr. Wolfgang Viöl<sup>22</sup>

Telefon: +49 551 3705-218  
wolfgang.vioel@ist.fraunhofer.de  
*Plasma-Quellenkonzeption, -Hochspannungsgeneratoren, Handgeräte  
und Prototypen | Plasmadiagnostik | Plasmamodifikation von Natur-  
stoffen | Plasmateilchen- und Kalt-Plasmaspritzen | Plasmamedizin,  
Luftreinigung, Entkeimung und Schädlingsbekämpfung | Laser-Plasma-  
Hybridverfahren zur Mikrostrukturierung und Oberflächenmodifikation |  
Lasertechnik zur Materialbearbeitung und Charakterisierung*

### Analytik und Qualitätssicherung

Dr. Kirsten Schiffmann<sup>24</sup>  
Durchwahl: 577  
kirsten.schiffmann@ist.fraunhofer.de  
*Chemische Mikro- und Oberflächenanalyse | Mikroskopie und  
Kristallstruktur | Prüftechnik | Kundenspezifische Prüfverfahren |  
Auftragsuntersuchungen*



# FORSCHUNGS- UND DIENSTLEISTUNGSANGEBOT

## Vorbehandlung – Wir reinigen Oberflächen

Erfolgreiche Beschichtungen setzen eine richtige Vorbehandlung der Oberfläche voraus. Wir bieten daher:

- | Effiziente Oberflächenvorbehandlung auf wässriger Basis inklusive Trocknung
- | Spezielle Glasreinigung
- | Plasmavorbehandlung und Plasmareinigung
- | Plasmaaktivierung und Plasmafunktionalisierung
- | Nasschemische Vorbehandlung
- | Partikelstrahlen

## Modifikation und Beschichtung – Wir entwickeln Prozesse und Schichtsysteme

Dünne Schichten und gezielt modifizierte Oberflächen sind das Kerngeschäft des Fraunhofer IST. Zur Schichtherstellung und Oberflächenbehandlung verfügt das Institut über ein breites Spektrum an Technologien: von der Plasmabeschichtung und -behandlung im Vakuum und bei Atmosphärendruck über CVD-Verfahren bis hin zur Galvanik und Lasertechnik. Unser Leistungsangebot umfasst:

- | Oberflächenmodifikation
- | Entwicklung von Schichten und Schichtsystemen
- | Prozesstechnik (einschließlich Prozessdiagnostik, -modellierung und -regelung)
- | Simulation von optischen Schichtsystemen
- | Entwicklung von Systemkomponenten
- | Verfahrensentwicklung
- | Geräte- und Anlagenbau

## Prüfung und Charakterisierung – Wir sichern Qualität

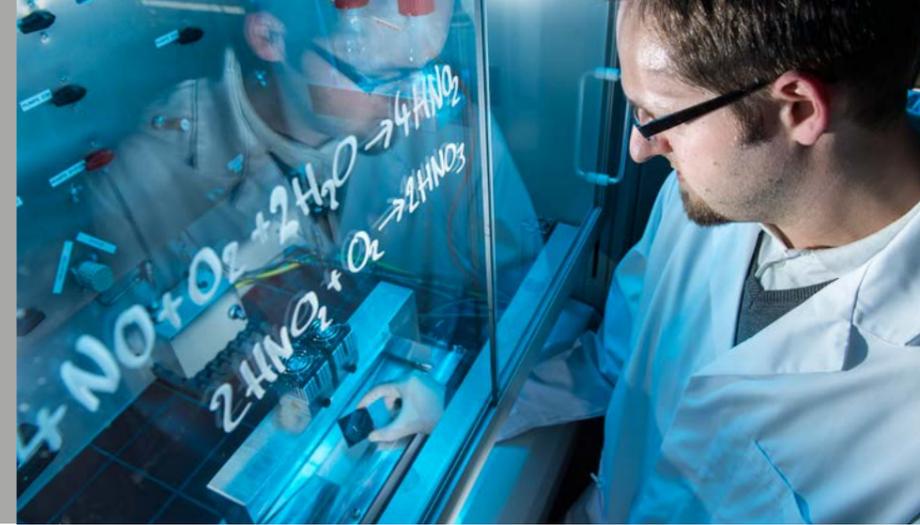
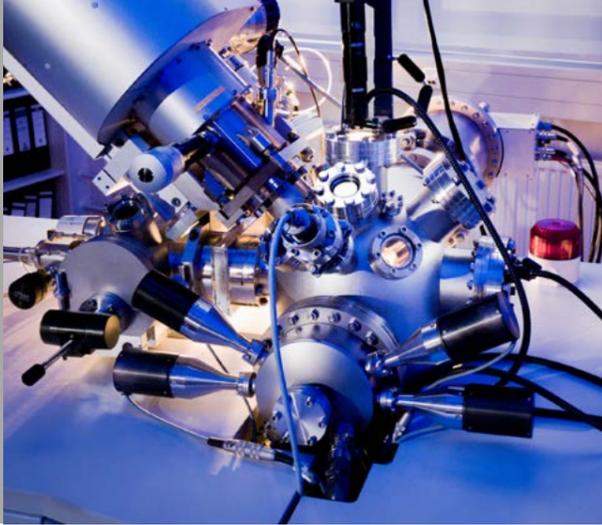
Eine schnelle und zuverlässige Analytik und Qualitätssicherung ist die Voraussetzung für eine erfolgreiche Schichtentwicklung. Wir bieten unseren Kunden:

- | Chemische, mikromorphologische und strukturelle Charakterisierung
- | Mechanische und tribologische Charakterisierung
- | Optische und elektrische Charakterisierung
- | Prüfung der Korrosionsbeständigkeit
- | Prüfverfahren und produktspezifische Qualitätskontrollen
- | Schnelle und vertrauliche Schadensanalyse

## Anwendung – Wir übertragen Forschungsergebnisse in die Praxis

Für einen effizienten Transfer von Technologien in die Praxis bieten wir ein breites Spektrum an Know-how:

- | Wirtschaftlichkeitsberechnungen, Entwicklung wirtschaftlicher Produktionsszenarien
- | Prototypenentwicklung, Kleinserienfertigung, Beschichtung von Musterbauteilen
- | Anlagenkonzepte und Fertigungsintegration
- | Beratung und Schulungen
- | Produktionsbegleitende Forschung und Entwicklung



## ANALYTIK UND QUALITÄTSSICHERUNG

### Chemische und strukturelle Analyse

- | Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX)
- | Elektronenstrahl-Mikroanalyse (WDX, EPMA)
- | Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS)
- | Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie (XPS)
- | Glimmentladungsspektroskopie (GDOES)
- | Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA/XRF)
- | Röntgen-Diffraktometrie (XRD, XRR)
- | FTIR-Spektroskopie
- | Raman-Spektroskopie

### Mikroskopie

- | Rasterelektronenmikroskop (REM)
- | REM mit Focussed Ion Beam (FIB)
- | Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskop (STM, AFM)
- | FTIR-Mikroskop
- | Konfokales Laser-Mikroskop (CLM)
- | Lichtoptische Mikroskope

### Mechanische Tests

- | Mikro- und Nanoindentierung (Härte, E-Modul)
- | Rockwell- und Scratchtest (Schichthftung)
- | Gitterschnitttest, Stirnabzugstest (Schichthftung)
- | Diverse Schichtdickenmessverfahren
- | Diverse Profilometer

### Messung optischer Eigenschaften

- | IR-UV-Vis-Spektrometrie
- | Ellipsometrie
- | Farbmessung
- | Winkelaufgelöste Streulichtmessung (ARS)
- | Integrale Streulichtmessung (Haze)

### Messung von Reibung, Verschleiß und Korrosion

- | Pin-on-Disk-Tester
- | Kalottenverschleißtest (Calo)
- | Wazau-Hochlasttribometer (an Luft, in Öl)
- | CETR-Hochtemperaturtribometer (an Luft, in Öl)
- | Plint-Wälztribometer (an Luft, in Öl)
- | Taber-Abraser-Test, Scheuertest, Sandrieseltest, Bayer-Test
- | Mikrotribologie (Hysitron)
- | Impact- und Ermüdungstester (Zwick Pulsator)
- | Salzsprühtest, Klimatest

### Spezialisierte Messplätze und -methoden

- | Charakterisierung von Solarzellen
- | Messplätze für photokatalytische Aktivität
- | Kontaktwinkelmessung (Oberflächenenergie)
- | Messeinrichtungen für elektrische und magnetische Schichteigenschaften, z. B. Hall, Seebeck, Leitfähigkeit, Vibrationsmagnetometer (VSM)
- | Testsysteme für die elektrochemische Abwasserbehandlung
- | Messplätze zur Charakterisierung des piezoresistiven und thermoresistiven Sensorverhaltens
- | Biochip-Reader zur Fluoreszenzanalytik
- | Schichtmappingsystem (0,6 x 0,6 m<sup>2</sup>) für Reflexions-, Transmissions-, Haze- und Raman-Messungen
- | In-situ Bondenergiemessung
- | Magnetische Charakterisierung (Vibrationsmagnetometer VMS)
- | Elektrochemische Messplätze (CV-Messungen)
- | Nasschemische Schnelltests: colorimetrische Bestimmung von Ionen- und Molekülkonzentrationen
- | Bewitterungstest: zyklische Simulation von UV- und Regenexpositionen

### Plasma-Diagnostik

- | Absorptions-Spektroskopie
- | Photo-akustische Diagnostik
- | Laser-Induced Fluorescence LIF
- | Hochgeschwindigkeitsaufnahmen
- | Optische Emissionsspektroskopie OES
- | Retarding Field Energy Analyzer RFEA
- | Faser-Thermometrie
- | Elektrische Leistungsmessung
- | Numerische Modellbildung



## LABORAUSSTATTUNG UND GROSSGERÄTE

- Produktionsanlagen für a-C:H:Me, a-C:H, Hartstoffschichten (bis 3 m<sup>3</sup> Volumen)
- Beschichtungsanlagen auf Basis der Magnetron- und RF-Dioden-Zerstäubung
- Sputteranlagen für optische Präzisionsschichten
- In-line-Beschichtungsanlage für großflächige optische und elektrische Funktionsschichten (bis 60 × 100 cm<sup>2</sup>)
- Industrielle Beschichtungsanlagen mit HIPIMS-Technologie
- Plasmadiffusionsanlagen
- Anlagen für Hohlkathodenverfahren
- Beschichtungsanlagen für thermische und plasma-aktivierte Atomlagenabscheidung (ALD), (2D und 3D)
- Heißdraht-CVD-Anlagen für die Abscheidung von kristallinen Diamantschichten auf Flächen bis 50 × 100 cm<sup>2</sup> und für die Innenbeschichtung
- Heißdraht-CVD-Anlagen für die Abscheidung von Silizium-basierten Schichten (Durchlaufverfahren und Batchverfahren bis 50 × 60 cm<sup>2</sup>)
- Anlagen für die Beschichtung mittels plasma-aktivierter CVD (PACVD), kombiniert mit Plasmanitrieren
- Atmosphärendruck-Plasmaanlagen zur großflächigen Funktionalisierung und Beschichtung (bis 40 cm Breite)
- Mikroplasmaanlagen zur selektiven Funktionalisierung von Oberflächen (bis Ø = 20 cm)
- Bond-Aligner mit integriertem Plasmatool zur Vorbehandlung von Wafern im Reinraum
- Rolle-zu-Rolle-Anlage zur ortsselektiven Oberflächenfunktionalisierung bis 10 m/min
- Anlage zur Innenbeschichtung von Beuteln oder Flaschen
- Laser für 2D- und 3D-Mikrostrukturierung
- Automatisierte Anlage zur Polyelektrolyt-Abscheidung
- Zwei Mask-Aligner für photolithographische Strukturierung
- Mikrostrukturierungslabor (40 m<sup>2</sup> Reinraum)
- Anlage zur galvanotechnischen Metallisierung von Hohlleitern (11 Aktivbäder mit einem Volumen von je 140 l und 1 Nickelbad mit einem Volumen von 400 l)
- Modulare Technikumgalvanik (20 Stationen für Aktivbäder mit einem Volumen von je 20 l)
- Eloxal-Anlage (11 Aktivbäder mit einem Volumen von je 140 l und 2 Eloxal-Bäder mit einem Volumen von je 350 l)
- 15-stufige Anlage für die Reinigung auf wässriger Basis
- Reinraum-Technikum (25 m<sup>2</sup>)
- Reinraum-Sensorik (35 m<sup>2</sup>)
- Laserstrukturierungslabor (17 m<sup>2</sup>)
- Mobile Atmosphärendruck-Plasmaquellen
- Nanosekunden-Festkörperlaser (Nd: YAG-Laser)
- CO<sub>2</sub>-Laser sowie Excimer-Laser
- EUV-Spektrographie
- Halbleiterlaser
- Pikosekundenlaser



## NACHHALTIGE LÖSUNGEN MIT SCHICHT- UND OBERFLÄCHENTECHNIK

Nachhaltigkeit ist das aktuell vielleicht bedeutendste gesellschaftliche Leitbild unserer Zeit. Sowohl in der Europäischen Union als auch in der Bundesrepublik Deutschland stehen nachhaltige Entwicklungsprozesse auf der Agenda an erster Stelle. Das Fraunhofer IST entwickelt schon seit einigen Jahren im Bereich der Schicht- und Oberflächentechnik Lösungen für nachhaltige Produkte und eine nachhaltige industrielle Produktion.

Viele Forschungsthemen des Fraunhofer IST orientieren sich an dringlichen Zukunftsthemen und gesellschaftlichen Trends wie u. a. der Energiewende, Alternativen für seltene Materialien und knappe Rohstoffe oder Mobilität im 21. Jahrhundert. Dünne Hochleistungsschichten sind darüber hinaus die Basis für eine Vielzahl zukunftsgerichteter Produkte und Hightech-Anwendungen, insbesondere, wenn es darum geht, Material und Energie einzusparen. Einige Beispiele aus unserer Forschung für nachhaltige industrielle Produkte und Prozesse:

### Innovative Materialien

- Am Fraunhofer IST wird intensiv am Ersatz von Indium-Zinn-Oxid (ITO) durch alternative Materialien auf der Basis von ZnO, SnO<sub>2</sub> und TiO<sub>2</sub> geforscht.
- Es werden schädigungsarme Abscheidungen von indium-freien Materialien für hocheffiziente LEDs entwickelt.
- Am Fraunhofer IST werden Materialalternativen für hochbrechende Tantaloxidschichten entwickelt, die in der optischen Industrie eingesetzt werden.
- Es werden neuartige Materialien wie Kanalmaterialien für Dünnschichttransistoren (TFTs) und p-leitende Materialien als transparente Kontaktschichten entwickelt.
- Am Fraunhofer IST werden REACH-konforme Kunststoffmetallisierungen ohne Einsatz von Chrom (VI) entwickelt.

### Materialeffizienz

- In einem Kombinationsprozess aus Atmosphärendruck-Plasmaverfahren und elektrochemischen Verfahren werden Metalle gezielt lokal aufgebracht.
- Durch die Kombination verschiedener Materialien bzw. von Schicht und Grundkörper werden Werkstoffe mit neuen Eigenschaften realisiert.

### Produktionseffizienz

- Optimierte Hartstoff- und nanostrukturierte Schichtsysteme für Umform-, Schneid- oder Zerspanwerkzeuge erhöhen die Standzeiten und ermöglichen eine wirtschaftlichere Fertigung.
- Schneller zum Ziel: Simulation ermöglicht immer kürzere Entwicklungszeiten, z. B. können durch die modellbasierte Auslegung und Implementierung von Beschichtungsprozessen hocheffiziente Produktionsketten realisiert werden.
- Module mit sensorischen Dünnschichtsystemen werden in Tiefziehmaschinen und Antriebsmaschinen integriert, um eine effiziente Umformung und Bearbeitung von Bauteilen zu gewährleisten.
- Harte kohlenstoffbasierte Schichten verhindern das Anhaften von Werkstoffen, z. B. Pulvern, an Werkzeugen sowie Ablagerungen, Fouling, an Oberflächen, z. B. von Wärmetauschern oder in Abgasströmen.

### Energieeffizienz

- Weniger Energieverbrauch durch Erosionsschutz von Flugtriebwerken: Sehr harte Multilagenschichten aus Keramik und Metall verhindern einen zu hohen Kraftstoffverbrauch und sinkende Wirkungsgrade.
- Breiteres und verbessertes Einsatzspektrum für Leichtbaukomponenten durch verschleißfeste reibungsmindernde Beschichtungen, die auch vor Korrosion schützen.
- Verminderte Sonnenstrahlung in Gebäuden durch den Einsatz elektrochromer Fenster.

### Saubere Umwelt

- Mit den am Fraunhofer IST entwickelten Diamantelektroden kann Wasser elektrochemisch aufbereitet werden – angepasst an die Infrastruktur vor Ort und ohne Chemikalien.
- Photokatalytische Schichten ermöglichen antimikrobielle Oberflächen und den Abbau von Schadstoffen aus der Luft.
- Durch Funktionalisierung von Oberflächen im Plasma kann z. B. beim Bonden von Werkstoffen auf Klebstoff verzichtet werden. Die Plasma-Vorbehandlung eignet sich auch als Ersatz von Primern und zur Haftungsverbesserung von Lackierungen.

### Gesundheit

- Die Plasmamedizin hat ein großes Potenzial zur nachhaltigen Behandlung von Patienten. Mit dem Medizingerät PlasmaDerm® lassen sich z. B. offene Wunden effizient behandeln. Langfristig beschleunigt dies die Heilung, reduziert den Zeit- und Personalaufwand und erhöht die Lebensqualität.
- Der Einsatz von Atmosphärendruckplasmen erlaubt die Abtötung selbst multiresistenter Keime.

### Mobilität in der Zukunft

- Reibungsarme und extrem verschleißfeste Beschichtungen reduzieren den Treibstoffverbrauch des Kfz-Motors, verlängern Wartungsintervalle und die Lebensdauer.
- Neuartige Korrosionsschutzschichten auf metallischen Bipolarplatten ermöglichen die wirtschaftliche Herstellung leistungsfähiger Brennstoffzellen für die Automobilindustrie.
- Robuste Dünnschichtsensorik in stark beanspruchten Bereichen von Bauteilen erhöht die Zuverlässigkeit und Sicherheit in vielen Anwendungsfeldern, wie z. B. Elektromobilität.
- Funktionsschichten für Komponenten von Lithium-Ionen-Batterien erhöhen die Leistungsfähigkeit und die Lebensdauer dieser Speicher für elektromobile Anwendungen.

# MASCHINENBAU, WERKZEUGE UND FAHRZEUGTECHNIK

Im Geschäftsfeld »Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik« werden vor allem Schichtsysteme zur Reibungsminderung sowie zum Verschleiß- und Korrosionsschutz entwickelt und anwendungsorientiert optimiert. Dies beinhaltet den gesamten Prozess von der Vorbehandlung über die Schicht- und Prozessentwicklung inklusive der Analytik und Simulation bis hin zur Anwendung. Die Vorbehandlung umfasst dabei neben der Reinigung insbesondere die Einstellung der Oberflächentopographie mit Strahl- oder Plasmaprozessen sowie ggf. eine Diffusionsbehandlung. Beispiele für Anwendungen im Bereich Bauteile und Komponenten sind:

- | DLC- und Hartstoffschichten für Motor- und Antriebskomponenten
- | Oberflächen für Batterien und Brennstoffzellen in mobilen Anwendungen
- | Antihaft- und Antifouling-Beschichtungen
- | Oberflächenoptimierung und Korrosionsschutz von Hybridbauteilen
- | Metallisierung und Funktionalisierung von Kunststoffen
- | Hochkorrosionsfeste Kohlenstoffschichtsysteme für Dichtungsanwendungen

Ein weiteres wichtiges Thema ist die Auslegung von Beschichtungsprozessen durch Simulation realer 3D-Bauteile.

Im Bereich Maschinenbau und Werkzeuge stehen diese Anwendungsfelder im Vordergrund:

- | Beschichtungen von Druckgusswerkzeugen
- | Werkzeugbeschichtungen für die Kunststoffformgebung (Pultrusion, Spritzguss)
- | Plasmadiffusionsbehandlung (inklusive thermodynamischen Simulationen) sowie Beschichtung von Schmiede- und Presshärte Werkzeugen

Darüber hinaus werden sensorische Oberflächen für die unterschiedlichsten sicherheitsrelevanten Anwendungsgebiete entwickelt und erfolgreich eingesetzt. Beispiele sind:

- | Sensorische Unterlegscheiben für eine kontinuierliche Kraftüberwachung
- | Druck- und Temperatur-Dünnschichtsensorik für hochbelastete Werkzeuge
- | Dünnschicht-Dehnungsmessstreifen
- | Magnetische Funktionsschichten

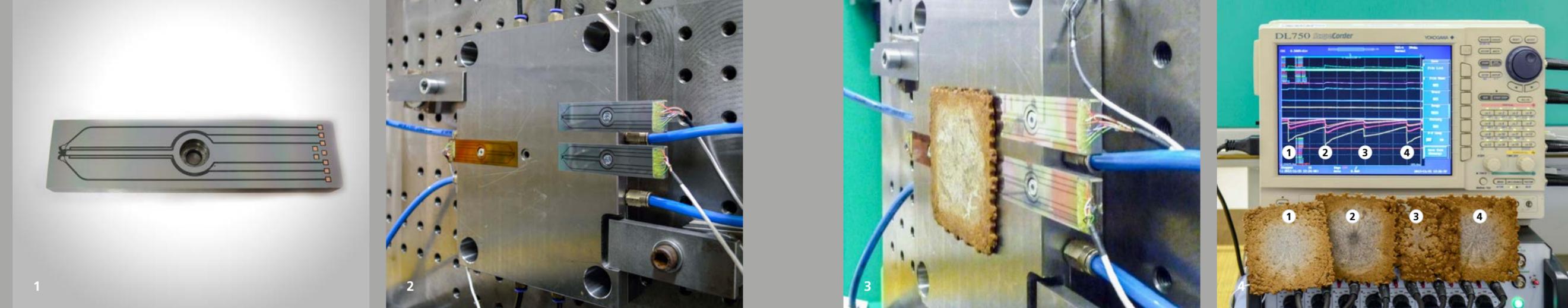
Zu unseren Kunden zählen neben Schichtherstellern vor allem Unternehmen der Automobilindustrie, Werkzeughersteller und -anwender sowie Schichtanwender aus allen Bereichen des Maschinenbaus.

## KONTAKT

Dr. Lothar Schäfer

Telefon +49 531 2155-520

lothar.schaefer@ist.fraunhofer.de



## SENSORIK FÜR DIE EFFIZIENTE HERSTELLUNG NATURFASERVERSTÄRKTER KUNSTSTOFFE

Das Integrieren von nachwachsenden Rohstoffen in Kunststoffe ist aus mehreren Perspektiven ein sehr wichtiges Entwicklungsziel der heutigen Zeit. Aus ökologischer Sicht kann so dem immer größer werdenden Anteil an Plastikmüll begegnet werden, da naturfaserverstärkte Kunststoffe recycelbar sind. Aus ökonomischer Sicht werden wirtschaftlich interessante neue Materialverbunde entwickelt, welche z. B. für die Automobilindustrie und den Leichtbau von großem Interesse sind. Bei der Herstellung solcher naturfaserverstärkten Kunststoffteile im Spritzgussverfahren entsteht jedoch ein erhöhter Verschleiß im Extruderbereich und im Werkzeug, der wiederum zu kürzeren Standzeiten führt und so die Prozesskosten stark ansteigen lässt. Innerhalb des Cornet-Projekts »Smart NFR« werden daher neuartige multifunktionale Schichtsysteme entwickelt, welche der Verschleißreduzierung am Werkzeug und Extruderbereich der Kunststoffspritzgussanlage dienen. Darüber hinaus soll der Prozess durch die Integration von am Fraunhofer IST entwickelten thermoresistiven und piezoresistiven Dünnschichtsensorstrukturen in das Schichtsystem optimiert werden.

### Herstellung des sensorischen Dünnschichtsystems

Auf Stahleinsätzen, die leicht in das Spritzgusswerkzeug eingebaut werden können, wird als Grundsicht die piezoresistive und verschleißbeständige DiaForce®-Schicht in einer Dicke von 6 µm homogen abgeschieden. Darauf werden einzelne Elektrodenstrukturen aus Chrom platziert, sodass sie im Kontaktbereich der Kunststoffschmelze liegen. Es folgen zwei elektrische Isolationsschichten aus Aluminiumoxid bzw. SICON®, zwischen denen sowohl die Leiterbahnen von den Elektroden zu den Kontaktierungsbereichen als auch ein Temperatursensor in Mäandergeometrie aus Chrom gefertigt werden. Das gesamte Schichtsystem weist eine Dicke von etwa 10 µm auf. Ein Werkzeugeinsatz mit einem vollständigen Schichtsystem, bei dem Aluminiumoxid sowohl als elektrische Isolationsschicht als auch als Deckschicht abgeschieden wurde, ist in Abbildung 1 dargestellt. Die beiden kreisförmigen Bereiche stellen die piezoresistiven Sensorbereiche dar, die von der mäanderförmigen Struktur des Temperatursensors halb umschlossen werden.

### Erprobung der sensorischen Schichtsysteme

An der Tomas Bata Universität im tschechischen Zlin wurden drei Einsätze mit sensorischen Dünnschichtsystemen in das Werkzeug der Spritzgussanlage der Firma Arburg (Allrounder 470 H) eingebaut und mit unterschiedlichen naturfaserverstärkten Kunststoffen getestet. Die einzelnen Systeme weisen unterschiedliche Färbungen auf. Ursache dafür sind die verschiedenen Isolationsschichten (vgl. Abbildung 2): Im Fall des linken Einsatzes wurden jeweils SICON®-Schichten als Zwischen- und als Deckschicht abgeschieden. Bei den beiden rechts angeordneten Einsätzen wurde hingegen das transparente Aluminiumoxid als verschleißschützende Isolationsschicht verwendet. Abbildung 3 zeigt ein Spritzgussteil nach dem Öffnen der Anlage, das noch in Kontakt mit den Sensorsystemen ist. Anhand der Spannungsverläufe der einzelnen Dünnschichtsensorstrukturen kann bereits während des Spritzgussprozesses erkannt werden, ob ein Gutteil gefertigt wird oder nicht (vgl. Abbildung 4). Die Dünnschichtsysteme zur Detektion wurden bisher in mehr als 500 Spritzgussprozessen mit unterschiedlichen faserverstärkten Kunststoffen eingesetzt, ohne dabei zu verschleißen.

### Ausblick

Zukünftig soll die Verschleißbeständigkeit der unterschiedlichen Dünnschichtsensorstrukturen bei der Spritzgussverarbeitung von natur- und holzfaserverstärkten sowie talk- und schieferpulververstärkten Kunststoffen untersucht werden. Darüber hinaus sollen Sensoreinsätze für den Extruderbereich der Spritzgussanlage entwickelt und ihre Einsatzfähigkeit in Kontakt mit unterschiedlichen naturfaserverstärkten Kunststoffen getestet werden.

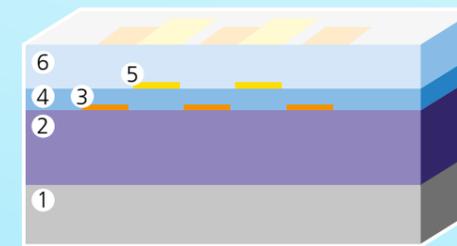
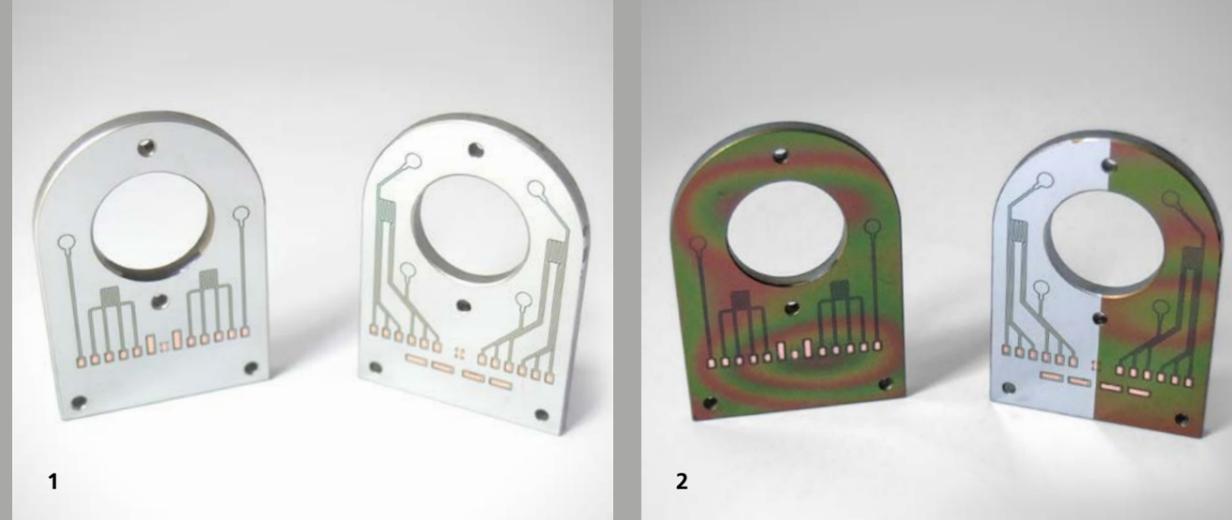
### Das Projekt

Die beschriebenen Ergebnisse wurden innerhalb des Projekts »Smart coating systems for process control and increased wear resistance in processing of natural fibre reinforced polymers«, kurz: Smart NFR, erzielt, an dem das Fraunhofer IST gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU und der tschechischen Universität Tomas Bata in Zlin arbeitet. Smart NFR wird im 19. Cornet Call (Collective Research Networking) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) gefördert und hat eine Laufzeit vom 1. Juni 2016 bis zum 30. November 2018.

- 1 Werkzeugeinsatz mit vollständigem Sensorsystem.
- 2 Spritzgussanlage mit drei integrierten sensorischen Einsätzen im Werkzeug.
- 3 Holzfaserverstärktes Spritzgussteil, noch in Kontakt mit den Sensorsystemen.
- 4 Gegenüberstellung charakteristischer Spannungsverläufe mit unterschiedlichen Stadien der Spritzgussergebnisse. Das am besten ausgeformte holzfaserverstärkte Bauteil (2. v. l.) wurde mit der größten Spannungsänderung aller Sensorstrukturen hergestellt.

## KONTAKT

Dr. Saskia Biehl  
 Telefon +49 531 2155-604  
 saskia.biehl@ist.fraunhofer.de



- 6 Isolations- und Verschleißschicht (SiCON®)
- 5 Temperaturmäanderstruktur
- 4 Isolations- und Verschleißschicht (SiCON®)
- 3 Elektrodenstruktur Cr
- 2 DiaForce®
- 3 1 Stahlgrundkörper

## ANWENDUNGSSPEZIFISCHE FERTIGUNG VON SENSORSYSTEMEN

Der Kundenwunsch steht im Fokus der Sensorentwicklungen am Fraunhofer IST. Dies bezieht sich sowohl auf die Geometrie der Grundkörper, als auch auf die Art und Anzahl der Sensorsysteme, die in einem Dünnschichtsystem vereint werden. Derzeit stehen dafür piezoresistive und thermoresistive Sensorstrukturen zur Verfügung, die den Anforderungen des Auftraggebers entsprechend realisiert werden. Einige Beispiele sind in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt.

### Die Herstellung des sensorischen Dünnschichtsystems

In den meisten Fällen werden in ihrer Form an Unterlegscheiben erinnernde Geometrien aus gehärtetem Stahl gefertigt, welche leicht zur Überwachung von Schraubverbindungen eingesetzt werden können. Dafür wird zunächst mithilfe eines PACVD-Prozesses eine am Fraunhofer IST entwickelte DiaForce®-Schicht homogen abgeschieden. Anschließend werden einzelne kreisförmige Elektrodenstrukturen aus Chrom gefertigt, welche die belastungsmessenden Sensorflächen bilden (vgl. Abbildung 1 und 2). Auf einer dann folgenden elektrisch isolierenden SiCON®-Zwischenschicht, eine mit Silizium und Sauerstoff modifizierten Kohlenwasserstoffschicht, die ebenfalls im PACVD-Prozess abgeschieden wird, werden sowohl Leiterbahnen zu den Kontaktierungspunkten, als auch temperaturmessende Mäanderstrukturen aus Chrom strukturiert. Diese Strukturen werden mit einer zweiten abschließenden SiCON®-Schicht vor Verschleiß geschützt (vgl. Abbildung 3).

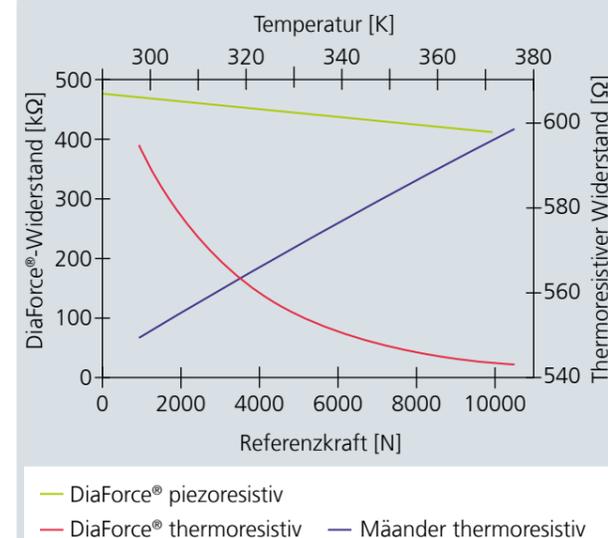
### Die Sensorcharakteristik

In Prüfständen des Fraunhofer IST werden die temperaturabhängigen und belastungsabhängigen Kennlinien jeder einzelnen Sensorstruktur gemessen. Im Fall der piezoresistiven Sensorik handelt es sich um linear verlaufende Widerstandskennlinien in Abhängigkeit von der Belastung. Dabei wird eine Voll- oder Halbbrückenschaltung aufgebaut und eine konstante Spannung von fünf Volt angelegt. Die thermoresistiven Mäanderstrukturen weisen ebenfalls lineare Widerstandsabhängigkeiten auf. Sie werden in sogenannter Vierleitertechnik aufgebaut, wobei über die äußeren Leiter ein konstanter Strom von z. B. 10 mA angelegt und die Spannungsänderung über die inneren Leiter gemessen wird. Da die piezoresistive Sensorschicht DiaForce® als amorphe Kohlenwasserstoffschicht ein Halbleiter ist, weist sie eine exponentielle Widerstandsabhängigkeit von der Temperatur auf. Dieser Effekt kann durch die zusätzliche Integration von temperaturkompensierenden Strukturen im Kontaktierungsbereich ausgeglichen werden. Exemplarische Kennlinienverläufe einer Kraftsensorstruktur und eines Temperaturmänders sind in dem nebenstehenden Diagramm dargestellt.

### Ausblick

Den Anforderungen der Kunden entsprechend sollen zukünftig zu einem Sensorsysteme mit kabellosem Datentransfer weiterentwickelt werden. Zum anderen sollen die Arbeiten an dem multifunktionalen Schichtsystem vor allem im Hinblick auf verbesserte und neue Sensorintegrationen weitergeführt werden.

Belastungsabhängiger und temperaturabhängiger Widerstandsverlauf einer Sensorstruktur und die lineare Widerstandsabhängigkeit von der Temperatur einer Mäanderstruktur.



1 Unterlegscheibenartige Sensorsysteme mit unterschiedlichen Sensoranordnungen auf der Oberfläche gehärteter Stahlsubstrate.

2 Sensorsysteme mit zusätzlicher Verschleißschicht (rechts partiell abgeschieden).

3 Schematische Darstellung des Schichtsystems.

## KONTAKT

Dr. Saskia Biehl  
Telefon +49 531 2155-604  
saskia.biehl@ist.fraunhofer.de

Eike Meyer-Kornblum, M.Sc.  
Telefon +49 531 2155-764  
eike.meyer-kornblum@ist.fraunhofer.de



## TITANLEGIERUNGEN EFFIZIENT UMFORMEN

Aktuell können effiziente umformtechnische Verfahren wie z. B. das Tiefziehen oder das Innenhochdruck-Umformen nur stark eingeschränkt für Titanlegierungen angewendet werden. Die hohe Adhäsionsneigung von Titanlegierungen führt bei der Umformung im Temperaturbereich von 500 °C bis 950 °C zu einem rapiden Werkzeugverschleiß. Trotz des Einsatzes temperaturbeständiger Schmiermittel genügt die Bauteiloberflächengüte und die Prozessstabilität der Umformoperationen bereits nach kürzester Zeit nicht mehr den Anforderungen. Am Fraunhofer IST werden daher in einem durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekt antiadhäsive Werkzeugbeschichtungen für die Hochtemperatur-Titanumformung entwickelt, mit denen zukünftig effizientere Umformprozesse und eine verbesserte Bauteilqualität erreicht werden sollen.

### Titanlegierungen

Titanlegierungen zeichnen sich durch ein günstiges Verhältnis zwischen Gewicht und Festigkeit, einer guten Duktilität, hoher thermischer Belastbarkeit, Korrosionsbeständigkeit und Biokompatibilität aus. Setzt man sie als Grundwerkstoff ein, ergeben sich dadurch große Entwicklungspotenziale in verschiedensten Anwendungsgebieten, wie z. B. der Luft- und Raumfahrttechnik, der chemischen Industrie, der Medizintechnik sowie der Schifffahrt.

### Schichtentwicklung

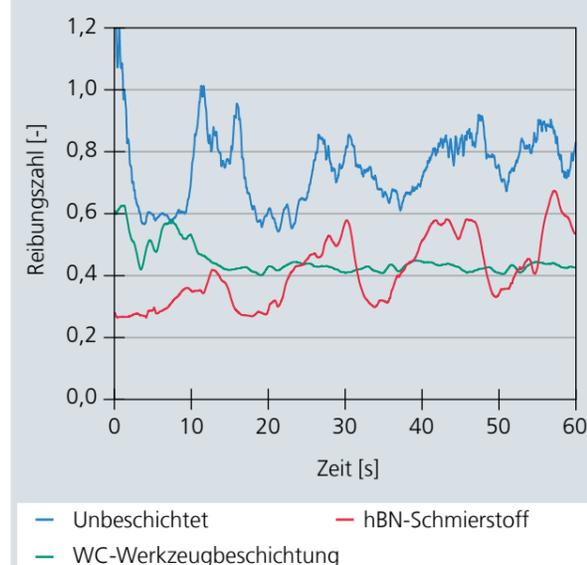
Die am Fraunhofer IST entwickelten Werkzeugbeschichtungen auf Basis von Wolframcarbid (vgl. Abbildung 1) verfolgen das Wirkprinzip zur Ausbildung einer selbstschmierenden Randschicht während des Umformprozesses. Anwendungsbezogene Laborversuche (vgl. Abbildung 2) beweisen, dass dieser Effekt zu einer signifikanten Reduktion des Werkzeugverschleißes und der resultierenden Reibkräfte im Kontakt mit adhäsiven Titanwerkstoffen führt (vgl. Abbildung 3 und nebenstehende Grafik). Weitere Langzeittests belegen eine gleichbleibende Schichtperformance auch für Bean-

spruchungsdauern im Bereich industrieller Anwendungen. Hierdurch können kostenintensive Schmierstoffe eingespart werden. Neben allen gängigen Werkzeugstählen können auch temperaturbeständige Nickelbasiswerkstoffe mit Hilfe der eingesetzten PVD-Technologie beschichtet werden. In Abhängigkeit vom gewählten Werkzeugwerkstoff sind Einsatztemperaturen von bis zu 950 °C in unterschiedlichen Atmosphären wie z. B. Luft, Argon oder Stickstoff erreichbar.

### Industrielle Anwendung

Die Schichtentwicklung erfolgte auf PVD-Magnetronspalteranlagen nach industriellem Standard, wodurch die Entwicklungsergebnisse direkt auf reale Umformwerkzeuge übertragen und somit genutzt werden können. Erste reale Umformversuche zur Massivumformung und superplastischen Blechumformung von hochfesten Titanlegierungen werden aktuell mit den Projektpartnern durchgeführt und sollen die Grundlage für die finale Qualifikation der entwickelten Schichtsysteme für die industrielle Anwendung darstellen.

Modifikationen von Inconel 718 als Werkzeugwerkstoff im Vergleich – Tribometerversuche gegen TiAl6V4 bei 950 °C in Ar-Schutzgasatmosphäre.



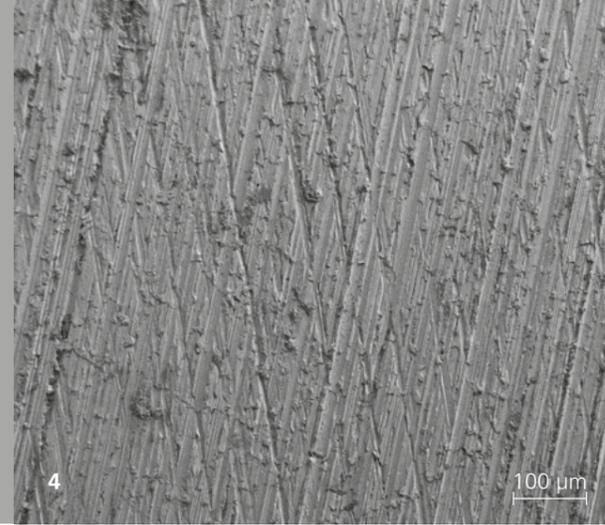
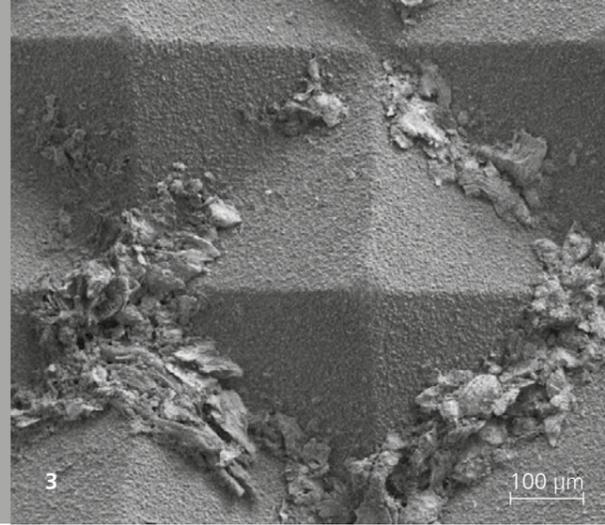
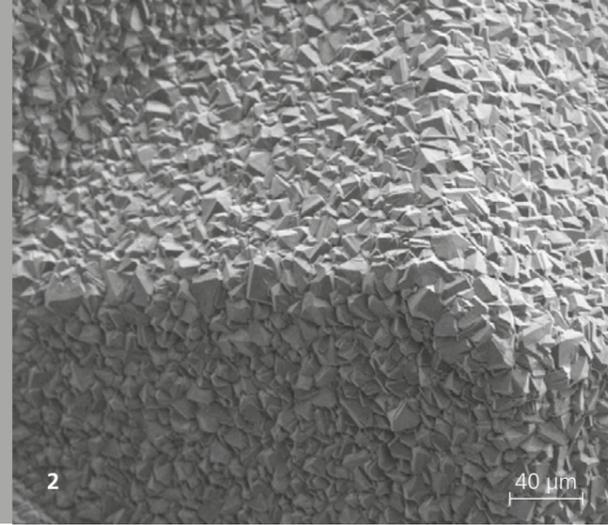
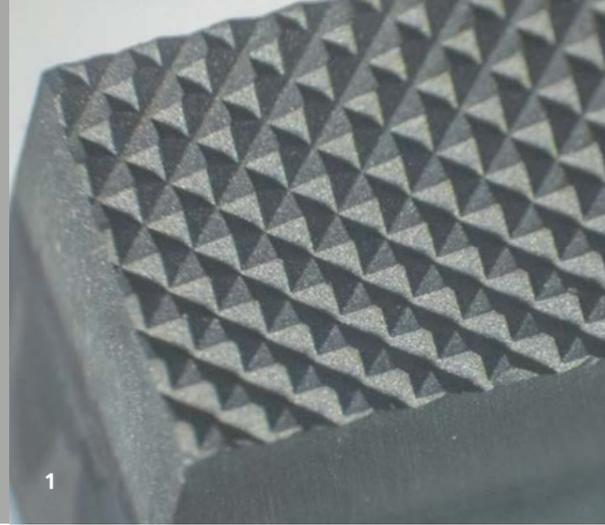
1 REM-Querschnittsaufnahme der entwickelten Werkzeugbeschichtung auf Wolframcarbid-Basis.

2 Hochtemperatur-Tribometer mit optionaler Schutzgasatmosphäre zur anwendungsorientierten Schichtentwicklung.

3-4 Verschleißausprägungen auf der Werkzeugoberfläche nach Anwendungsversuchen gegen TiAl6V4 bei 950 °C unter Schutzgasatmosphäre. (3) Unbeschichtet, mit Titananhaftungen. (4) Beschichtet, ohne Titananhaftungen.

## KONTAKT

Dipl. Wirt.-Ing. Tim Abraham  
Telefon +49 531 2155-655  
tim.abraham@ist.fraunhofer.de



## STRUKTURIERTE CVD-DIAMANT-HONLEISTEN

Zylinderkurbelgehäuse von Verbrennungsmotoren werden in der Endbearbeitung gehont. Dabei werden Honleisten gegen die Oberfläche gepresst. Sie führen eine kombinierte Dreh- und Hubbewegung aus und bearbeiten so die Zylinderinnenfläche. So entstehen die typischen gekreuzten Honriefen, die für die tribologischen Eigenschaften im Kontakt mit dem Kolbenring als Gegenkörper notwendig sind. In einem Förderprojekt wurden am Fraunhofer IST in Kooperation mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) der Technischen Universität Braunschweig neuartige CVD-Diamant-Honleisten entwickelt und erfolgreich getestet, die mehrere Vorteile gegenüber den herkömmlichen Honleisten aufweisen.

### Der Lösungsansatz

Bisher verwendete Honleisten bestehen aus gebundenen Diamantkörnern. Der Nachteil dabei ist, dass in den meisten Fällen eine drei- bis vierstufige Prozesskette notwendig ist, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen. Darüber hinaus wird eine vergleichsweise große Menge an Schmierstoffen benötigt. Die neuartigen Honleisten weisen hingegen eine Kombination aus geometrisch bestimmten Schneiden, der Pyramidenstruktur (vgl. Abbildung 1), und geometrisch unbestimmten Schneiden, den Kristallitspitzen der mikrokristallinen CVD-Diamantschicht (vgl. Abbildung 2), auf. Dadurch erhält man eine stark erhöhte Freiheit in der Gestaltung des Werkzeugs und damit in der Ausprägung der Oberflächentopographie des bearbeiteten Werkstücks. Dies erlaubt es gegebenenfalls, die Prozesskette zu verkürzen und weitgehend bzw. vollständig auf Schmierstoffe zu verzichten.

### Die Ergebnisse

In einem ersten Schritt wurde am IWF die Fertigungstechnik zum Schleifen verschiedener Pyramidengeometrien in die keramischen Honleistengrundkörper entwickelt. Parallel dazu wurde am Fraunhofer IST an einer Beschichtungstechnik für konturgetreue und extrem haftfeste CVD-Diamantschichten gearbeitet, die 12 bis 24 Mikrometer dick sind und über variable Kristallitgrößen verfügen (vgl. nebenstehende Grafik).

Die Prototypwerkzeuge wurden am IWF beim Honen von Grauguss und einer eisenhaltigen thermischen Spritzschicht getestet. Es zeigte sich, dass sowohl beim Außen- als auch beim Innenrundhonen eine Bearbeitung problemlos möglich war. In einem Langzeittest über 17 Stunden trat nur geringer Verschleiß auf, ohne dass das Standzeitende erreicht wurde. Es kam zu keinem Spänestau und keinen Zusetzungen; die in den Rauheitstälern verbleibenden Späne (vgl. Abbildung 3) konnten leicht entfernt werden. Darüber hinaus wurden bei einem identischen Honbild (vgl. Abbildung 4) die gleichen Zeitspannungsvolumina und Werkstückrauheiten wie mit konventionellen Honleisten erreicht. Zudem konnte mit den neuen Werkzeugen erstmals eine Bearbeitung mit Minimalmengenschmierung und sogar eine komplette Trockenbearbeitung beim Honen durchgeführt werden.

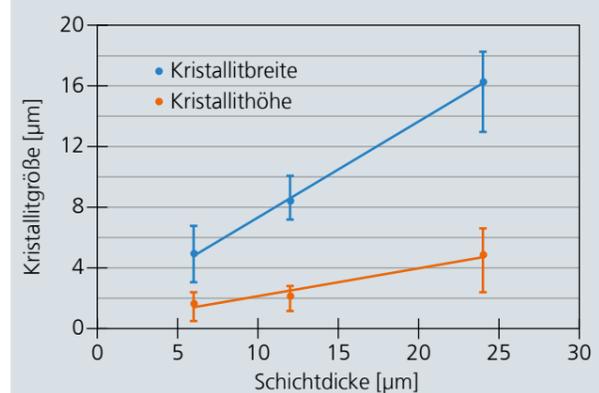
### Ausblick

Zukünftig sollen die sehr erfolgreichen Arbeiten zu diesem innovativen Werkzeugkonzept weitergeführt werden. Dabei geht es unter anderem darum, weitere Honleistentopographien zu erzeugen und auf ihren Einfluss auf die Honriefen zu testen. Darüber hinaus soll der Herstellungsaufwand weiter verringert werden, um das neue Werkzeugkonzept wirtschaftlicher zu machen.

### Das Projekt

Das IGF-Vorhaben 18682 N der Forschungsvereinigung Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V. – DGO, Itterpark 4, 40724 Hilden wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert.

Abhängigkeit der Kristallitpitzengröße von der Schichtdicke.



1 Neuartige strukturierte Honleiste aus Siliziumnitridkeramik, beschichtet mit CVD-Diamant.

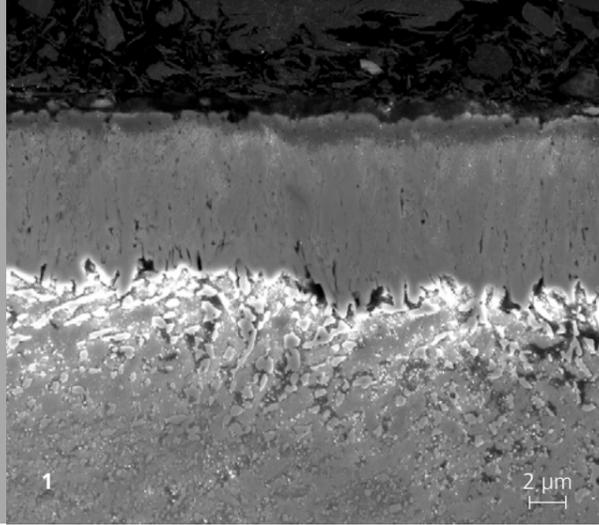
2 REM-Aufnahme einer Pyramidenspitze, Schichtdicke 24 Mikrometer.

3 REM-Aufnahme der Honwerkzeugoberfläche nach dem Honen von Grauguss.

4 REM-Aufnahme der gehonten Graugussoberfläche.

## KONTAKT

Dr. Jan Gäbler  
 Telefon +49 531 2155-625  
 jan.gaebler@ist.fraunhofer.de



## GASBORIEREN VON HOCHLEGIERTEN WERKZEUGSTÄHLEN

Das Gasborieren von Werkzeugstählen stellt einen ganz neuen Ansatz für den Verschleißschutz von Ur- und Umformwerkzeugen dar. Durch eine neue am Fraunhofer IST entwickelte Prozessführung können jetzt auch hochlegierte Werkzeugstähle mit diesem Verfahren erfolgreich behandelt werden.

### Borieren von Stahlwerkstoffen

Das Borieren von niedriglegierten Stählen ist bereits seit vielen Jahren bekannt. Dabei diffundiert Bor aus einem pulver- oder pastenförmigen Spendermedium bei Temperaturen oberhalb von 750 °C in die Werkstoffoberfläche. Durch eine anschließende Vakuumwärmebehandlung wird die Ausgangshärte des Grundwerkstoffs wiederhergestellt. Es bilden sich sehr harte und verschleißbeständige Boridschichten mit größerer Schichtdicke als bei konventionellen Hartstoffschichten. Nachteilig sind die dabei entstehenden Rückstände der Spendermedien auf der Werkstoffoberfläche, die aufwändig entfernt und anschließend entsorgt werden müssen. Um dies zu umgehen, werden Möglichkeiten untersucht, um mit unbedenklichen gasförmigen Spendermedien zu arbeiten. Gelungen ist dies bereits weitgehend durch eine zusätzliche Plasmaunterstützung bei der Borierung niedrig legierter Stähle. Problematisch war hier bisher jedoch die Porenbildung. Darüber hinaus eignete sich die Technologie nicht für die erfolgreiche Behandlung hochlegierter Stähle.

### Der neue Borierprozess

Am Fraunhofer IST ist es gelungen, durch eine geänderte Prozessgasumsetzung und eine optimierte Gasverteilung erstmals nahezu porenfreie Boridschichten auf verschiedenen hochlegierten Warm- und Schnellarbeitsstählen bei Temperaturen von 700–750 °C in einer Vakuumkammer herzustellen. Dabei wurde  $\text{BCl}_3$  als Spendermedium verwendet. Eine zusätzliche Plasmaunterstützung war nicht notwendig. Ein weiterer Vorteil des neuen Borierprozesses ist, dass der erforderliche Einsatz des Spendermediums mehr als halbiert werden konnte.

### Die Schichteigenschaften

Mit dem neuen Prozess können bereits nach einer Prozesszeit von zwei Stunden Schichtdicken von mehr als 10 µm erzielt werden. In Abhängigkeit vom verwendeten Werkzeugstahl und den Prozessparametern liegen die Schichthärten zwischen 1800 und 2500 HV. In Tribometerversuchen in sogenannter Kugel-Scheibe-Anordnung gegen Stahl- und Aluminiumkugeln weisen die Schichten ein sehr gutes Reibungs- und Verschleißverhalten auf. Auffällig ist zudem die äußerst geringe Adhäsionsneigung gegenüber Aluminium.

### Ausblick

Im Rahmen des IGF-Vorhabens »Anwendung von Plasma-borierverfahren zur Steigerung der Belastbarkeit von Schmiedegesenken« (IGF 19553 N) werden aktuell die Eigenschaften der Boridschichten in Serienschmiedeversuchen untersucht. Weitere Anwendungsversuche beim Schmieden und Gießen von Aluminium sowie der Blechumformung von Stahl und Leichtmetallen sind in Vorbereitung.

### Das Projekt

Das IGF-Vorhaben IGF 19553 N der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert.

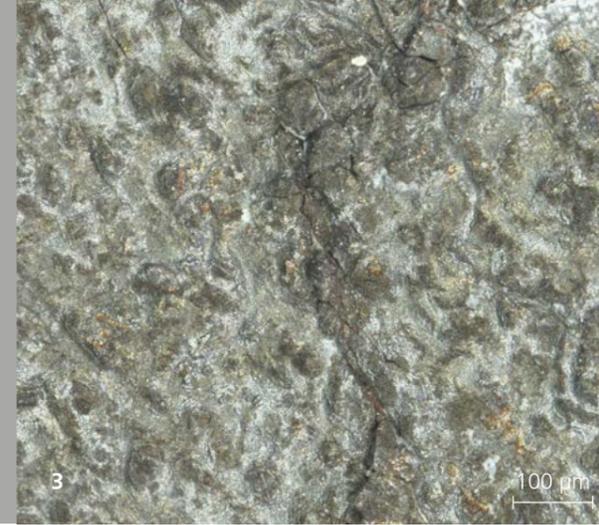
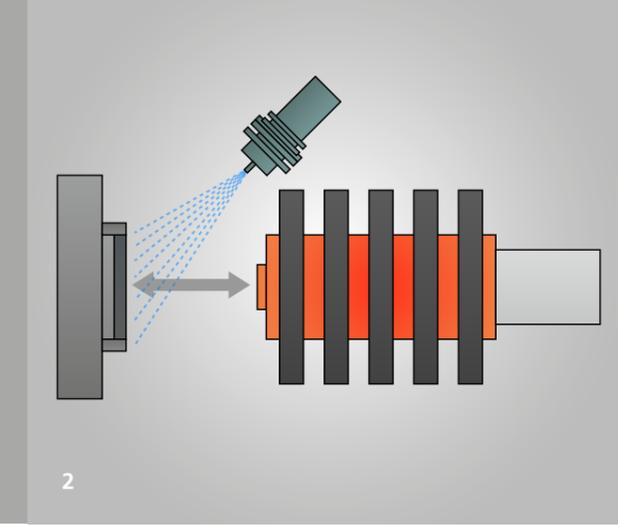
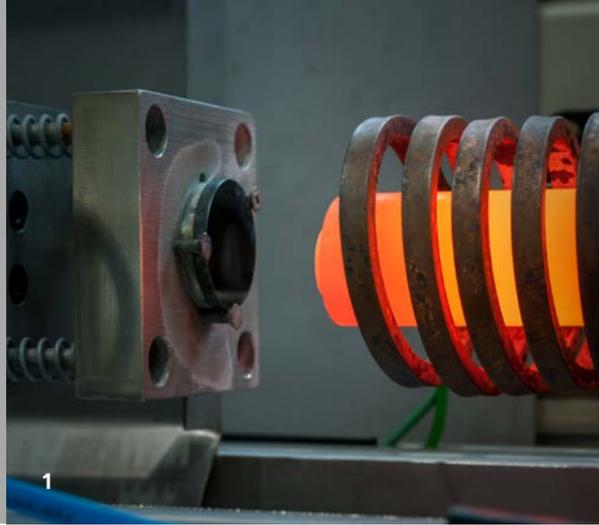
1 *Borierschicht in hochlegiertem Warmarbeitsstahl 1.2343.*

2 *Versuchswerkzeug für die Warmmassivumformung.*

3 *Rockwelleindruck in einer 10 µm dicken Boridschicht.*

## KONTAKT

Dipl.-Ing. Martin Weber  
Telefon +49 531 2155-507  
martin.weber@ist.fraunhofer.de



## THERMOSCHOCKTESTER FÜR LEICHTMETALL- GUSS- UND SCHMIEDEWERKZEUGE

Die Verschleißminimierung an Werkzeugen ist ein Schlüsselkriterium für die wirtschaftliche Serienproduktion, insbesondere beim Leichtmetallguss und Schmieden. Thermoschockbelastungen führen häufig zu Brandrissen, die eine wesentliche Ausfallursache für diese Werkzeuge darstellen. Durch geeignete Randschichtbehandlungen wie z. B. Diffusionsbehandlungen (Nitrieren, Borieren) oder Beschichtungen kann die Lebensdauer der Werkzeuge jedoch erhöht werden. Zur Bewertung der Randschichten hinsichtlich ihrer Thermoschockbeständigkeit ist eine geeignete Prüftechnik unerlässlich. Am Fraunhofer IST wurde daher ein innovativer Thermoschockprüfstand entwickelt.

### Der Thermoschockprüfstand

Einfache Testverfahren für die Schicht- und Materialprüfung mit einer Vielzahl von einstellbaren Parametern sind für eine wirtschaftliche Werkzeugauslegung von hoher Bedeutung. Der am Fraunhofer IST entwickelte Thermoschockprüfstand setzt an den konkreten Ausfallmechanismen von Leichtmetallguss- und Schmiedewerkzeugen an. So können mit dem Thermoschocktester viele Szenarien realer Werkzeuge im Labormaßstab nachgebildet werden. Dadurch ist eine kostengünstige und zeitlich attraktive Vorcharakterisierung von Werkstoffen und Randschichtbehandlungen vor der eigentlichen Beschichtung der Serienwerkzeuge möglich.

### Das Funktionsprinzip

Mittels einer leistungsfähigen Induktionsspule wird ein Stempel auf eine Temperatur bis maximal 1000 °C aufgeheizt. Die zu untersuchende Probe fährt zyklisch mit einer individuell einstellbaren Haltedauer gegen den aufgeheizten Stempel. Nach der Rückwärtsbewegung der Probe wird diese mit einem aufgesprühten Kühlmedium mit definierter Abkühlrate abgeschreckt.

Um den Temperaturverlauf an einem Serienwerkzeug möglichst genau nachbilden zu können, werden die Temperaturen sowohl an der Probe als auch am Stempel erfasst. Die nebenstehende Grafik zeigt einen beispielhaften Temperaturverlauf.

### Die Möglichkeiten

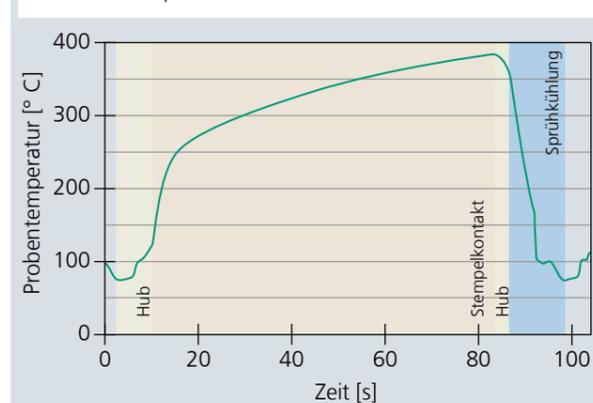
Durch die vielfältigen Möglichkeiten des Prüfstands wird eine hohe Flexibilität für unterschiedlichste Anwendungen geschaffen. So ist es möglich, die wesentlichen Parameter wie die Kontaktzeit und Stempeltemperatur genau einzustellen und dadurch mit unterschiedlichen Sprühkühlungskonzepten zu arbeiten. Unter anderem können dabei verschiedene Sprühparameter wie Kegelform, Druck, Richtung und Dauer verändert werden. Einen wesentlichen Einfluss auf das Sprühkühlungskonzept hat darüber hinaus die Probentemperatur. Bei der Spritzkühlung unter 300 °C wird die Oberfläche der Probe vollständig benetzt und kühlt stark ab. Bei der Verdampfungskühlung oberhalb der sogenannten Leidenfrosttemperatur von 450 °C verdampft die Flüssigkeit beim Auftreffen auf die Probe vollständig und die Kühlwirkung ist reduziert.

Der Prüfstand arbeitet weitgehend automatisiert, sodass auch umfangreiche Testzyklen realisiert werden können. Nach dem Prüfzyklus können die Auswirkungen auf die Proben wie z. B. Zunderbildung, korrosiver Angriff der Oberfläche, Rissbildung, Anlasseffekte oder Veränderungen an den Korngrenzen eingehend charakterisiert werden.

### Die Vorteile

Die Verschleißminimierung an Werkzeugen für den Leichtmetallguss und das Schmieden ist von zentraler Bedeutung für die Industrie. Häufig sind diese Werkzeuge sehr kostspielig, sodass die Erprobung neuer Werkzeugwerkstoffe und Randschichtbehandlungen in der Produktion ein sehr hohes Risiko darstellen. Die Möglichkeiten zur Erhöhung der Lebensdauer der Werkzeuge werden daher oft nicht genutzt. Mit dem Prüfstand können nun einfache vorselektierte Tests mit realitätsnahen Beanspruchungen durchgeführt werden.

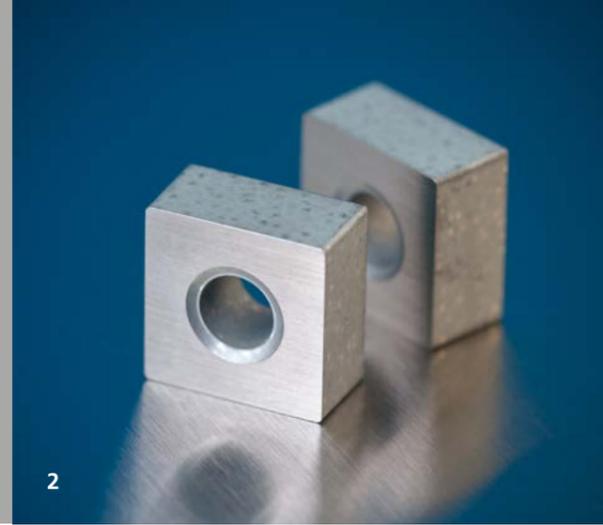
Aufheiz- und Abkühlkurve einer Probe im Thermoschockprüfstand.



- 1 *Glühender Stempel mit Probe im Thermoschock-Prüfstand.*
- 2 *Schematischer Versuchsaufbau des Prüfstands.*
- 3 *Mikroskopaufnahme einer Werkzeugoberfläche mit Verschleißerscheinungen.*

## KONTAKT

Markus Mejauschek, M.Sc.  
Telefon +49 531 2155-679  
markus.mejauschek@ist.fraunhofer.de



## PROZESSKETTE ZUR VORBEHANDLUNG VON WERKZEUGEN FÜR DIE PLASMABESCHICHTUNG

Die Anwendungseigenschaften von Hartstoffschichten auf geometrisch komplexen Zerspanungswerkzeugen hängen in hohem Maße von der Oberflächenreinheit der Hartmetallgrundkörper vor der Beschichtung ab. Um die Umweltverträglichkeit einer funktionsoptimierten Reinigungsprozesskette aus Behandlungsschritten an der Atmosphäre mit einer nachfolgenden Plasmafeinreinigung direkt vor der Beschichtung zu steigern, wird am Fraunhofer IST eine neue Prozesskette zur Vorbehandlung von zu beschichtenden Werkzeugen entwickelt und mit Partnern in der Anwendung evaluiert.

### Reinigungsprozesskette

Zerspanungswerkzeuge aus Hartmetall durchlaufen in ihrer Fertigung einen recht komplexen Prozess bestehend aus Schleif- und Polierschritten, die durch die entstehende Prozesswärme hartnäckige Rückstände auf der Oberfläche entstehen lassen können. Diese sind nach der Endreinigung der Fertigung größtenteils selbst mit dem Lichtmikroskop kaum noch zu erkennen. Dennoch wirken sie sich negativ auf die Anbindung bzw. Haftung der Hartstoffschichten aus. Um die Prozesssicherheit der Beschichtungsprozesse zu steigern, werden am Fraunhofer IST folgende ökologische Reinigungsansätze kombiniert und mithilfe von Standzeituntersuchungen anschließend beschichteter Schneidwerkzeuge auf ihre technologische Tragfähigkeit hin untersucht:

- ┃ Wässrige Reinigung mit biologisch abbaubaren Reinigern
- ┃ Trockenschneestrahlen für die rückstandsfreie Reinigung
- ┃ Plasmaelektrolytisches Polieren mit umweltverträglichen Medien
- ┃ Plasmafeinreinigung im Vakuum mit neuartigen Generatorkonzepten

### Wässrige Reinigung

Als Referenzreinigungssystem für eine beschichtungsgerechte nasschemische Reinigung dient die am Fraunhofer IST vorhandene 15-Kammer-Anlage (vgl. Abbildung 1). Diese Anlage ist genau auf die Belange des IST ausgelegt, da vielfältige Substratmaterialien und -geometrien – von Flachsubstraten bis hin zu komplexen Werkzeugen – gereinigt werden können. Darüber hinaus können auch die verwendeten Reinigungsmedien flexibel angepasst werden. Eine ausgereifte Badüberwachung und die mit einem Expertensystem gekoppelte Rezeptsteuerung ermöglichen reproduzierbare Vorbehandlungsprozesse. Mithilfe der Anlage erfolgt die Qualifizierung neuartiger biologisch unbedenklicher und abbaubarer Reiniger, die durch eine weitere Unterstützung mittels Ultraschallanregung in ihrer Reinigungswirkung effizient eingesetzt werden. Die spezielle Reinigungsformulierung erfolgt auf Basis nachwachsender und/oder biologisch abbaubarer Rohstoffe wie Tensiden und/oder anderen oberflächenaktiven Substanzen wie z. B. Glykoside.

### Plasmafeinreinigung

Im letzten Schritt der Vorbehandlung wird die Substratoberfläche unter Vakuumbedingungen mittels plasmachemischer und plasmaphysikalischer Prozesse von jeglichen chemischen

Verbindungen bis hinunter zur Nanometer-Skala befreit und chemisch aktiviert. Vor allem für die Anbindung bzw. Haftung nachfolgend aufgetragener Schichten spielt dies eine wesentliche Rolle. Ausschlaggebend für eine effektive Reinigung sind dabei die vorherrschenden Plasmabedingungen, die in weiten Bereichen durch Variation der Pulsgeometrie und Beschleunigungsspannungen modifiziert werden können.

### Evaluierung

Um die Wirksamkeit der neu entwickelten Reinigungsprozesskette nachzuweisen, werden synthetische Verschmutzungen auf Musterbauteiloberflächen aufgebracht und entfernt, die den Fertigungsprozess möglichst genau abbilden oder weitere Anforderungen durch Darstellung massiver Film- oder Partikelbeläge an den Prozess stellen. In einem zweiten Schritt werden dann komplexe Schneidgeometrien wie z. B. Bohrer oder Fräser mit Verschleißschutzschichten versehen. Diese werden im Anschluss in Zerspanversuchen mit sowohl technologisch als auch wirtschaftlich erforderlichen hohen Standzeiten getestet.

### Industrieller Nutzen

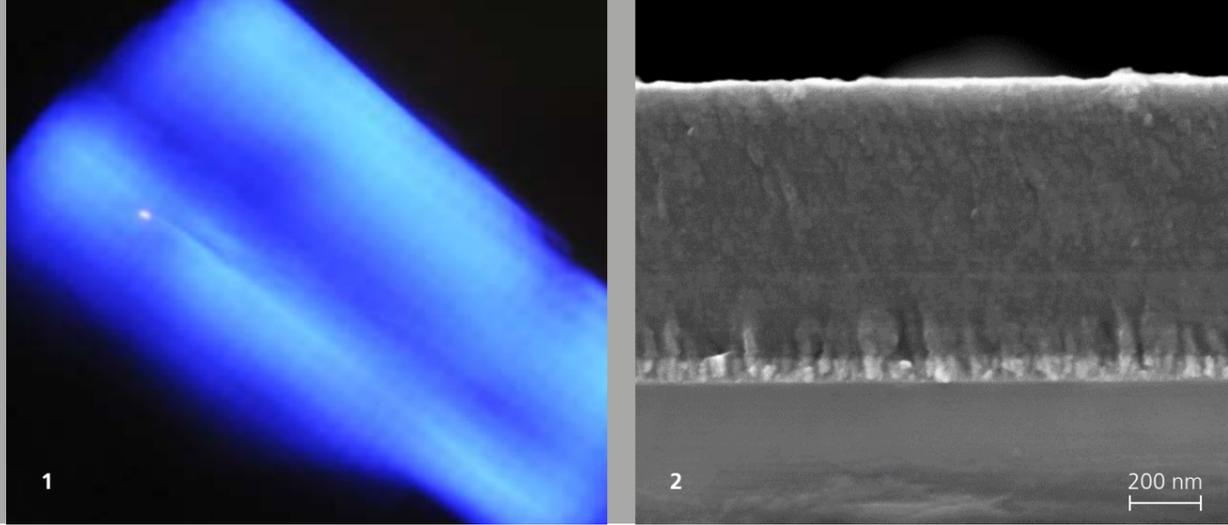
Mithilfe der verbesserten Vorbehandlungskette ist es möglich, Hartstoffschichten mit gleichbleibender Qualität zu liefern. Darüber hinaus ist das neue Verfahren weitaus kostengünstiger als klassische nasschemische oder lösungsmittelgebundene Verfahrensketten: Zum einen lassen sich durch die gleichzeitige Reduzierung der Prozessrückstände in der Reinigung Kosten einsparen, zum anderen fallen durch die intelligente Verknüpfung moderner und umweltfreundlicher Reinigungsverfahren deutlich weniger Entsorgungs- und Energiekosten an.

1 Mehrkammeranlage für die wässrige Reinigung des Fraunhofer IST mit hoher Reproduzierbarkeit und Flexibilität bezüglich der zu reinigenden Materialien.

2-3 Testwerkzeuge zur Entwicklung der Reinigungsprozesse: (2) Wendeschneidplatten als Referenzen für einfache Geometrieforderungen. (3) Stufen-Spiralbohrer mit hohen geometrischen Anforderungen an den zu entwickelnden Reinigungsprozess.

## KONTAKT

Hanno Paschke  
Telefon +49 231 844-5453  
hanno.paschke@ist.fraunhofer.de



## HIPIMS-ARC-ABSCHIEDUNG VON ta-C-SCHICHTEN

Diamantähnliche Kohlenstoffschichten (diamond-like carbon, DLC) tragen in einer Vielzahl von Anwendungen wesentlich zur Reibungsminimierung bei. Speziell im Bereich Mobilität kann durch den Einsatz von DLC-Schichten der Kraftstoffverbrauch und damit auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß reduziert werden. Vor allem die wasserstofffreien harten DLC-Schichten, sogenannte ta-C-Schichten, sind dafür sehr beliebt. Zurzeit werden diese Schichten nahezu ausschließlich mittels Lichtbogen-Verdampfen, sogenannten Arc-Verfahren hergestellt. Am Fraunhofer IST wird an einer alternativen Herstellungsmethode gearbeitet: der kombinierten HIPIMS-Arc-Abscheidung.

### Der herkömmliche Arc-Prozess

Bei der herkömmlichen Variante des Arc-Verfahrens wird das Ausgangsmaterial Kohlenstoff ionisiert. Die zusätzliche Energie der Ionen sorgt für wesentlich höhere Härten der entstehenden Schichten. Allerdings werden aufgrund der verwendeten Prozesse auch Tröpfchen und Defekte erzeugt, die zu rauen Oberflächen führen und dadurch eine kostenintensive Nachbearbeitung der Oberfläche erforderlich machen. Alternativ können auch gefilterte Arc-Verfahren eingesetzt werden, die zwar weniger Schichtdefekte hervorrufen, aber auch eine deutlich geringere Abscheiderate als die ungefilterten Verfahren besitzen.

### Erzeugung von Kohlenstoffionen zur Herstellung glatter superharter Schichten

Eine defektärmere Alternative zum Arc-Verfahren stellt das Hochleistungs-Impuls Magnetronspütern (High Power Impulse Magnetron Sputtering, HIPIMS) dar. Bereits 2010 [M. Lattemann et al. Diam. Rel. Mat. 20 (2010) 68-74] wurde eine neue Variante des hochionisierten Verfahrens vorgestellt, bei dem die HIPIMS-Entladung gezielt in eine Bogenentladung überführt wird. In einer Publikation aus 2015 [R. Ganesan et al. J. Appl. Phys. 48 (2015) 442001] wird für Laborquellen, einem Rundtarget mit 7,5 cm Durchmesser, ein Anteil

diamantartiger Bindungen, der sogenannte sp<sup>3</sup>-Anteil von über 80 Prozent und potenziell hohe Härten berichtet. Ziel der Arbeiten am Fraunhofer IST war es, einen HIPIMS-Arc-Prozess auf einer industriellen Anlage mit Kathoden mit 600 cm<sup>2</sup> Targetfläche und einer Länge von etwa 0,5 m zu realisieren (vgl. Abbildung 1).

### Reproduzierbare Einstellung des Arc-Übergangs bei der HIPIMS-Abscheidung

Für den HIPIMS-Arc-Prozess wurde am Fraunhofer IST ein HIPIMS-Generator mit einem Spitzenstrom von 2000 A eingesetzt. Es konnten erfolgreich Arbeitspunkte definiert werden, bei denen die kontinuierliche HIPIMS-Entladung reproduzierbar in eine Bogenentladung überführt wird. Dabei sind vor allem die Pulslänge, der gewählte Arbeitsdruck und die Ladespannung des Generators von Bedeutung. Die angefertigten optischen Emissionsspektren beweisen, dass in den Arc-Ereignissen Kohlenstoffionen erzeugt werden, die das Schichtwachstum nachhaltig beeinflussen (vgl. nebenstehende Grafik).

### Abscheidung von ta-C Schichten

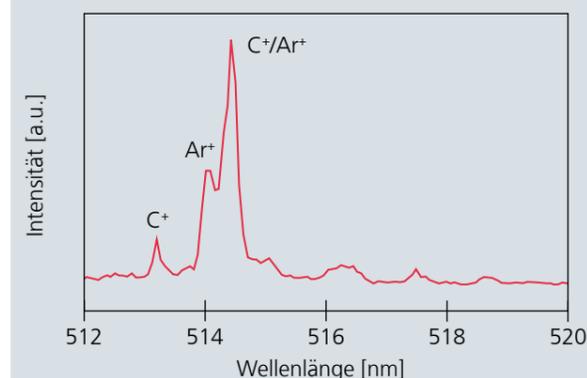
Nach der Evaluierung der Randbedingungen für die gezielte Überführung der Entladung in einen Arc und dem Nachweis

der Existenz von Kohlenstoffionen wurden Schichten für die mechanische Charakterisierung abgeschieden. Im Rahmen der Versuche konnten Schichten mit einer Dicke von bis zu 2 µm hergestellt werden. Diese wiesen Härten bis zu 3500 HV auf (vgl. Abbildung 2). Im Vergleich zu Arc-Schichten konnte die Defektdichte und die Größe der Defekte deutlich reduziert werden.

### Ausblick

Aktuelle Arbeiten betreffen die Optimierung des Beschichtungsprozesses. Defekte sollen weiter reduziert bzw. vollständig eliminiert und die Härte gesteigert werden. Speziell für Bauteile, die nicht nachträglich bearbeitet werden können, bietet das Verfahren bereits jetzt eine attraktive Alternative für eine Beschichtung mit glatten ta-C Schichten.

Zeitlich integriertes optisches Emissionsspektrum mit Kohlenstoff-Ionen Emissionslinien des ionisierten Kohlenstoffs und Argons.

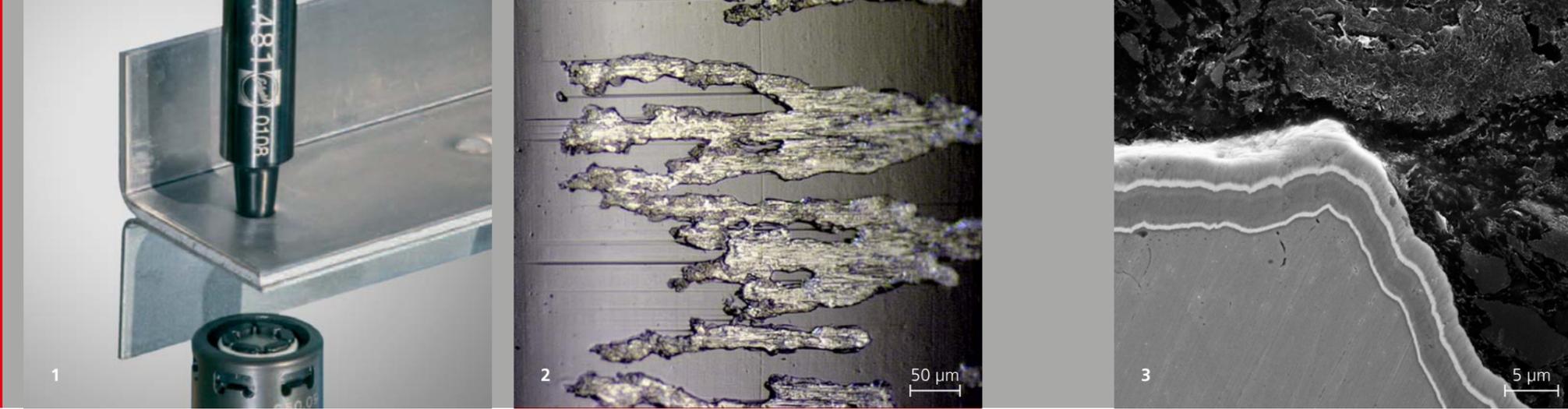


1 Arc-Ereignis während der HIPIMS-Entladung.

2 Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme der Bruchkante einer ta-C Schicht mit einer Härte von 3500 HV.

## KONTAKT

Dr. Ralf Bandorf  
Telefon +49 531 2155-602  
ralf.bandorf@ist.fraunhofer.de



## DLC-BESCHICHTUNGEN FÜR DIE UMFORMUNG

Beschichtungen aus amorphen Kohlenwasserstoffen (a-C:H), auch als diamantähnliche Kohlenstoffschichten, DLC (diamond like carbon) bekannt, eignen sich hervorragend für die schmierstoffarme Umformung von Metallen, und hier aufgrund ihrer geringen Adhäsionsneigung insbesondere von Aluminium. Sie sind allerdings durch ihre enorme Härte und geringe Schichtdicke auch schadensanfälliger. Im AiF Cornet-Projekt »Hochbelastbare DLC-Beschichtungen für Umformprozesse« wird am Fraunhofer IST eine Kombination aus Nitrierung und DLC-Beschichtung angewendet, um die Widerstandsfähigkeit der DLC-Beschichtungen vor allem auf Werkzeugen zu erhöhen. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei in der Anpassung des Verfahrens auf komplex geformte Werkzeuge. Das Projekt wird in Kooperation mit dem Centre de Recherches Métallurgiques in Belgien durchgeführt.

### Widerstandsfähig, aber anspruchsvoll – DLC-Beschichtungen auf Werkzeugen

DLC-Beschichtungen haben mit einer Härte von bis zu ca. 2000 HV einen wesentlich höheren Widerstand gegen abrasiven Verschleiß als gehärteter Werkzeugstahl (ca. 800 HV). Der geringe Reibungskoeffizient von ca. 0,1 – ungeschmiert unter Raumbedingungen gegen Stahl – ermöglicht zusätzlich den Einsatz in gering oder nicht geschmierten Reibpaarungen. Die enorme Härte macht sie allerdings auch schadensanfälliger gegenüber dem sogenannten Eierschaleneffekt: Lokale Überlastungen führen dabei zu einer überhöhten, punktuellen Spannungsbelastung der Schicht und des darunterliegenden Materials. Die Folge ist ein Einbruch der maximal 5 µm dicken DLC-Schicht in das meist wesentlich weichere Grundmaterial.

Bei der Beschichtung von Werkzeugen stellen vorliegende Radien und Kanten eine besondere Herausforderung dar, denn die Qualität der abgeschiedenen Schichten wird erheblich durch die Geometrie beeinflusst. Unter realen Einsatzbedingungen stellen selten die nominellen Belastungsbedingungen

im Idealbetrieb die größte Herausforderung dar. Vielmehr erzeugen Unregelmäßigkeiten im Betrieb wie z. B. Fehlstellung oder Schmutz die erwähnten punktuellen Belastungen und verursachen so fatale Schichtschädigungen.

### Stützwirkung durch Randschichthärtung

Eine Möglichkeit, die Schichtschädigungen zu vermeiden, besteht darin, die Stützwirkung des unterhalb der Beschichtung liegenden Stahlwerkstoffs durch z. B. eine Randschichthärtung zu verstärken. Im beschriebenen Projekt wurde die Werkzeugoberfläche daher vor der eigentlichen Beschichtung plasmanitriert und so die Widerstandsfähigkeit gegen plastische Verformung erhöht. Die dadurch in einer Dicke bis 1 mm auf bis zu 1400 HV gehärtete Randzone des Stahls verringert die Anfälligkeit gegen den Eierschaleneffekt signifikant. Als Folge ergibt sich eine deutliche Verbesserung der Schichthaftung und des Widerstands gegen punktuelle Überbelastung auf allen Stählen. Unterschiedliche Testmethoden, wie z. B. der Ritztest oder eine Impact-Dauerprüfung, bestätigten die Ergebnisse.

Im weiteren Verlauf des Projekts wurden systematisch die in Umformwerkzeugen gebräuchlichsten Stähle auf ihre Eignung und individuellen Erfordernisse für dieses Verfahren untersucht. Ihre spezifischen Zusammensetzungen und morphologischen Eigenschaften bestimmen wesentlich das Nitrierergebnis und das Verhalten der Beschichtung unter Last.

### Ausblick

In Zusammenarbeit mit den im projektbegleitenden Ausschuss beteiligten Firmen und den belgischen Kooperationspartnern sollen die Ergebnisse im kommenden Projektabschnitt auf industriell eingesetzte Werkzeuge übertragen werden. Dabei werden die zur Verfügung gestellten Werkzeuge mit angepassten Kombinationsprozessen behandelt und unter realen Einsatzbedingungen getestet. Vor allem die komplexen Anwendungssituationen erfordern oftmals eine hohe Belastbarkeit, insbesondere in den Funktionsbereichen der Werkzeuge. Darüber hinaus stellen ihre komplex geformten Oberflächen eine beschichtungstechnische Herausforderung dar, denn gekrümmte Oberflächen, Radien, Kanten und Vertiefungen beeinflussen die Nitrier- und Beschichtungsergebnisse.

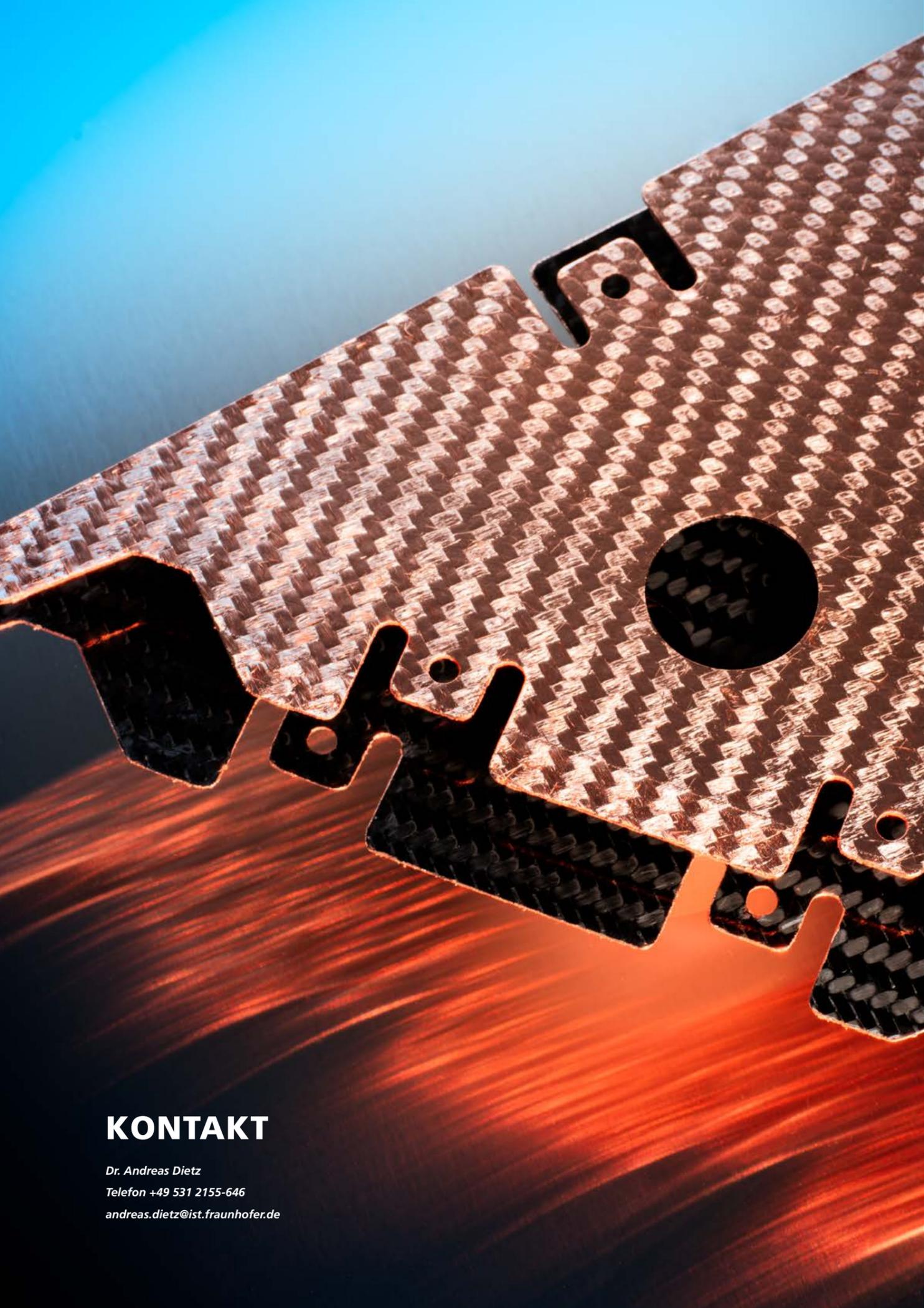
1 Umformprozesse (hier: Clinchen) setzen Werkzeuge hohen Belastungen aus.

2 Lokale Belastungsspitzen führen zu Schichtabplatzungen.

3 Konturtreue Nitrierung und Beschichtung ist eine Grundvoraussetzung für hochbelastbare Werkzeuge.

## KONTAKT

Dipl.-Ing. (FH) Kai Weigel  
Telefon +49 531 2155-650  
kai.weigel@ist.fraunhofer.de



## LUFT- UND RAUMFAHRT

In diesem Geschäftsfeld werden Beschichtungstechnologien für die Luft- und Raumfahrt entwickelt. Das zentrale Thema ist die Funktionalisierung von Leichtbauwerkstoffen wie Kompositmaterialien (CFK) oder Leichtmetallen. Daneben werden Schichtsysteme für optische Anwendungen entwickelt, insbesondere für spezielle Präzisionsfilter für Raumfahrtmissionen.

Zurzeit beschäftigt sich das Fraunhofer IST mit den folgenden Themen:

- | Galvanische Metallisierung von CFK-Bauteilen
- | Entwicklung neuer umweltfreundlicher CFK-Metallisierungsverfahren

- | Oberflächenbehandlung von Leichtmetallen wie z. B. Titan, Magnesium, Aluminium
- | Verschleißschutzschichten für Triebwerke in Düsenflugzeugen
- | Lagersensorik für die Zustandsüberwachung in Flugzeugen
- | Entwicklung von Oberflächen für trennmittelfreie Formwerkzeuge
- | Entwicklung von Beschichtungsverfahren für Präzisionsoptiken wie z. B. Filter

Zu den Kunden zählen Unternehmen aus der Luft- und Raumfahrtindustrie sowie deren Zulieferer.

## KONTAKT

Dr. Andreas Dietz  
Telefon +49 531 2155-646  
andreas.dietz@ist.fraunhofer.de



## METALLISIERTE CFK-SPIEGEL FÜR DEN WELTRAUM

Optische Spiegel für Weltraumanwendungen müssen wegen der ständig wechselnden thermischen Belastungen im Weltraum, aber auch aufgrund der hohen mechanischen Belastungen während der Startphase einer Rakete eine außerordentliche Stabilität aufweisen. Aus diesem Grund werden sie in der Regel aus Metallen, Keramiken oder Gläsern gefertigt. Diese Materialien haben ein hohes spezifisches Gewicht und verursachen enorme Kosten beim Start. Am Fraunhofer IST wird daher an einer deutlich leichteren Alternative gearbeitet: Spiegel aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff.

### CFK – Ein Leichtgewicht

Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK) ist ein echter Champion unter den Leichtbaumaterialien. Mit einem spezifischen Gewicht von ca.  $1,6 \text{ g/cm}^3$  ist es noch leichter als Aluminium, Magnesium oder Titan und weist zusätzlich noch deutlich bessere mechanische Kennwerte auf. Aus diesem Grund wird es überall dort eingesetzt, wo eine Gewichtsersparnis essenziell ist. Neu ist der Einsatz von CFK-Material als Spiegel für Weltraumanwendungen. Zum Vergleich: Ein Spiegelsegment aus Beryllium, welches im James-Webb-Space-Telescope verwendet wird, hat eine Masse von ca. 20 kg. Ein vergleichbarer metallisierter Spiegel aus CFK hat eine Masse von ca. 3,5 kg.

### Die Herstellung des metallisierten Spiegels

In dem DLR-geförderten Projekt »OCULUS« (Optical Coatings for Ultra Lightweight Robust Spacecraft Structures) wird am Fraunhofer IST in Zusammenarbeit mit der TU Braunschweig und der Fa. INVENT GmbH ein aufklappbarer Spiegel aus CFK entwickelt. Dieser Spiegel wird metallisiert und in einem weite-

ren Schritt oberflächenbehandelt. In einem am Fraunhofer IPT entwickelten Verfahren, dem sogenannten ultrapräzisen Drehen wird die anfangs sehr raue und ungleichmäßige Oberfläche spiegelnd bearbeitet.

Die Metallisierung von CFK wurde am Fraunhofer IST entwickelt und wird dort bereits seit ca. 10 Jahren erfolgreich angewandt. Ein bekanntes Anwendungsbeispiel sind die CFK-Antennen für die Raumfahrt. Im Fall des CFK-Spiegels kommen jedoch noch weitere Anforderungen an das Grundmaterial hinzu: Es darf sich auch unter Weltraumbedingungen bei wechselnden Temperaturen nicht verformen und muss darüber hinaus den optischen Anforderungen genügen. Dazu wird das Grundmaterial modifiziert. Als Beschichtung wird eine ca. 200 µm dicke, modifizierte Nickelschicht eingesetzt, die absolut porenfrei sein muss. In einem nachgeschalteten Prozess wird diese Schicht dann wieder bis auf eine minimale Schichtdicke abgedreht. Dabei werden die Unebenheiten eingeebnet und eine Rauheit von ca. 5 nm  $r_a$  erzielt.

### Ausblick

Aufgrund der großen Gewichtsersparnis bieten metallisierte CFK-Oberflächen für optische Anwendungen ein hohes Potenzial. Weitere Entwicklungen müssen die Zuverlässigkeit der Metallabscheidung verbessern. Darüber hinaus sind auch Modifizierungen am CFK-Werkstoff notwendig, um das Material auch unter wechselnden Temperaturbedingungen zu stabilisieren. Neben der Raumfahrt sind zudem Einsätze in anderen Geschäftsfeldern denkbar, z. B. im Maschinenbau sowie der Automobilindustrie.

1 Querschliff einer metallisierten CFK-Probe.

2 Maschine zum ultrapräzisen Drehen von Oberflächen.

3 CFK-Spiegel – beschichtet und ultrapräzise gedreht.

## KONTAKT

Dr. Andreas Dietz

Telefon +49 531 2155-646

andreas.dietz@ist.fraunhofer.de

# ENERGIE UND ELEKTRONIK

Im Geschäftsfeld »Energie und Elektronik« konzentrieren sich die Arbeiten des Instituts auf die folgenden Entwicklungen:

- | Funktionelle Schichten bzw. Schichtsysteme und Beschichtungsprozesse für Architekturglas (Low-E-Schichten, aktiver bzw. passiver Wärme- und Sonnenschutz, schaltbare elektrochrome Verglasung)
- | Transparente leitfähige Schichtsysteme (TCOs) für Architektur- und Automobilverglasung, für Solarzellen und Displays sowie als unsichtbare Heizelemente und für die Solarthermie
- | p- und n-Typ TCOs als Materialien für transparente und flexible Elektronik
- | Halbleiterschichten für die Dünnschicht- und die siliziumbasierte Photovoltaik sowie Charakterisierungsmethoden für Dünnschicht-Solarzellen
- | Elektrische Kontakt- und Isolationsschichten sowie Barrierschichten

| (Lokale) Plasmabehandlung von Oberflächen für Waferbonding, strukturierte Metallisierung sowie Metallisierung von temperaturempfindlichen und komplex geformten Substraten

| Stabile Anoden und Kathoden für Lithium-Ionen-Batterien

| Elektrolytschichten für Hochtemperatur-Brennstoffzellen (SOFC) und Gastrennmembranen für die Wasserstoffherzeugung

| Korrosionsschutz- und Wärmedämmschichten für Hochtemperaturanwendungen z. B. in Gasturbinen.

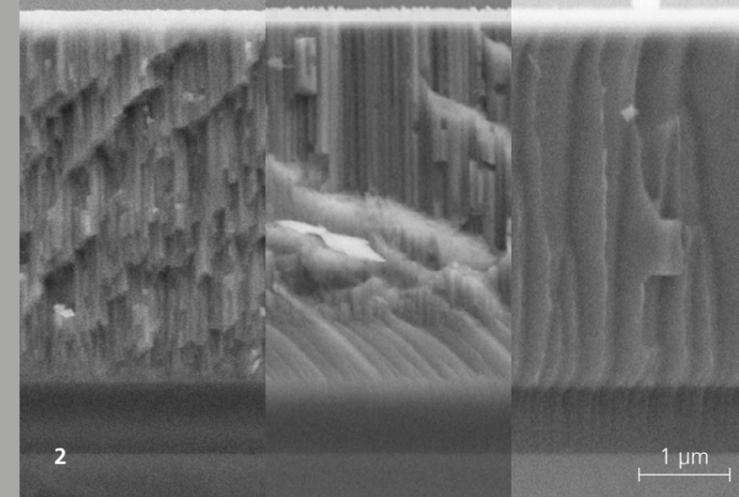
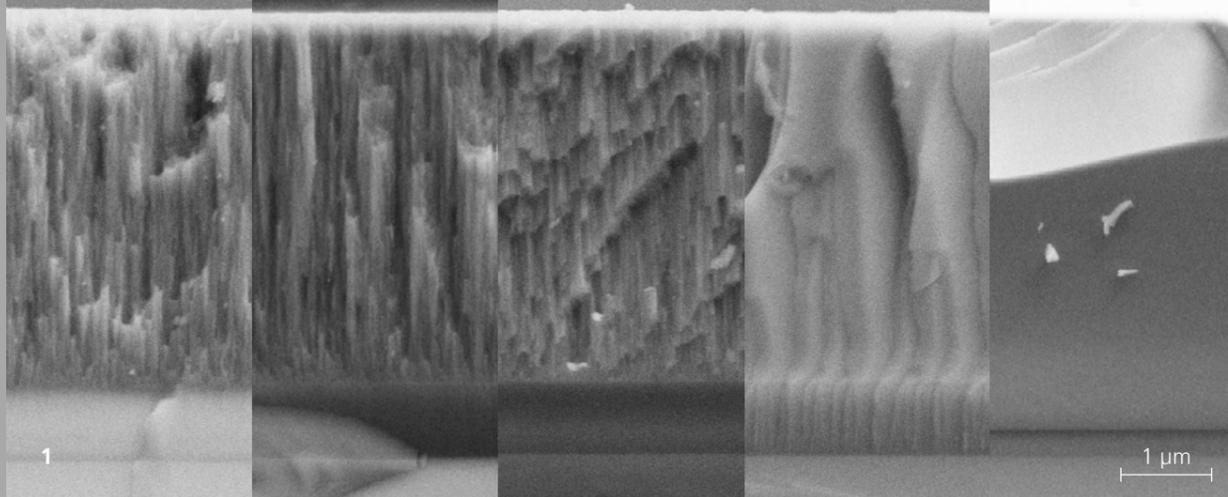
Zu unseren Kunden gehören Unternehmen der Glas-, Photovoltaik- und Automobilindustrie, der Halbleiter- und Mikroelektronik-, Informations- und Kommunikationsbranche, der Energie- und Bauwirtschaft sowie Anlagenhersteller und Lohnbeschichter.

## KONTAKT

Dr. Oliver Kappertz

Telefon +49 531 2155-519

[oliver.kappertz@ist.fraunhofer.de](mailto:oliver.kappertz@ist.fraunhofer.de)



## GASFLUSS-GESPUTTERTE SILIZIUMSCHICHTEN

Reines Silizium ist seit Jahrzehnten das Basiselement der Mikroelektronik und besitzt damit eine überragende technologische und wirtschaftliche Bedeutung. Im Rahmen aktueller Forschungsprojekte wird versucht, die Mikroelektronik um Systeme zu erweitern, die mit der Umwelt interagieren. Dies können zum Beispiel sensorische, aktorische, chemische oder elektrochemische Komponenten sein. Auch hierfür ist Silizium ein sehr attraktives Ausgangsmaterial, allerdings sind die traditionellen Abscheidungsverfahren für Halbleitersilizium wie die chemische Gasphasenabscheidung (Chemical Vapour Deposition, CVD) nicht immer dafür geeignet. Im Rahmen eines Fraunhofer-internen Forschungsprogramms werden daher neuartige Silizium-Abscheidungsprozesse entwickelt und untersucht. Einer dieser Prozesse nutzt das am Fraunhofer IST entwickelte Hohlkathoden-Gasfluss-Sputtern (GFS).

### Gasfluss-gesputterte Siliziumschichten

Das Gasfluss-Sputtern (GFS) ist ein Hochrate-Sputterverfahren, bei dem eine intensive Hohlkathoden-Glimmentladung für die Zerstäubung genutzt wird. Die abgestäubten Atome werden über einen gerichteten Gasstrom zum Bauteil transportiert. Innerhalb des genannten Forschungsprojekts wird hochdotiertes Silizium (n-Typ, Phosphor) in einer Plasmaentladung zerstäubt und bei moderaten Temperaturen auf ebenen Siliziumsubstraten abgeschieden. Als Vertreter der physikalischen Gasphasenabscheidung (Physical Vapour Deposition, PVD) verwendet das Gasfluss-Sputtern ungiftige Ausgangsstoffe und ermöglicht durch die Plasma-Unterstützung eine ausgezeichnete Schichtanbindung an das Substrat. Die Prozessparameter können bei der Abscheidung so gewählt werden, dass die Schichten entweder eine kolumnare, d. h. poröse oder eine kompakte, dichte Mikrostruktur aufweisen (vgl. Abbildung 1). Neben der Struktur können auch die Eigenspannungen der entstehenden Schichten in gewissem Umfang kontrolliert werden. Typische Schichtdicken liegen hier im Bereich von

10 Mikrometern. Grundsätzlich können beim GFS aber auch Schichtdicken von 100 Mikrometern und darüber hinaus erreicht werden.

### Silizium-PVD mit Wasserstoffzugabe

Plasma-unterstützte PVD-Prozesse basieren auf rein physikalischen Vorgängen und nutzen in der Regel Argon als Prozessgas. Dagegen werden in Prozessen der herkömmlicher Weise für die Silizium-Abscheidung verwendeten chemischen Gasphasenabscheidung (CVD) chemische Vorgänge für die Mobilisierung der Teilchen und die Schichtbildung genutzt. Oft spielt dabei Wasserstoff eine entscheidende Rolle. Abbildung 2 zeigt, dass Wasserstoff aber auch in PVD-Prozessen einen Einfluss auf die Schichteigenschaften haben kann. Dem Gasfluss-Sputterprozess wurden bei sonst gleichen Bedingungen unterschiedliche Mengen Wasserstoff zugegeben. Die Wasserstoffzugabe erhöht hier die Beweglichkeit der schichtbildenden Teilchen auf der Oberfläche und begünstigt damit eine kompakte Schichtstruktur.

### Ausblick

Zukünftig könnten mit PVD-Verfahren hergestellte Siliziumschichten leicht im selben Prozess mit metallischen Elektrodenschichten kontaktiert oder mit Barrierschichten wie Siliziumoxid passiviert werden. Die variable Mikrostruktur macht GFS-Silizium auch attraktiv als Anodenmaterial für Lithium-Ionenbatterien oder für katalytisch aktive Oberflächen, z. B. für die Gassensoren.

1 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Silizium-Bruchkanten. Je nach Prozessparametern können Siliziumschichten mit unterschiedlich poröser oder dichter Mikrostruktur erzeugt werden. In der Abbildung nimmt die Substrat-Vorspannung von links nach rechts zu.

2 Auch durch eine Zugabe von Wasserstoff in den Gasfluss-Sputterprozess kann die Dichte der entstehenden Schichten beeinflusst werden. In der Abbildung nimmt die Wasserstoffzugabe von links nach rechts zu.

## KONTAKT

Dr. Kai Ortner

Telefon +49 531 2155-637

kai.ortner@ist.fraunhofer.de



## NEUE MATERIALIEN FÜR SCHALTBARE VERGLASUNGEN

Die Nachfrage nach schaltbaren Verglasungen zur Regulierung der Lichttransmission und des Energiedurchgangs steigt aus Gründen des Komforts und wachsender Energiekosten stetig. Dies betrifft vor allem Verglasungen von Gebäuden sowie von Autombildächern. Die für derartige Systeme benötigten elektrochromen Schichten werden am Fraunhofer IST entwickelt.

### Das Prinzip

Der prinzipielle Aufbau eines elektrochromen Schichtsystems ist in Abbildung 1 gezeigt. Er entspricht im Wesentlichen dem einer Lithium-Ionen-Batterie, jedoch mit transparenten Elektroden und Aktivschicht sowie Gegenelektrodenmaterialien, die je nach Ladungszustand ihre Lichttransmission ändern. Die Aktivschicht des Systems besteht in der Regel aus Wolframoxid ( $\text{WO}_3$ ). Durch Anlegen einer Spannung wird Lithium in diese eingelagert, wobei sie sich dunkel färbt. Diesen Vorgang bezeichnet man als kathodisches Schaltverhalten. Durch das Umpolen der Spannung wird das Lithium aus der Aktivschicht über den Elektrolyten zur Gegenelektrode transferiert und dort eingelagert. Dadurch hellt sich die Aktivschicht wieder auf.

Idealerweise zeigt die Gegenelektrode ein gegenläufiges anodisches Schaltverhalten, d. h. eine Aufhellung bei Lithium-Einlagerung und eine Dunkelfärbung im Zustand ohne Lithium. Ein derartiges anodisches Schaltverhalten ist nur für wenige Oxide der Übergangsmetalle bekannt, Beispiele sind Chrom (Cr), Cobalt (Co), Mangan (Mn), Nickel (Ni), Vanadium (V), Iridium (Ir), Eisen (Fe) und Ruthenium (Ru). Hierbei scheiden Iridium und Ruthenium aus Kostengründen für einen großflächigen Einsatz aus. So kommt Iridiumoxid ( $\text{IrO}_2$ ) z. B. nur auf kleiner Fläche in schaltbaren Autospiegeln zum Einsatz. Weitere im Rahmen eines Einsatzes zu berücksichtigende

Randbedingungen sind der erreichbare hell/dunkel Schalthub, die Zyklenstabilität, der Farbeindruck sowie Gesundheitsaspekte der Materialien.

### Neuartige Gegenelektroden

Aktuell werden am Fraunhofer IST im Rahmen des Verbundprojekts »Smart Windows der 2. Generation 'ECWin2.0'« gemeinsam mit den Projektpartnern EControl-Glas GmbH & Co und GFE Fremat GmbH neuartige Gegenelektroden entwickelt. Ziel ist es, die bestehende Gegenelektrode – ein Metall 1-Metall 2-Oxid – des Projektpartners EControl durch Zusatz oben genannter Elemente zu modifizieren und so insbesondere das Schaltverhalten und den derzeit leicht gelben Farbeindruck weiter zu verbessern.

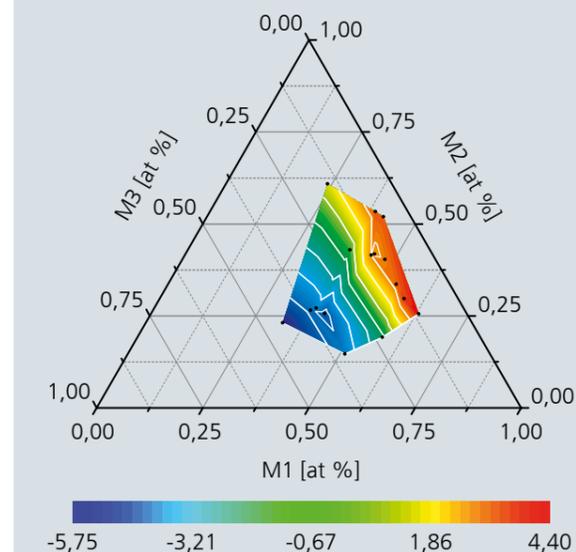
Dafür werden am Fraunhofer IST mittels reaktivem Ko-Sputtern von bis zu drei Sputterquellen neue Mischoxide hergestellt. Die Beurteilung der Lithiumaufnahme-fähigkeit erfolgt mithilfe der Zyklovoltmetrie. Parallel dazu wird die visuelle Transmission und deren Änderung gemessen. Nach ersten orientierenden Abscheidungen der reinen Oxide, z. B. Metall 1-Oxid (vgl. Abbildung 2) wurden unterschiedlichste Mischungen realisiert. Die erfolgreichste zeigt dabei über weite Bereiche das gewünschte anodische Schaltverhalten. Die optische Dichte (OD) nimmt bei Lithium-Einlagerung ab

(vgl. unten stehende Abbildung,  $\Delta\text{OD} < 0$ ), d. h. die Schicht hellt auf. Gleichzeitig weisen die Schichten eine ausreichende Lithium-Aufnahmefähigkeit auf.

### Ausblick

Derzeit werden die erfolgreichsten Mischoxide hinsichtlich ihrer Zyklenbeständigkeit untersucht und im Verbund mit der Aktivschicht getestet. Weiterhin sind Untersuchungen auf größerer Fläche im Technikumsmaßstab  $30 \times 40 \text{ cm}^2$  geplant.

Änderung der optischen Dichte ( $\Delta\text{OD}$ ) in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der metallischen Bestandteile der Gegenelektrode.



1 Prinzipieller Aufbau eines elektrochromen Schichtsystems.

2 Gegenelektrode aus Metall 1-Oxid auf Glas mit transparenter Elektrode.

## KONTAKT

Dr. Stephan Ulrich  
Telefon +49 531 2155-618  
stephan.ulrich@ist.fraunhofer.de

# OPTIK

Das Fraunhofer IST ist im Geschäftsfeld »Optik« mit einer Vielzahl von Dünnschichttechnologien zur Entwicklung neuer Lösungen für neue industrielle Anwendungen tätig. Beispiele sind:

- | Entwicklung und Herstellung von Beschichtungen für optische Komponenten
- | Anlagentechnik zur Abscheidung hochwertiger optischer Beschichtungen auf planaren und gekrümmten Optiken
- | Produktionsplattform »EOSS®« zur Herstellung optischer Filter und Laserkomponenten
- | Entwicklung neuer Materialien für intelligente Beschichtungen, z. B. elektrisch schaltbare Filter
- | Hochbeständige Breitband-Antireflexbeschichtungen auf Saphir und Glas
- | Mikrostrukturierte optische Filterschichten für Imaging-Anwendungen
- | Optische Beschichtungen auf Kunststoffoberflächen
- | Auslegung und Optimierung von Beschichtungsprozessen und -anlagen im Niederdruckbereich durch Simulation
- | Entwicklung neuartiger transparent-leitfähiger Schichten für Beleuchtungstechnik und Oxidelektronik

Im Bereich optischer Messtechnik beschäftigt sich das Fraunhofer IST u. a. mit diesen Themen:

- | In-situ-Kontrolle von Beschichtungsprozessen mit dem Monitoringsystem MOCCA®
- | Mappingsystem zur Messung der Ellipsometrie, Reflexion, Transmission, Streulicht und Raman-Spektroskopie auf 60 x 60 cm<sup>2</sup>
- | Defektanalyse optischer Schichten mittels FIB-REM und konfokal optischer Mikroskopie
- | Prüfung der Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit optischer Oberflächen und Schichten

Zu den Kunden dieses Geschäftsfelds zählen Unternehmen der optischen Industrie, der Automobilindustrie, der Luft- und Raumfahrt, Hersteller von Displays und Datenspeichern sowie Anlagenhersteller und Lohnbeschichter.

## KONTAKT

Dr. Oliver Kappertz

Telefon +49 531 2155-519

[oliver.kappertz@ist.fraunhofer.de](mailto:oliver.kappertz@ist.fraunhofer.de)



## DEFEKTFREIE SILIZIUMOXID-SCHICHTEN FÜR DAS AVOGADRO-PROJEKT

Das Ur-Kilogramm, auf das alle Waagen kalibriert sind, verliert an Gewicht. In einem internationalen Projekt soll daher die Basiseinheit der Masse neu definiert und künftig auf Naturkonstanten bezogen werden. Hierfür wird im sogenannten Avogadro-Experiment bestimmt, wie viele Atome in nahezu perfekten Siliziumkugeln enthalten sind. Am Fraunhofer IST werden Beschichtungsprozesse zur homogenen und uniformen Siliziumoxid-Beschichtung ( $\text{SiO}_2$ ) der Kugeloberfläche durchgeführt, um die Messunsicherheit zu verringern.

### Die Neubestimmung der Avogadro-Konstante

Das Kilogramm ist die letzte Größe im internationalen Einheitensystem SI, die durch einen makroskopischen Körper – das Ur-Kilogramm – definiert wird. Alle anderen Einheiten werden bereits auf atomare Prozesse, Molekül-Eigenschaften oder Naturkonstanten zurückgeführt. Gelingt es, die Atome in einem Siliziumkristall der Masse 1 kg mit höchster Präzision zu zählen, kann das materielle Kilogramm zukünftig auch durch eine physikalische Konstante ersetzt werden.

Die Avogadro-Konstante wird in einem weltweiten Projekt bearbeitet. Mehrere metrologische Institute führen dabei die einzelnen benötigten Messungen durch: von der Bestimmung der Kugelmasse, des Kugelvolumens oder der molaren Masse über die Analyse der Gitterparameter und Dichtedifferenzen bis hin zu Untersuchungen von Oxidschichteigenschaften, Wasserschicht und Verunreinigungen.

### ALD- $\text{SiO}_2$ -Schicht minimiert Messunsicherheiten

An der Oberfläche der Siliziumkugeln liegt immer eine natürliche Schicht aus  $\text{SiO}_2$  vor, die ebenfalls Einfluss auf Masse und Volumen der Kugeln hat. Diese native Schicht wächst

langsam, zum Teil aber sehr ungleichmäßig. Dadurch lässt sich das tatsächliche Gewicht sowohl der Oxidschicht als auch der Kugel sehr schwer messen. Für die Neubestimmung der Avogadro-Konstante wird daher eine alternative, homogene  $\text{SiO}_2$ -Beschichtung untersucht, um Messunsicherheiten zu verringern und Volumen und Masse der Kugel präzise bestimmen zu können.

Mithilfe der am Fraunhofer IST verfügbaren Atomlagenabscheidung (ALD, Atomic Layer Deposition) können stöchiometrische  $\text{SiO}_2$ -Schichten mit definierter Rauheit und einstellbarer Schichtdicke abgeschieden werden, deren Beschaffenheit den hohen Anforderungen entspricht: Sie sind reproduzierbar und können als extrem dünne Oxidschicht mit homogener Dicke auf der Kugel aufgebracht werden. Potenzielle Verunreinigungen wie Kohlenstoff oder Stickstoff liegen unterhalb der Nachweisgrenze, die Rauheit der Schichten bleibt unter einem Nanometer.

Die Beschichtungen der Siliziumkugeln wurden 2017 beendet. Die Ergebnisse innerhalb des Avogadro-Konsortiums werden im Herbst 2018 auf der Konferenz für Maß und Gewicht vor-

gestellt, spätestens dann soll das Ur-Kilogramm als Standard abgelöst werden. Ende 2017 fanden am Fraunhofer IST weitere Beschichtungen von Siliziumkugeln statt, um den Einfluss unterschiedlicher  $\text{SiO}_2$ -Schichtdicken näher zu untersuchen.

### Ausblick

Die am Fraunhofer IST entwickelten  $\text{SiO}_2$ -Schichten lassen sich nicht nur auf Kugelsysteme, sondern auf beliebig komplex strukturierte Oberflächen aufbringen. Mögliche zukünftige Einsatzbereiche sind daher vielfältig und reichen von optischen Anwendungen über den Halbleiter- und Elektronikbereich bis hin zur Medizintechnik.

1 Ein Blick in die Siliziumkugel.

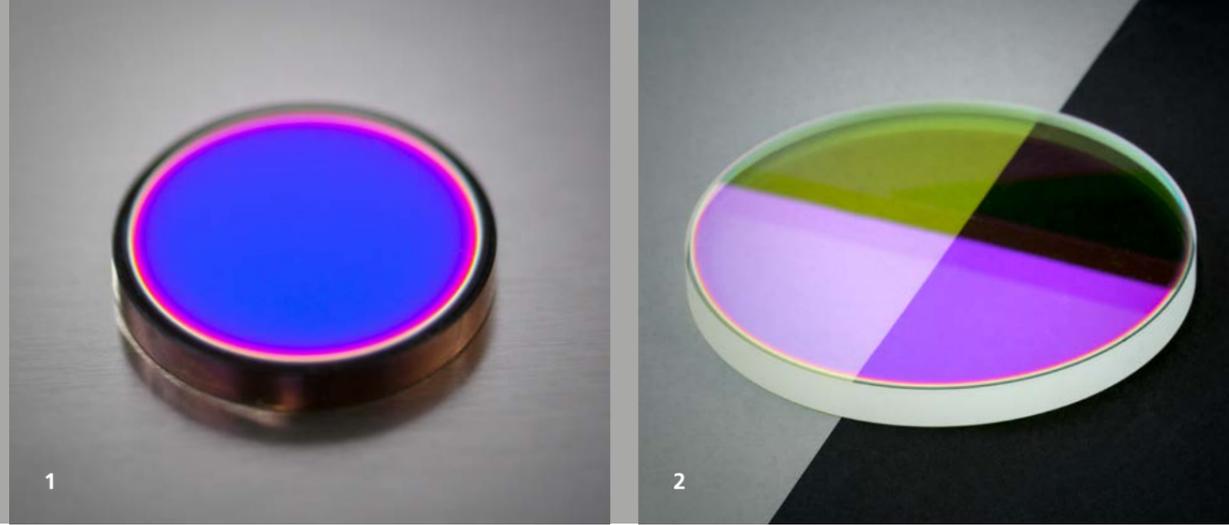
2 Vorbereitung und Halterung der Siliziumkugel für den Beschichtungsprozess.

## KONTAKT

Tobias Graumann

Telefon +49 531 2155-780

tobias.graumann@ist.fraunhofer.de



## ENTWICKLUNG OPTISCHER STRAHLTEILER MIT SEHR STEILER KANTE

Mit der Beschichtungsplattform EOSS® (Enhanced Optical Sputtering System) wurden am Fraunhofer IST ausgezeichnete Möglichkeiten für die Abscheidung hochanspruchsvoller optischer Beschichtungen geschaffen. So können nicht nur extrem defektarme Beschichtungen realisiert, sondern auch hochkomplizierte Schichtdesigns bei extremer Präzision und Uniformität der Beschichtung dargestellt werden. Mit den Rotatable-Kathoden, den optimierten Sputtertargets sowie dem Einsatz der Magnetron-Sputtertechnologie ermöglicht das System die Herstellung optischer Filterbeschichtungen mit exzellenter Schichtqualität, die für viele industrielle Anwendungen erforderlich sind. Ein Beispiel ist der am Fraunhofer IST im Rahmen eines BMBF-Projekts entwickelte optische Strahlteiler mit sehr steiler Kante.

### Das Ziel des Projekts

Die Entwicklung der sehr steilen Kantenfilter, die z. B. für digitale Belichter in der Leiterplattenindustrie eingesetzt werden können, erfolgte im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts »Entwicklung eines hochintegrierten digitalen Hochleistungsbelichters für die Belichtung von Lötstopplacken«; kurz: DAHLIA. Ziel war es, in einem sehr engen Spektralbereich einen kohärenten Laserstrahl zu erzeugen, um somit eine deutlich erhöhte Laserleistung zu generieren (vgl. nebenstehende Abbildung). Im Fall der Leiterplattenbelichtung kann aus physikalisch-chemischen Gründen aber nur ein begrenzter Spektralbereich um Wellenlängen von 400 nm verwendet werden. Im vorliegenden Beispiel wurden daher Laserdioden mit Wellenlängen zwischen 395 und 405 nm eingesetzt.

### Das Prinzip der Kantenfilter

Kantenfilter, auch Strahlteiler genannt, werden durch dielektrische Multilagenbeschichtung realisiert. Dabei wird jeweils ein niederbrechendes und ein hochbrechendes Material als dünne Schicht übereinandergestapelt, sodass am Ende jeweils ein Spektralbereich hoher Reflexion sowie hoher Transmission entsteht. Da eine Absorption idealerweise nicht

vorhanden ist, bedeutet eine hohe Transmission somit zugleich eine geringe Reflexion und umgekehrt. Die Kante, also der Übergangsbereich zwischen hoher Reflexion und hoher Transmission, wird dabei umso steiler, je mehr Schichten verwendet werden. Je steiler die Kante ist, desto enger können die Filter aneinandergelagert werden und desto mehr Laserdioden lassen sich verlustfrei koppeln (vgl. obere nebenstehende Abbildung).

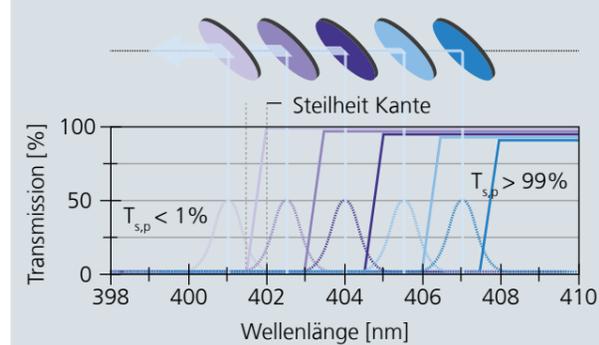
### Die Herstellung der Kantenfilter

Im vorliegenden Projekt sind Schichtsysteme mit teilweise über 100 Einzelschichten und einer Gesamtschichtdicke von über 15 µm erforderlich. Die einzelnen Schichten müssen außerordentlich präzise hergestellt werden, da schon kleinste Schichtschwankungen eine schlechtere Gesamtleistung bedeuten würden. Für die Herstellung der Filter wurde daher die EOSS®-Beschichtungsanlage eingesetzt, mit der neben hochpräzisen auch sehr streulichtarme Schichten hergestellt werden können. Da das Licht mehrere beschichtete Optiken durchläuft, und sich so Verluste durch Streulicht vervielfachen würden, ist letzteres besonders wichtig.

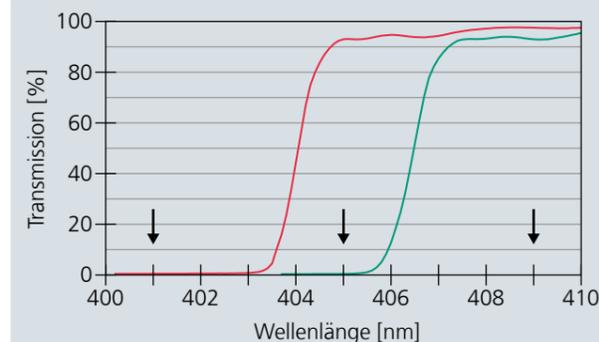
Das Diagramm rechts unten zeigt die Spektren einiger hergestellter Filter. Es wird deutlich, dass eine exzellente

Kantensteilheit erreicht worden ist. Kleinere Einbrüche der Transmission sind durch verbleibende Schichtdickenschwankungen verursacht, werden aber aktuell weiter optimiert. Die bisher realisierten Filter erfüllen jedoch bereits jetzt die gewünschte Funktion.

Prinzip der spektralen Überlagerung mit Hilfe von Kantenfiltern. Die Emissionslinien der Laserdioden sind gestrichelt skizziert; die Kanten der unterschiedlichen Filter durchgezogen dargestellt.



Darstellung verschiedener Kantenfilter. Die Pfeile kennzeichnen die Wellenlängen der Laserdioden.

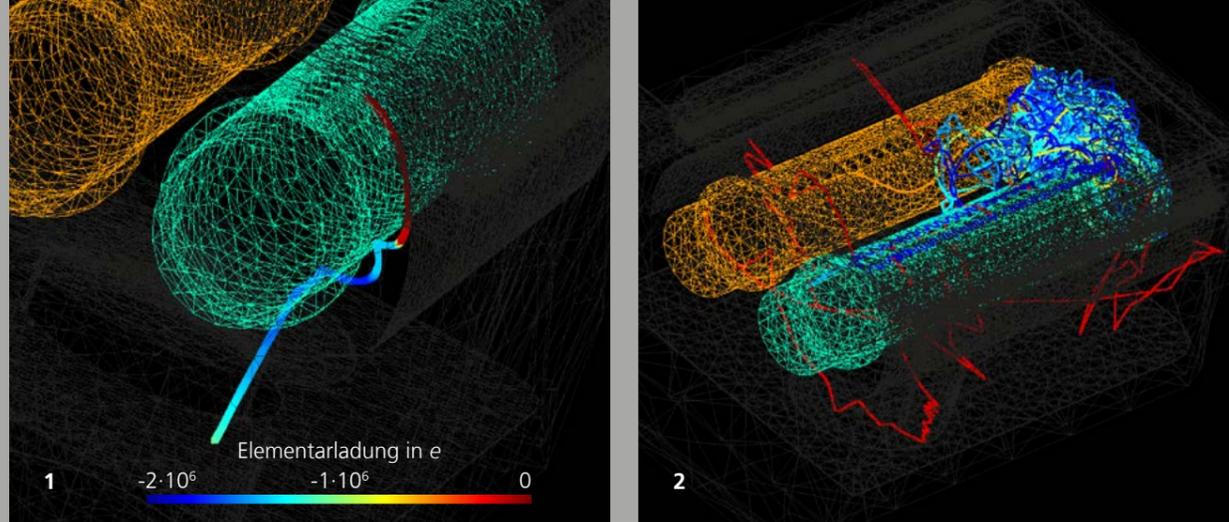


1 Black coating mit dielektrischer Strahlteilerschicht für den Einsatz in Weltraumanwendungen, z. B. in Spektrometern.

2 Beispiel eines dielektrischen Strahlteilers aus ca. 100 Einzelschichten mit einer Reflexion im Bereich von 750–850 nm und einer Transparenz im Bereich von 450–745 nm.

## KONTAKT

Dr. Michael Vergöhl  
Telefon +49 531 2155-640  
michael.vergoehl@ist.fraunhofer.de



## SIMULATION DER STAUBTEILCHEN-BEWEGUNG IM PLASMA

Für optische Anwendungen ist es notwendig, möglichst reine Oberflächen zu erzeugen. Bereits kleinste Verunreinigungen können die Wirksamkeit der gesamten Schicht herabsetzen oder gar komplett zerstören. Staub stellt hier eine besondere Herausforderung dar, da der technische Aufwand seiner generellen Vermeidung in Beschichtungsanlagen mit dem gewünschten Reinheitsgrad stark ansteigt. Mittels einer am Fraunhofer IST entwickelten Teilchensimulation ist es nun möglich, die Verunreinigung von Staub in Plasma-Beschichtungsanlagen vorherzusagen. Damit wird ein wichtiger Beitrag zur Minimierung der Anzahl von Defekten im Zuge der späteren Optimierung von Beschichtungsprozessen geleistet.

### Der Lösungsansatz

Staub lässt sich nicht komplett vermeiden, daher ist es eine Strategie zur Minimierung der Anzahl an Defekten, Staub zwar zu tolerieren, ihn jedoch von den Oberflächen fernzuhalten. Dazu ist ein gutes Verständnis des Verhaltens von Staub im Plasma einer Beschichtungsanlage notwendig. Dies wird jedoch durch eine Vielzahl an Phänomenen erschwert, welche aus der Wechselwirkung zwischen Plasma und Staub resultieren. Um alle Einflüsse in guter Näherung nachvollziehen und vorhersagen zu können, ist es sinnvoll, Simulationen dazu durchzuführen. Zu diesem Zweck wurde am Fraunhofer IST ein spezielles Programm zur Staubteilchen-Simulation geschrieben.

### Die Implementation

Die Staubteilchen in der Simulation werden vereinfacht als homogene Kugeln dargestellt, welche eine positive oder negative Ladung tragen können. Sie befinden sich in einer virtuellen Anlage, deren Geometrie aus dreieckigen Oberflächen zusammengesetzt ist, und werden dort an zufälligen Punkten generiert.

Die charakteristischen Parameter des Anlagenplasmas wie z. B. Dichte, Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit werden aus separaten ebenfalls am Fraunhofer IST entwickelten Plasma-Simulationen gewonnen. Aus diesen Parametern können schließlich die Oberflächenströme und Kräfte auf die Staubteilchen berechnet werden, woraus eine dynamische Änderung der Ladung sowie der Geschwindigkeit und somit des Ortes der Teilchen erfolgt. Dies geschieht in regelmäßigen Zeitabständen, über die die Genauigkeit der Simulation gesteuert werden kann. Relevante Effekte auf Staubteilchen sind:

- ┃ Die direkte Reibung durch Neutralgas und Plasma
- ┃ Die Abstoßung und Anziehung der elektrostatischen Potenziale zwischen geladenem Staub und Ionen
- ┃ Die Tendenz von Teilchen, Wärmeströmen zu folgen

Makroskopische Kräfte wie Gravitation und Elektromagnetismus werden ebenso in der Simulation berücksichtigt wie die Interaktion von Staub mit Oberflächen durch Reflexion oder Absorption der Teilchen.

### Nutzung der Resultate

Lässt man die Simulation für eine Vielzahl von Startpunkten und unterschiedlichen Teilchenarten durchlaufen, können Orte identifiziert werden, an denen sich statistisch besonders viele Staubteilchen sammeln oder von denen besonders viele Teilchen ausgehen. Daraus lassen sich individuelle Strategien zur effektiven Vermeidung von Kontaminationen ableiten, die ihrerseits wiederum durch weitere Simulationen optimiert werden können.

### Ausblick

Durch den Einsatz des Programms zur Staubteilchen-Simulation könnten mit weitaus weniger Aufwand deutlich genauere und reinere optische Schichten erzeugt werden. Die Genauigkeit kann mittels Ergänzung weiterer Kräfte und Einflüsse erhöht werden, sodass die Prozesse, die für die Staubbelastung verantwortlich sind, noch besser untersucht werden können. Eine Erweiterung des Konzepts auf andere Anwendungsgebiete mit Plasmen ist ebenfalls denkbar.

1 Simulation eines Mikro-partikels in der EOSS®-Anlage mit farblich dargestellter Ladung.

2 Simulation von zehn Nanopartikeln, ebenfalls in der EOSS®-Anlage.

## KONTAKT

Philipp Schulz, M.Sc.

Telefon +49 531 2155-668

philipp.schulz@ist.fraunhofer.de

# LIFE SCIENCE UND UMWELT

Im Bereich »Life Science« entwickelt das Fraunhofer IST Schichten, Prozesse und Geräte für folgende Anwendungsfelder:

## Zellkulturtechnik und Mikrobiologie

- | Steuerung der Zelladhäsion und Differenzierung
- | Steuerung von Proteinadsorption
- | Kopplung von Antikörpern
- | Zelltransfektion und -poration

## Medizintechnik

- | Mikrofluidik
- | Biosensorik
- | Lab-on-a-Chip
- | Innenbeschichtung von Schläuchen, Flaschen und Beuteln
- | Funktionalisierung der Oberflächen von Einwegartikeln
- | Implantate

## Medizin und Hygiene

- | Zahnmedizin
- | Entkeimung von Oberflächen und Desinfektion

Im Bereich »Umwelt« beschäftigt sich das Fraunhofer IST schwerpunktmäßig mit den folgenden Themen:

- | Wasserdesinfektion und Abwasseraufbereitung mittels Diamantelektroden
- | Systeme zur photokatalytischen Luft- und Wasserreinigung
- | Selbstreinigung und Antifouling
- | Standardisierte Prüfverfahren zur neutralen Evaluierung photokatalytischer Produkteigenschaften
- | Halogenfreier Flammschutz für Textilien

Neben Anwendern aus den oben genannten Bereichen zählen auch Hersteller von Anlagen zur Oberflächenmodifizierung und -beschichtung sowie Lohnbeschichter aus dem In- und Ausland zu unseren Kunden.

## KONTAKT

Dr. Jochen Borris

Telefon +49 531 2155-666

[jochen.borris@ist.fraunhofer.de](mailto:jochen.borris@ist.fraunhofer.de)



## LABBAG® – LABOR IM BEUTEL

Humane Stammzellen gelten als Hoffnungsträger in der personalisierten Medizin und sollen zukünftig z. B. in der Therapie von neurodegenerativen Erkrankungen eingesetzt werden. In einem vom Fraunhofer IST koordinierten Gemeinschaftsprojekt wurde zusammen mit den Fraunhofer-Instituten IBMT und IVV ein geschlossenes oberflächenbasiertes Kultivierungssystem entwickelt. Mithilfe des sogenannten LabBag® lassen sich diese Zellen kostengünstig, schnell und steril kultivieren, differenzieren und einfrieren.

### Kultivierung von Stammzellen

Weltweit arbeiten Wissenschaftler daran, bisher unheilbare Krankheiten mittels Stammzellen zu therapieren oder verschiedene Krankheiten grundlegend zu erforschen. Hierfür ist die Verfügbarkeit von hochwertigem dreidimensionalen Zellmaterial unerlässlich, da derartige Systeme die Bedingungen im Organismus deutlich besser widerspiegeln, als die bisher eingesetzten zweidimensionalen Zellkulturen. Für die Kultivierung von 3D-Aggregaten wird die Methode im »Hängenden Tropfen« eingesetzt. Bisher werden Zellaggregate aus Stammzellen entweder mithilfe von Pipettierrobotern, deren Anschaffung und Wartung sehr teuer ist, oder durch manuelles Pipettieren erzeugt. Letzteres ist mit einem hohen Arbeits- und Zeitaufwand verbunden, erfordert viel Übung und birgt ein hohes Kontaminationsrisiko.

Um dieses Verfahren kostengünstiger und vor allem steril durchführen zu können, haben sich die Fraunhofer-Institute für Biomedizinische Technik IBMT, für Schicht- und Oberflächentechnik IST und für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV zusammengeschlossen und den sogenannten LabBag® entwickelt. In diesem Minilabor lassen sich humane induziert pluripotente Stammzellen in einer sterilen Umgebung kultivieren und zu 3D-Aggregaten formen.

### Beschichtung zur Bildung von hängenden Tropfen

Ausschlaggebend für die Ausbildung der hängenden Tropfen ist die am Fraunhofer IST entwickelte Beschichtung auf der Beutelinneiseite. Diese wird mittels Atmosphärendruck-Plasmaverfahren aufgebracht und besteht aus einem Mehrschichtsystem. Der Untergrund des Systems ist superhydrophob und auch abweisend gegenüber dem Zellkulturmedium. Darauf angeordnet sind hydrophile Spots, in welchen sich das Zellkulturmedium sammelt. Im geschlossenen Beutel können auf diese Weise durch einfaches Schwenken innerhalb weniger Sekunden einige hundert hängende Tropfen erzeugt werden. Die Zellen sinken in den Tropfen ab und bilden innerhalb von 72 Stunden die gewünschten 3D-Zellaggregate.

### Vorteile des LabBag®

Bei der Beschichtung der Beutelinneiseite mittels Atmosphärendruck-Plasmaverfahren handelt es sich um einen »trockenen« Prozess, d. h. es kann auf jeglichen Einsatz von Lösungsmitteln verzichtet werden. Dies ist ein großer Vorteil, da Rückstände des Lösungsmittels die Zellen unter Umständen schädigen würden. Über die verwendeten Prozessgase und Schichtbilder lassen sich zudem die gewünschten Schichteigenschaften einstellen, sodass eine optimierte Oberfläche für die Bildung der hängenden Tropfen entsteht.

Weitere Vorteile des LabBag® sind:

- | Geringere Personal- und Sachkosten
- | Gesteigerte Zellausbeute und Prozesssicherheit
- | Einfache Einstellung des Tropfenvolumens und somit der Aggregatgrößen durch Variation der abgeschiedenen Spotdurchmesser auf der Beuteloberfläche
- | Kryokonservierung der Zellen im LabBag®

### Ausblick

Es ist geplant, das Prinzip des LabBag® zukünftig weiterzuentwickeln und auf verschiedene Anwendungen zu übertragen. Beispiele dafür sind die:

- | Integration von Sensoren zur Zellüberwachung
- | Erzeugung weiterer Schichtfunktionen im Beutel
- | Weiterentwicklung des LabBag® für Anwendungen z. B. in der Tiermedizin
- | Optimierung des LabBag® für Medikamentenscreening in der Pharmazeutika-Entwicklung

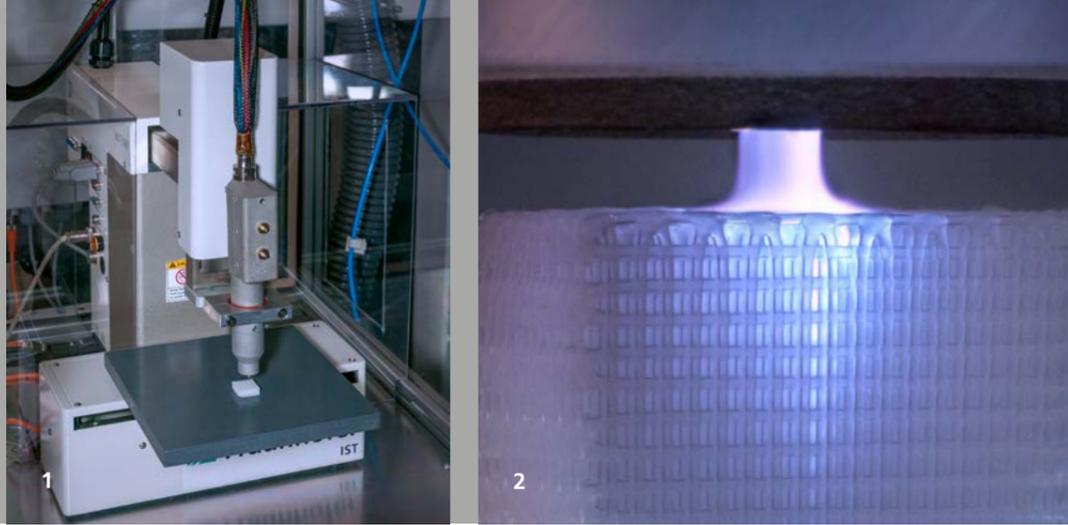
1 LabBag® – ein geschlossenes Minilabor zur 3D-Zellkultivierung.

2 »Hängende Tropfen« für die Bildung von 3D-Zellmodellen.

## KONTAKT

Dr. Michael Thomas  
Telefon +49 531 2155-525  
michael.thomas@ist.fraunhofer.de

Dr. Kristina Lachmann  
Telefon +49 531 2155-683  
kristina.lachmann@ist.fraunhofer.de



## PLASMAJET ZUR BESCHICHTUNG MIT FUNKTIONELLEN GRUPPEN

Ein neuer Ansatz zur medizinischen Behandlung von fehlenden Knochenfragmenten ist das Implantieren von 3D-gedruckten und biologisch abbaubaren Polymergerüsten, sogenannten Scaffolds. Diese haben die Aufgabe, als Gerüst für neu wachsende Knochenzellen zu dienen und sich dann mit der Zeit im Körper abzubauen. Für das optimale Wachstum der neuen Knochenzellen muss die Oberfläche des Polymers chemisch mit nukleophilen und elektrophilen Gruppen versehen werden. Am Fraunhofer IST werden dazu während des 3D-Druckvorgangs mit einem Plasmajet Schichten mit geeigneten chemischen Gruppen mittels Atmosphärendruck-PECVD abgeschieden.

### Entwicklung der Technologie

Für die Abscheidung der PECVD-Schichten kommt am Fraunhofer IST ein auf einem Roboter montierter Plasmajet zum Einsatz (vgl. Abbildung 1). Dem verwendeten Argonplasma wird ein schichtbildender Precursor zugefügt, was zu einer lokalen Schichtabscheidung in direkter Nähe der Plasmadüse führt. Der gerichtete Gasstrom soll ein Eindringen der Beschichtung in die poröse Scaffoldstruktur ermöglichen (vgl. Abbildung 2).

Durch Variation verschiedener Prozessparameter wie Precursorgas, Gasflüsse, elektrische Leistung, Sauerstoffzufuhr, Pulsmuster oder Substrattemperatur wurde der Einfluss der einzelnen Parameter auf die Schichteigenschaften genauer untersucht. Der verwendete Plasmajet bewirkt nur einen sehr geringen Energieeintrag von maximal 4 W auf das zu beschichtende Substrat, sodass durch den Beschichtungsprozess Substrattemperaturen von 60 °C nicht überschritten werden. Somit ist die Versuchsanordnung auch für die Beschichtung von temperaturempfindlichen, porösen Polymerstrukturen sehr gut geeignet.

### Ergebnisse

Mit dem beschriebenen Ansatz konnten Schichten mit verschiedenen Precursoren wie z. B. HMDSO, TMS, APTMS, GMA und MSA-VTMOS abgeschieden werden. Insbesondere für nukleophile pp-APTMS-Schichten wurde dabei deutlich, dass das Pulsmuster einen großen Einfluss auf die Dichte der nukleophilen Gruppen besitzt. Werden die Schichten mit einem geringen Duty Cycle, d. h. einem geringen Verhältnis von Puls- zu Periodendauer abgeschieden, so bleibt die molekulare Struktur des Precursors besser erhalten, und es werden Schichten mit höheren Gruppendichten erzeugt (vgl. nebenstehende Grafiken). Ebenfalls positiv auf die nukleophilen Gruppendichten der pp-APTMS-Schichten wirkte sich eine moderate Erhöhung der Substrattemperatur auf ca. 70 °C während des Abscheidvorgangs aus. Darüber hinaus konnte die Schichtabscheidung erfolgreich von planaren Substraten auf 3D-Scaffoldsubstrate übertragen werden.

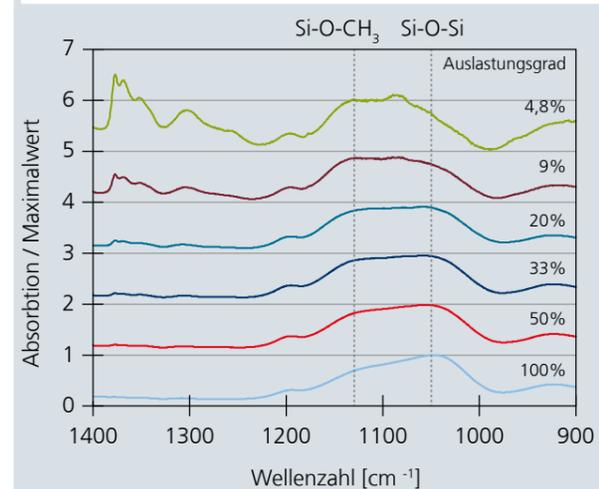
### Ausblick

Im Fokus aktueller und zukünftiger Untersuchungen zu dem Thema stehen vermehrt Analysen der Schichtstabilität in Abhängigkeit von der Lagerung und den Sterilisationsprozessen. Zudem ist geplant, Studien zum Zellwachstum auf beschichteten Substraten durchzuführen.

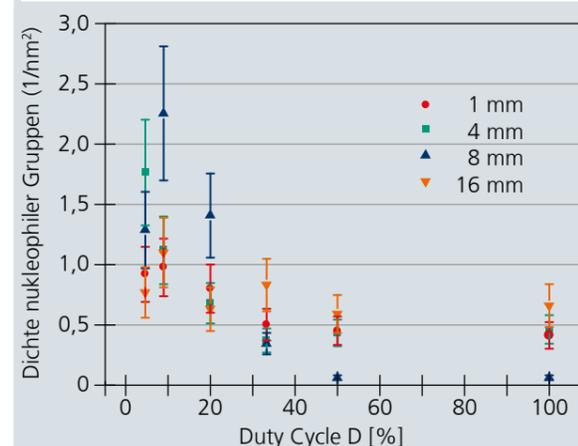
1 Roboterarm mit Plasmajet im Betrieb.

2 Plasmajet zur Schichtabscheidung.

ATR-FTIR-Spektren von pp-APTMS-Schichten für verschiedene Duty Cycle.

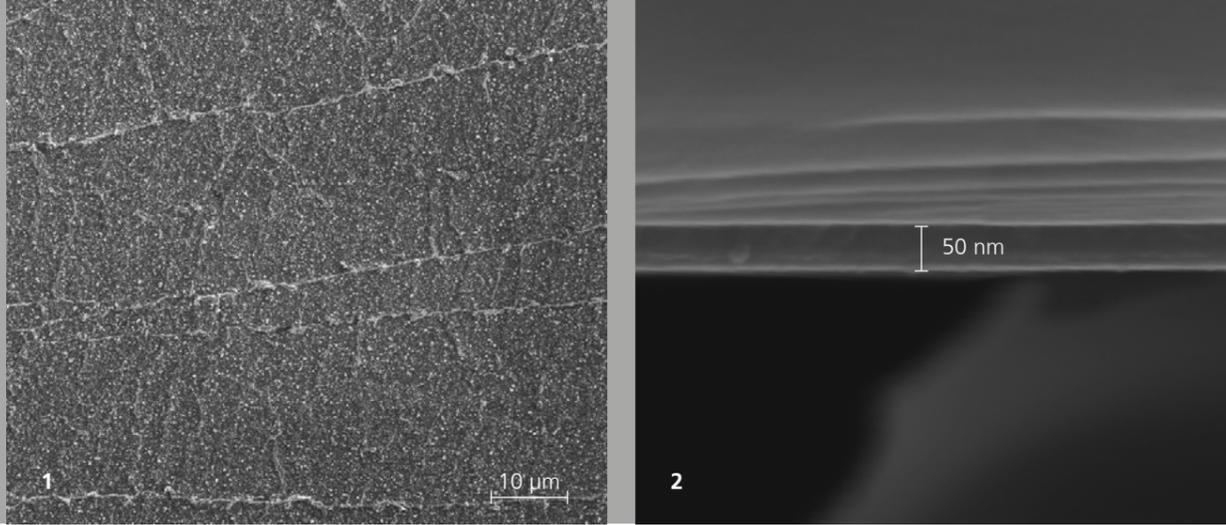


Dichte nukleophiler Gruppen als Funktion des Duty Cycles.



## KONTAKT

Dr. Thomas Neubert  
Telefon +49 531 2155-667  
thomas.neubert@ist.fraunhofer.de



## ATOMLAGENABSCHIEDUNG IN FLUIDISCHEN SYSTEMEN

Die gleichmäßige Innenbeschichtung von fluidischen Systemen mit nanometerdicken Schichten stellt eine besondere Herausforderung dar. Oft limitiert die Diffusion eine gleichmäßige Abscheidung von Schichten bis in die hintersten Ecken der sehr langen und engen Kanäle. Ziel der Arbeiten am Fraunhofer IST ist es, mittels Atomlagenabscheidung bei Atmosphärendruck atomar kompakte Schichten homogen in komplexen fluidischen Systemen auch bei niedrigen Temperaturen abzuscheiden.

### Die Atomlagenabscheidung (ALD)

Die Atomlagenabscheidung (ALD, Atomic Layer Deposition) ist ein chemischer Gasphasenprozess. Die Merkmale des Prozesses sind zwei aufeinanderfolgende sich selbst begrenzende Oberflächenreaktionen, sodass extrem dünne und defektarme Schichten abgeschieden werden können. Es werden üblicherweise zwei Gase verwendet, die getrennt durch eine Inertgasspülung abwechselnd über die Oberfläche geleitet werden.

Für die Untersuchungen am Fraunhofer IST wurde als Schichtbildner Trimethylaluminium (TMA) verwendet, das beim Überströmen der Oberflächen als Atomlage abgeschieden wird. Überschüssiges TMA wird in einem nachfolgenden Spülschritt entfernt. Mittels wasserdampfhaltigem Inertgas kann die TMA-Schicht anschließend oxidiert werden, sodass sich Aluminiumoxid  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bildet. In einem darauffolgenden weiteren Spülschritt wird der überschüssige Wasserdampf entfernt. Optional beginnt der Prozess nun wieder von vorn und es kann eine weitere Monolage TMA auf der Oberfläche

abgeschieden werden. Auf diese Weise lassen sich durch zyklisches Beschichten und nachfolgendes Oxidieren mit Wasserdampf kompakte, homogene Schichten abscheiden. Bei Standardprozessen wird der Gasaustausch durch die Evakuierung der Prozesskammer und Temperaturen von mehr als 100 °C unterstützt.

### ALD bei Atmosphärendruck

Bei herkömmlichen ALD-Prozessen im Vakuum limitiert die Diffusion durch die Kanalöffnungen in fluidischen Systemen die Schichtabscheidung. Darüber hinaus werden für die Beschichtung von Kunststoff hinreichend niedrige Prozesstemperaturen von weniger als 100 °C benötigt. Am Fraunhofer IST werden daher ALD-Prozesse entwickelt, die sich für fluidische Systeme mit langen Kanälen aus Kunststoff eignen.

Für die Untersuchungen des Fraunhofer IST wurden PVC-Schläuche mit 4 mm Durchmesser direkt mit den zuvor genannten Reaktivgasen durchströmt und mit Inertgas gespült. Die hohe Strömungsgeschwindigkeit in den Kanälen

erlaubt einen schnellen Wechsel zwischen den reaktiven Gasgemischen, sodass die Zykluszeit auf 120 s reduziert werden konnte. Selbst bei einer Prozesstemperatur von 50 °C konnten geschlossene Schichten in den Schläuchen abgeschieden werden (vgl. Abbildung 1). Versuche mit einem kleinen Reaktor zeigten, dass sich bei gleichen Parametern sogar auf Silizium kompakte Schichten abscheiden lassen (vgl. Abbildung 2).

### Ausblick

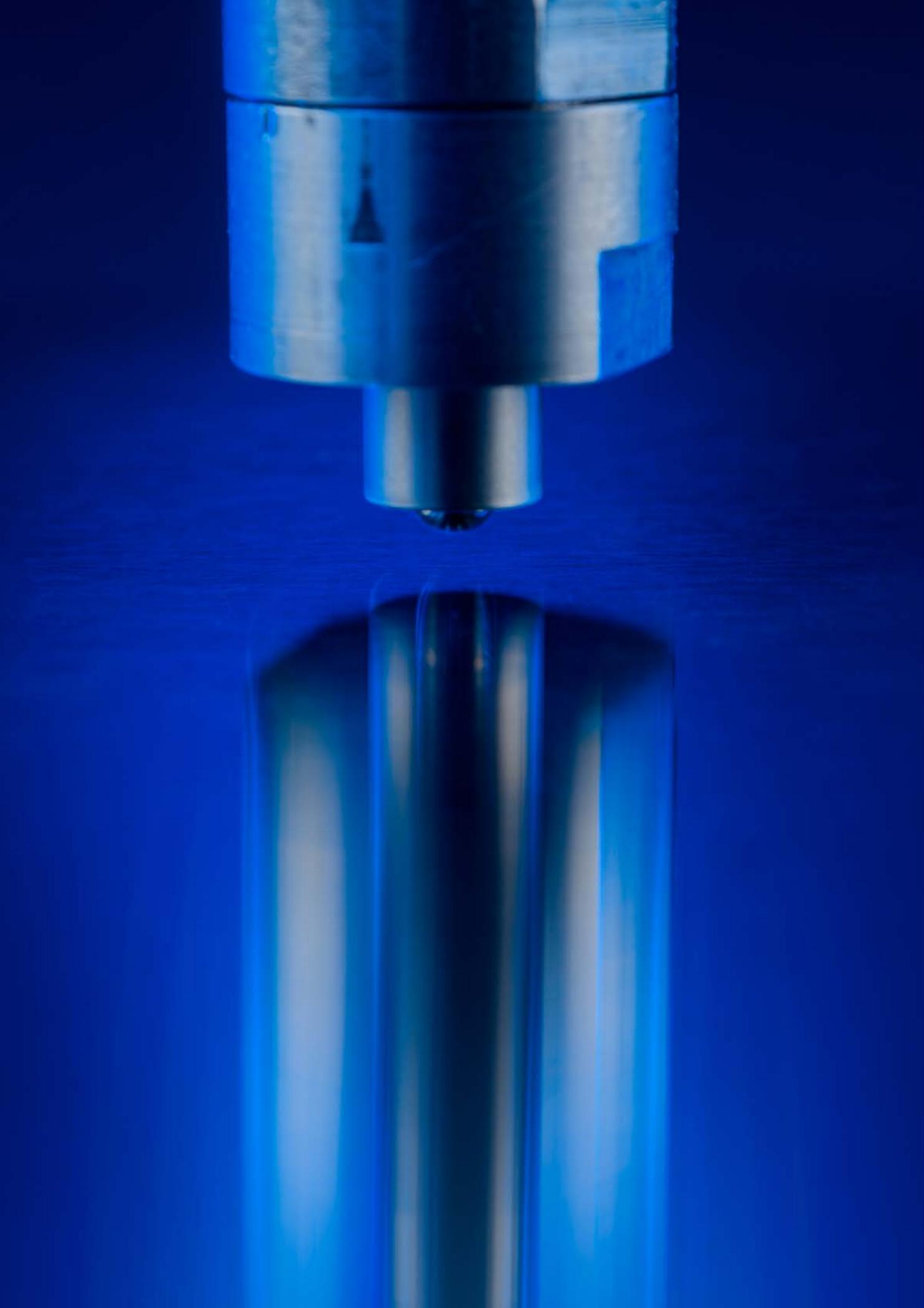
Die homogene, nanometerdicke Innenbeschichtung von fluidischen Kunststoffsystemen ist auch für die Abscheidung von Diffusionsbarrieren von Interesse, da die Oberflächenkontur aufgrund der geringen Schichtdicken erhalten bleibt. Darüber hinaus ergeben sich durch die nahezu beliebigen Längen der zu beschichtenden Kanalsysteme weitere vielfältige Anwendungsmöglichkeiten wie z. B. bei der Innenbeschichtung von Wärmetauschern oder Kühlsystemen.

1 Kompakte  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht in einem PVC-Schlauch nach 250 Zyklen.

2 Bruchkante einer 50 nm dicken  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht auf Silizium, hergestellt nach 500 Zyklen.

## KONTAKT

Dr.-Ing. Marko Eichler  
Telefon +49 531 2155-636  
marko.eichler@ist.fraunhofer.de

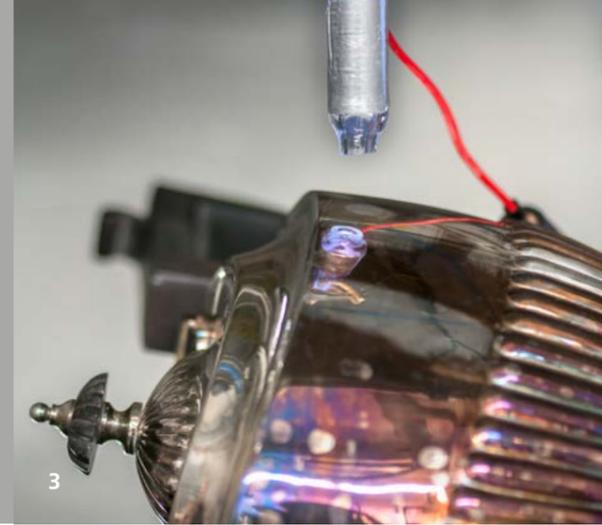
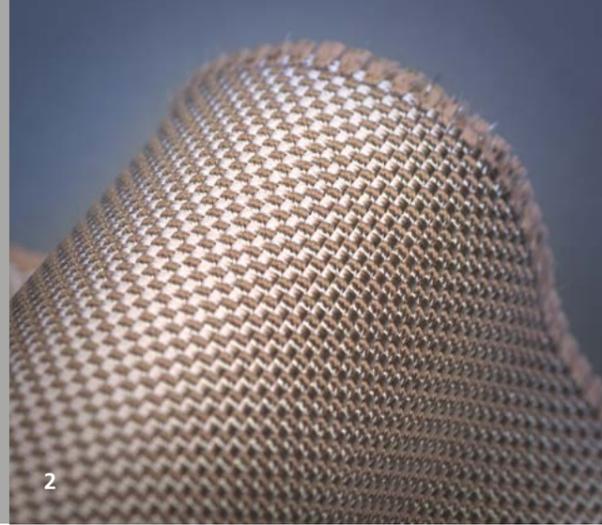
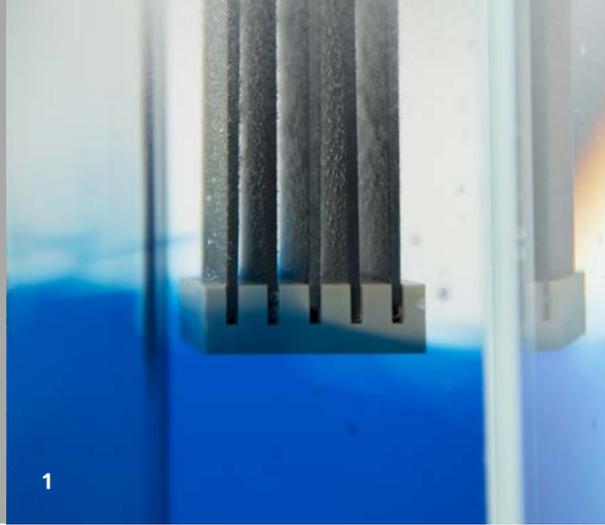


## LEISTUNGEN UND KOMPETENZEN

Zur Bearbeitung der in den vorangegangenen Kapiteln exemplarisch vorgestellten Geschäftsfelder nutzt das Fraunhofer IST ein breites Spektrum an Kompetenzen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf diesen Technologien:

- | Physikalische Gasphasenabscheidung
- | Chemische Gasphasenabscheidung
- | Plasmadiffusion
- | Atmosphärendruck-Plasmaverfahren
- | Elektrochemische Verfahren
- | Lasertechnik

Darüber hinaus verfügt das Fraunhofer IST über anerkannte Kompetenzen bei einer Vielzahl von Schichtsystemen. Das Institut bietet ein breites Spektrum an weiteren geschäftsfeldübergreifenden Leistungen: Oberflächenvorbehandlung, Schichtentwicklung, Oberflächenmodifikation, Prozesstechnik (einschließlich Prozessdiagnostik, -modellierung und -regelung), Schichtcharakterisierung und -prüfung, Aus- und Weiterbildung, anwendungsbezogene Auslegung und Modellierung, Simulation, Anlagen- und Komponentenentwicklung, Geräte- und Anlagenbau sowie Technologietransfer.



## KOMPETENZ NIEDERDRUCKVERFAHREN

### Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD)

- | Magnetronspütern
- | Hochionisierte gepulste Plasmaverfahren, u. a. HIPIMS, MPP
- | Hohlkathodenverfahren

### Chemische Gasphasenabscheidung (CVD)

- | Heißdraht-CVD
- | Atomlagenabscheidung (ALD)
- | Plasmaunterstützte CVD (PACVD)

### Plasmadiffusion

- | Nitrieren/Carbonitrieren
- | Oxidieren
- | Borieren

## KOMPETENZ ATMOSPÄRENDRUCKVERFAHREN

### Atmosphärendruck-Plasmen

- | Mikroplasmen
- | Plasma-Printing
- | Dielektrisch behinderte Entladung/Coronabehandlung
- | Niedrigtemperatur-Bonden
- | Plasmamedizin
- | Plasma-Partikeltechnik und Kalt-Plasmaspritzen

### Elektrochemie

- | Galvanische Mehrkomponentensysteme
- | Nichtwässrige Galvanotechnik
- | Elektrochemische Prozesse

### Lasertechnik

- | Laser-Plasma-Hybrid-Verfahren
- | Laserinduzierte Fluoreszenz
- | Laserstrukturierung

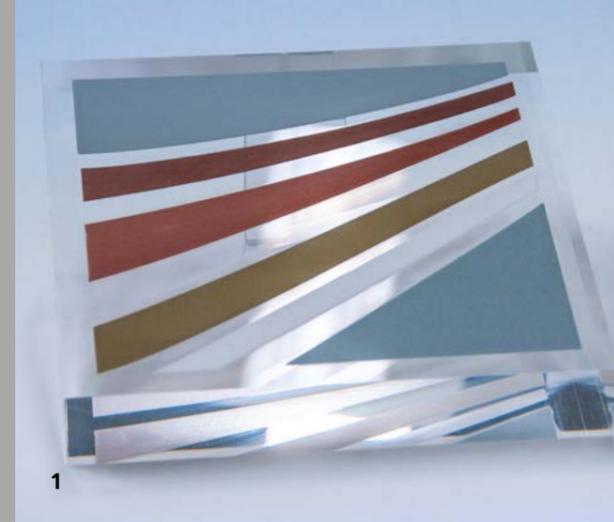
### Oberflächenchemie

- | Polyelektrolytschichten
- | Biofunktionale Schichten
- | Chemische Derivatisierung

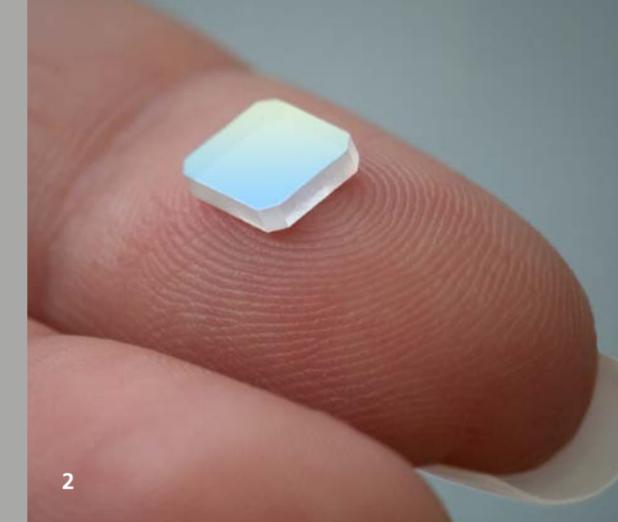
1 Wasserreinigung mithilfe von Diamantelektrode.

2 Tiefenfunktionalisierung von Metall-Textil-Verbundwerkstoffen.

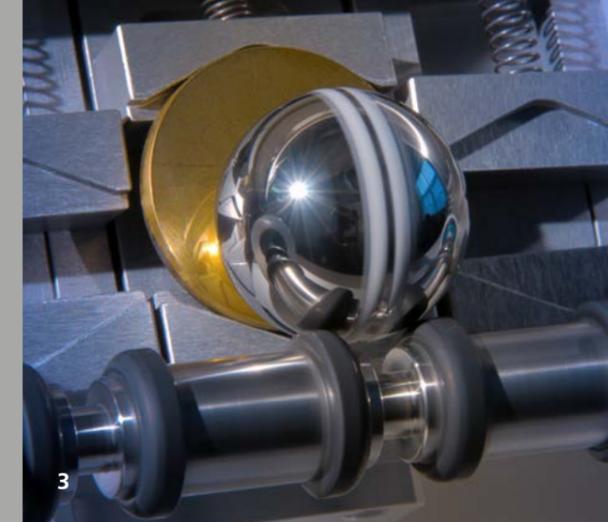
3 Plasmajetbehandlung zur Entfernung von Anlaufschichten auf Silberobjekten.



1



2



3

## KOMPETENZ SCHICHTSYSTEME

### Reibungsminderung und Verschleißschutz

- | Amorphe Kohlenstoffschichten (DLC)
- | Diamantschichten
- | Hartstoffschichten
- | Nitride/Kubisches Bornitrid (cBN)
- | Metallschichten
- | Plasmadiffusion/DUPLEX-Verfahren
- | Trockenschmierstoffe
- | Erosionsschutz
- | Korrosionsschutz
- | Antihalt- und Antifouling-Schichten
- | Diffusionsbarrieren

### Elektrische und optische Schichten

- | Präzisionsoptik
- | Transparente leitfähige Schichten (TCOs)
- | Elektrochrome Schichten
- | Low-E- und Sun-Control-Schichten
- | Diamantelektroden
- | Siliziumbasierte Schichten für die Photovoltaik und Mikroelektronik
- | Halbleiter (oxidische, siliziumbasierte, Diamant)

- | Isolationsschichten
- | Piezoelektrische Schichten
- | Kunststoffmetallisierung

### Mikro- und Nanotechnologie

- | Dünnschicht-Sensortechnologie
- | Mikrotechnik
- | Nanokomposite
- | Steuerung der Schichtadhäsion
- | Strukturierte Oberflächenbeschichtung und -aktivierung

### Biofunktionalisierung

- | Antibakterielle Schichten
- | Adhäsions- und Antiadhäsionsschichten
- | Chemisch reaktive/biologisch aktive Oberflächen

### Photokatalyse

- | Luft- und Wasserreinigungssysteme
- | Photokatalytisch aktive Schichten mit antimikrobieller Wirksamkeit

## WEITERE KOMPETENZEN

### Vorbehandlung und Funktionalisierung

- | Nasschemische Reinigung
- | Grenzflächenfunktionalisierung und -beschichtung
- | Oberflächenstrukturierung
- | Plasmaaktivierung
- | Oxidation und Reduktion von Metallen
- | Plasma-Oberflächenmodifikation von Naturstoffen

### Simulation

- | Simulation von Anlagen, Prozessen und Schichteigenschaften
- | Modellbasierte Auslegung von Beschichtungsprozessen

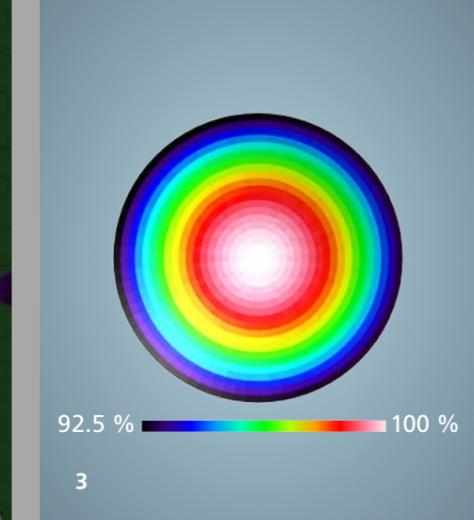
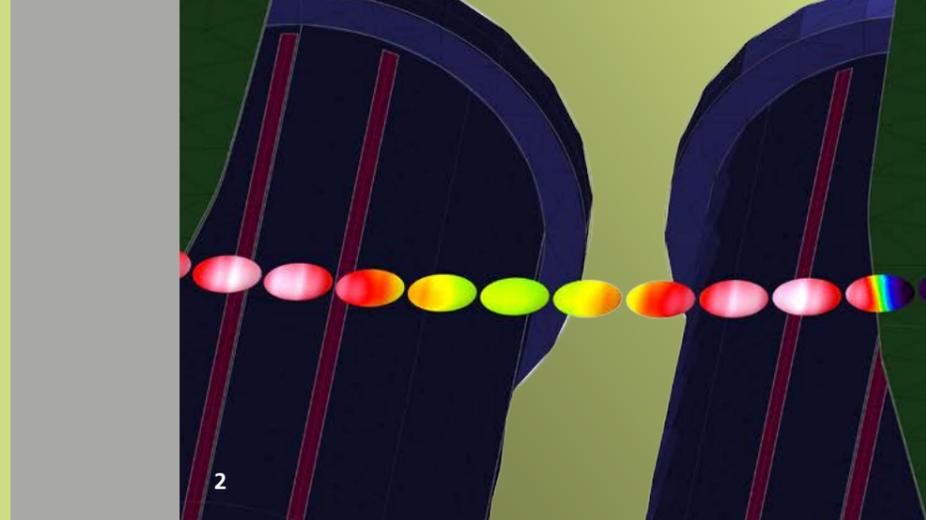
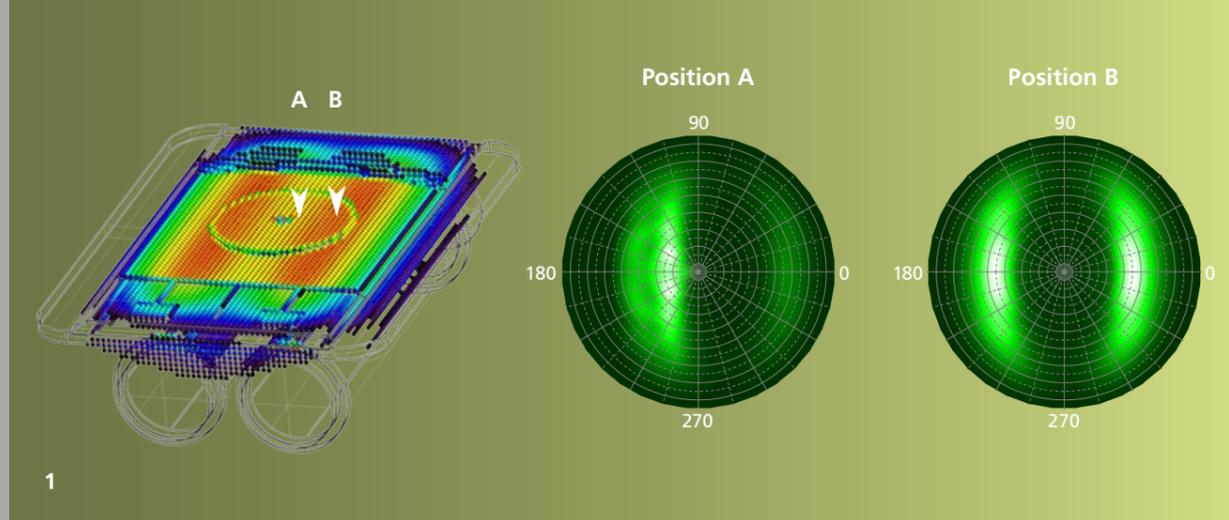
### Analytik und Qualitätssicherung

- | Chemische Analyse
- | Kristallstrukturanalyse
- | Mikroskopie
- | Analyse chemisch reaktiver Oberflächen
- | Optische und elektrische Charakterisierung
- | Plasma-Diagnostik
- | Tribologisches Prüfen
- | Mechanische Tests
- | Normgerechte photokatalytische Messtechnik inklusive Prüfanlagen und -geräte

1 Mittels Plasma-Partikeltechnik aufgebraachte Schichten aus Aluminium, Kupferoxid, Kupfer, Messing, PE und Edelstahl.

2 Infrarotbandpassfilter mit breiter Blockung für eine Anwendung direkt auf dem CCD-Chip in einer Marsmission.

3 Rotierende Kugel des Kalottenschleifverfahrens.



## MODELLIERUNG DER BESCHICHTUNG AUF 3D-BAUTEILEN

Beschichtungen auf 3D-Substraten gewinnen in immer mehr Anwendungsbereichen zunehmend an Bedeutung. Beispiele sind optische Schichtsysteme auf Linsen oder die Beschichtung gewölbter Fahrzeug- oder Display-Scheiben. Mittels kinetischer Simulationsverfahren lassen sich Beschichtungsprozesse im Niederdruckbereich modellieren und damit auch das Schichtdickenprofil vorhersagen. Im Gegensatz zu planen Flächen spielt bei 3D-Substraten auch der Substratwinkel in Relation zur Beschichtungsquelle eine wichtige Rolle. Bei 3D-Substraten, die während der Beschichtung bewegt werden, müsste daher die Bewegungssequenz in kleine Schritte unterteilt und für jeden Teilschritt eine Beschichtungssimulation durchgeführt werden. Da dies sehr zeitaufwändig ist, wurde am Fraunhofer IST ein Verfahren zur Beschleunigung der Simulation des Schichtdickenprofils auf 3D-Substraten entwickelt.

### Das Simulationsverfahren

Zur Modellierung von Strömungs- und Transportprozessen in Niederdruck-Beschichtungsprozessen eignet sich das »Direct Simulation Monte Carlo« (DSMC)-Verfahren. Dieses beschreibt die Bewegung von Molekülen und Atomen mittels repräsentativer Simulationsteilchen und stellt einen statistischen Ansatz zur Lösung der Boltzmann-Transportgleichung dar. DSMC eignet sich z. B. zur Modellierung der Gasströmung und des Schichtdickenprofils beim Magnetron-Sputtern. Im Fall bewegter 3D-Substrate wäre die Unterteilung der Bewegungssequenz in viele Teilschritte mit jeweiliger Durchführung einer DSMC-Rechnung jedoch zu zeitaufwändig.

Das neuentwickelte Simulationsverfahren erfordert hingegen lediglich eine einzelne DSMC-Simulation. In dieser wird in einer substratnahen Ebene das Teilchenflussprofil sowohl orts- als auch winkelaufgelöst erfasst und als Datensatz abgespeichert. Damit lässt sich in einem nächsten Schritt das Schichtdickenprofil für 3D-Substrate in beliebigen Positionen mittels eines schnellen Ray-Tracing-Verfahrens berechnen, bei dem das orts- und winkelaufgelöste Teilchenstromprofil auf die Substratflächen an den jeweils unterschiedlichen Positio-

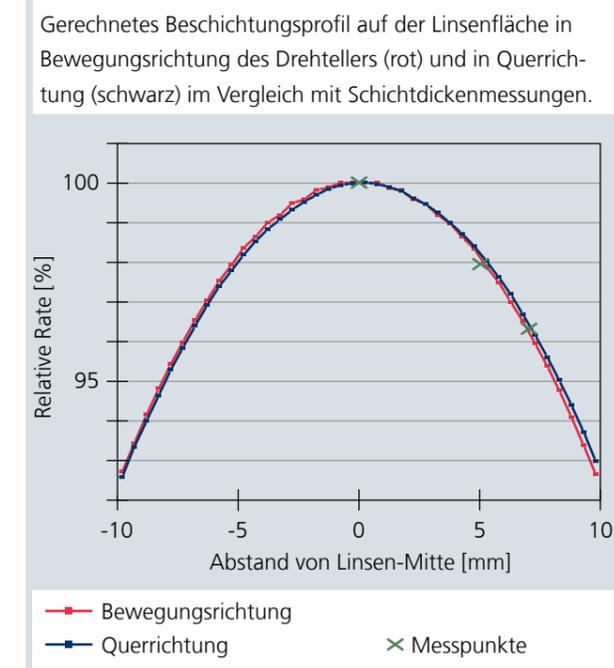
nen projiziert wird. Dies ist zulässig, da für den verbleibenden geringen Abstand zwischen Ebene und Substrat die Streuung im Gas vernachlässigt werden kann. Somit ermöglicht dieses Verfahren eine schnelle Berechnung des Schichtdickenprofils bei bewegten 3D-Substraten mit feiner Auflösung der Bewegungssequenz. Ein Beispiel für eine orts- und winkelaufgelöste Teilchenstromverteilung in einem Modell einer Sputterkammer ist in Abbildung 1 dargestellt.

### Beispiel: Dynamische Beschichtung einer Linse

Ausgehend von dem in Abbildung 1 gezeigten Teilchenstromprofil und der gewählten Blendenform kann mittels des Ray-Tracing-Verfahrens die Beschichtung einer sphärischen Linse, die auf einem Drehteller durch die Beschichtungszone bewegt wird, auf schnelle Weise berechnet werden. Die Linse hat einen Durchmesser von 20 mm und auf der konvexen Seite einen Krümmungsradius von 25,8 mm. Abbildung 2 zeigt die partiellen Beschichtungsprofile auf der Linsenfläche für unterschiedliche Positionen des Bewegungsablaufs sowie das daraus resultierende Gesamtprofil. Die Diskretisierung der Drehtellerbewegung erfolgt im Gesamtprofil mit einer Winkelgenauigkeit von 0,1°, die Rechenzeit hierfür beträgt auf

einer Einzel-CPU nur wenige Sekunden, und das resultierende Ratenprofil auf der Linse deckt sich in guter Näherung mit den Messdaten (vgl. unten stehendes Diagramm).

Das neue kombinierte Berechnungsverfahren ermöglicht eine effiziente Berechnung und Optimierung der Schichtdickenverteilung und lässt sich prinzipiell auf beliebig gekrümmte Substratformen erweitern.

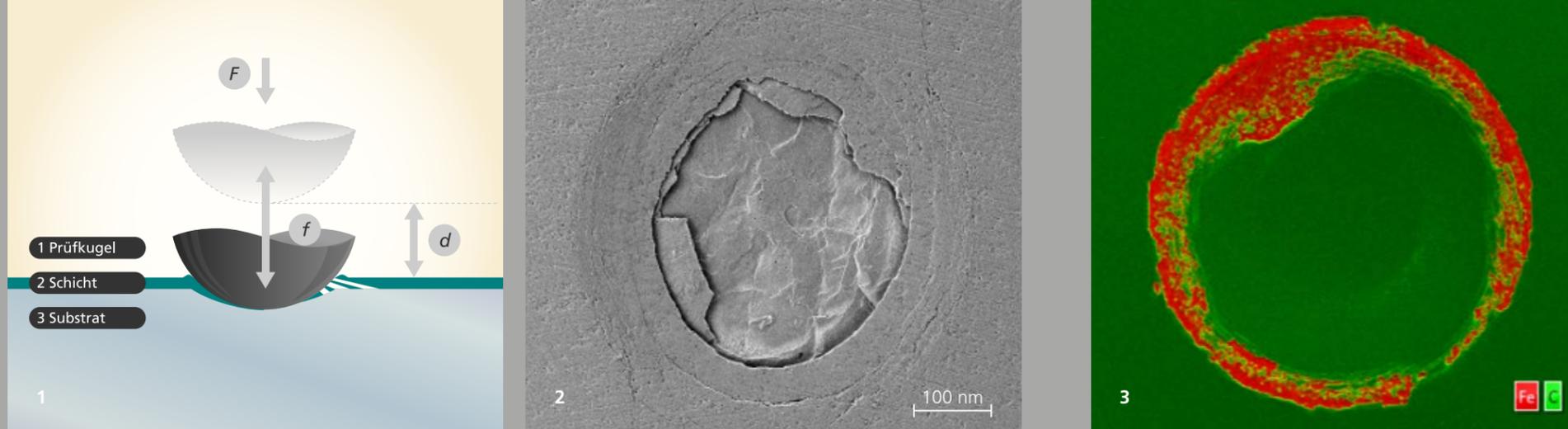


1 *Simuliertes Teilchenstromprofil gesputterter Atome an der Substratebene und Winkelverteilungsfunktionen an ausgewählten Punkten.*

2-3 *Teil-Beschichtungsprofile einer Linse an verschiedenen Positionen (2) und das dazugehörige Gesamtprofil (3).*

## KONTAKT

Dr. Andreas Pflug  
Telefon +49 531 2155-629  
andreas.pflug@ist.fraunhofer.de



## DIE LEBENSDAUER VON HARTSTOFFSCHICHTEN TESTEN

Neben reinen statischen Beanspruchungen sind dünne PVD- und CVD-Hartstoffschichten in vielen Anwendungsfällen auch dynamischen Beanspruchungen ausgesetzt. Nicht selten erfahren sie nach Überschreitung einer kritischen Wechselbeanspruchung einen Ermüdungsbruch oder andere Ermüdungserscheinungen wie Materialausbrüche oder oberflächennahe Mikrorissbildungen. Um dies näherungsweise vorherzusagen, kann die Anfälligkeit eines Schichtsystems mithilfe des am Fraunhofer IST verfügbaren Impact-Tests geprüft werden. Dabei wird der Widerstand eines Schicht-Substrat-Verbunds auf Werkstoffschädigung, Rissbildung und Schichtablösungen untersucht.

### Das Testprinzip

Der Impact-Test ist eine dynamische Wechselbeanspruchung des Schicht-Substrat-Verbunds, der sowohl auf flachen als auch auf gekrümmten Bauteilen durchgeführt werden kann. Dabei übt eine fest eingespannte Prüfkugel mit einer Frequenz [f] von ca. 60 Hz eine zyklische Belastung auf das zu prüfende Bauteil aus. Je nach gewähltem Betriebsmodus können zwei verschiedene dynamische Belastungen eingestellt werden. Bei der ersten Variante, dem sogenannten nicht abhebenden Betrieb, erfolgt die Belastung im Dauerkontakt von Kugel und Bauteil. In diesem Fall ist der Abstand [d] gleich Null (vgl. Abbildung 1). Der zweite Modus, der abhebende Betrieb, ist eine hämmernde Bewegung der Kugel auf dem Bauteil. Der Abstand [d] beträgt dabei mindestens 0,2 mm. Über einen elektromagnetischen Antrieb können Prüfkraft [F] zwischen 200 N und 4000 N eingestellt werden.

### Die Prüfkugeln

Der Werkstoff und die Größe der verwendeten Prüfkugeln haben einen Einfluss auf die Belastungen des Schichtsystems. Je nach Kugelgröße ergibt sich eine veränderte Flächenpressung. Für lange Prüfdauern von  $> 10^5$  Impacts und gleichzeitig

hohe Belastungen von  $\geq 2000$  N sind keramische Prüfkugeln z. B. besser geeignet als Stahlkugeln (100Cr6). Letztere neigen bei diesen Belastungen zu einer Werkstoffermüdung, was meistens mit einem unregelmäßigen Materialabtrag an der Kugel und somit einer ungleichen Druckverteilung einhergeht. Darüber hinaus kann ein solcher Materialtransfer eine spätere EDX-Analyse erschweren.

### Erste Ergebnisse

Die Größe der Impact-Eindrücke, d. h. der Durchmesser und die Tiefe, sowie das sogenannte Pile-up-Verhalten, ein Aufwölben im Randbereich der Eindrücke, nimmt mit steigender Prüfkraft zu. Beispielsweise wird bei einer Prüfkraft von 500 N ein Durchmesser von ca. 450  $\mu\text{m}$  und eine Tiefe von ca. 7  $\mu\text{m}$  ermittelt. Bei 4000 N Prüfkraft beträgt der Durchmesser hingegen ca. 900  $\mu\text{m}$ , die Tiefe ca. 50  $\mu\text{m}$ .

Für eine Bewertung der Schichthaftung sind mehrere, in der Regel zwei bis drei Versuche erforderlich. Der Abstand der einzelnen Versuche ist dabei so zu wählen, dass sich diese nicht gegenseitig beeinflussen.

### Untersuchung der Lebensdauer

Das Schichtsystem wird aufgrund der wiederkehrenden Be- und Entlastungszyklen stark beansprucht, was zu Schichtabplatzungen und/oder zu Dehnungsrissen im Bereich des Impact-Eindrucks führen kann. Anhand von optischen Bildern oder mithilfe von REM-EDX-Aufnahmen kann der Schädigungsgrad des Schichtsystems festgestellt werden. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen Aufnahmen mit erheblichen Schichtschädigungen. Das Ausmaß der Defekte dient als Kennzeichen für die Lebensdauer der Beschichtung. Bei sehr rauen Oberflächen kann es zu frühzeitigen Schichtschädigungen kommen, da an den Rauheitsspitzen hohe Flächenpressungen auftreten. Inwieweit das Substrat unterhalb der Beschichtung beschädigt wurde, kann darüber hinaus mithilfe eines Querschliffs ermittelt werden.

1 *Prinzipskizze des Impact-Tests.*

2 *Geschädigte Beschichtung nach dem Impact-Test.*

3 *Beispiel einer EDX-Analyse (grün=intakte Schicht; rot=abgeplatzte Beschichtung).*

## KONTAKT

Dipl.-Ing. Reinhold Bethke  
Telefon +49 531 2155-572  
reinhold.bethke@ist.fraunhofer.de



---

# NAMEN, DATEN, EREIGNISSE 2017

---

Auch im Jahr 2017 präsentierte sich das Fraunhofer IST wieder auf verschiedenen Plattformen. Hier finden Sie eine Übersicht der wichtigsten Ereignisse und Aktivitäten des Jahres 2017:

| Messen, Ausstellungen, Konferenzen

| Ereignisse, Kolloquien, Workshops

| Preise und Auszeichnungen



## MESSEN, AUSSTELLUNGEN, KONFERENZEN

### 18. Fachtagung für Plasmatechnologie PT-18

Göttingen, 20.–22. Februar 2017. Das Anwendungszentrum für Plasma und Photonik des Fraunhofer IST präsentierte sich in diesem Jahr erstmalig auf der begleitenden Ausstellung der Fachtagung für Plasmatechnologie in Göttingen und zeigte die neuesten Forschungsergebnisse im Bereich Plasma-Partikeltechnik. Darüber hinaus beteiligte sich das Institut mit zahlreichen Vorträgen am Programm der Tagung.

### Hannover Messe 2017

Hannover, 24.–28. April 2017. Auch in diesem Jahr war das Fraunhofer IST erneut in zwei Hallen der Hannover Messe vertreten. Auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand in Halle 2 präsentierte das Anwendungszentrum für Plasma und Photonik des Fraunhofer IST im Bereich »Oberfläche« die innovative Technologie Kalt-Plasmaspritzen sowie eine neuentwickelte Plasmaquelle, mit der auch dreidimensionale Substrate konturgenau behandelt werden können. Im Bereich »Adaptionik« wurden aktuelle Forschungsergebnisse in der Mikro- und Sensortechnologie vorgestellt. Daneben war das Fraunhofer IST in diesem Jahr auch auf dem Gemeinschaftsstand »Plasma- und Laser-Oberflächentechnik« in Halle 6 vertreten. Dort wurden die neuesten Entwicklungen aus dem Bereich Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik vorgestellt.

### SVC TechCon 2017

Providence, Rhode Island, USA, 29. April–4. Mai 2017. Auch 2017 nahmen Vertreter des Fraunhofer IST wieder an der SVC TechCon teil. Im Rahmen der begleitenden Ausstellung wurden u. a. die neuesten Ergebnisse aus dem Bereich der HIPIMS-Technologie präsentiert. An der Konferenz beteiligte sich das Fraunhofer IST wie bereits in den vergangenen Jahren mit zahlreichen Beiträgen.

### TechTextil 2017

Frankfurt, 9.–12. Mai 2017. Zum ersten Mal präsentierte sich die 2016 gegründete Fraunhofer-Allianz Textil in diesem Jahr auf einer Messe, der TechTextil in Frankfurt. Die insgesamt 14 Mitgliedsinstitute stellten die gebündelte Fraunhofer-Kompetenz im Bereich der textilen Wertschöpfungskette vor. Auch das Fraunhofer IST war mit dabei und präsentierte textile Oberflächen mit verschiedenen Funktionalisierungen, so z. B. Markisenstoffen, die durch eine vorherige Plasmabeschichtung besonders wirkungsvoll nasschemisch imprägniert werden konnten.

### Biotechnica 2017

Hannover, 16.–18. Mai 2017. Das Fraunhofer IST präsentierte sich auf der Biotechnica im Rahmen eines Gemeinschaftsstands der Fraunhofer-Gesellschaft. Die Wissenschaftler zeigten ihre neuesten Forschungsergebnisse aus dem Bereich Life Sciences, u. a. plasmabeschichtete Zellkulturbeutel.

### 8<sup>th</sup> International Conference on High Power Impulse Magnetron Sputtering (HIPIMS)

Braunschweig, 13.–14. Juni 2017. Gemeinsam mit der Sheffield Hallam University und dem Kompetenznetz INPLAS e. V. organisierte das Fraunhofer IST auch in diesem Jahr wieder die internationale Konferenz zum Thema HIPIMS (Hochleistungsimpuls-Magnetronspütern). Vertreter des Fraunhofer IST beteiligten sich 2017 erneut mit zahlreichen Beiträgen am Programm.

### Paris Air Show 2017

Le Bourget, Frankreich, 23.–25. Juni 2017. Auf einem Gemeinschaftsstands der Fraunhofer-Allianz Space war auch das Fraunhofer IST auf der Paris Air Show 2017 mit dem Schwerpunkt »Optische Anwendungen in der Raumfahrt« vertreten.

### LASER World of Photonics 2017

München, 26.–29. Juni 2017. Auf der LASER World of Photonics 2017 stellte das Fraunhofer IST im Rahmen eines Fraunhofer-Gemeinschaftsstands die neuesten Entwicklungen aus dem Bereich Laser-Plasma-Hybridverfahren vor. Bei diesem neuartigen Verfahren werden zwei Technologien miteinander kombiniert: die Lasertechnik und das Atmosphärendruck-Plasmaverfahren. Dadurch sind effizientere, hochwertigere und damit auch wirtschaftlichere Produktions- und Bearbeitungsprozesse möglich. Darüber hinaus präsentierte das Institut diverse optische Filter, die mit dem innovativen Sputtersystem EOSS<sup>®</sup> hergestellt wurden.

### Parts2Clean 2017

Stuttgart, 24.–26. Oktober 2017. Auch in diesem Jahr organisierte die Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik wieder einen Gemeinschaftsstand auf der Parts2Clean. Das Fraunhofer IST stellte in diesem Rahmen u. a. das innovative Plasmaquellenkonzept »Disc-Jet« vor: Mit dem Jet können selbst temperaturempfindliche Substrate konturgenau und tiefengängig behandelt werden.

### Space Tech Europe

Bremen, 24.–26. Oktober 2017. Als Mitglied der Fraunhofer-Allianz Space war das Fraunhofer IST in diesem Jahr zum ersten Mal auch auf der Space Tech Europe vertreten. Neben weiteren Bauteilen für die Raumfahrt zeigte das IST einen metallisierten Spiegel aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK), der den extremen Temperaturschwankungen im Weltall standhalten kann.

1-3 Auftritt des Fraunhofer IST auf der Hannover Messe 2017. (1) Blick auf den Gemeinschaftsstand »Plasma- und Laser-Oberflächentechnik« in Halle 6, (2) Disc-Jet des Anwendungszentrums für Plasma und Photonik des Fraunhofer IST, (3) der Bereich »Adaptionik« auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand in Halle 2.



1



2



3



4

## EREIGNISSE, KOLLOQUIEN, WORKSHOPS

### 1. Science Day am Fraunhofer IST

Braunschweig, 24. Januar 2017. Zum ersten Mal fand in diesem Jahr am Fraunhofer IST der »Science Day« statt. Doktorandinnen und Doktoranden des Fraunhofer IST und des Instituts für Oberflächentechnik der TU Braunschweig präsentierten Poster mit aktuellen Ergebnissen ihrer Promotion. Alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter waren eingeladen, sich bei dieser Gelegenheit über die laufenden Forschungsthemen zu informieren und in zwangloser Runde zu diskutieren.

### Cloud der Wissenschaft

Braunschweig, 15.–27. September 2017. 2007 wurde Braunschweig zur »Stadt der Wissenschaft« gekürt. Zur Feier des 10. Jubiläumsjahrs spannten die Stadt Braunschweig und die ForschungRegion Braunschweig e.V. ein Netzwerk in Form einer »Cloud der Wissenschaft« auf dem Burgplatz. Unter der Cloud gab es vom 15. bis zum 27. September ein abwechslungsreiches öffentliches Veranstaltungsprogramm, das durch die zahlreichen Forschungseinrichtungen gestaltet wurde. Auch das Fraunhofer IST beteiligte sich mit zwei Beiträgen: »Silberreinigung mittels Plasma« und »Plasma im Alltag«.

Am 20. September 2017 stellten die Wissenschaftler eine innovative Reinigungsmethode für angelaufene Silberoberflächen vor: die Behandlung mit »kaltem« Plasma. Silberschmuck, -besteck oder andere -oberflächen, die der Umgebungsluft ausgesetzt sind, laufen nach einiger Zeit an, es entstehen die allgemein bekannten braun-schwarzen Verfärbungen. Vor allem bei Restaurierungsarbeiten sollen diese dunklen Schichten häufig wieder entfernt werden. Mit den neuen am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST entwickelten stiftähnlichen Jetsystemen können selbst temperaturempfindliche Materialien wie Brokatstoffe mit Silberfäden bearbeitet werden.

Zwei Tage später zeigten die Kollegen des Anwendungszentrums für Plasma und Photonik des Fraunhofer IST, wie Plasmatechnologien in leicht zu bedienenden Handgeräten im Alltag eingesetzt werden können. Beispiele sind das PlasmaDerm®-Gerät zur Behandlung von chronischen Wunden wie offene Beine und Hautkrankheiten wie Neurodermitis oder der in naher Zukunft erhältliche »Plasma-Läusekamm«, der ohne Einsatz von aggressiven Shampoos den Kopf von Läusen und Nissen befreit. In allen Geräten wird die Umgebungsluft mittels Elektrizität ionisiert und in den Plasmazustand überführt. Verschiedene plasmachemische und -physikalische Effekte sorgen dann für eine Veränderung der Eigenschaften behandelter Oberflächen.

Den Abschluss der Jubiläumsveranstaltung bildete eine Podiumsdiskussion zum Thema »Zukunftsfragen der Menschheit«. Über 20 Vertreter der Braunschweiger Forschungseinrichtungen, darunter auch der Institutsleiter des Fraunhofer IST, Prof. Bräuer, diskutierten dabei, wie sich die Prognose der Zukunft im vergangenen Jahrzehnt verändert hat.

### Workshop »Additive Manufacturing trifft Oberflächentechnik«

Braunschweig, 29.–30. November 2017. »Additive Manufacturing« ist eines der bedeutendsten Schlagworte im Zeitalter der Industrie 4.0 und auch für die Oberflächentechnik spielen die weiteren Entwicklungen im Bereich der additiven Fertigung eine große Rolle. Im Rahmen der Veranstaltungsreihe »INPLAS Talks« des Kompetenznetzes INPLAS e.V. wurde in zahlreichen Vorträgen und Workshops das Zusammenspiel zwischen den beiden Technologien genauer erläutert. Das Fraunhofer IST beteiligte sich u. a. mit einem Vortrag am Programm.

## PREISE UND AUSZEICHNUNGEN

### 1. Posterpreis der SVC 2017

Für ihr Poster »Microstructure Investigations on Gas Flow Sputtered Thermal Barrier Coatings« wurde Jessica Gerstenberg vom Institut für Oberflächentechnik der TU Braunschweig gemeinsam mit ihren Co-Autoren vom Fraunhofer IST und dem Institut für Werkstoffe der TU Braunschweig mit dem 1. Platz der Poster-Preise ausgezeichnet. In der Arbeit untersuchte sie mittels Gasfluss-Sputtern hergestellte Zirkonium-basierte Wärmedämmschichten z.B. hinsichtlich der entstehenden Mikrostruktur der Schicht.

### Wettbewerb INNOspace Masters 2017

Erneut belegte Dr. Andreas Dietz, Leiter des Geschäftsfelds Luft- und Raumfahrt den 2. Platz im Wettbewerb INNOspace Masters in der Kategorie »DLR Raumfahrtmanagement Challenge«. Ziel des ausgezeichneten Projekts AMPFORS (Additive Manufacturing of Polymer Parts for Space) ist es, vermehrt leichte 3D-gedruckte Kunststoffteile für die Raumfahrt zu entwickeln. Um beispielsweise die mechanischen Eigenschaften des Kunststoffes noch zu verbessern und an die Bedingungen im Weltraum anzupassen, werden die gedruckten Teile in einem zweiten Schritt metallisiert.

### K-T Rie-Award 2017

Prof. Dr. Günter Bräuer wurde auf der diesjährigen Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE) für seine Verdienste im Bereich der angewandten Plasmaforschung mit dem K-T Rie Award ausgezeichnet. Mit dem Preis wird das wissenschaftliche Lebenswerk des promovierten Physikers gewürdigt: sein Beitrag zur Förderung der angewandten Plasmawissenschaft und -technik, nicht nur in Asien, sondern weltweit. »Diese Auszeichnung bedeutet mir sehr viel«, freut sich Bräuer. »Es zeigt mir, dass meine Aktivitäten wahrgenommen und auch geschätzt werden.«

1-2 Die beiden Auftritte des Fraunhofer IST während der »Cloud der Wissenschaft« auf dem Braunschweiger Burgplatz: (1) »Silberreinigung mittels Plasma« und (2) »Plasma im Alltag«.

3 Die Gewinnerin des 1. Posterpreises der SVC 2017 Jessica Gerstenberg (Mitte).

4 Prof. Dr. Günter Bräuer (rechts) wird für seine Verdienste im Bereich der angewandten Plasmaforschung mit dem K-T Rie Award ausgezeichnet.



---

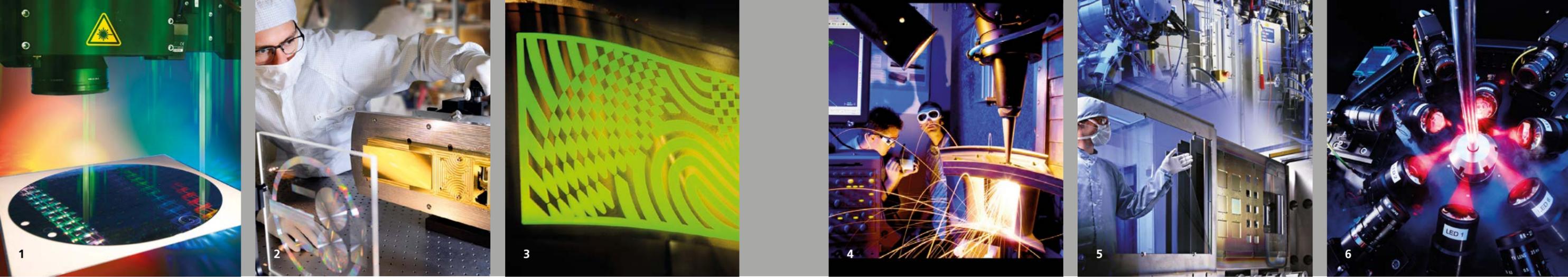
## DAS FRAUNHOFER IST IN NETZWERKEN

---

Das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST ist mit seiner Forschungs- und Entwicklungstätigkeit Teil verschiedener interner und externer Netzwerke, die mit unterschiedlichen Schwerpunkten im Spannungsfeld zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik agieren. Innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft bündelt das Institut seine Kompetenzen mit denen anderer Fraunhofer-Institute, unter anderem im Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces und in verschiedenen Fraunhofer-Allianzen. Ziel ist es, Kunden und Partnern auch technologieübergreifend optimale Lösungen für deren Aufgabenstellungen anzubieten.

Darüber hinaus hat das Fraunhofer IST auch die zukünftigen Wissenschaftler und Forscher im Blick. Um Jugendliche früh für naturwissenschaftliche und technische Inhalte zu begeistern und den wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern, vernetzt sich das Institut intensiv mit Schulen und Ausbildern.





## FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

### Kompetenz durch Vernetzung

Sechs Fraunhofer-Institute kooperieren im Verbund Light & Surfaces. Aufeinander abgestimmte Kompetenzen gewährleisten eine schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an die Erfordernisse in den verschiedensten Anwendungsfeldern zur Lösung aktueller und zukünftiger Herausforderungen, insbesondere in den Bereichen Energie, Umwelt, Produktion, Information und Sicherheit. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Marktes ausgerichtete Strategien führen zu Synergieeffekten zum Nutzen der Kunden.

### Kernkompetenzen des Verbunds

- | Laser-Fertigungsverfahren
- | Strahlquellen
- | Messtechnik
- | Medizin und Life Science
- | Werkstofftechnik
- | Optische Systeme und Optikfertigung
- | Mikro- und Nanotechnologien
- | Dünnschichttechnik
- | Plasmatechnik
- | Elektronenstrahltechnik
- | EUV-Technologie
- | Prozess- und Systemsimulation

### Anwendungsfelder

- | Automotive
- | Biotechnologie und Life Science
- | Elektronik und Sensorik

- | Energie und Umwelt
- | Luft- und Raumfahrt
- | Maschinen- und Anlagenbau, Werkzeugbau
- | Optik

### Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF<sup>2</sup>

Das Fraunhofer IOF entwickelt innovative optische Systeme zur Kontrolle von Licht – von der Erzeugung und Manipulation bis hin zu dessen Anwendung. Das Leistungsangebot umfasst die gesamte photonische Prozesskette vom optomechanischen und optoelektronischen Systemdesign bis zur Herstellung von kundenspezifischen Lösungen und Prototypen. Das Institut ist in den fünf Geschäftsfeldern »Optische Komponenten und Systeme«, »Feinmechanische Komponenten und Systeme«, »Funktionale Oberflächen und Schichten«, »Photonische Sensoren und Messsysteme« sowie »Lasertechnik« aktiv. [www.iof.fraunhofer.de](http://www.iof.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP<sup>3</sup>

Das Fraunhofer FEP arbeitet an innovativen Lösungen im Bereich der Vakuumbeschichtung, der Oberflächenbehandlung und der organischen Halbleiter. Grundlage dieser Arbeiten sind die Kernkompetenzen Elektronenstrahltechnologie, Sputtern, plasmaaktivierte Hochratebedampfung und Hochrate-PECVD sowie Technologien für organische Elektronik und IC-/Systemdesign. Die Technologien und Prozesse des FEP finden Anwendung im Maschinenbau, im Transportwesen, der Biomedizintechnik, der Architektur und für den Kulturgüterhalt, in der Verpackungsindustrie, im Bereich Umwelt und Energie, der Optik, Sensorik und Elektronik sowie in der Landwirtschaft. | [www.fep.fraunhofer.de](http://www.fep.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT<sup>4</sup>

Mit über 400 Patenten seit 1985 ist das Fraunhofer ILT ein gefragter FuE-Partner der Industrie für die Entwicklung innovativer Laserstrahlquellen, Laserverfahren und Lasersysteme. Die Technologiefelder umfassen Laser und Optik, Lasermesstechnik, Medizintechnik und Biophotonik sowie Lasermaterialbearbeitung. Hierzu zählen u. a. das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie die Oberflächenbearbeitung, die Mikrofertigung und das Rapid Manufacturing. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik. | [www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST<sup>5</sup>

Das Fraunhofer IST bietet als innovativer FuE-Partner Lösungen in der Oberflächentechnik, die gemeinsam mit Kunden aus Industrie und Forschung erarbeitet werden. Das »Produkt« ist die Oberfläche, die durch Modifizierung, Strukturierung und/oder Beschichtung für Anwendungen primär in den folgenden Geschäftsfeldern optimiert wird: »Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik«; »Luft- und Raumfahrt«; »Energie und Elektronik«; »Optik« und »Life Science und Umwelt«. Die Kompetenzen des Fraunhofer IST in der Schichtherstellung und Schichtanwendung werden unterstützt durch eine entsprechende Schicht- und Oberflächenanalytik sowie durch die Simulation der vakuumbasierten Beschichtungsprozesse. [www.ist.fraunhofer.de](http://www.ist.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM<sup>6</sup>

Das Fraunhofer IPM entwickelt maßgeschneiderte Messtechniken, Systeme und Materialien für die Industrie. Dadurch ermöglicht das Institut seinen Kunden, den Energie- und Ressourceneinsatz zu minimieren und gleichzeitig Qualität und Zuverlässigkeit zu maximieren. Das Fraunhofer IPM macht Prozesse ökologischer und gleichzeitig ökonomischer. Langjährige

Erfahrungen mit optischen Technologien und funktionalen Materialien bilden die Basis für Hightech-Lösungen in der Produktionskontrolle, der Materialcharakterisierung und -prüfung, der Objekt- und Formerfassung, der Gas- und Prozesstechnologie sowie im Bereich Funktionelle Materialien und Systeme. | [www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS<sup>1</sup>

Das Fraunhofer IWS steht für Innovationen in den Geschäftsfeldern Fügen, Trennen sowie Oberflächentechnik und Beschichtung. Geschäftsfeldübergreifende Querschnittsthemen sind Energiespeicher, Energieeffizienz, Additive Fertigung, Leichtbau und Big Data. Die Besonderheit des Fraunhofer IWS liegt in der Kombination eines umfangreichen werkstofftechnischen Know-hows mit weitreichenden Erfahrungen in der Entwicklung von Technologien und Systemtechnik. Zahlreiche Lösungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung und Schichttechnik finden jedes Jahr Eingang in die industrielle Fertigung. | [www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)

## KONTAKT

### VORSITZENDER DES VERBUNDS

Prof. Dr. Reinhard Poprawe  
Telefon +49 241 8906-110

### GESCHÄFTSFÜHRER DES VERBUNDS

Dr.-Ing. Arnold Gillner  
Telefon +49 241 8906-148  
[arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de](mailto:arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de)

[www.light-and-surfaces.fraunhofer.de](http://www.light-and-surfaces.fraunhofer.de)



1



2



3

# NACHWUCHSFÖRDERUNG UND AUSBILDUNG AM FRAUNHOFER IST

Nachwuchsförderung – für das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST bedeutet das nicht nur als Ausbilder und im universitären Rahmen aktiv zu sein, sondern auch, Jugendliche an naturwissenschaftliche Themen heranzuführen, ihnen Berührungspunkte zu nehmen und junge Menschen für industriennahe Forschung zu begeistern. Die Förderung und Betreuung von Schülern und Studierenden, die Interesse an den Forschungsbereichen des Fraunhofer IST haben, war auch im Jahr 2017 wieder ein wichtiger Teil der Arbeit am Institut.

**Besuch der Technikantinnen der TU Braunschweig**  
Braunschweig, 12. Januar 2017. Zum ersten Mal besuchten in diesem Jahr 16 Technikantinnen der TU Braunschweig im Rahmen eines Projekts des Niedersachsen-Technikums das Fraunhofer IST. Ziel des Projekts ist es, jungen Abiturientinnen einen Einblick in den Alltag einer technisch- und naturwissenschaftlichen Forschungseinrichtung zu geben. Bei ihrem Besuch wurden den Jugendlichen auch die Einstiegs- und Beschäftigungsmöglichkeiten am Fraunhofer IST vorgestellt.

**BONA SZ-Ausbildungsmesse**  
Braunschweig, 9.–10. März 2017. In diesem Jahr war das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST bereits zum zweiten Mal in Folge auf der BONA SZ-Ausbildungsmesse vertreten. An zwei Tagen konnten sich interessierte Schülerinnen und Schüler hier über die verschiedenen Ausbildungsberufe am Fraunhofer IST informieren: von der/dem Verwaltungsangestellten über die Oberflächenbeschichterin/den Oberflächenbeschichter bis hin zur Physikalaborantin/zum Physikalaboranten. Vier Auszubildende des Instituts berichteten den interessierten Besuchern über den Berufsalltag der Physikalaborantin/des Physikalaboranten.

**Besuch der IGS Lengede**  
Braunschweig, 23. März 2017. Zum ersten Mal besuchten in diesem Jahr Schülerinnen und Schüler der IGS Lengede das Fraunhofer IST. Die Jugendlichen der 12. und 13. Klasse haben das Schwerpunktprofil »Life Science« gewählt, das vor allem naturwissenschaftliche Zusammenhänge in den Vordergrund stellt. Passend dazu bekamen sie nach einer kurzen Institutsvorstellung eine Einführung in das Thema Schicht- und Oberflächentechnik und lernten verschiedene Anwendungsbereiche kennen. Bei der anschließenden Institutsführung konnte sich die Schülergruppe ein eigenes Bild von der Arbeit in einer Forschungseinrichtung machen.

**Ausbildungsplatzbörse im EINTRACHT-Stadion**  
Braunschweig, 29. März 2017. Erstmals präsentierte sich das Fraunhofer IST 2017 auf der Ausbildungsplatzbörse der Industrie- und Handelskammer (IHK) Braunschweig. In den Businessräumen des Braunschweiger Stadions hatten Jugendliche die Möglichkeit, sich über das Institut und die unterschiedlichen Ausbildungsmöglichkeiten am Fraunhofer IST zu informieren, von der Ausbildung zur Physikalaborantin/zum Physikalaboranten über den Beruf der Oberflächenbeschich-

terin/des Oberflächenbeschichters bis hin zur Ausbildung im kaufmännischen Bereich war alles dabei.

**Zukunftstag für Jungen und Mädchen am Fraunhofer IST**  
Braunschweig, 27. April 2017. Traditionell öffnete das Fraunhofer IST gemeinsam mit dem Fraunhofer WKI auch in diesem Jahr wieder seine Türen, um 13 Jungen und 11 Mädchen im Rahmen des »Zukunftstags« die Möglichkeit zu geben, hinter die Kulissen der Forschungseinrichtungen zu schauen. Die kleinen Nachwuchsforscher zogen mit Kitteln und Schutzbrillen durchs Institut vorbei an riesigen Beschichtungsanlagen, gelben Räumen und »Minigewittern« mit Plasmablitzern. In verschiedenen Mit-Mach-Aktionen bekamen die Schülerinnen und Schüler aus den Klassen 5 – 7 schließlich selbst die Gelegenheit, z. B. Kunststoffautos mit Atmosphärendruckplasmen vorzubehandeln und diese im Anschluss mit Kupfer stromlos zu metallisieren. Am Ende des Tages durften sie ihre beschichteten Werke als Andenken mit nach Hause nehmen.

1 Die Technikantinnen der TU Braunschweig verschafften sich bei ihrem Besuch am Fraunhofer IST einen Eindruck über die Arbeit in einem Forschungsinstitut und führten sogar selbst einige Experimente durch.

2 Der Stand des Fraunhofer IST auf der BONA SZ-Ausbildungsmesse: Schülerinnen und Schüler konnten sich bei den angehenden Physikalaboranten des Fraunhofer IST über den Ausbildungsberuf informieren.

3 Die Teilnehmer des »Zukunftstags für Jungen und Mädchen« bei Flammenfärbungstests am Fraunhofer IST.



## DAS KOMPETENZNETZ INDUSTRIELLE PLASMA-OBERFLÄCHENTECHNIK E.V. – INPLAS

Das Kompetenznetz INPLAS e.V., das als Netzwerk beim Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) im Programm »go-cluster« akkreditiert ist, hat seine Geschäftsstelle am Fraunhofer IST. Das Netzwerk hat aktuell 52 Mitglieder aus Industrie und Wissenschaft. Rund 200 Personen, die zu 75 Prozent aus der Industrie kommen, beteiligen sich an den Netzwerkaktivitäten.

Ziel des Netzwerks ist es, die Plasmatechnik weiter bekannt zu machen und die Entwicklung in den zahlreichen Anwendungsgebieten in ihrer jeweiligen Komplexität zu unterstützen, zu fordern und zu moderieren. Einige Highlights der vielen Aktivitäten, Projekten und Veranstaltungen 2017 werden im folgenden Abschnitt vorgestellt:

### 12. INPLAS-Mitgliederversammlung bei Schneider GmbH & Co. KG | W&L Coating Systems GmbH

Die 12. INPLAS-Mitgliederversammlung fand am 20. November 2017 bei der Schneider GmbH & Co. KG in Fronhausen statt. Die Versammlung ist neben den Regularien ein wichtiges Treffen der Mitglieder, um zukünftige Netzwerkaktivitäten abzusprechen und Meinungen der Mitglieder einzubeziehen bzw. den Gedankenaustausch zu fördern. Dieses Mal wurden Zukunftsthemen wie die Digitalisierung in der Oberflächentechnik – Industrie 4.0 – Sensorik, Energieeffizienz, Energiespeicher, Additive Fertigung und Gesundheit – Hygiene – Ernährung diskutiert. Sie sollen in den Arbeitsgruppen, Vorstandssitzungen und politischen Aktivitäten weiter vorangebracht werden. Die anschließende Werksführung gab den Teilnehmern einen interessanten Einblick in die Herstellung hochpräziser und digitalisierter Maschinensysteme für Präzisionsoptiken und Brillengläser – ein hervorragendes Vorbild für die Umsetzung von Produktionslinien unter dem Slogan »Industrie 4.0«.

### INPLAS-Arbeitsgruppen

Die AG »Neuartige Plasmaquellen und -prozesse« wird seit diesem Jahr durch das Leitungsteam Dr. Ulf Seyfert, Von Ardenne; Matthias Nestler, scia systems GmbH sowie Dr. Anke Hellmich, Applied Materials geführt. Im Frühjahr tagte die Gruppe bei scia Systems in Chemnitz, die zweite Sitzung fand im Anschluss an die Mitgliederversammlung in Fronhausen statt. Themen des Jahres waren Vorbehandlung, Reinigung und Quellen.

Die AG »Werkzeugbeschichtungen« unter der Leitung von Hanno Paschke, DOC, Fraunhofer IST, traf sich zweimal in Braunschweig am Fraunhofer IST. Die Themen waren Plasmadiffusion, Tieftemperaturbehandlungen, das aktuelle Projekt »ÖkoClean«, Technologieportfolio sowie verschiedene neue Projektansätze.

Im Gemeinschaftsausschuss (GA) »Kombinierte Oberflächentechnik« lautet das aktuelle Thema Additive Fertigung. Verschiedene Vorträge und Diskussionen gab es bei den Treffen in Venlo bei der Firma Hauzer und am Fraunhofer IST.

Die AG »Plasma4Life« traf sich im Mai bei der Firma Erbe Elektromedizin GmbH in Tübingen zum Thema Einsatz der Plasmatechnik in der Chirurgie, der Endoskopie sowie bei der Entwicklung von Testverfahren.

### 8<sup>th</sup> HIPIMS-Conference in Braunschweig<sup>1</sup>

Die 8. Internationale Konferenz zum Thema Hochleistungsimplus-Magnetronspütern (High Power Impuls Magnetron Sputtering HIPIMS) fand 2017 zum vierten Mal in Braunschweig statt. Die Organisatoren begrüßten in der Braunschweiger Stadthalle 90 Teilnehmer und 17 Aussteller aus 19 Ländern weltweit. INPLAS dankt an dieser Stelle nochmals allen Sponsoren, Vortragenden, Ausstellern und Teilnehmern sowie dem Konferenz-Komitee für ihr Engagement und ihre Teilnahme.

### 37. Treffen des Industrie-Arbeitskreises IAK »Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe«

Mit 40 Teilnehmern ist der IAK ein gern genutztes Forum, um sich über die neuesten Trends der Werkzeughersteller und Nutzer auszutauschen. Das Treffen findet zweimal jährlich in Berlin und Braunschweig mit den Partnern IWF der TU Berlin, Fraunhofer IPK, Fraunhofer IST und INPLAS e.V. statt.

### INPLAS-TALKS: »Additive Manufacturing trifft Oberflächentechnik«

Ziel der Veranstaltung war, die Möglichkeiten und Herausforderungen der Oberflächentechnik bei AM-gedruckten Teilen sowohl bei Kunststoffen als auch bei Metallen zu zeigen. In zehn Vorträgen und zwei Workshops wurden verschiedene Anwendungsbeispiele vorgestellt und diskutiert. Die Themen sollen zukünftig in den AGs weiter aufgegriffen werden, um an den Projektansätzen zu arbeiten.

### INPLAS-Serie in der Fachzeitschrift VIP erschienen

Dank engagierter Mitglieder und Vorstände erschien in diesem Jahr in der »Vakuum in Forschung und Praxis« eine vierteilige INPLAS-Serie mit Fachartikeln zu den folgenden Themen: Reinigen, Funktionalisieren und Beschichten – Mit Atmosphärendruckplasma-Produkte optimieren, 3D-Beschichtungen, Produktkosten bei Plasmaprozessen, Großflächenbeschichtungen.

### Auszeichnung des Kompetenznetzes INPLAS mit dem Silber-Label-Zertifikat

Am 11. Mai 2017 fand das Re-Assessment des Kompetenznetzwerks INPLAS statt. Das Innovationscluster wies nach, dass ausgewählte Qualitätsindikatoren der European Cluster Excellence Initiative erfüllt sind und die Clustermanagement-Organisation, die Prozesse sowie die Instrumente kontinuierlich weiterentwickelt wurden. Die Zertifizierung erfolgte durch das European Secretariat for Cluster Analysis (ESCA) in Kooperation mit dem Exzellenzprogramm »go-cluster« des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.

### Auszug weiterer Öffentlichkeitsarbeits- oder Serviceprojekte

- ┃ Hannover Messe Industrie Gemeinschaftsstand »Plasma- und Laser-Oberflächentechnik«
- ┃ 18. Fachtagung für Plasmatechnologie PT-18 in Göttingen
- ┃ Plasma Germany-Sitzungen und Workshops
- ┃ Mitglieder-Leistungsportfolio
- ┃ IP4Plasma, FAST, SafeWater, EU-Projekte: verantwortlich für das Work Package »Dissemination« oder Mitarbeit

## KONTAKT

Dipl.-Ing. Carola Brand  
Geschäftsführerin  
Telefon +49 531 2155-574  
carola.brand@inplas.de

Mareike Sorge, M. A.  
Dr. Jochen Borris

www.inplas.de

## MITGLIEDSCHAFTEN

Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik e. V.  
www.awt-online.org

DECHEMA – Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.  
www.dechema.de

Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e. V.  
www.dfo-online.de

Deutsche Gesellschaft für Elektronenmikroskopie e. V.  
www.dge-homepage.de

Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e. V.  
www.dgo-online.de

Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V.  
www.dgm.de

Deutsche Glastechnische Gesellschaft (DGG)  
www.hvg-dgg.de

Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS)  
www.efds.org

Fachverband Angewandte Photokatalyse  
www.vdmi.de/deutsch/produkte/angewandte-photokatalyse.html

F.O.M Forschungsvereinigung Feinmechanik, Optik und Medizintechnik e. V.  
www.forschung-fom.de

ForschungRegion Braunschweig e. V.  
www.forschungregion-braunschweig.de

Forschungsgemeinschaft Werkzeug und Werkstoffe e. V. (FGW)  
www.fgw.de

Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e. V.  
www.3d-mid.de

Fraunhofer-Allianz Adaptronik  
www.adaptronik.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion  
www.automobil.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung  
www.generativ.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Leichtbau  
www.leichtbau.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Numerische Simulation von Produkten, Prozessen – www.nusim.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Photokatalyse  
www.photokatalyse.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik  
www.allianz-reinigungstechnik.de

Fraunhofer-Allianz Space  
www.space.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz SysWasser  
www.syswasser.de

Fraunhofer-Allianz Textil  
www.textil.fraunhofer.de

Fraunhofer-Netzwerk Elektrochemie  
www.elektrochemie.fraunhofer.de

Fraunhofer-Netzwerk Nachhaltigkeit  
www.fraunhofer.de/de/ueber-fraunhofer/corporate-responsibility/governance/nachhaltigkeit/fraunhofer-netzwerk-nachhaltigkeit.html

Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces  
www.light-and-surfaces.fraunhofer.de

German Flatpanel Display Forum DFF  
www.displayforum.de

German Water Partnership  
www.germanwaterpartnership.de

Göttinger Research Council  
www.uni-goettingen.de

International Council for Coatings on Glass e. V.  
www.iccg.eu

Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik e. V. (INPLAS) – www.inplas.de

Materials Valley e. V.  
www.materials-valley.de

Measurement Valley e. V.  
www.measurement-valley.de

Nanotechnologie Kompetenzzentrum Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung CC UPOB e. V.  
www.upob.de

NANOfutures European Technology Integration and Innovation Platform (ETIP) in Nanotechnology  
www.nanofutures.eu

PhotonicNet GmbH – Kompetenznetz Optische Technologien  
www.photonicnet.de

Plasma Germany  
www.plasmagermany.org

Spectaris – Verband der Hightech-Industrie  
www.spectaris.de

Surface.net – Kompetenznetzwerk für Oberflächentechnik e. V.  
www.netzwerk-surface.net

Wissens- und Innovations-Netzwerk Polymertechnik (WIP)  
www.wip-kunststoffe.de

Zentrum für Mikroproduktion e. V. (ZeMPro)  
www.microcompany.de

## MITARBEIT IN GREMIEN

Abraham, T.: Fachausschuss FA 10 »Funktionelle Schichten« der Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik e. V. AWT, Mitglied.

Bandorf, R.: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS), Beirat.

Bandorf, R.: Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e. V., Mitglied.

Bandorf, R.: International Conference on HIPIMS, Conference Chairman.

Bandorf, R.: Society of Vacuum Coaters, Dozent.

Bandorf, R.: Society of Vacuum Coaters, Member Board of Directors.

Bandorf, R.: Society of Vacuum Coaters, Program Chairman.

Bandorf, R.: Society of Vacuum Coaters, Volunteer Mentor.

Brand, C.: Arbeitgeberverband Region Braunschweig, Mitglied.

Brand, C.: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS), Mitglied.

Brand, C.: Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik INPLAS e. V., Geschäftsführerin.

Brand, C.: Plasma Germany, Mitglied des Koordinierungsausschusses.

Brand, J.: Gesellschaft für Tribologie (GfT), Mitglied.

Brand, J.: International Colloquium Tribology, Tribology and Lubrication Engineering, Mitglied im Programme Planning Committee.

- Bräuer, G.: European Joint Committee on Plasma and Ion Surface Engineering (EJC/PISE), Chairman.
- Bräuer, G.: International Conference on Coatings on Glass and Plastics (ICCG), Vorsitzender des Organisationskomitees.
- Bräuer, G.: International Council for Coatings on Glass (ICCG) e. V., Mitglied des Vorstands.
- Bräuer, G.: Institut für Solarenergieforschung, Mitglied des Beirats.
- Bräuer, G.: Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik INPLAS e. V., Vorstandsvorsitzender.
- Bräuer, G.: Zeitschrift »Vakuum in Forschung und Praxis«, Mitglied des Kuratoriums.
- Bräuer, G.: Zentrum für Mikroproduktionstechnik e. V., Mitglied des Vorstands.
- Dietz, A.: Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschung (AGEF), Mitglied.
- Dietz, A.: Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e. V. (DGO), Mitglied des Vorstands.
- Dietz, A.: Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e. V. (DGO), stellvertretender Vorsitzender Ortsgruppe Niedersachsen.
- Dietz, A.: Fachausschuss »Forschung« der DGO, Mitglied.
- Dietz, A.: Fachausschuss »Kombinationsschichten« der DGO, Mitglied.
- Eichler, M.: Conference on Wafer Bonding for Microsystems 3D- and Wafer Level Integration, Steering Committee.
- Eichler, M.: Plasma Surfaces in Healthcare and Industry, International Scientific Committee, Host.
- Gäbler, J.: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss 062 Materialprüfung, Arbeitsausschuss 01-72 »Chemische und elektrochemische Überzüge«, Mitglied.
- Gäbler, J.: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss NA 062 Materialprüfung, Arbeitsausschuss NA 062-01-64 AA Arbeitsausschuss Kohlenstoffschichten, stellvertretender Obmann.
- Gäbler, J.: European Technology Platform for Advanced Materials and Technologies EuMaT, Mitglied.
- Gäbler, J.: European Technology Platform NANOfutures, Mitglied.
- Gäbler, J.: ISO Technical Committee TC 107 »Metallic and other inorganic coatings«, P-Member.
- Gäbler, J.: VDI-Richtlinien-Fachausschuss »CVD-Diamant-Werkzeuge«, Mitglied.
- Gerdes, H.: International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, Session Chairman.
- Gerdes, H.: Society of Vacuum Coaters, Dozent.
- Gerdes, H.: Society of Vacuum Coaters, Session Chairman.
- Gerdes, H.: VDI/VDE-GMA Fachausschuss 2.11 »Elektrische Messverfahren; DMS-Messtechnik«, Mitglied.
- Helmke, A.: Nationales Zentrum für Plasmamedizin, Kuratoriumsmitglied.
- Keunecke, M.: EFDS-Fachausschuss »Tribologische Schichten«, Mitglied.
- Keunecke, M.: OTTI-Fachforum PVD- und CVD-Beschichtungsverfahren für tribologische Systeme, Fachliche Leitung.
- Keunecke, M.: SAE International, Mitglied.
- Keunecke, M.: Society of Vacuum Coaters, Dozent.
- Keunecke, M.: Society of Vacuum Coaters, Session Chairman.
- Klages, C.-P.: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS), Mitglied des wissenschaftlichen Beirats.
- Lachmann, K.: COST Action MP1101 »Biomedical Applications of Atmospheric Pressure Plasma Technology«, Management Committee, Substitute.
- Neumann, F.: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss 062 Materialprüfung, Arbeitsausschuss NA 062-02-93 AA »Photokatalyse«, Leitung des Arbeitskreises »Photokatalytische Selbstreinigung«.
- Neumann, F.: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss 062 Materialprüfung, Arbeitsausschuss NA 062-02-93 AA »Photokatalyse«, Mitglied.
- Neumann, F.: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss 062 Materialprüfung, Arbeitsausschuss NA 062-02-93 AA »Photokatalyse«, stellvertretender Obmann.
- Neumann, F.: Europäisches Komitee für Normung, CEN/TC 386 »Photocatalysis«, Delegierter des Technischen Komitees.
- Neumann, F.: Europäisches Komitee für Normung, CEN/TC 386 »Photocatalysis«, Mitglied.
- Neumann, F.: European Photocatalysis Federation EPF, Mitglied.
- Neumann, F.: Fachverband Angewandte Photokatalyse (FAP), Forschungsausschuss, Mitglied.
- Paschke, H.: Fachausschuss FA10 »Funktionelle Schichten« der Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik e. V. AWt, Mitglied.
- Paschke, H.: Industrie-Arbeitskreis »Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe«, Leitung.
- Paschke, H.: Kompetenznetzwerk für Oberflächentechnik »netzwerk-surface.net«, wissenschaftlicher Beirat (Sprecher).
- Paschke, H.: Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik INPLAS e. V., Arbeitsgruppenleiter Werkzeugbeschichtungen.
- Schäfer, L.: Beirat der CONDIAS GmbH, Mitglied.
- Schäfer, L.: Industriearbeitskreis »Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe«, Mitglied.
- Schäfer, L.: Nanotechnologie-Kompetenzzentrum Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung CC UPOB e. V., Mitglied.
- Schäfer, L.: VDI-Richtlinien-Fachausschuss »CVD-Diamant-Werkzeuge«, Mitglied.
- Sittinger, V.: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS), Workshop »Dünnschichttechnologie für Energiesysteme, V2017«, Chairman, Programmkomitee.
- Sittinger, V.: European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Scientific Committee, Paper Review Expert.
- Sittinger, V.: Society of Vacuum Coaters, Session Chairman.
- Stein, C.: Society of Vacuum Coaters, Dozent.
- Stein, C.: Society of Vacuum Coaters, Session Chairman.
- Stein, C.: VDI-Arbeitskreis »Schneidstoffanwendungen«, Mitglied.
- Thomas, M.: Anwenderkreis Atmosphärendruckplasma (AK-ADP), Mitglied.
- Thomas, M.: Arbeitsgruppe »Plasma4Life« INPLAS e. V., Mitglied.
- Thomas, M.: DECHEMA – Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V., Mitglied.
- Thomas, M.: Plasma Germany, Koordinierungsausschuss, Mitglied.
- Thomas, M.: Plasma Surfaces in Healthcare and Industry, International Scientific Committee.

Vergöhl, M.: Europäische Forschungsvereinigung für dünne Schichten e.V. (EFDS), Mitglied des Vorstands.

Vergöhl, M.: Europäische Forschungsvereinigung für dünne Schichten e.V. (EFDS), stellvertretende Leitung des Fachausschusses »Beschichtungstechnologien für optische und elektronische Funktionalisierung«.

Vergöhl, M.: Lenkungskreis »Photonik« des VDMA, Mitglied.

Vergöhl, M.: Optical Society (OSA), Dozent.

Viöl, W.: Amt für regionale Landesentwicklung Braunschweig, Mitglied Fachbeirat Südniedersachsen.

Viöl, W.: Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Mitglied des Programmbeirats.

Viöl, W.: Deutsche Gesellschaft für Plasmatechnologie e.V. DGPT, Mitglied des Vorstands.

Viöl, W.: DFG Fachkollegien, Mitglied.

Viöl, W.: Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte e.V. GDNÄ, Mitglied im Fachbeirat.

Viöl, W.: HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminde/Göttingen, Vizepräsident für Forschung und Transfer.

Viöl, W.: Hochschulrektorenkonferenz Forschungskommission Fachhochschulen.

Viöl, W.: Kompetenznetz für Nachhaltige Holznutzung (NHN) e.V., Vorstandsmitglied.

Viöl, W.: Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik INPLAS e.V., Kassenwart.

Viöl, W.: Nationales Zentrum für Plasmamedizin, Vorstandsmitglied.

Viöl, W.: Spectaris-Verband der Hightech-Industrie, Fachverband Photonik, Mitglied des Lenkungsausschusses.

## PUBLIKATIONEN

Abraham, T.; Weber, M.; Keunecke, M.; Stein, C.; Weirauch, R.; Grahs, M.; Bräuer, G. (2017): Entwicklung von Werkzeugbeschichtungen für die Hochtemperatur-Titanumformung. In: Tribologie und Schmierungstechnik 64 (2), S. 13–20.

Bandorf, R.; Gröninger, A.; Ortner, K.; Gerdes, H.; Bräuer, G. (2017): Gas flow sputtering for manufacture of high quality hard magnetic films. In: Surface and coatings technology 314, p. 92–96. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.12.114.

Barré, R. de la; Bartmann, R.; Jurk, S.; Kuhlmeier, M.; Duckstein, B.; Seeboth, A.; Löttsch, D.; Rabe, C.; Frach, P.; Bartzsch, H.; Gittner, M.; Bruns, S.; Schottner, G.; Fischer, J. (2017): Time-sequential working wavelength-selective filter for flat autostereoscopic displays. In: Applied sciences 7 (2), S. Article number 194, 20 p. DOI: 10.3390/app7020194.

Behrens, B.-A.; Bräuer, G.; Hübner, S.; Weber, M.; Lorenz, E.; Zimbelmann, S.; Jalanesh, M. (2017): Development and validation of a new method for accelerated and economic wear testing of tool materials for deep drawing applications. In: Wear 376–377, Part B, p. 1814–1821. DOI: 10.1016/j.wear.2017.02.011.

Behrens, B.-A.; Lippold, L.; Brunotte, K.; Paschke, H.; Mejauschek, M.; Weber, M.; Brand, H. (2017): Neue Ansätze auf Basis von Oberflächen- und Randschichtmodifikationen zur Erhöhung der Standmenge von Werkzeugen der Warmmassivumformung, European Press Shop Meeting 2017, 16.2.2017.

Behrens, B.-A.; Paschke, H.; Brunotte, K.; Mejauschek, M. (2017): Partielle belastungsgerechte Verschleißschutzmaßnahmen für Schmiedegesenke. In: Massivumformung (9), S. 60–65.

Bethke, R.; Hipp, A.; Meyer, H.; Nöcker, N. (2017): Bewertung der Lebensdauer von dünnen Hartstoffschichten. Der Impact-Test als ergänzende Prüfmethode. In: Vakuum in Forschung und Praxis 29 (4), S. 32–37. DOI: 10.1002/vipr.201700657.

Biehl, S.; Paetsch, N.; Meyer-Kornblum, E. (2017): Sensorische Dünnschichtsysteme für die Produktion. In: Smarte Strukturen und Systeme : Tagungsband des 4SMARTS-Symposiums, 21.–22. Juni 2017, Braunschweig. p. 139–145.

Biehl, S.; Paetsch, N.; Meyer-Kornblum, E. (2017): Thin film system with integrated load and temperature sensors for the technical application in deep drawing process. In: Smart sensors, actuators, and MEMS VIII. IST, S. 10246–24, [8] Bl.

Borchardt, T.; Ernst, J.; Helmke, A.; Tanyeli, M.; Schilling, A. S.; Felmerer, G.; Viöl, W. (2017): Effect of direct cold atmospheric plasma (diCAP) on microcirculation of intact skin in a controlled mechanical environment. In: Microcirculation 24 (8), p. e12399, DOI: 10.1111/micc.12399.

Bosch, L. t.; Köhler, R.; Ortmann, R.; Wieneke, S.; Viöl, W. (2017): Insecticidal effects of plasma treated water. In: International journal of environmental research and public health 14 (12), 1460, 12 p. DOI: 10.3390/ijerph14121460.

Bosch, L. ten; Pfohl, K.; Avramidis, G.; Wieneke, S.; Viöl, W.; Karlovsky, P. (2017): Plasma-based degradation of mycotoxins produced by Fusarium, Aspergillus and Alternaria species. In: Toxins 9 (3), 97, 12 p. DOI: 10.3390/toxins9030097.

Claus, G.; Weber, M.; Demmler, M. (2017): Increase of lifetime for fine blanking tools. In: Procedia engineering 183, p. 45–52. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.009.

Eichler, M.; Fischer, V.; Paulmann, S.; Stammen, E.; Thomas, M.; Khosravi, Z. et al. (2017): Stickstofffunktionalisierung. Sauerstofffreie Plasmajet-Vorbehandlung für die Kunststoffaktivierung bei Umgebungsdruck. In: TechnoBond – industrielle Klebtechnik: 17./18. Mai 2017, Bad Hersfeld ; dritte Tagung mit Ausstellung, S. 167–168.

Eichler, M.; Nagel, K.; Klages, C.-P. (2017): Improved bonding behavior by plasma coating for roughened surfaces. In: WaferBond'17: Conference on Wafer Bonding for Microsystems, 3D- and Wafer Level Integration, S. 23–24.

Fischer, V.; Stammen, E.; Dilger, K.; Eichler, M.; Paulmann, S.; Klages, C.-P. (2017): Promotion of adhesive polymer bonding by plasma modification using defined ambient conditions and process gases. In: Journal of energy and power engineering 11, p. 135–139. DOI: 10.17265/1934-8975/2017.02.008.

Gäbler, J.; Brand, C.; Paschke, H.; Endler, I. (2017): Beschichtungen. Chemische Gasphasenabscheidung; thermische Verfahren. In: Basiswissen Verschleiß & Verschleißschutz, S. 55.

Gäbler, J.; Brand, C.; Paschke, H.; Endler, I. (2017): Beschichtungen. Chemische Gasphasenabscheidung; heissdrahtaktiviertes CVD. In: Basiswissen Verschleiß & Verschleißschutz, S. 62–64.

Gäbler, J.; Brand, C.; Paschke, H.; Endler, I. (2017): Beschichtungen. Chemische Gasphasenabscheidung; plasmaaktivierte Verfahren. In: Basiswissen Verschleiß & Verschleißschutz, S. 55–56.

Gäbler, J.; Brand, C.; Paschke, H.; Endler, I. (2017): Beschichtungen. Chemische Gasphasenabscheidung. In: Basiswissen Verschleiß & Verschleißschutz, S. 54–55.

Gäbler, J.; Hoffmeister, H.-W. (2017): Leistungsgerechtes Honen mit neuem Werkzeugkonzept. Einsatz von CVD-Diamantschichten; Schlussbericht zu IGF-Vorhaben Nr. 18682N; Berichtszeitraum 1.4.2015–30.9.2017. Forschungsbericht. Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST und Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik.

Gascón-Garrido, P.; Thévenon, M. F.; Mainusch, N.; Miltz, H.; Viöl, W.; Mai, C. (2017): Siloxane-treated and copper-plasma-coated wood. Resistance to the blue stain fungus *Aureobasidium pullulans* and the termite *Reticulitermes flavipes*. In: International biodeterioration & biodegradation 120, p. 84–90. DOI: 10.1016/j.ibiod.2017.01.033.

Gascón-Garrido, P.; Mainusch, N.; Miltz, H.; Viöl, W.; Mai, C. (2017): Copper and aluminium deposition by cold-plasma spray on wood surfaces. Effects on natural weathering behaviour. In: European journal of wood and wood products 75 (3), p. 315–324. DOI: 10.1007/s00107-016-1121-3.

Gerhard, C.; Tasche, D.; Munser, N.; Dyck, H. (2017): Increase in nanosecond laser-induced damage threshold of sapphire windows by means of direct dielectric barrier discharge plasma treatment. In: Optics letters 42 (1), p. 49–52. DOI: 10.1364/OL.42.000049.

Gniadek, T. J.; Garritsen, H.S.P.; Stroncek, D.; Szczepiorkowski, Z. M.; McKenna, D. H. (2017): Optimal storage conditions for apheresis research (OSCAR) In: Transfusion (Article in press. Published online 6 December 2017). DOI: 10.1111/trf.14429.

Golovko, O.; Puppa, J.; Paschke, H.; Nürnberger, F.; Rodman, D.; Maier, H. J.; Behrens, B.-A. (2017): Properties of an intelligent hot-working tool steel with alloy adapted nitriding layers, 11<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference “Plastic Deformation of Metals”.

Graumann, T.; Bosse, R. (2017): Innovative funktionale Beschichtungen von technischen Textilien durch Atomlagenabscheidung. In: Textil plus 12 (11), S. 19–21.

Grottker, S.; Viöl, W.; Gerhard, C. (2017): Impact of assisting atmospheric pressure plasma on the formation of micro- and nanoparticles during picosecond-laser ablation of titanium. In: Applied optics 56 (12), p. 3365–3371. DOI: 10.1364/AO.56.003365.

Hollmann, P.; Grumbt, G.; Zenker, R.; Biermann, H.; Weigel, K.; Bewilogua, K.; Bräuer, G. (2017): Investigation of cracking prevention in magnetron-sputtered TiAlN coatings during subsequent electron beam hardening. In: Surface and coatings technology (Article in press. Published online 20 December 2017). DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.12.042.

Hünnekens, B.; Krause, A.; Miltz, H.; Viöl, W. (2017): Hydrophobic recovery of atmospheric pressure plasma treated surfaces of Wood-Polymer Composites (WPC). In: European journal of wood and wood products 75 (5), p. 761–766. DOI: 10.1007/s00107-017-1175-x.

Khosravi, Z.; Kotula, S.; Lippitz, A.; Unger, W. E. S.; Klages, C.-P. (2017): IR- and NEXAFS-spectroscopic characterization of plasma-nitrogenated polyolefin surfaces. In: Plasma processes and polymers (Article in Press. Published online 12 September 2017). DOI: 10.1002/ppap.201700066, 15 p.

Köhler, R.; Sauerbier, P.; Miltz, H.; Viöl, W. (2017): Atmospheric pressure plasma coating of wood and MDF with polyester powder. In: Coatings 7 (10), [10] Bl. DOI: 10.3390/coatings7100171.

Kotula, S.; Lüdemann, M.; Philipp, J.; Thomas, M.; Klages, C.-P. (2017): Plasma nitrogenation of polymer surfaces with a new type of combinatorial plasma-printing reactor. In: Plasma

processes and polymers 14 (8), 1600137, p. 1–12. DOI: 10.1002/ppap.201600137.

Krügner, K.; Busch, S. F.; Soltani, A.; Castro-Camus, E.; Koch, M.; Viöl, W. (2017): Non-destructive analysis of material detachments from polychromatically glazed terracotta artwork by THz time-of-flight spectroscopy. In: Journal of infrared, millimeter, and terahertz waves 38 (4), p. 495–502. DOI: 10.1007/s10762-016-0339-9.

Mejauschek, M.; Paschke, H.; Weber, M.; Bräuer, G.; Brand, H.; Pelshenke, C. et al. (2017): Verschleißreduzierung an Schmiedegesenken mittels lokaler Behandlungen und Topographieeinstellungen. In: Innovationspotenziale in der Umformtechnik. S. 209–210.

Meyer-Kornblum, E.; Biehl, S.; Paetsch, N. (2017): Integrierte piezokapazitive Dünnschichtsensoren für mechanisch hochbelastete Bauteile. In: Smarte Strukturen und Systeme: Tagungsband des 4SMARTS-Symposiums, 21.–22. Juni 2017, S. 147–152.

Oehr, C.; Brand, J.; Hegemann, D.; Liehr, M.; Wohlfart, P. (2017): Kostenstruktur von Plasmaverfahren. Die Anteile von Investitions-, Betriebs- und Verbrauchskosten an vakuumgestützten Beschichtungsverfahren. In: Vakuum in Forschung und Praxis 29 (1), S. 40–49. DOI: 10.1002/vipr.201700637.

Park, S. T.; Han, J.-G.; Keunecke, M. (2017): Mechanical and structural properties of multilayer c-BN coatings on cemented carbide cutting tools. In: International journal of refractory metals & hard materials 65, p. 52–56. DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2016.11.009.

Paschke, H.; Brunotte, K.; Puppa, J.; Behrens, B.-A. (2017): Verschleißfeste Randschichten durch angepasste Nitrierbehandlungen modifizierter Werkstoffe und Herstellungsprozesse

von Schmiedewerkzeugen. In: Innovationspotenziale in der Umformtechnik. S. 207–208.

Peters, F.; Hünnekens, B.; Wieneke, S.; Miltz, H.; Ohms, G.; Viöl, W. (2017): Comparison of three dielectric barrier discharges regarding their physical characteristics and influence on the adhesion properties on maple, high density fiberboards and wood plastic composite. In: Journal of physics D 50 (47), 475206, 10 p. DOI: 10.1088/1361-6463/aa8fad.

Rösemann, N.; Ortner, K.; Petersen, J.; Bäker, M.; Bräuer, G.; Rösler, J. (2017): Microstructure of gas flow sputtered thermal barrier coatings. Influence of bias voltage. In: Surface and coatings technology 332, p. 22–29. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.09.067.

Rösemann, N.; Ortner, K.; Petersen, J.; Stöwer, M.; Bäker, M.; Bräuer, G.; Rösler, J. (2017): Influence of substrate temperature on morphology and behavior under cyclic thermal load of gas flow sputtered zirconia coatings. In: Surface and coatings technology 324, p. 7–17. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.05.041.

Schulte, A.; Garritsen, H.; Legath, N.; Minol, J.-P.; Börgel, M.; Sixt, S. U. (2017): Krykokonservierte Gefäßtransplantate aus humanem Gewebe. In: Gefäßchirurgie 22 (6), p. 428–436.

Siebeneck, K.; Lüken, J.; Lu, Y.; Bialuch, I.; Stein, C.; Augustin, W.; Scholl, S. (2017): Aging and thermal conditioning of modified heat exchanger surfaces. Impact on crystallization fouling. In: Heat transfer engineering 38 (7-8), p. 818–828. DOI: 10.1080/01457632.2016.1206431.

Sittinger, V.; Höfer, M.; Harig, T.; Justianto, M.; Thiem, H.; Vergöhl, M.; Schäfer, L. (2017): Optical grade SiO<sub>2</sub> films prepared by HWCVD. In: Surface and coatings technology (Article in Press. Published online 18 August 2017). DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.08.042, 6 p.

Thomas, M.; Eichler, M.; Dohse, A.; Günther-Portnikov, G.; Laukart, A.; Nagel, K. (2017): Neuer Kombinationsdruckprozess für Nanotinten. Teilprojekt: Grundlagen zur ortsselektiven Benetzung von Nanotinten durch die Erforschung neuartiger Mikroplasmaquellen; Abschlussbericht; FKZ: 13N13558; Berichtszeitraum 1.1.2015–30.6.2017. Forschungsbericht. Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST und VDI-Technologiezentrum <Düsseldorf> und IST. Braunschweig.

Ulrich, S.; Szyszko, C.; Jung, S.; Vergöhl, M. (2017): Electrochromic properties of mixed oxides based on titanium and niobium for smart window applications. In: Surface and coatings technology 314, p. 41–44. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.11.078.

Vovk, M.; Wallenhorst, L.; Kaldun, C.; Meuthen, J.N.; Arendt, A.L.; Sernek, M. et al. (2017): Air plasma treatment of aluminium trihydrate filled poly(methyl methacrylate). In: Journal of adhesion science and technology (Article in Press. Published online 15 December 2017). DOI: 10.1080/01694243.2017.1415551.

Wallenhorst, L.M.; Guräu, L.; Gellerich, A.; Militz, H.; Ohms, G.; Viöl, W. (2017): UV-blocking properties of Zn/ZnO coatings on wood deposited by cold plasma spraying at atmospheric pressure. In: Applied surface science (Article in Press. Published online 31 October). DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.10.214, 10 p.

Wallenhorst, L.M.; Loewenthal, L.; Avramidis, G.; Gerhard, C.; Militz, H.; Ohms, G.; Viöl, W. (2017): Topographic, optical and chemical properties of zinc particle coatings deposited by means of atmospheric pressure plasma. In: Applied surface science 410, p. 485–493. DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.03.021.

Wang, X.; Estrade, S.; Lin, Y.; Yu, F.; Lopez-Conesa, L.; Zhou, H.; Gurram, S. K.; Peiro, F.; Fan, Z.; Shen, H.; Schäfer, L.; Bräuer, G.; Waag, A. (2017): Enhanced photoelectrochemical behavior of H-TiO<sub>2</sub> nanorods hydrogenated by controlled and local rapid thermal annealing. In: Nanoscale research letters 12, 336, 9 p. DOI: 10.1186/s11671-017-2105-X.

Wascher, R.; Avramidis, G.; Kühn, C.; Militz, H.; Viöl, W. (2017): Plywood made from plasma-treated veneers. Shear strength after shrinkage-swelling stress. In: International journal of adhesion and adhesives 78 (10), p. 212–215. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2017.07.003.

Wascher, R.; Kühn, C.; Avramidis, G.; Bicke, S.; Militz, H.; Ohms, G.; Viöl, W. (2017): Plywood made from plasma-treated veneers. Melamine uptake, dimensional stability, and mechanical properties. In: Journal of wood science 63 (4), p. 338–349. DOI: 10.1007/s10086-017-1632-5.

Weigel, K.; Keunecke, M.; Bewilogua, K.; Bräuer, G.; Grumbt, G.; Zenker, R.; Biermann, H. (2017): Investigations of electron beam hardening on TiAlN coated heat-treatable steel. In: Materials performance and characterization 6 (5), [10] Bl. DOI: 10.1520/MPC20170025.

Westphal, B.G.; Mainusch, N.; Meyer, C.; Haselrieder, W.; Indrikova, M.; Titscher, P. et al. (2017): Influence of high intensive dry mixing and calendaring on relative electrode resistivity determined via an advanced two point approach. In: Journal of energy storage 11, p. 76–85. DOI: 10.1016/j.est.2017.02.001.

Wiedemeier, S.; Eichler, M.; Römer, R.; Grodrian, A.; Lemke, K.; Nagel, K. et al. (2017): Parametric studies on droplet generation reproducibility for applications with biological relevant fluids. In: Engineering in life sciences 17 (12), p. 1271–1280. DOI: 10.1002/elsc.201700086.

Wolf, R.C.; Keunecke, M. (2017): Major results from the first plasma campaign of the Wendelstein 7-X stellarator. In: Nuclear fusion 57 (10), 102020, p. 1–13. DOI: 10.1088/1741-4326/aa770d.

Zeller, M. P.; Barty, R.; Andahl, A.; Apseleth, T.O.; Callum, J.; Dunbar, N.M.; Elahie, A.; Garritsen, H. et al (2017): An international investigation into O red blood cell unit administration in hospitals. In: Transfusion 57 (10), p. 2329–2337. DOI: 10.1111/trf.14255.

Zeller, M.P.; Barty, R.; Dunbar, N.M.; Elahie, A.; Flanagan, P.; Garritsen, H. et al. (2017): An international investigation into AB plasma administration in hospitals: how many AB plasma units were infused? The HABSWIN study. In: Transfusion (Article in press. Published online 17 October 2017). DOI: 10.1111/trf.14368.

## VORTRÄGE, POSTER

Abraham, T.; Isensee, S.; O'Donnell, T.; Bräuer, G.: Functionalization of the DLC boundary surface due to wear mechanisms in a dry sliding contact against aluminum (Vortrag), 11<sup>th</sup> Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering, Jung-mun, Südkorea, 11.–15. September 2017.

Ahmed, I.; Waßmann, O.; Weigel, K.; Geitel, L.; Elzenheimer, N.T.; Rätz, D.; Brand, J.: Reibung und Verschleiß von PTFE gegen unterschiedliche tribologische Beschichtungen (Vortrag), GFT-Fachtagung Tribologie, Göttingen, Deutschland, 27. September 2017.

Bandorf, R.; Gerdes, H.; Carreri, F.; Sittinger, V.; Vergöhl, M.; Bräuer, G.: Reaktives HIPIMS – Theorie und Anwendung (Vortrag), 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Bandorf, R.; Spreemann, D.; Gerdes, H.; Bräuer, G.: Process transfer from R&D to small industrial cathode (Vortrag), 60<sup>th</sup> Annual Technical Conference of Society of Vacuum Coaters SVC, Providence, RI, USA, 29. April–4. Mai 2017.

Bandorf, R.; Rösler, J.; Gerdes, H.; Bräuer, G.: HIPIMS-Arc Carbon Films on 500 mm Cathodes (Vortrag), 8<sup>th</sup> International Conference on Fundamentals and Applications of HIPIMS, Braunschweig, Deutschland, 13.–14. Juni 2017.

Bandorf, R.: HIPIMS-Deposition of DLC Coatings (Keynote Vortrag), 18<sup>th</sup> International Union of Materials Research Societies International Conference in Asia IUMRS-ICA2017, Taipei, Taiwan, 5.–9. November 2017.

Bellmann, M.; Ochs, C.; Harms, M.; Schieche, B.: Neue AD-Plasmaquellenentwicklungen zur flächigen und punktuellen Behandlung von 2D- und 3D-Bauteilen (Poster), ThGOT Thementage Grenz- und Oberflächentechnik, Zeulenroda-Triebes, Deutschland, 14.–15. März 2017.

Bellmann, M.: Neuartige AD-Plasmaquelle zur tiefengängigen, konturgenauen Behandlung von temperaturempfindlichen Werkstoffen, AK-ADP (Vortrag), Jena, Deutschland, 15.–16. November 2017.

Bellmann, M.: Haftungsverbesserung von wasserbasierten Lacken auf PVC-Profilen durch eine Atmosphärendruck-Plasmaquelle (Vortrag), VDI-Fachtagung PVC-Extrusion, Nürnberg, Deutschland, 5.–6. Dezember 2017.

Beste, L.; Koch, J.; Gerhard, C.; Viöl, W.: Untersuchungen zur Schichthärtung von mittels Remote-CSBD-Plasma abgeschiedenen SiO<sub>2</sub>-basierten Schichten, 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Brückner, S.; Gerhard, C.; Tasche, D.; Pootz, T.; Wermann, O.; Viöl, W.: Plasmabasiertes Oberflächenfinishing von optischen Komponenten, 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Borchardt, T.; Ernst, J.; Helmke, A.; Tanyeli, M.; Schilling, A.; Felmerer, G.; Viöl, W.: In-vivo-Studie zum Einfluss von kaltem Plasma auf die kutane Mikrozirkulation, 29. ak-adp Workshop, Rostock, Deutschland, 13.–14. September 2017.

Bosch, L. ten; Ortman, R.; Köhler, R.; Wieneke, S.; Viöl, W.: Zur Insektiziden Wirkung plasmabehandelten Leitungswassers, 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Bosch, L. ten; Habedank, B.; Viöl, W.: Cold atmospheric pressure plasma: Effect on human lice and applicability for pediculosis treatment, 5<sup>th</sup> International Conference on Plasma Chemistry and Plasma Processing, Paris, Frankreich, 13.–14. November 2017.

Bräuer, G.: Some recent developments in sputter technology, International Conference on Power Electronics for Plasma Engineering (PE<sup>2</sup>), Zielonka, Polen, 17. Mai 2017.

Bräuer, G.: Some recent developments in sputter technology, 25<sup>th</sup> Glass Performance Days, Tampere, Finnland, 28. Juni 2017.

Bräuer, G.; Ehasarian, A.: Advances in the development of application tailored coatings by HIPIMS, 11<sup>th</sup> Asian-Europe International Conference on Plasma Surface Engineering AEPSE 2017, Jeju Island, Korea, 13. September 2017.

Bräuer, G.: Thin films through four decades – How they changed the world, 11<sup>th</sup> Asian-Europe International Conference on Plasma Surface Engineering AEPSE 2017, Jeju Island, Korea, 14. September 2017.

Bräuer, G.: Magnetrionsputtern – Meilensteine aus 40 Jahren, Photonik-Net: Optik Symposium Magnetrionsputtern, Kesseldorf, Deutschland, 15. November 2017.

Dietz, A.; Moustafa, E.: Corrosion protection of electrodeposited Hard Chromium layers from trivalent electrolytes, Eurocorr 2017, Prag, Tschechische Republik, 3.–7. September 2017.

Dietz, A.: Additive Manufacturing (AM) als Herausforderung für die Oberflächentechnik, DLR Wissenschaftstag, Braunschweig, Deutschland, 19. Oktober 2017.

Duckstein, R.; Gepp, M.; Kayatz, F.; Rodler, N.; Scheuerer, Z.; Lachmann, K.; Neubauer, J.; Stramm, C.; Liebmann, A.; Zimmermann, H.; Thomas, M.: Labbag® – Ein vielseitiges Beutelbasiertes Kultivierungssystem zur Vermehrung, Differenzierung und Kryokonservierung von menschlichen Stammzellen, 4<sup>th</sup> International Workshop on Plasma Interfaces, Orléans, Frankreich, 29. November–1. Dezember 2017.

Eichler, M.; Neubert, T.; Gerhard, C.; Mainusch, N.; Biehl, S.: Ortsselektive Oberflächenbehandlung: Potential von Atmosphärendruck-Plasmaverfahren, Workshop »Effiziente Prozessgestaltung für das Beschichten – von der Bauteilfertigung über die Reinigung bis zur Beschichtung«, Dresden, Deutschland, 26. Januar 2017.

Eichler, M.; Paulmann, S.; Klages, C.-P.; Fischer, V.; Stammen, E.; Dilger, K.: Hochfeste und dauerhafte Kunststoffklebungen durch Aminofunktionalisierung der Oberflächen mittels Atmosphärendruck-Plasma, 17. Kolloquium »Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik«, Köln, Deutschland, 14.–15. Februar 2017.

Eichler, M.; Thomas, M.; Lachmann, K.; Dohse, A.; Nagel, K.; Klages, C.-P.: Plasma-Printing – Ortsselektive Funktionalisierung und Beschichtung von Oberflächen bei Atmosphärendruck,

28. ak-adp Workshop »Oberflächenfunktionalisierung von starren und flexiblen Materialien«, Hamburg, Deutschland, 3.–4. Mai 2017.

Eichler, M.; Paulmann, S.; Klages, C.-P.; Fischer, V.; Stammen, E.; Dilger, K.: Hochfeste und dauerhafte Kunststoffklebungen durch Aminofunktionalisierung der Oberflächen mittels Atmosphärendruck-Plasma, TechnoBond – Dritte Tagung Industrielle Klebtechnik, Bad Hersfeld, Deutschland, 17.–18. Mai 2017.

Eichler, M.; Nagel, K.; Klages, C.-P.: Improved bonding behavior by plasma coating for roughened surfaces, WaferBond 17 »Conference on Wafer Bonding for Microsystems 3D- and Wafer Level Integration«, Löwen, Belgien, 27.–29. November 2017.

Flade, E.; Viöl, W.: FPC-System-Technologie, 1. Fine Powder Coating Technologietag, Bielefeld, Deutschland, 9.–10. Mai 2017.

Gäbler, J.; Schäfer, L.; Borris, J.; Sorge, M.: Self-Sustaining water purification technology for rural African areas (Poster), EuroNanoForum, Valetta, Malta, 21.–23. Juni 2017.

Gäbler, J.; Armgardt, H.; Höfer, M.; Baron, S.: Strukturierte CVD-Diamant-Honleisten – Ein neuartiges Werkzeugkonzept (Vortrag), Industriearbeitskreis Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe, Braunschweig, Deutschland, 8. November 2017.

Gelker, M.; Müller-Goymann, B. C.; Viöl, W.: Plasma-Induced Changes in Stratum Corneum Permeability, 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Gelker, M.; Reinhardt, O.; Alves, F.; Viöl, W.: Einsatz von kaltem Atmosphärendruckplasma in der Krebstherapie, 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Gelker, M.; Müller-Goymann, C.; Viöl, W.: Modification of the dermal barrier function by atmospheric pressure plasma, 21. GD-Jahrestagung, München, Deutschland, 20.–22. März 2017.

Gelker, M.; Viöl, C.; Müller-Goymann, C.; Viöl, W.: Modifikation der dermalen Barrierefunktion durch Atmosphärendruckplasmen, 29. ak-adp Workshop, Rostock, Deutschland, 13.–14. September 2017.

Gelker, M.; Reinhardt, O.; Alves, F.; Viöl, W.: CAP treatment of cancer cells – Implications for tumor therapy and progression, 6<sup>th</sup> young professionals workshop on plasma medicine, Rostock, Deutschland, 23.–26. Oktober 2017.

Gerdes, H.; Bandorf, R.; Vergöhl, M.; Bräuer, G.: Comparison of CrN from planar and rotating target using highly ionized processes (Vortrag), 44<sup>th</sup> International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films ICMCTF, San Diego, CA, USA, 24.–28. April 2017.

Gerdes, H.; Bandorf, R.; Rieke, J.; Schütte, T.; Vergöhl, M.; Bräuer, G.: Controlling the Ion to Neutral Ratio by Measuring the Plasma Emission in a Nonreactive HIPIMS Process (Vortrag), 60<sup>th</sup> Annual Technical Conference of Society of Vacuum Coaters SVC, Providence, RI, USA, 29. April–4. Mai 2017.

Gerdes, H.; Spreemann, D.; Bandorf, R.; Vergöhl, M.; Bräuer, G.: Measuring the ionized fraction of film forming species (Poster), 8<sup>th</sup> International Conference on Fundamentals and Applications of HIPIMS, Braunschweig, Deutschland, 13.–14. Juni 2017.

Gerdes, H.; Bandorf, R.; Rieke, J.; Schütte, T.; Vergöhl, M.; Bräuer, G.: Trends and developments in highly ionized plasmas (Vortrag), Robeko-Workshop, Mehlingen, Deutschland, 12.–14. September 2017.

Gerdes, H.; Rieke, J.; Bandorf, R.; Vergöhl, M.; Bräuer, G.: Reactive HIPIMS and Process Control on Industrial Scale Coating Systems, Reactive Sputter Deposition (RSD) (eingeladener Vortrag), Pilsen, Tschechische Republik, 4.–6. Dezember 2017.

Gerhard, C.; Gredner, A.; Mainusch, N.; Wieneke, S.; Viöl, W.: Kombinierte Laser-Plasma-Prozesse zur Oberflächenbearbeitung, 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Graumann, T.; Pleger, S.; Neumann, F.; Nickel, A.: Process development and future applications of photocatalytic Atomic Layer Deposition coatings, The Photocatalytic and Superhydrophilic Surfaces Workshop (PSS2017), Manchester, UK, 7.–8. Dezember 2017.

Grzesik, B.; Stoll, E.; Mindermann, P.; Linke, S.; Dietz, A.; Frey, S.: Alignment mechanism and system concept of a scalable deployable ultra-lightweight space telescope for a 1U CubeSat demonstrator, 68<sup>th</sup> International Astronautical Congress, Adelaide, Australien, 25.–29. September 2017.

Helmke, A.; Wandke, D.; Viöl, W.: Sicherheit und Wirksamkeit einer Niedertemperatur-Plasmaquelle, 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Herrmann, A.; Eichler, M.; Thomas, M.; Klages, C.-P.; Singh, M.; Kovac, J.: Herstellung eines empfindlichen und schnellen Tuberkulose-tests unter Einsatz von Atmosphärendruckplasmen, 2. Treffen INPLAS-AG »Plasma4Life«, Tübingen, Deutschland, 24. Mai 2017.

Keunecke, M.; Bewilogua, K.: Prozesse zur Abscheidung reibungs- und verschleißmindernder DLC-Schichten (Vortrag), OTTI-Fachforum PVD- und CVD-Beschichtungsverfahren für tribologische Systeme, Regensburg, Deutschland, 21.–22. Februar 2017.

Keunecke, M.; Bewilogua, K.; O'Donnell, T.; Abraham, T.; Bräuer, G.; Hertrampf, T.: Werkzeugbeschichtungsentwicklung und tribologische Untersuchungen bis 300 °C für die Umformung von Aluminiumlegierungen (Vortrag), GFT-Fachtagung Tribologie, Göttingen, Deutschland, 27. September 2017.

Keunecke, M.; Stein, C.: Entwicklung von nanostrukturierten Hartstoff- und cBN-Schichtsystemen für Zerspanwerkzeuge (Vortrag), VDI-GPL-Fachausschuss 107 »Schneidstoffanwendungen« im VDI-GPL-Fachbereich 1 »Produktionstechnik und Fertigungsverfahren«, Braunschweig, Deutschland, 12. Oktober 2017.

Krügenger, K.; Busch, S. F.; Schwerdtfeger, M.; Soltani, A.; Castro-Camus, E.; Koch, M.; Viöl, W.: THz time domain spectroscopy non-destructive analyses for material detachments of exposed natural stone and ceramic objects, 42 International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, Cancun, Mexiko, 27. August–1. September 2017.

Mainusch, N.; Christ, T.; Viöl, W.: Development and application of functional microparticles, 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Mainusch, N.; Viöl, W.: Anforderungen und mögliche pulverförmige Materialien/Anwendungen, Fine Powder Coating Technologietag, Bielefeld, Deutschland, 9.–10. Mai 2017.

Mejauschek, M.; Paschke, H.; Brunotte, K.; Lippold, L.: Verschleißreduzierung an Schmiedegesenken mittels lokaler Behandlungen und Topographieeinstellungen (Poster); Umformtechnische Kolloquium Hannover 2017, Hannover, Deutschland, 15. März 2017.

Mezohegyi, G.; Ban, L.; Müller, S.; Röttgers, N.; Graumann, T.; Neumann, F.: Tailored Photocatalytic Reactor Systems for Indus-

trial and Municipal Waters, 10<sup>th</sup> World Congress of Chemical Engineering, Barcelona, Spanien, 1.–5. Oktober 2017.

Militz, H.; Sauerbier, P.; Avramidis, G.; Viöl, W.: Plasmabehandlung von Holz und Holzprodukten, 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Nickel, A.; Neumann, F.; Graumann, T.; Ortner, K.: Examinations of the low-temperature-crystallization of titanium dioxide thin films, The Photocatalytic and Superhydrophilic Surfaces Workshop (PSS2017), Manchester, UK, 7.–8. Dezember 2017.

Neubert, T.; Lachmann, K.; Thomas, M.; Zeren, V.; Lips, J.; Scopece, P.; Verga Falzacappa, E.; Patelli, A.; Klages, C.-P.: Investigations on nucleophilic layers made with a novel plasma jet technique, ISPC23, Montreal, Kanada, 30. Juli–4. August 2017.

Paschke, H.; Weber, M.; Mejauschek, M.; Bräuer, G.; Brunotte, K.; Lippold, L.; Behrens, B.; Lenz, D.; Pelshenke, C.; Dültgen, P.: Untersuchungen zum Standzeitverhalten belastungsangepasster Werkzeuge aus Warmarbeitsstahl in Schmiedeanwendungen (Vortrag); Werkstoffwoche, Dresden, Deutschland, 27.–29. September 2017.

Paschke, H.; Stucky, T.: Behandlungsansätze und Prozesse für funktionsgerechte Oberflächen metallischer Bipolarplatten, Beitrag zum Workshop 3: Dünnschicht-Technologie für Energiesysteme, V2017 Vakuumbeschichtung und Plasmaoberflächentechnik, Industrieausstellung & Workshop-Woche, Dresden, Deutschland, 24.–26. Oktober 2017.

Paschke, H.: Verfahren und Anwendungen der (PA-)CVD-Technik, DGM-Seminar »Moderne Beschichtungsverfahren«, Witten, Deutschland, 7.–8. November 2017.

Peters, F.; Hünnekens, B.; Militz, H.; Ohms, G.; Viöl, W.: Vergleich dreier dielektrisch behinderter Entladungen und ihrer Wirkung, 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Schäfer, L.; Gäbler, J.; Matthée, Th.; Verlicchi, P.; De Battisti, A.; Rodrigo, M. A.; Fouché, P.; Wilsenach, J.; Bond, R.; Wolfaardt, G.; Hlabela, P.; Juizo, D.: Self-Sustaining Cleaning Technology for Safe Water Supply and Management in Rural African Areas—SafeWaterAfrica—, Local Climate Solutions for Africa 2017: Water and Climate, Ekurhuleni, Südafrika, 22.–24. März 2017.

Schäfer, L.: Innovations by Surface Technology, Jiangsu, China 2017 Cooperation Symposium for Top Universities and Institutes, Jiangsu, China, 5.–6. Juli 2017.

Schäfer, L.: Innovations by Surface Technology, Guangdong Institute of New Materials, GDINM, Guangzhou, China, 7. Juli 2017.

Schieche, B.; Bellmann, M.: New atmospheric plasma-sources for precision cleaning and activating—specially temperature sensitive—materials (Vortrag); Forum tech transfer auf der Hannover Messe 2017, Hannover, Deutschland, 25. April 2017.

Schieche, B.; Viöl, W.: Kooperation Forschung und Industrie, 1. Fine Powder Coating Technologietag, Bielefeld, Deutschland, 9.–10. Mai 2017.

Schieche, B.; Bellmann, M.: Aktivierung und Funktionalisierung von Polymeren auf Basis geometrieunabhängiger Plasmaquellenkonzepte (Vortrag); Fachforum und Innovationsforum auf der Messe Parts2Clean, Stuttgart, Deutschland, 25. Oktober 2017.

Schiffmann, K. I.: Analyse und Prüfverfahren für tribologische Schichten (Vortrag), Technische Akademie Esslingen, Stuttgart, Deutschland, 26. September 2017.

Scheglov, A.; Helmke, A.; Loewenthal, L.; Koulouris, N.A.; Viöl, W.: Chemische Modifikation von L-Prolin und Trans-4-Hydroxy-L-Prolin durch ein kaltes Luftplasma, 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Sittinger, V.; Höfer, M.; Harig, T.; Justianto, M.; Thiem, H.; Vergöhl, M.; Schäfer, L.: Deposition of low residual stress SiO<sub>2</sub> films by HWCVD process with a high rate for optical applications (Vortrag), 60<sup>th</sup> Society of Vacuum Coaters Technical Conference, Providence, RI, USA, 29. April–4. Mai 2017.

Sittinger, V.; Jung, S.; Britze, C.; Gerdes, H.; Schorn, D.; Wallendorf, T.; Bräuer, G.: HPMF process of Al-doped zinc oxide films from rotatable targets (Poster), 8<sup>th</sup> International Conference on Fundamentals and Applications of HIPIMS, Braunschweig, Deutschland, 13.–14. Juni 2017.

Sittinger, V.; Jung, S.; Britze, C.; Gerdes, H.; Schorn, D.; Wallendorf, T.; Bräuer, G.: HPMF process of Al-doped zinc oxide films from rotatable targets (Poster), 33<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdam, Niederlande, 25.–29. September 2017.

Stein, C.; Bialuch, I.; Weber, M.; Zosel, J.; Amberg, J.; Wieser, J.; Bewilogua, K.; Keunecke, M.; Bräuer, G.: Tool coating systems and modified diamond-like carbon coatings (a-C:H:X) for polymer processing (Vortrag), 60<sup>th</sup> Society of Vacuum Coaters Technical Conference, Providence, RI, USA, 29. April–4. Mai 2017.

Stoll, E.; Minderhann, P.; Grzesik, B.; Linke, S.; Dietz, A.; Frey, S.: Oculus-Cube—A Demonstrator of Optical Coatings for Ultra Lightweight Robust Spacecraft Structures, 11<sup>th</sup> IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation, Berlin, Deutschland, 24.–28. April 2017.

Tasche, D.; Gerhard, C.; Ihlemann, J.; Viöl, W.: Einfluss des Wasserstoff- und Stöchiometrieverhältnisses von O und Si auf die Excimerlaserablation von Quarzglas, 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Thomas, M.; Dietz, A.; Eichler, M.; Borris, J.; Knorn, S.; Hochsattel, T.; Dohse, A.; Klages, C.-P.: Übersicht zu Vorbehandlungsverfahren von Kunststoffen bei Atmosphärendruck (Vortrag), 39. Ulmer Gespräch, Ulm, Deutschland, 17.–18. Mai 2017.

Thomas, M.; Borris, J.; Dohse, A.; Eichler, M.; Lachmann, K.; Nagel, K.; Klages, C.-P.: Plasma Printing—Area-selective plasma functionalization of surfaces—Plasma sources and applications (Vortrag), INPLAS Arbeitsgruppe: Neue Plasmaquellen, Fronhausen, Deutschland, 21. November 2017.

Viöl, W.: Revolutionäre Innovation im Bereich der Wundheilung, European Innovator Lounge, Hildesheim, Deutschland, 16. Februar 2017.

Viöl, W., ten Bosch, L.; Wieneke, S.: Plasma im Alltag, 18. Fachtagung für Plasmatechnologie, Göttingen, Deutschland, 20.–22. Februar 2017.

Viöl, W.: Von der Forschung in die Industrie, 1. Fine Powder Coating Technologietag, Bielefeld, Deutschland, 9.–10. Mai 2017.

Viöl, W.: Plasma—das unbekannte Potenzial des vierten Aggregatzustandes für die Medizin, PraxisForum Life Science, Göttingen, Deutschland, 1. November 2017.

Viöl, W.: Plasma—das unbekannte Potenzial des vierten Aggregatzustandes, Tagung des Verbandes der Hersteller selbstklebender Etiketten und Schmalbahnconverter, Göttingen, Deutschland, 9.–11. November 2017.

Viöl, W.: Plasmabehandlung von Holz und Holzwerkstoffen, Workshop Innovent, Jena, Deutschland, 21. November 2017.

Wallenhorst, L.; Rerich, R.; Vovk, M.; Dahle, S.; Militz, H.; Ohms, G.; Viöl, W.: Enhancing the abrasion resistance of PMMA/ATH layers realized by means of atmospheric pressure plasma powder deposition on wood, The 11<sup>th</sup> International Conference »Wood Science and Engineering in the third Millennium«, ICWSE 2017, 201, Transilvania University, Brasov, Rumänien, 2.–4. November 2017.

Weber, M.: Werkstoffauswahl und Vorbehandlung (Vortrag), OTTI-Fachforum PVD- und CVD-Beschichtungsverfahren für tribologische Systeme, Regensburg, Deutschland, 21.–22. Februar 2017.

## DISSERTATIONEN

Gurram, S.J. (2017): Atomic layer deposition of zinc based transparent conductive oxides. Dissertation. Zugl.: Technische Universität Braunschweig, Dissertation, 2016, ISBN: 978-3-8396-1092-3.

Hergelová, B.: Plasma Processes at Atmospheric Pressure for Surface Treatment of Inorganic Materials and Polylactic Acid, Universität Bratislava, Dissertation, 2017.

Hirschberg, J.: Grundlegende Untersuchungen zur Wirkung kalter Plasmen auf kutane Lipidsysteme, Technische Universität Clausthal, Dissertation, 2017.

Tiede, R.: Evaluation Strategies for Risk Assessment and Usability of Medical Plasma Sources in Dermatology, Universität Göttingen, Dissertation, 2017.

Wallenhorst, L.: Protective Particle Coatings applied by Cold Plasma Spraying, Universität Göttingen, Dissertation, 2017.

Wang, X.: Tuning the Photoelectrochemical Functionality of Core-Shell H-TiO<sub>2</sub> Nanorods by Hydrogen Surface Engineering, Technische Universität Braunschweig, Dissertation, 2017.

## DIPLOMARBEITEN

Pedt, W.: Herstellung und Charakterisierung von stickstoff- und sauerstoffhaltigen diamantähnlichen Kohlenstoffschichten, Technische Universität Braunschweig, November 2017.

## MASTERARBEITEN

Beyersdorff, B.: Herstellung und Charakterisierung von Mischoxiden auf Basis von Vanadium, Titan und Mangan für elektrochrome Anwendungen, Technische Universität Braunschweig, April 2017.

Brinkmeier, I.: Herstellung und Charakterisierung von modifizierten diamantähnlichen Kohlenstoffschichten für den Einsatz als Antifouling-Beschichtung auf Edelstahl, Technische Universität Braunschweig, März 2017.

Christ, T.: Entwicklung eines Widerstandmessgerätes mit Partikel-basierter Sonde für reversible und elektrisch verlustfreie Kontaktierung von sensiblen Oberflächen und Beschichtungen, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminde/Göttingen, 2017.

Droß, M.: Untersuchung der Oberflächenstrukturierung von Aluminiumblechen mittels CW-Laserprozess zur Verbesserung des Adhäsionsverhalten und die Anwendung in einem Metall-Textil-Verbund, Technische Universität Braunschweig, Januar 2017.

Grottker, S.: Impact of assisting atmospheric pressure plasma on the formation of micro- and nanoparticles during picosecond-laser ablation of titan, HAWK Hochschule für an-

gewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen, 2017.

Hesse, M.: Implementierung einer multiplen Industriebuschnittstelle in eine Atmosphärendruck-Plasmaanlage und Entwicklung anlageninterner Kommunikations- und Steuermodule, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig HTWK Leipzig, 2017.

Homann, M.: Alternative Verfahren zur Erzeugung metallisch wirkender Oberflächen an Fahrzeugbauteilen, Technische Universität Braunschweig, Oktober 2017.

Kraft, T.: Verwendung einer elektrischen Gasentladung als optischer Schalter für CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen, 2017.

Kirschner, A.: Eignung eines UV-LED-basierten Handgerätes zur photometrischen Ozonmessung an dielektrischen Entladungen, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen, 2017.

Mrotzek, J.: Untersuchung des Einflusses der Luftfeuchte auf die physikalischen Eigenschaften einer dielektrisch behinderten Entladung, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen, 2017.

Nickel, A.: Untersuchungen zur Niedertemperaturkristallisation von photokatalytisch aktiven Titandioxid dünnenschichten, Technische Universität Braunschweig, Juli 2017.

Nienhaus, A.: Grundlagenuntersuchungen zum Eigenschaftsprofil mehrphasiger Ti-basierter PVD- und PACVD-Nanokomposite. Dortmund, Technische Universität, 2017.

Ortmann, R.: Konstruktion und Entwicklung einer DBE-Plasmaquelle zur Behandlung flüssiger Medien, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen, 2017.

Preuß, P.: Evaluation und praxisorientierte Optimierung eines automatischen Bürstendispergierers, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen, 2017.

Reinders, P.: Einfluss des Plasmanitrierens auf das Gefüge austenitischer Stähle, Technische Universität Braunschweig, Mai 2017.

Schmid, K.: Untersuchung von Laser-Plasma-Hybridprozessen mittels laserinduzierter Ionisationspektroskopie, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen, 2017.

Schoon, I.: Kinetische Untersuchung der Polyesterherstellung auf Itaconsäurebasis, Technische Universität Braunschweig, Juli 2017.

Wessel, J.: Plasmaborieren: Einfluss der Gasverteilung auf die Porenbildung, Technische Universität Braunschweig, November 2017.

Zhou, M.: GC-MS-Untersuchungen an Barrieren Entladungen in Argon/Monomer-Gemischen, Technische Universität Braunschweig, September 2017.

## BACHELORARBEITEN

Dreßler, C.: Charakterisierung eines hyperspektralen Sensors zur Anwendung in einem polarisationsoptischen Messgerät, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen, 2017.

Friese, J.: In-Situ-ATR-spektroskopische Untersuchungen von DLC-Schichten mit funktionellen Gruppen, Technische Universität Braunschweig, August 2017.

Krüger, T.: Photokatalytischer Abbau von Polyelektrolyt-Multischichten unter anaeroben Bedingungen, Technische Universität Braunschweig, Februar 2017.

Leidigkeit, C.: Abscheidung und Charakterisierung von nukleo- und elektrophilen Schichten mittels Plasmajet, Fachhochschule Südwestfalen, September 2017.

Mielke, G.: Erzeugung von flüssiggetropften Polymer-Mikrolinsen auf Glas und PMMA nach Oberflächenmodifizierung mittels Argon- und Fluorplasmen, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen, 2017.

Pham, D. Q.: Herstellung und Charakterisierung von harten, niederbrechenden Schichten aus Aluminiumoxid, Technische Universität Braunschweig, 2017.

Raymann, K.: Anlagentransfer von RF-PACVD Prozessen für die Abscheidung von modifizierten DLC-Schichten, Technische Universität Braunschweig, März 2017.

Rösler, J.: Herstellung und Untersuchung von HIPIMS DLC-Schichten, Technische Universität Braunschweig, März 2017.

Schumacher, T.: Entwicklung und Konstruktion einer kalten Infrarot-Quelle auf Plasmabasis, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen, 2017.

Stappenbeck, M.: Untersuchung des Einflusses einer Atmosphärendruck-Plasmabehandlung auf die Oberflächen-

eigenschaften von N-ZK7 Glas, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen, 2017.

## SCHUTZRECHTANMELDUNGEN

Bandorf, R.; Gerdes, H.: Glatte gesputterte ta-C Schichten.

Flachenecker, G.; Gerhard, C.; Gimpel, T.; Schade, W.; Tasche, D.; Viöl, W.: Plasmageschütztes-Hybridverfahren zum Materialabtrag von Festkörpern mittels Ultrakurzpulslaser.

Duckstein, R.; Klages, C-P.; Lachmann, K.: Pfropfpolymerisation von Acrylamiden aus der Gasphase.

Nieuwenhuis, G.; Biehl, S.: Modulare Scheibensensorik für mobile Betten.

Bandorf, R.; Gerdes, H.; Lohrengel, A.; Hofmann, S.: Zustandsüberwachung von Verschraubungen.

## BILDVERZEICHNIS

- |       |                                 |       |                                     |       |                                 |
|-------|---------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|---------------------------------|
| S. 2  | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST | S. 30 | Nancy Paetsch, Fraunhofer IST       | S. 66 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 3  | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST | S. 30 | Eike Meyer-Kornblum, Fraunhofer IST | S. 68 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 6  | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST | S. 31 | Eike Meyer-Kornblum, Fraunhofer IST | S. 70 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 7  | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST | S. 31 | Saskia Biehl, Fraunhofer IST        | S. 74 | Jan Benz, Fraunhofer IST        |
| S. 8  | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST | S. 32 | Silas Meinicke, Fraunhofer IST      | S. 76 | Jan Benz, Fraunhofer IST        |
| S. 9  | RUB, Marquard                   | S. 32 | Nancy Paetsch, Fraunhofer IST       | S. 76 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 10 | Tantec A/S                      | S. 33 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST     | S. 77 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 11 | Tantec A/S                      | S. 34 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST     | S. 78 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 12 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST | S. 36 | Jan Gäbler, Fraunhofer IST          | S. 79 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 14 | Jan Benz, Fraunhofer IST        | S. 38 | Jan Benz, Fraunhofer IST            | S. 82 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 15 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST | S. 40 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST     | S. 84 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 20 | Jan Benz, Fraunhofer IST        | S. 40 | Markus Mejauchek, Fraunhofer IST    | S. 86 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 20 | Stefan Born, HAWK               | S. 42 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST     | S. 87 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 21 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST | S. 43 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST     | S. 88 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 22 | Jan Benz, Fraunhofer IST        | S. 46 | Eckold GmbH, St. Andreasberg        | S. 89 | Holger Gerdes, Fraunhofer IST   |
| S. 22 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST | S. 48 | Jan Benz, Fraunhofer IST            | S. 89 | Fraunhofer IST                  |
| S. 23 | Ronald Frommann                 | S. 50 | Fraunhofer IPT                      | S. 90 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 24 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST | S. 51 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST     | S. 96 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 24 | Jan Benz, Fraunhofer IST        | S. 52 | Jan Benz, Fraunhofer IST            | S. 96 | Sven Pleger, Fraunhofer IST     |
| S. 25 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST | S. 56 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST     | S. 97 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST |
| S. 26 | Ulrike Balhorn, Fraunhofer IST  | S. 58 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST     | S. 99 | Diana Hrcan, INPLAS e. V.       |
| S. 27 | Ulrike Balhorn, Fraunhofer IST  | S. 60 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST     |       |                                 |
| S. 28 | Rainer Meier, BFF Wittmar       | S. 62 | Falko Oldenburg, Fraunhofer IST     |       |                                 |

# IMPRESSUM

**Das Fraunhofer-Institut für Schicht-  
und Oberflächentechnik IST**

**Institutsleitung**

Prof. Dr. Günter Bräuer

**Stellvertretender Institutsleiter**

Dr. Lothar Schäfer

Bienroder Weg 54 E  
38108 Braunschweig  
Telefon +49 531 2155-0  
Fax +49 531 2155-900  
info@ist.fraunhofer.de  
www.ist.fraunhofer.de



**Redaktion und Koordination**

Dr. Simone Kondruweit  
Daniela Kleinschmidt, M. A.

**Layout**

Dipl.-Des. Falko Oldenburg

**Druck**

gutenberg beuys feindruckerei GmbH  
www.feindruckerei.de

© Fraunhofer IST 2018