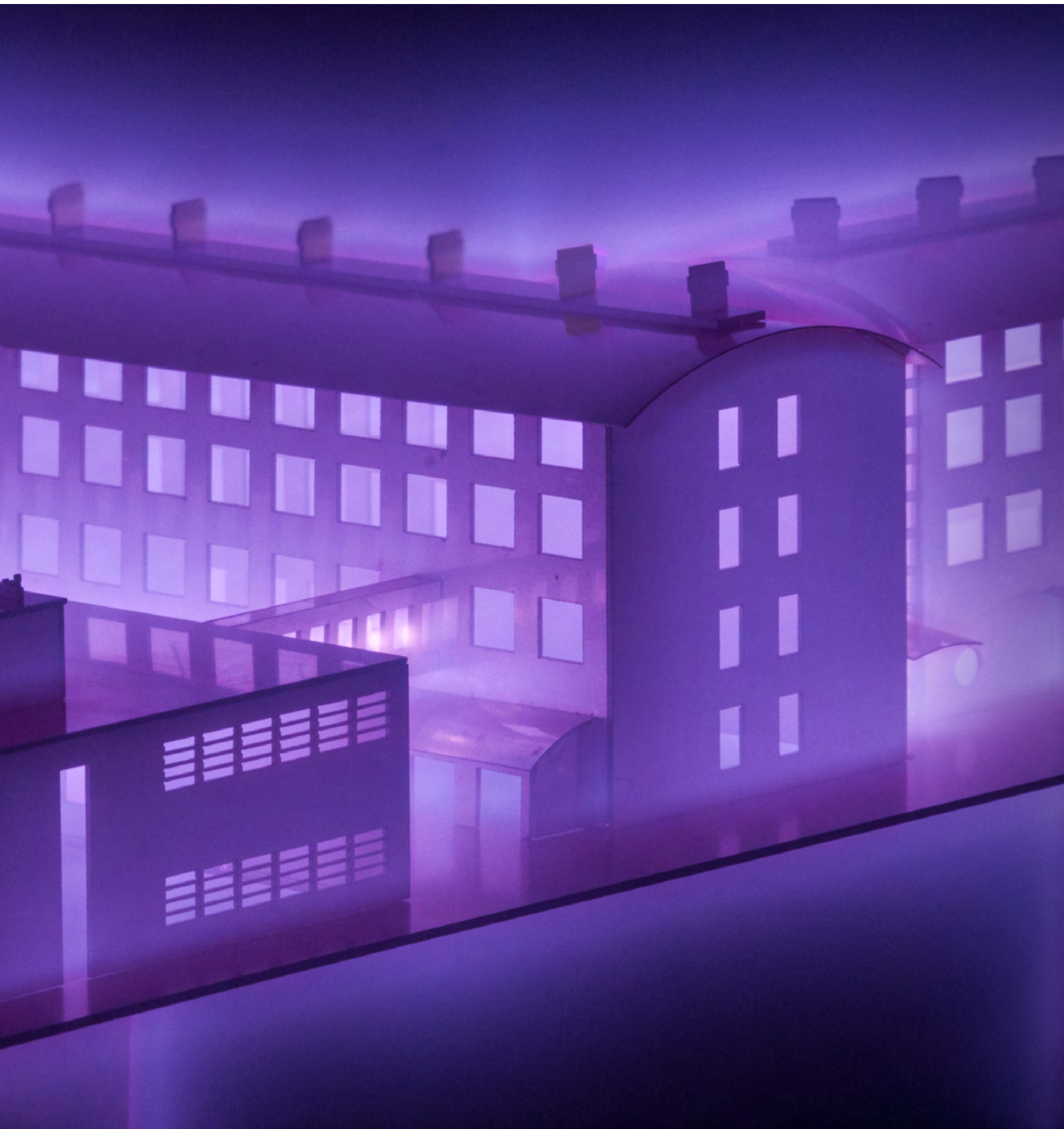


JAHRESBERICHT
2019

VORWORT DER INSTITUTSLEITUNG





Sehr geehrte Damen und Herren,

das Jahr 2019 war für das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST in vielfacher Hinsicht ein besonderes Jahr mit interessanten neuen Entwicklungen und besonderen Ereignissen. 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.

1 *Institutsleiter*

*Prof. Dr. Günter Bräuer (links)
und Institutsleiter Prof. Dr.
Christoph Herrmann (rechts).*

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Günter Bräuer'.

Prof. Dr. Günter Bräuer

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'C. Herrmann'.

Prof. Dr. Christoph Herrmann

INHALTSVERZEICHNIS

2	Vorwort der Institutsleitung	
4	Inhaltsverzeichnis	
6	2019 im Rückblick	
8	Kuratorium	
9	Aus dem Kuratorium	
10	Ausgezeichnete Zusammenarbeit	
12	Das Institut im Profil	
14	Das Institut in Zahlen	
16	ZEISS – Zentrum für Energiespeicher und Systeme	
18	Ihre Ansprechpartner	
18	Institutsleitung und Verwaltung	
19	Abteilungs-, Gruppen- und Teamleiterinnen und -leiter	
22	Forschungs- und Dienstleistungsangebot	
24	Analytik und Qualitätssicherung	
26	Labora Ausstattung und Großgeräte	
28	Sustainable Development Goals	
32	Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik	
34	Optimierte Reinigungskette für die Plasmabeschichtung von Werkzeugen	
36	CVD-Diamant-Mikroschleifstifte mit Oberflächenstrukturierung	
38	Randschichtbehandlung von Hochtemperaturwerkstoffen	
40	Robuste thermoresistive Sensorik für die Halbwarmumformung	
42	Dünnschichtsensorik zur Temperaturmessung im Mischreibungskontakt	
44	Materialien für Hochtemperatur-DMS	
46	Neuartige Kompositschichten mittels atmosphärischer PECVD	
48	Aufskalierung von PECVD-Prozessen	
50	Luft- und Raumfahrt	
52	Oberflächentechnik für die generative Fertigung von Polymerbauteilen	
54	Schmalere IR-Bandpassfilter auf dreidimensionalen Oberflächen	
56	Energie und Elektronik	
58	Einsatzgebiete der Atomlagenabscheidung	
60	Simulation von HWCVD-Silizium-Beschichtungsprozessen	
62	Optik	
64	Simulation optischer Präzisionsschichten auf gekrümmten Bauteilen	
66	Partikel im Beschichtungsprozess	
68	Neue Möglichkeiten mit MOCCA [®]	
70	Life Science und Umwelt	
72	Sauberes Wasser für ländliche Gebiete im südlichen Afrika	
74	Modifikationen von Membranen zur Abwasserreinigung von Schwermetallen	
76	Leistungen und Kompetenzen	
78	Niederdruckverfahren und Atmosphärendruckverfahren	
79	Energiespeicher und Systeme	
80	Kompetenz Schichtsysteme	
81	Weitere Kompetenzen	
82	EPMA-Analyse dünner Schichten: Schichtdicke und Zusammensetzung	

84 Namen, Daten, Ereignisse

- 86 Messen, Ausstellungen, Konferenzen
- 88 Messen, Ausstellungen, Konferenzen
- 90 Ereignisse, Kolloquien, Workshops
- 92 Preise und Ehrungen
- 95 Wir nehmen Abschied

96 Das Fraunhofer IST in Netzwerken

- 99 Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick
- 100 Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces
- 102 Vernetzung in
 Fraunhofer-Allianzen
- 104 Vernetzung Regional und deutschlandweit
- 106 Nachwuchsförderung und Ausbildung am Fraunhofer IST
- 108 Das Kompetenznetz Industrielle
 Plasma-Oberflächentechnik e.V. – INPLAS

110 Publikationen

- 110 Mitgliedschaften
- 113 Mitarbeit in Gremien
- 117 Publikationen
- 123 Vorträge und Poster
- 128 Dissertationen
- 129 Masterarbeiten
- 133 Bachelorarbeiten
- 133 Schutzrechtsanmeldungen

134 Bildverzeichnis

136 Impressum



2019 IM RÜCKBLICK

„#WHATSNEXT“ – Unter diesem Motto feierte die Fraunhofer-Gesellschaft in 2019 ihr siebzigjähriges Jubiläum.

„#WHATSNEXT“ – Dieser Frage müssen wir uns auch kurz vor der Fertigstellung dieses Tätigkeitsberichts im März 2020 stellen. Doch dieses „#WHATSNEXT“ besitzt eine Bedeutung von völlig neuer Dimension. Die Welt steht still, und wir fragen uns voller Sorge, wie sie nach dem Ende der COVID-19-Pandemie aussehen wird.

Doch lassen Sie uns zurückschauen auf den 26. März 2019. Den 70. Geburtstag unserer Gesellschaft feierten wir mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer IST in Form eines kleinen Festakts. In einem Kurzvortrag zum Thema »Der Quantensprung und die fehlenden Farben der Sonne« wurden zunächst die Verdienste unseres Namenspatrons Joseph von Fraunhofer gewürdigt und danach folgte der Verzehr einer riesigen Marzipantorte, verziert mit dem bekannten Fraunhofer-Spektrum.

Einen Grund zum Feiern hatten auch unsere Absolventen der Physikkolaboranten-Ausbildung in diesem Jahr. Beide schlossen ihre Abschlussprüfung besonders erfolgreich ab. Einer von ihnen ist unter den besten der Kammer sowie der Fraunhofer-Gesellschaft. Wir sind stolz auf die beiden und auch auf die Qualität unserer Ausbildung, die ebenfalls gewürdigt wurde.

Daneben gab es 2019 noch eine Reihe weiterer Highlights. Bei zwei Veranstaltungen stand dabei technologisch das Magnetron-Sputtern im Mittelpunkt: So trafen sich Mitte Juni rund 100 Teilnehmer und 20 Industrieaussteller zum wissenschaftlichen Austausch neuester Ergebnisse auf dem Gebiet hochionisierter Plasmen in der Braunschweiger Stadthalle zur International Conference on High Power Impulse Magnetron Sputtering. Die jährlich stattfindende Tagung wird gemeinsam mit der Sheffield Hallam University in Großbritannien durchgeführt und in den ungeraden Jahren von dem unter dem Dach des Fraunhofer IST agierenden Netzwerks INPLAS in Braunschweig organisiert. Sie dokumentiert ebenso wie der intensive Austausch von Studenten unsere enge Zusammenarbeit.

Die Tatsache, dass dem Fraunhofer IST auch die Organisation der »18th International Conference on Reactive Sputter Deposition RSD« übertragen wurde, unterstreicht einmal mehr die internationale Anerkennung unserer Arbeiten auf dem Gebiet der Sputtertechnologien. Die RSD hat ihre Wurzeln in Belgien, dort wurde an verschiedenen Universitäten in den vergangenen Jahrzehnten eine hohe Kompetenz auf dem Gebiet der Erforschung von Sputterprozessen aufgebaut. Anfang Dezember trafen sich rund 100 Wissenschaftler aus 22 Ländern und 10 Aussteller zur 18. RSD in den Räumlichkeiten des Fraunhofer IST. Ein besonderer Dank gilt in diesem Zusammenhang auch der Stadt Braunschweig, die uns die Dornse, den Festsaal des Altstadtrathauses, zur Verfügung stellte und damit dem Conference Dinner einen festlichen Rahmen ermöglichte.



1 Die Torte des Fraunhofer IST zum 70. Geburtstag der Fraunhofer-Gesellschaft.

2 Startschuss für das Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS in Braunschweig.

3 Das Fraunhofer IST präsentiert sich zum ersten Mal auf der TU Night.

Mit der neuen Institutsleitung wird die Vernetzung zwischen der Technischen Universität Braunschweig und dem Fraunhofer IST spürbar gestärkt. Ende Juni nahm das Institut erstmalig an der TU Night – einer Mischung aus Wissenschaftsfestival und Campus-Open-Air – teil. Mittlerweile ist das IST auch in allen relevanten Zentren der TU wie der Open Hybrid Lab Factory und der Battery LabFactory Braunschweig verankert. Mit dem Startschuss für das Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS, an dem der Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, der Niedersächsische Ministerpräsident sowie die Präsidentin der TU Braunschweig teilnahmen, wurde ein weiterer wichtiger Meilenstein für die zukünftige Arbeit des IST gesetzt.

Über die vielfältigen Ergebnisse unserer täglichen Forschungsarbeiten kann sich der Leser auf den folgenden Seiten informieren. Über weitere interessante Ergebnisse müssen wir schweigen, da sie in direkter Kooperation mit Industriepartnern erreicht wurden und damit der Geheimhaltung unterliegen.

Ihr Günther Bräuer



KURATORIUM

Vorsitz

Dr. Philipp Lichtenauer
Plasmawerk Hamburg GmbH

Prof. Dr. Peter Awakowicz
Ruhr-Universität Bochum

Dr. med. Thomas Bartkiewicz
Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH

Frank Benner
B + T Technologies GmbH

Prof. Dr. Hans Ferkel
SMS group GmbH

Prof. Dr. Tim Hosenfeldt
Schaeffler Technologies AG & Co. KG

Prof. Dr.-Ing. Anke Kaysser-Pyzalla
Präsidentin der Technischen Universität Braunschweig

Dr. Sebastian Huster
Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Lehold
Wolfsburg

Dr.-Ing. Stefan Rinck
Singulus Technologies AG

Dr. Joachim Schulz
Aesculap AG

Michael Stomberg
Bauer AG

Prof. Dr. Gerrit van der Kolk
IonBond Netherlands BV

Dr. Ernst-Rudolf Weidlich
GRT GmbH & Co. KG



AUS DEM KURATORIUM

Stetig zunehmende Auslastung von medizinischem Personal in der Regelversorgung und fehlende Mittel, um dem Investitionsstau zu begegnen – dies sind Themen, die Krankenhäuser bewegen und vor große Herausforderungen für die Zukunft stellen. Wir gehen in Braunschweig bereits neue Wege, durchleuchten die Abläufe und Arbeitsprozesse in der Klinik kritisch und erarbeiten zusammen mit Partnern, wie dem Fraunhofer IST, innovative Lösungen. Die räumliche Nähe sowie die kurzen Kommunikationswege machen es möglich, Ideen von beiden Seiten schnell zu formulieren und umzusetzen. Ein aktuelles Beispiel ist die Realisierung eines Modell-Krankenhauszimmers im Fraunhofer Institut, um Verständnis für unsere Probleme zu erhalten.

Die Kooperation nahm ihren Anfang mit der Beschichtung von Zellkulturbeuteln zur Optimierung der Wachstumsbedingungen von humanen dendritischen Zellen und Stammzellen. Daraus erwuchs ein Projekt, welches eine kostengünstige Möglichkeit bietet, 3-dimensionale Zellzüchtung im geschlossenen System durchführen zu können (LabBag®). Diese vom Fraunhofer IST entwickelte Technik ist wichtig für die Weiterentwicklung der personalisierten Medizin im Krankenhaus und ermöglicht die Züchtung von Organoiden und Tumororganoiden.

Aber auch in ganz anderen Bereichen werden alltägliche Krankenhausprobleme durch innovative Lösungen bearbeitet. Ein Beispiel ist der Bettensensor, der es ermöglicht, schwerstkranke Intensivpatienten exakt zu wiegen, ohne sie auf eine Waage stellen zu müssen. Ein riesiger Zeitgewinn und eine Möglichkeit zur besseren (patientengerechteren) Applikation von Medikamenten wie Antibiotika. Der Bettensensor entstand durch Modifikation von Techniken, die am Fraunhofer IST für eine ganz andere Anwendung entwickelt wurden.

Ein weiteres Thema sind Antibiotika- und Zytostatika-Rückstände von Krankenhäusern im Abwasser, auch hier bestehen durch die Expertise des Fraunhofer IST Möglichkeiten, das Abwasser zu neutralisieren und somit dazu beizutragen, dass unser Krankenhaus ein grünes Krankenhaus wird. Die laufende Entwicklung einer Sperrschicht für Weichmacher wie DEHP ermöglicht, Medizinprodukte herzustellen, die weniger und langsamer Weichmacher in der Umwelt verlieren – ein neuer Ansatz, der im Krankenhaus viel bewirken kann.

Eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen wie dem Fraunhofer IST und klinischen Anwendern ist eine Win-win-Situation und ermöglicht jedem Beteiligten, bedarfsorientierte Produkt- oder Prozessinnovationen in der Medizintechnik zu realisieren.

Die Zusammenarbeit zwischen dem Städtischen Klinikum Braunschweig und dem Fraunhofer IST ist auch unter Berücksichtigung der möglichen Campus-Gründung der Universitätsmedizin Göttingen am Städtischen Klinikum Braunschweig zur zukünftigen Mediziner-Ausbildung besonders wertvoll, um Forschung und Lehre zusammenzubringen.

Ich freue mich über die bestehende Zusammenarbeit und wünsche allen Fraunhofer-Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und der Institutsleitung viel Erfolg für das Jahr 2020.

Dr. Thomas Bartkiewicz
Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH

AUSGEZEICHNETE ZUSAMMENARBEIT





Technologischer Fortschritt durch wissenschaftlichen und unternehmerischen Erfolg in der Plasma- und Oberflächentechnik gründet sich in vielen Fällen auf eine konstruktive, transparente und zielorientierte Kooperation von Partnern mit unterschiedlichen Expertisen. Aus einer solchen ausgezeichneten Zusammenarbeit zwischen dem Fraunhofer IST und der PLASUS GmbH sind in den letzten Jahren erfolgreiche Projekte, Veröffentlichungen und Produkte hervorgegangen.

Die PLASUS GmbH mit Sitz in Mering bei Augsburg ist ein weltweit führender Hersteller von spektroskopischen Plasmamonitor- und Prozesskontrollsystemen für jegliche Art von Plasmaprozessen in F&E und Industrie. Gegründet 1996 entwickelt, produziert und vertreibt PLASUS innovative und anwendungsorientierte Plasmamonitor- und Prozesskontrollsysteme. Die Anwendungspalette reicht von der Qualitätskontrolle von PECVD-Plasmen über die aktive Prozessregelung in reaktiven Sputterprozessen und der Endpunktdetektion in Ätzprozessen bis hin zur Prozessüberwachung von atmosphärischen Plasmen.

Aus der langjährigen Zusammenarbeit von Fraunhofer IST und PLASUS GmbH in unterschiedlichen Projekten sind wegweisende Kontrolltechniken für hochionisierte Plasmen hervorgegangen. Insbesondere für gepulste hochionisierte reaktive Plasmen wie HIPIMS wurde ein neues Regelkonzept am Fraunhofer IST konzipiert und durch die PLASUS GmbH in seinen Prozesskontrollsystemen EMICON für Industrieanlagen umgesetzt. Damit können jetzt erstmalig die Stöchiometrie und die Ionen-dichte in diesen Plasmen unabhängig voneinander und gezielt eingestellt werden, was reproduzierbare Schichtabscheidungen auch für Produktionsanlagen ermöglicht. Ein besonderes

Augenmerk lag beim Fraunhofer IST dabei immer auf der Umsetzbarkeit in industrielle Umgebungen – ein entscheidender Aspekt für die erfolgreiche Vermarktung. Ein weiterer Schwerpunkt in der Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IST war die Analyse und Prozessentwicklung von atmosphärischen Plasmen zur Reinigung und Beschichtung von Oberflächen. Detaillierte Untersuchungen und gemeinschaftliche Analysen mit den Plasmamonitorssystemen der PLASUS GmbH ergaben neuartige wissenschaftliche Erkenntnisse und Anwendungen im Bereich Printtechnologien und Medizintechnik. Anknüpfend an diese erfolgreichen Projekte soll zukünftig auch das Potenzial des spektroskopischen Plasmamonitoring für Plasmadiffusionsprozesse geprüft werden.

Jeder Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IST war gemein, zielorientiert im Hinblick auf eine industrielle Umsetzung zu entwickeln. Für diese konsequente und immer gute, jederzeit offene, angenehme und ausgezeichnete Zusammenarbeit möchte ich mich bedanken.

Dr.-Ing. Thomas Schütte
PLASUS GmbH

DAS INSTITUT IM PROFIL

Oberflächen und Schichten für zukunftsfähige Produkte sowie zugehörige Produktionssysteme sind die Welt des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig. Als international anerkannter Partner für Forschung und Entwicklung erschließt das Institut die Synergien der Prozess-, Verfahrens- und Fertigungstechnik. Ausgehend vom Leitbild der Nachhaltigkeit gestalten etwa 110 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter Systeme vom Werkstoff über den Prozess zum Bauteil sowie von der Prozesskette bis zur Fabrik und bis hin zum Recycling.

Aktuelle Schwerpunkte in den Geschäftsfeldern Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt, Energie und Elektronik, Optik sowie Life Science und Umwelt sind:

- Cyber-physische Systeme/Computational Surface Engineering & Science
- Smarte Oberflächen
- Sensorik/Industrie 4.0
- Energiespeicher und Systeme
- Multifunktionale Oberflächen
- Präzisionsoptische Beschichtungen

Gemeinsam mit Kunden und Partnern aus Industrie und Forschung erarbeitet das Fraunhofer IST maßgeschneiderte Lösungen – vom Prototyp über Produktionsszenarien bis hin zur Skalierung auf industrielle Maßstäbe, und dies unter der Maßgabe der Wirtschaftlichkeit und ökologischen Nachhaltigkeit. Neben anwendungsorientierter Forschung werden in Kooperationen mit Universitäten und außeruniversitären Forschungs-

einrichtungen auch die wissenschaftlichen Grundlagen dazu erforscht. Neben direkter Auftragsforschung werden viele Projekte mit öffentlichen Mitteln des Landes Niedersachsen, des Bundes, der Europäischen Union und anderer Institutionen gefördert.

Die Schicht- und Oberflächentechnik ist eine Schlüsseltechnologie zur Herstellung neuartiger Produkte und Systeme: Durch Modifizierung, Strukturierung und Beschichtung von Oberflächen können dekorative Oberflächen, Schutzschichten, Oberflächen mit unterschiedlichsten Funktionen realisiert werden. Reibungsminderung, Verschleiß- und Korrosionsschutz, optische Eigenschaften bis hin zu smarten sensorischen Eigenschaften sind Beispiele hierfür.

Am Fraunhofer IST steht dazu eine umfangreiche Ausstattung zur Verfügung. Technologien sind u.a.:

- Elektrochemische Verfahren, insbesondere Galvanik,
- Atmosphärendruck-Plasmaverfahren,
- Niederdruck-Plasmaverfahren mit den Schwerpunkten Magnetronspitzen, hochionisierte Plasmen und plasmaaktivierte Gasphasenabscheidung sowie
- die chemische Gasphasenabscheidung mit dem Schwerpunkt Heißdraht-CVD und
- die Atomlagenabscheidung (ALD).

Eine der besonderen Stärken des Instituts besteht darin, auf der Basis dieses breiten Spektrums an Technologien und Verfahren sowie Schichtwerkstoffen die für die jeweilige Aufgabenstellung optimale Prozesskette zu gestalten.



Dazu verfügt das Fraunhofer IST nicht nur über eine sehr gut ausgestattete Analytik, sondern auch über umfangreiche Erfahrungen in der Modellierung und Simulation sowohl von Produkteigenschaften als auch der zugehörigen Prozesse und Produktionssysteme.

Am Standort Braunschweig verfügt das Institut über 4000 m² Büro- und Laborfläche. Darüber hinaus stehen am Anwendungszentrum für Plasma und Photonik des Fraunhofer IST am Standort Göttingen weitere 1500 m² Labor- und Bürofläche zur Verfügung.

Gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten IKTS und IFAM ist das Fraunhofer IST eine tragende Säule im Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS, das am 7. Februar 2019 eröffnet wurde. Der Fokus des Fraunhofer IST liegt zum einen auf der Entwicklung künftiger Energiespeicher sowie der Verfahrenstechnik zu deren Produktion und zum anderen auf den zugehörigen Fabriksystemen und dem Life Cycle Management. Der Bezug eines Forschungsneubaus für bis zu 100 Mitarbeitende am Forschungsflughafen Braunschweig ist für Ende 2023 geplant. In der Übergangsphase stehen den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern Laborflächen im Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik (NFF) und Büros im Lilienthalhaus am Forschungsflughafen Braunschweig zur Verfügung.

Darüber hinaus ist das Fraunhofer IST seit Ende 2019 Partner im Fraunhofer-Projektzentrum der Open Hybrid LabFactory (OHLF) in Wolfsburg. Bei den gemeinsamen Aktivitäten mit den Fraunhofer-Instituten IFAM, IWU und WKI und in Koope-

ration mit Instituten der TU Braunschweig stehen hybride und funktionsintegrierte Multi-Materialbauweisen im Mittelpunkt. Die Oberflächentechnik ist hier ein Schlüssel, um einerseits die Stabilität von Verbundwerkstoffen zu erhöhen und andererseits die Grenzschichten der hybriden Komponenten derart zu gestalten, dass dauerhafte, alterungsbeständige Verbindungen zu komplexen Bauteilen entstehen können. Insbesondere auch Fragestellungen zu aktiven Schichten (z. B. Selbstreinigung), Funktionsschichten, Schichten mit anti-adhäsiven Eigenschaften und zu den zugehörigen Produktionssystemen für Interieur und Exterieur im Automobilbereich werden durch das Fraunhofer IST adressiert.

Das Leistungsangebot des Fraunhofer IST wird ergänzt durch die Kompetenzen anderer Institute des Fraunhofer-Verbunds »Light & Surfaces« und durch die Kompetenzen der Institute für Oberflächentechnik IOT und für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik IWF der Technischen Universität Braunschweig, die die Institutsleiter des IST Prof. Dr. Günter Bräuer und Prof. Dr. Christoph Herrmann jeweils in Personalunion leiten.

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

Mitarbeiterentwicklung

Im Berichtszeitraum beschäftigte das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST 111 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen. 50 Prozent der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter 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 die Forschungsarbeit. Die Dienstleistungen der Verwaltung und der Technischen Dienste werden von diesen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowohl für das Fraunhofer IST als auch für das mit am Campus ansässige Fraunhofer WKI angeboten. Im Jahr 2019 wurde das Angebot zur Ausbildung in den Berufszweigen Galvanik, Physik und Fachinformatik genutzt.

Betriebshaushalt

2019 lag der Betriebshaushalt bei 12,7 Mio €. Die Personalkosten lagen bei 8,2 Mio €. Für interne Leistungsverrechnungen und Sachaufwendungen entstanden Kosten in Höhe von 4,5 Mio €.

Ertragsstruktur

Die Wirtschaftserträge lagen bei 4,5 Mio €, die öffentlichen Erträge lagen bei 2,6 Mio €. In Summe wurden somit 7,1 Mio € externe Erträge erzielt.

Investitionshaushalt

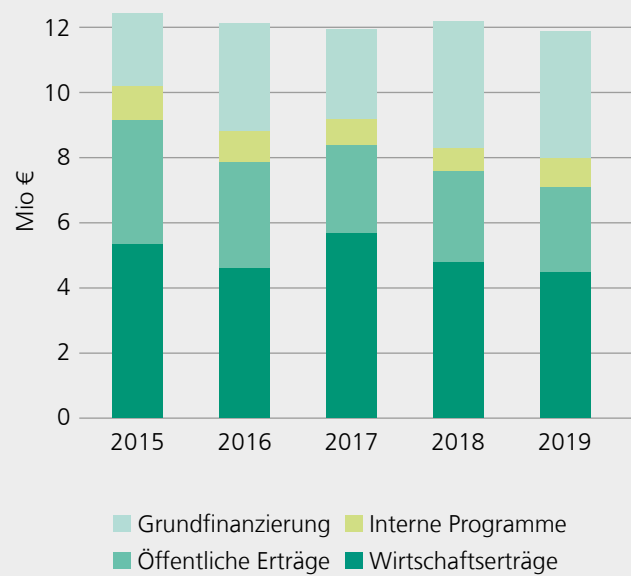
Insgesamt tätigte das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik Investitionen in Höhe von 1,4 Mio €. Rund 50 000 € konnten hier durch externe Projektmittel investiert werden. 612 000 € wurden durch Normalinvestitionen realisiert. Für strategische Investitionen flossen im Jahr 2019 Mittel in Höhe von 593 000 €, für Sonderzuwendungen 134 000 €.



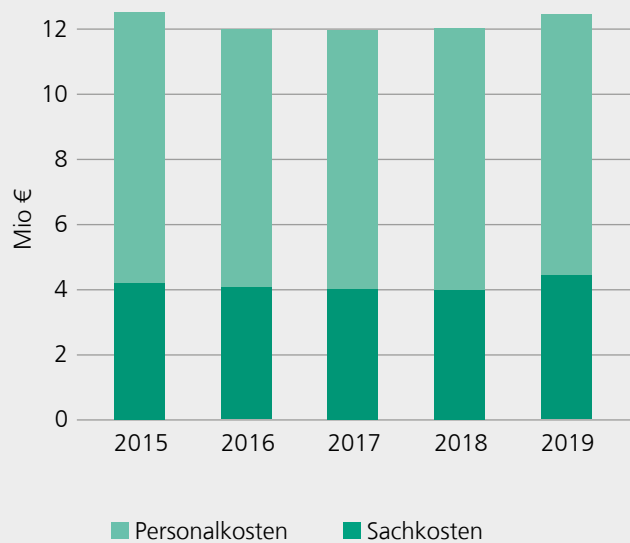
Mitarbeiterentwicklung



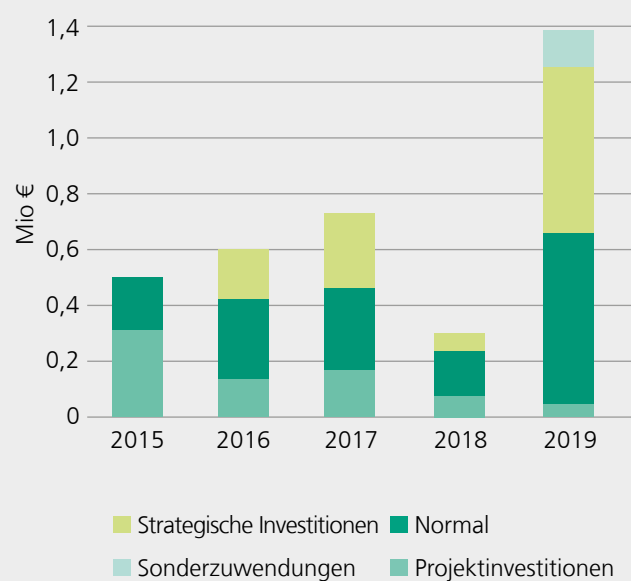
Ertragsstruktur



Betriebshaushalt



Investitionshaushalt





ZESS – ZENTRUM FÜR ENERGIESPEICHER UND SYSTEME

Am 7. Februar fiel der Startschuss für das neue Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS in Braunschweig, das die Fraunhofer-Gesellschaft in enger Kooperation mit der Technischen Universität Braunschweig betreiben wird. Beteiligte Partner sind neben dem Fraunhofer IST das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS sowie das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM. Ziel des Projektzentrums ist es, neuartige mobile und stationäre Energiespeichersysteme an die industrielle Reife heranzuführen. Von der Entwicklung neuer Energiespeichersysteme hängen zahlreiche Wirtschaftszweige und Technologien direkt oder indirekt ab: Elektroautos benötigen leistungsfähige Batterien, stationäre Stromspeicher können elektrische Netze stabilisieren, die sich aus zeitlich schwankenden erneuerbaren Energiequellen wie Photovoltaikanlagen oder Windrädern speisen. Das Fraunhofer-Projektzentrum ZESS wird hier ansetzen, um innovative Beiträge zu gesellschaftlich-ökologischen Herausforderungen zu erarbeiten und effiziente, klimaschonende Antworten zu liefern.

Ehrgeizige Ziele – der ZESS-Forschungsneubau

Für die fünfjährige Startphase steuern die Fraunhofer-Gesellschaft und das Land Niedersachsen eine Anschubfinanzierung von insgesamt 20 Millionen Euro bei, um im Rahmen von 20 Einzelprojekten den Kompetenzaufbau und die Vernetzung der Akteure in Niedersachsen zu fördern. Darüber hinaus sind 40 Millionen Euro für die Errichtung eines Forschungsneubaus für bis zu 100 Mitarbeitende am Forschungsflughafen Braunschweig vorgesehen. Das Architektenbüro HDR wurde mit der Planung des Neubaus beauftragt, dessen Bezug für Ende 2023 vorgesehen ist. Entsprechend treiben die beteiligten Akteure an den drei Instituten die Planungen mit großen Schritten voran. Im Rahmen der Gebäude- und Raumgestaltung müssen derzeit unter anderem die Anforderungen an technische Infrastruktur und Arbeitssicherheit definiert werden. Unter Federführung der Fraunhofer-Zentrale sollen die erforderlichen Bauleistungen Anfang 2020 ausgeschrieben werden. Anschließend kann mit der konkreten Ausplanung der Anlagentechnik

für eine Pilotlinie zur Herstellung von Lithium-Batterien der nächsten Generation, sogenannten Festkörperbatterien, begonnen werden. Bis zum Bezug des Neubaus stehen den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern Büroräume im »Lilienthalhaus« am Forschungsflughafen sowie ein Technikum in den Räumlichkeiten des benachbarten Niedersächsischen Forschungszentrums Fahrzeugtechnik (NFF) zur Verfügung. Dort sollen bereits im Jahr 2020 erste Testzellen für Festkörperbatterien im Pilotmaßstab gefertigt werden.

Fokus des Fraunhofer IST: Verfahrens- und Fertigungstechnik für Energiespeicher

Im Rahmen der Gründung des ZESS wurde am Fraunhofer IST die neue Abteilung »Verfahrens- und Fertigungstechnik« gegründet, die seit dem 1. Juli 2019 von Sabrina Zellmer geleitet wird. Die Aktivitäten der Abteilung decken den gesamten Lebenszyklus von Energiespeichern ab – von der Materialherstellung über die verschiedenen Produktionsstufen



bis hin zur Nutzung und dem anschließenden Recycling. Die Arbeitsgruppe »Energiespeicherentwicklung & Verfahrenstechnik« unter Leitung von Jutta Hesselbach fokussiert sich dabei auf die Herstellung und Funktionalisierung neuartiger Batteriematerialien, beispielsweise Festelektrolyte und Lithium-Metall-Anoden. Die traditionellen Kernkompetenzen des Fraunhofer IST, wie z. B. das Aufbringen von Schutzschichten oder die Herstellung dünnster Metallschichten, sind dabei von essenzieller Bedeutung. Eine wesentliche Herausforderung besteht in der Skalierung der zugehörigen Produktionsprozesse vom Labor- in den Pilotmaßstab. Die Arbeitsgruppe »Nachhaltige Fabriksysteme und Life Cycle Management« unter Leitung von Stefan Blume adressiert die ganzheitliche Gestaltung des Produktionssystems für Energiespeicher. Dabei werden vielfältige und komplexe Wechselwirkungen zwischen Produkt, Prozessen, technischer Gebäudeausrüstung und Gebäude berücksichtigt. Schwerpunkte liegen insbesondere auf Methoden der »Digitalen Fabrik«, wie der Simulation und dem Aufbau »digitaler Zwillinge« von Produkten und Prozessen. Darüber hinaus wird der Betrachtungsrahmen auf den gesamten Produktlebenszyklus erweitert. Unter Einsatz von Methoden wie »Life Cycle Assessment« und »Life Cycle Costing« werden technisch-ökonomisch-ökologische Analysen über den Lebensweg von Energiespeichern und Systemen durchgeführt. Auch die Versorgungssicherheit und soziale Aspekte, wie Arbeitsbedingungen beim Abbau der benötigten Rohstoffe, werden berücksichtigt. Somit lassen sich Vor- und Nachteile neuer Technologien bereits in der Entwicklungsphase erfassen, quantifizieren und zur Unterstützung strategischer Entscheidungen zugunsten nachhaltiger Technologien nutzen.

1 Geplanter Neubau des ZESS.

2 Beim Startschuss für das Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS in Braunschweig (v.l.n.r.): Prof. Arno Kwade, Institutsleiter des iPAT der TU Braunschweig; Prof. Christoph Herrmann, Institutsleiter des Fraunhofer IST; Prof. Heinz Jörg Fuhrmann, Vorsitzender des Senats der Fraunhofer-Gesellschaft; Reimund Neugebauer, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft; Prof. Anke Kayser-Pyzalla, Präsidentin der TU Braunschweig; Stephan Weil, Ministerpräsident von Niedersachsen; Ulrich Markurth, Oberbürgermeister der Stadt Braunschweig; Prof. Michael Stelter, Stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer IKTS; Prof. Alexander Michaelis, Institutsleiter des Fraunhofer IKTS; Prof. Matthias Busse, Institutsleiter des Fraunhofer IFAM.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Sabrina Zellmer
Telefon +49 531 2155-528
sabrina.zellmer@ist.fraunhofer.de

Stefan Blume, M. Sc.
Telefon +49 531 2155-532
stefan.blume@ist.fraunhofer.de

IHRE ANSPRECHPARTNER

INSTITUTSLEITUNG UND VERWALTUNG

Institutsleitung

Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann¹
Telefon: +49 531 2155-503
christoph.herrmann@ist.fraunhofer.de

Prof. Dr. Günter Bräuer²
Durchwahl: 500
guenter.braeuer@ist.fraunhofer.de

Forschungsstrategie und -koordination Stellvertretende Institutsleitung

Dr. Lothar Schäfer³
Durchwahl: 520
lothar.schaefer@ist.fraunhofer.de

Forschungsplanung und -netzwerke Assistenz der Institutsleitung

Dipl.-Ing. Carola Brand⁴
Durchwahl: 574
carola.brand@ist.fraunhofer.de

Prozess- und Innovationsmanagement

Dr. Marko Eichler⁵
Durchwahl: 636
marko.eichler@ist.fraunhofer.de

Verwaltung

Ulrike Holzhauer⁶
Durchwahl: 220
ulrike.holzhauer@ist.fraunhofer.de

Marketing und Kommunikation

Dr. Simone Kondruweit⁷
Durchwahl: 535
simone.kondruweit@ist.fraunhofer.de

IT

Andreas Schlechtweg⁸
Durchwahl: 633
andreas.schlechtweg@ist.fraunhofer.de

Technische Dienste

Stephan Thiele⁹
Durchwahl: 440
stephan.thiele@ist.fraunhofer.de



ABTEILUNGS-, GRUPPEN- UND TEAM-LEITERINNEN UND -LEITER

Niederdruckplasmaverfahren

Dr. Michael Vergöhl¹⁰
 Durchwahl: 640
michael.vergoehl@ist.fraunhofer.de
Optische Schichtsysteme | Prozessentwicklung | Materialentwicklung

Magnetronzerstäubung

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

Hochionisierte Plasmen und PECVD

Dr.-Ing. Ralf Bandorf¹¹
 Durchwahl: 602
ralf.bandorf@ist.fraunhofer.de
*Sensorische Multifunktionsschichten | Hochionisierte Pulsprozesse
 (HIPIMS) | Mikrotribologie | Elektrische Funktionsschichten |
 Hohlkathodenverfahren (HKV, GFS) | Plasmaunterstützte CVD
 (PECVD)*

Simulation

Dr. Andreas Pflug¹²
 Durchwahl: 629
andreas.pflug@ist.fraunhofer.de
*Simulation von Anlagen, Prozessen und Schichteigenschaften |
 Modellbasierte Auslegung von Beschichtungsprozessen*

Chemische Gasphasenabscheidung

Dr. Volker Sittinger¹³
 Durchwahl: 512
volker.sittinger@ist.fraunhofer.de

Dr. Markus Höfer¹⁴
 Senior Scientist
 Durchwahl: 620
markus.hoefer@ist.fraunhofer.de

Atomlagenabscheidung

Dipl.-Chem. Tobias Graumann¹⁵
 Durchwahl: 647
tobias.graumann@ist.fraunhofer.de
*Produktnaher Systembau | Schicht- und Prozessentwicklung | Hoch-
 konforme Beschichtung von 3D-Strukturen*

Heißdraht-CVD

Dr.-Ing. Christian Stein¹⁶
 Durchwahl: 647
christian.stein@ist.fraunhofer.de
*Diamantschichten und Silizium-basierte Schichten | Werkzeug- und
 Bauteilbeschichtung für extreme Verschleißbeständigkeit | Diamant-
 beschichtete Keramiken DiaCer® | Elektrische Anwendungen für
 Halbleiter, Barrieren | Antireflex*

Photo- und elektrochemische Umwelttechnik

Frank Neumann¹⁷
 Durchwahl: 658
frank.neumann@ist.fraunhofer.de
*Prüftechnik | Photokatalyse | Diamantelektroden für elektroche-
 mische Wasserbehandlung | Luft-, Wasser- und Selbstreinigung |
 Produktevaluierung und Effizienzbestimmung*



Atmosphärendruckverfahren

Dr. Michael Thomas¹⁸

Durchwahl: 525

michael.thomas@ist.fraunhofer.de

Atmosphärendruck-Plasmaverfahren

Dr. Kristina Lachmann¹⁹

Durchwahl: 683

kristina.lachmann@ist.fraunhofer.de

Oberflächenfunktionalisierung und -beschichtung | Kleinserienfertigung | Plasma-Printing | Mikroplasmen | Niedrig-Temperatur-Bonden | Elektrodenentwicklung und Anlagenbau | Haftvermittelnde Beschichtungen und Antihafschichten

Elektrochemische Verfahren

Rowena Duckstein, M. Sc.²⁰

Durchwahl: 619

rowena.duckstein@ist.fraunhofer.de

Verfahrensentwicklung | Metallbeschichtung | Kunststoffmetallisierung | Ionischen Flüssigkeiten | Kunststoff- und Metallvorbehandlungen | Elektrochemische Synthese

Oberflächenchemie

Dr. Kristina Lachmann¹⁹

Durchwahl: 683

kristina.lachmann@ist.fraunhofer.de

Biofunktionale Schichten | Layer-by-layer-Verfahren | Gasphasen- und Photopolymerisation | Nachweis reaktiver Gruppen | Kombinationsverfahren – Plasma / 3D-Druck

Zentrum für tribologische Schichten

Dr.-Ing. Jochen Brand²¹

Durchwahl: 600

jochen.brand@ist.fraunhofer.de

Systemanalyse und Systemoptimierung | Tribologische Beschichtungen | Tribotesting | Anlagenkonzeptionierung

Mikro- und Sensortechnologie

Anna Schott, M. Sc.²²

Durchwahl: 674

anna.schott@ist.fraunhofer.de

Verschleißbeständige Dünnschichtsensorik zur Temperatur-, Kraft-, Verschleiß- und Abstandsmessung | Mikrostrukturierung 2D und 3D von Funktionsschichten | Sensormodule für Ur- und Umformverfahren | Sensorische Unterlegscheibensysteme

Tribologische Systeme

Dr.-Ing. Martin Keunecke²³

Durchwahl: 652

martin.keunecke@ist.fraunhofer.de

Prototypen- und Kleinserienfertigung | Plasmadiffusion | Reinigungstechnologie | Maschinenbau und Fahrzeugtechnik | Kohlenstoffbasierte Schichten (DLC) | Harte und superharte Schichten | Definierete Benetzung | Werkzeugbeschichtungen (Umformen, Schneiden, Zerspanen)

Dortmunder OberflächenCentrum DOC

Dipl.-Ing. Hanno Paschke²⁴

Telefon: +49 231 844 5453

hanno.paschke@ist.fraunhofer.de

Duplex-Behandlungen durch Plasmanitrieren und PACVD-Technologie | Borhaltige Hartstoffsichten | Werkzeugbeschichtungen | Schichten für die Warmformgebung | Beschichtungen von Industriemessern | Brennstoffzellen



Anwendungszentrum für Plasma und Photonik

Dr.-Ing. Jochen Brand²¹
 Durchwahl: 600
 jochen.brand@ist.fraunhofer.de

Prof. Dr. Wolfgang Viöl²⁵
 Telefon: +49 551 3705-218
 wolfgang.vioel@hawk-hhg.de
Plasmapartikeltechnik und Kalt-Plasmaspritzen | Plasma-Quellenkonzeption | Plasmamodifikation von Naturstoffen | Laser-Plasma-Hybridverfahren zur Mikrostrukturierung und Oberflächenmodifikation | Lasertechnik zur Materialbearbeitung und Charakterisierung

Analytik und Qualitätssicherung

Dr. Kirsten Schiffmann²⁶
 Durchwahl: 577
 kirsten.schiffmann@ist.fraunhofer.de
Chemische Mikro- und Oberflächenanalyse | Mikroskopie und Kristallstruktur | Prüftechnik | Kundenspezifische Prüfverfahren | Auftragsuntersuchungen

Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS

Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade²⁷
 Telefon: +49 531 391-9610
 arno.kwade@ist.fraunhofer.de
Entwicklung mobiler und stationärer Energiespeicher und -systeme | Entwicklung und Skalierung von Prozesstechnologien | Batterieproduktion

Verfahrens- und Fertigungstechnik

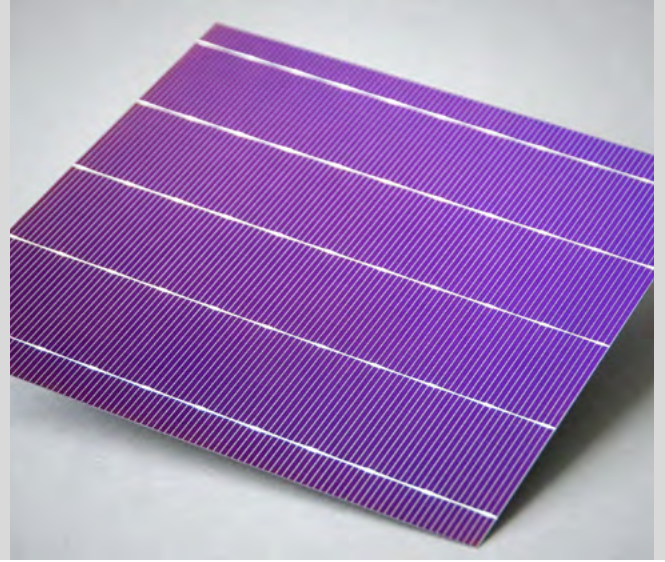
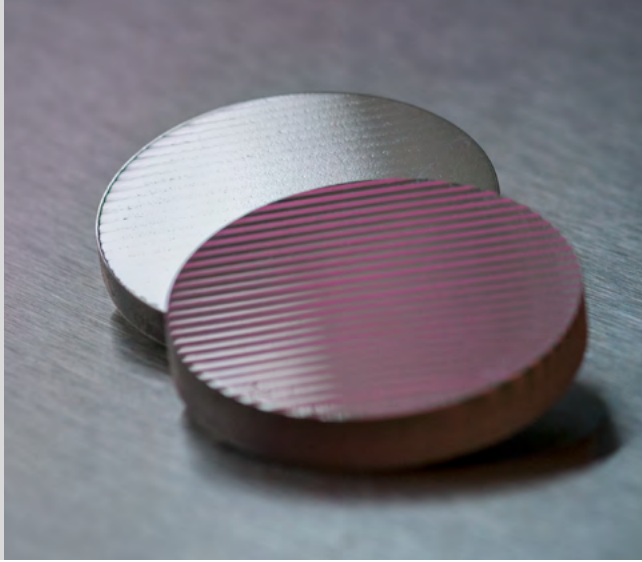
Dipl.-Ing. Sabrina Zellmer²⁸
 Durchwahl: 528
 sabrina.zellmer@ist.fraunhofer.de
Produkt- und Produktionssysteme | Energiespeicherentwicklung und -fertigung | Verfahrenstechnik | Nachhaltige Fabriksysteme | Life Cycle Management

Energiespeicherentwicklung und Verfahrenstechnik

Dipl.-Ing. Jutta Hesselbach²⁹
 Durchwahl: 613
 jutta.hesselbach@ist.fraunhofer.de
Beschichtung und Funktionalisierung von Oberflächen und Partikeln | Herstellung von Anoden-/ Kathodenmaterialien und Festkörperelektrolyten | Formulierungsstrategien für Festkörperbatterien | Elektrodenfertigung | Charakterisierung vom Material bis zur Zelle

Nachhaltige Fabriksysteme und Life Cycle Management

Stefan Blume, M.Sc.³⁰
 Durchwahl: 532
 stefan.blume@ist.fraunhofer.de
Batteriezellfertigung | Data Mining und Data Analytics | Modellbasierte Planung, Simulation und Betrieb von Batterie-Produktionssystemen | Cyber-physische Produktionssysteme | Ökonomische und ökologische Lebensweganalysen



FORSCHUNGS- UND DIENST-LEISTUNGSANGEBOT

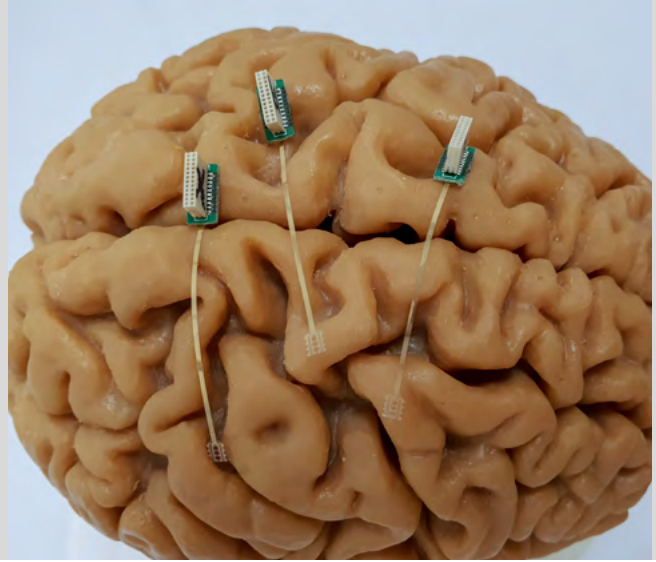
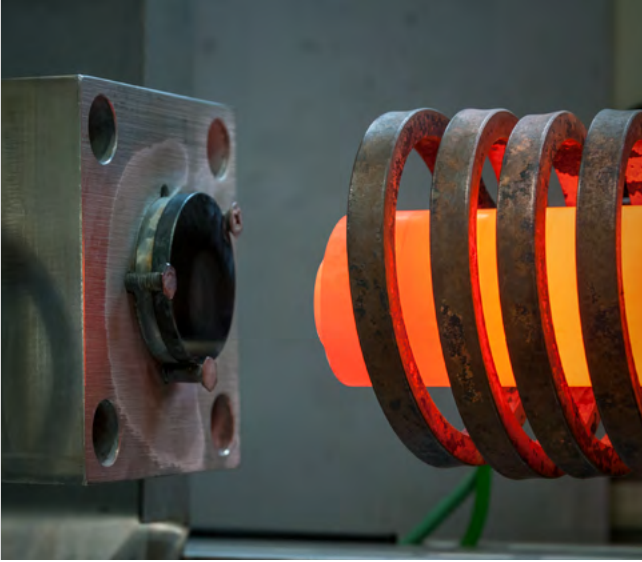
Ausgehend vom Leitbild der Nachhaltigkeit gestalten wir Systeme vom Werkstoff über den Prozess zum Bauteil und von der Prozesskette bis zur Fabrik bis hin zum Recycling.

Oberflächentechnik: Prozesse und Schichtsysteme

- Vorbehandlung (z. B. Reinigung auf wässriger Basis, Plasmareinigung, nasschemische Vorbehandlungen, Partikelstrahlen)
- Oberflächenmodifikation und -beschichtung
- Entwicklung kundenspezifischer Prozesse, Schichten und Schichtsysteme (siehe Kompetenz Schichtsysteme, Seite 80)
- Simulation und Modellierung von Oberflächen, Schichtsystemen und Beschichtungsprozessen
- Prozesstechnik (einschließlich Prozessdiagnostik, -modellierung und -regelung)
- Entwicklung von Systemkomponenten
- Geräte- und Anlagenbau

Verfahrens- und Fertigungstechnik

- Entwicklung mobiler und stationärer Energiespeicher und -systeme
- Galvanik 4.0
- Kombinationsverfahren, z. B. 3D-Druck mit Plasma
- Klebstofffreie Fügeverfahren
- Life Cycle Management: Ökologische und ökonomische Lebensweganalysen
- Nachhaltige Fabrikssysteme: modellbasierte Planung, Simulation und Betrieb von Produktionssystemen
- Cyberphysische Produktionssysteme

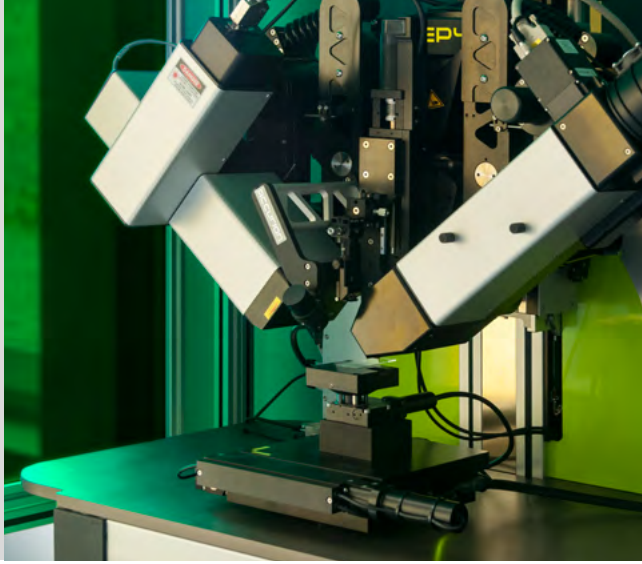


Analytik und Qualitätssicherung

- Mikro- und Oberflächenanalyse
- Mikroskopie und Strukturanalyse
- Optische und elektrische Charakterisierung
- Plasma-Diagnostik und Simulation
- Fertigungskontrolle und Schadensanalyse
- Kundenspezifische Prüfverfahren
- Auftragsuntersuchungen, 24-Stunden-Service

Technologietransfer

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



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 (ATR, Mikroskopie, IRRAS, DRIFT)
- RAMAN-Spektroskopie (532 nm, 633 nm, 785 nm, SERS, TERS)

Mikroskopie

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

Mechanische Tests

- Mikro- und Nanoindentierung (Härte, E-Modul)
- Rockwell- und Scratchtest (Schichthaftung)
- Gitterschnitttest, Stirnabzugtest (Schichthaftung)
- 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)
- Salzprühtest, Klimatest, Sun-Test

Spezialisierte Messplätze und -methoden

- Charakterisierung von Solarzellen
- Messplätze für photokatalytische Aktivität
- Kontaktwinkelmessung (Oberflächenenergie)
- Messeinrichtungen für elektrische und magnetische Schichteigenschaften, z. B. Hall, Seebeck, Leitfähigkeit, Vibrationsmagnetrometer (VSM)
- Testsysteme für die elektrochemische Abwasserbehandlung



- Messplätze zur thermo- und piezoresistiven Charakterisierung von Sensorschichten
- Biochip-Reader zur Fluoreszenzanalytik
- Schichtmappingsystem (0,6 x 0,6 m²) für Reflexions-, Transmissions-, Haze- und Raman-Messungen
- In-situ Bondenergiemessung
- Elektrochemische Messplätze (CV-Messungen)
- Nasschemische Schnelltests: colorimetrische Bestimmung von Ionen- und Molekülkonzentrationen
- Bewitterungstest: zyklische Simulation von UV- und Regenexpositionen
- Zeta-Potenzial Messgerät für Oberflächen

Plasma-Diagnostik

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



LABORAUSSTATTUNG UND GROSSGERÄTE

Niederdruckplasmaverfahren

- Produktionsanlagen für a-C:H:Me, a-C:H, Hartstoffsichten (bis 3 m³ Volumen)
- Beschichtungsanlagen auf Basis der Magnetron- und RF-Dioden-Zerstäubung
- Sputteranlagen für optische Präzisionsschichten
- Inline-Beschichtungsanlage für großflächige optische und elektrische Funktionsschichten (bis 60 × 100 cm²)
- Industrielle Beschichtungsanlagen mit HIPIMS-Technologie
- Plasmadiffusionsanlagen
- Anlagen für Hohlkathodenverfahren
- Reinraum-Technikum (25 m²)

Chemische Gasphasenabscheidung

- 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 cm² und für die Innenbeschichtung
- Heißdraht-CVD-Anlagen für die Abscheidung von Silizium-basierten Schichten (Durchlaufverfahren und Batchverfahren bis 50 × 60 cm²)
- Anlagen für die Beschichtung mittels plasma-aktivierter CVD (PACVD), kombiniert mit Plasmanitrieren

Atmosphärendruck-Plasmaverfahren

- 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
- Mobile Atmosphärendruck-Plasmaquellen
- S1-Bioplasma-Labor mit Sicherheitswerkbank

Lasertechnik und Mikrostrukturierung

- Laser für 2D- und 3D-Mikrostrukturierung
- Automatisierte Anlage zur Polyelektrolyt-Abscheidung
- Zwei Mask-Aligner für photolithographische Strukturierung
- Mikrostrukturierungslabor (40 m² Reinraum)
- Reinraum-Sensorik (35 m²)
- Laserstrukturierungslabor (17 m²)
- Nanosekunden-Festkörperlaser (Nd: YAG-Laser)
- CO₂-Laser sowie Excimer-Laser
- EUV-Spektrographie
- Halbleiterlaser
- Pikosekundenlaser



Galvanik

- 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 Technikumsgalvanik (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)

Vorbehandlung

- 15-stufige Anlage für die Reinigung auf wässriger Basis
- Glasreinigungsanlage
- Partikelstrahlanlage
- Sputteranlagen und Plasmajets für die Plasmareinigung



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

Nachhaltigkeit ist das aktuell vielleicht bedeutendste gesellschaftliche Leitbild unserer Zeit. Weltweit stehen nachhaltige Entwicklungsprozesse auf der Agenda an erster Stelle. Die Vereinten Nationen haben 2015 als einen wichtigen Meilenstein in der Nachhaltigkeitspolitik die 17 UN Sustainable Development Goals (SDGs) verabschiedet. Auch das Fraunhofer IST hat die Nachhaltigkeit in seinem Leitbild verankert. Besonders relevant für die Arbeiten am Institut sind die Ziele 3, 6, 7, 9 und 12, zu denen im Folgenden ausgewählte Aktivitäten am Fraunhofer IST vorgestellt werden. Darüber hinaus gibt es am Institut aber auch immer wieder Projekte und Entwicklungen, die weitere bzw. andere Ziele unterstützen.

SDG 3: Gesundheit und Wohlergehen

Die Verbesserung der Gesundheitsvorsorge und medizinischen Versorgung sowie die Reduktion von Krankheiten und Todesfällen aufgrund von z. B. Schadstoffbelastungen sind wesentliche Ziele der UN.

Geringere Schadstoffbelastung

Schadstoffe in der Luft oder dem Wasser sind häufige Ursachen für Krankheiten. Das Fraunhofer IST entwickelt photokatalytische Schichten, die diese Schadstoffe abbauen. Darüber hinaus ist das Institut an Projekten beteiligt, die sich mit der Reinigung bzw. Aufbereitung von Wasser beschäftigen: diamantbeschichtete Elektroden sorgen mit Hilfe elektrochemischer Oxidation dafür, dass Mikroorganismen abgetötet und organische Schadstoffe abgebaut werden (vgl. auch SDG 6: Sauberes Wasser).

Innovative Medizinprodukte

Im Bereich der Gesundheitsvorsorge sowie der medizinischen Versorgung ist die Entwicklung neuartiger bzw. die Weiterentwicklung bestehender Medizinprodukte ein wichtiger Erfolgsfaktor. Das Fraunhofer IST forscht hier u.a. an der Herstellung

3D-gedruckter biologisch abbaubarer Polymer-Gerüststrukturen, sogenannte Scaffolds, die zur Behandlung fehlender Knochenfragmente eingesetzt werden sollen. Sie dienen als Gerüst für neu wachsende Knochenzellen und bauen sich dann mit der Zeit im Körper ab. Weiterhin entwickelt das Fraunhofer IST Beschichtungstechnologien auf Basis der Atomlagenabscheidung (ALD), um dünne Diffusionssperrschichten für Implantate herzustellen.

Entkeimung von Oberflächen

Die Abtötung von Pilzsporen zum Schutz von Holz, die Sterilisation von Verpackungsmaterialien, die Entkeimung von Lebensmitteln oder Saatgut sind Beispiele für Herausforderungen zur Verbesserung von Gesundheit und Wohlergehen im Sinne der Nachhaltigkeitsziele. Am Fraunhofer IST werden Atmosphärendruck-Plasmaverfahren entwickelt, um auch temperaturempfindliche oder -labile Oberflächen zu entkeimen. Der Einsatz physikalischer Plasmen ist schnell, energieeffizient sowie umweltfreundlich und kann in vielen Fällen nasschemische, z. T. ökologisch bedenkliche Verfahren ersetzen. Eine Möglichkeit für die chemikalienfreie Nassreinigung von Oberflächen bietet ozonisiertes Wasser, das mithilfe der am Fraunhofer IST entwickelten Diamantelektroden hergestellt werden kann.

SDG 6: Sauberes Wasser

Weltweit allen Menschen Zugang zu sauberem Wasser zu ermöglichen, ist ein wichtiges Ziel der UN. Darüber hinaus spielt sauberes Wasser auch bei der keimfreien Produktion von beispielsweise Lebensmitteln oder Medizinprodukten eine wichtige Rolle.

Sauberes (Trink-)Wasser für ländliche Gebiete

In Entwicklungsländern – vor allem in ländlichen Gebieten – sind auch heute noch viele Menschen ohne Zugang zu sauberem Wasser. Derzeit wird in vielen Projekten daran gearbeitet, neue Verfahren zur Versorgung dieser Gebiete mit sauberem Wasser zu entwickeln. Eine Möglichkeit dafür ist die Reinigung und Aufbereitung von Wasser aus Meeren, Seen, Flüssen oder auch Brunnen. Am Fraunhofer IST wurde ein System entwickelt, dass für die Entkeimung diamantbeschichtete Elektroden einsetzt, um mit Hilfe elektrochemischer Oxidation Pilze, Algen, Bakterien und Viren abzutöten und organische Schadstoffe abzubauen.

Keimfreie (Lebensmittel-)Produktion

Bei der Produktion von Lebensmitteln oder auch im Bereich der Medizintechnik und Pharmazie ist hochreines Wasser ein unerlässlicher Ausgangsstoff. Oftmals werden die Anlagen zur Erzeugung von Reinstwasser jedoch nach einiger Zeit von Keimen besiedelt. Das Fraunhofer IST erforscht Möglichkeiten, diese ohne den Einsatz von Chemikalien zu reinigen. Eine umweltfreundliche und kosteneffiziente Lösung stellt die optimierte kalte Sanitisierung unter Einsatz bordotierter Diamantschichten dar. Sie basiert auf einem elektrochemischen

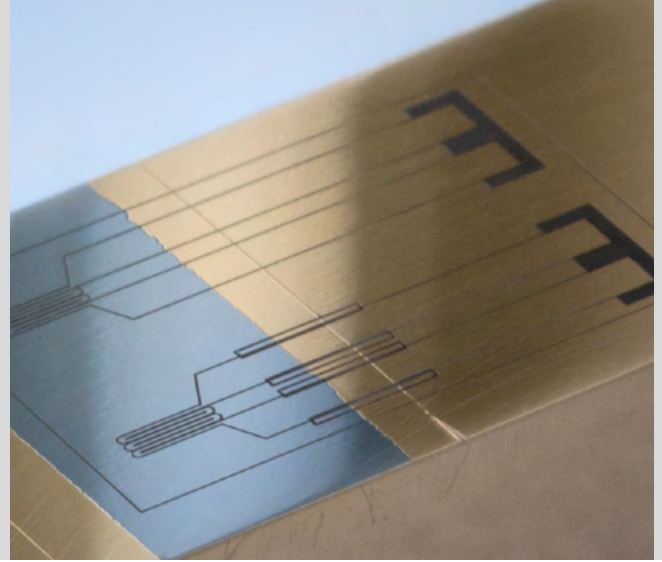
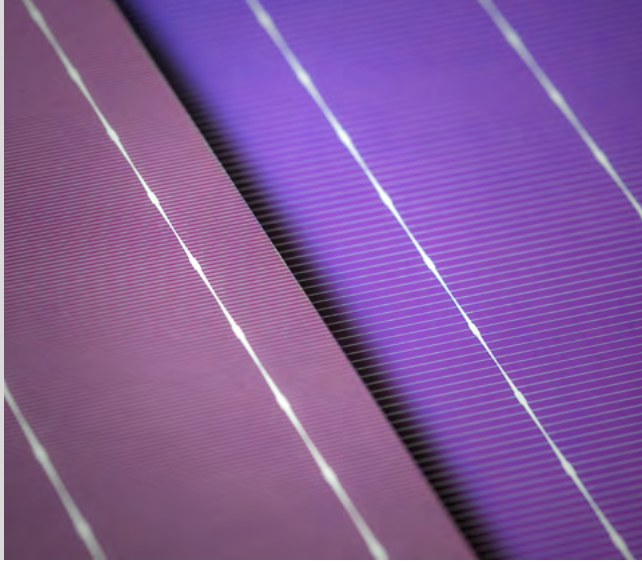
Prozess und benötigt weder zusätzliche Chemikalien noch erhöhte Temperaturen. Um eine Belagbildung auf technischen Oberflächen, das sogenannte Fouling, zu verhindern, werden am Fraunhofer IST darüber hinaus spezielle halogenfreie Antihafschichten entwickelt.

SDG 7: Bezahlbare und saubere Energie

Die Energiegewinnung mit Hilfe von Wind, Sonne oder Wasser spielt vor dem Hintergrund des Klimawandels eine immer bedeutendere Rolle. Gleichzeitig ist es notwendig, Möglichkeiten zu entwickeln, um die vorhandene Energie effizienter zu nutzen.

Effizientere Energienutzung

Schichtsysteme des Fraunhofer IST helfen, die Energieeffizienz zu steigern. Ein Beispiel dafür sind Erosionsschutzschichten auf Flugzeugtriebwerken. Sehr harte Multilagenschichten aus Keramik und Metall verhindern einen zu hohen Kraftstoffverbrauch und sinkende Wirkungsgrade. Ein weiteres Beispiel ist die Entwicklung elektrochromer Beschichtungen für Fenster, die z. B. die Sonneneinstrahlung in Gebäuden vermindern und dadurch Klimatisierungskosten senken. Energetische Optimierungen und Effizienzsteigerungen sind darüber hinaus ein Thema bei der nachhaltigen Fabrikplanung, die das Fraunhofer IST anbietet. Das sogenannte »Data Mining« in der Produktion – von der Datenerfassung bis zur Auswertung mittels Methoden des maschinellen Lernens – ermöglicht die Identifizierung von »Treibern« hinsichtlich des Energie- und Ressourcenverbrauchs.



Energiespeicher für die Elektromobilität

Leistungsfähigere und sichere Energiespeichertechnologien werden im Hinblick auf die eingeläutete Energiewende und den erwarteten Boom der Elektro- und Wasserstoffmobilität immer bedeutender. Das Institut arbeitet u. a. intensiv an der Entwicklung von Funktionsschichten für Batterien heutiger und künftiger Generationen, welche die Leistungsfähigkeit und die Lebensdauer dieser Systeme für mobile und stationäre Anwendungen erhöhen. Darüber hinaus werden leistungsfähige Beschichtungen für Bipolarplatten entwickelt, die in Brennstoffzellen und Elektrolyseuren zum Einsatz kommen.

Saubere Energie durch Sonne

Um die Nutzung erneuerbarer Energien voranzutreiben, müssen auch die Technologien zur Energiegewinnung weiterentwickelt werden. Das Fraunhofer IST beschäftigt sich in diesem Bereich mit der Entwicklung leistungsfähigerer Solarzellen. Zwei konkrete Beispiele sind hier die Herstellung von Halbleiterschichten für die Dünnschicht- und die siliziumbasierte Photovoltaik sowie die Entwicklung von Charakterisierungsmethoden für Dünnschicht-Solarzellen. Aktuell forscht das Fraunhofer IST gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten IKTS und CSP zu Modulen für die photokatalytische Wasserspaltung zur Erzeugung von Wasserstoff als Energieträger.

SDG 9: Industrialisierung, Innovation und Infrastruktur

Innovationsforschung ist ein bedeutendes Stichwort im Hinblick auf die nachhaltige und positive wirtschaftliche Entwicklung einer Gesellschaft.

Nachhaltige Industrialisierung durch Sensorik

Im Zeitalter der Industrie 4.0 wird die Vernetzung von Produktion, Logistik und Kunden immer bedeutender. Digitalisierung und Automatisierung verschiedener Produktionsabläufe spielen bei der Entwicklung einer nachhaltigen Industrialisierung eine große Rolle. Das Fraunhofer IST forscht daher an der Entwicklung verschiedener Dünnschichtsensoren, die Kraft-, Druck-, Dehnungs- oder Temperaturmessungen ermöglichen. Sogenannte »Smart Tools«, intelligente Werkzeuge mit erweiterten Funktionen, ermöglichen hochgenaue Messungen von Belastungen in vielfältigen industriellen Einsatzgebieten, steigern die Produktionseffizienz und tragen zur Erfüllung von erhöhten Sicherheitsanforderungen bei. So werden z. B. Module mit sensorischen Dünnschichtsystemen in Tiefziehanlagen und Antriebsmaschinen integriert, um eine effizientere Umformung und Bearbeitung von Bauteilen zu gewährleisten.

Nachhaltige Fabrikplanung

Eine nachhaltige Industrialisierung setzt eine Analyse von verschiedenen Lebenszyklen voraus. Das Fraunhofer IST arbeitet daher an einer zielorientierten und systemischen Fabrikplanung im Bereich der Batteriezellfertigung. Modellbasierte Planungen, Simulationen und Betrieb von Batterie-Produktionssystemen sind dabei wichtige Faktoren. Die Aktivitäten des Instituts decken den kompletten Lebenszyklus von Batteriesystemen ab – vom Rohstoff bis zum Batterierecycling – und konzentrieren sich gleichermaßen auf technische, ökonomische und ökologische Fragestellungen.

Innovation durch Simulation

Das Simulieren und das Modellieren von Beschichtungsprozessen bildet eine wichtige Grundlage für Innovationen. Basierend auf Daten aus einer am Fraunhofer IST durchgeführten Prozesssimulation konnte so z. B. ein »digitaler Zwilling« aufgebaut werden, der die Entwicklung hochkomplexer präzisionsoptischer Filtersysteme möglich machte.



SDG 12: Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster

Knapper werdende Rohstoffe machen die Entwicklung nachhaltiger Konsum- und Produktionsmuster zu einem wichtigen Ziel der UN.

Effizientere Nutzung von Ressourcen

Am Fraunhofer IST werden innovative Prozesse und Materialien entwickelt, die den Einsatz von Rohstoffen während der Produktion reduzieren. Kombinationsprozesse aus Atmosphärendruck-Plasmaverfahren und elektrochemischen Verfahren ermöglichen so beispielsweise das gezieltere Aufbringen von Materialien. Optimierte Hartstoff- und nanostrukturierte Schichtsysteme für Umform-, Schneid- oder Zerspanwerkzeuge erhöhen zudem die Standzeiten diverser Anlagen, was zu einer wirtschaftlicheren und somit ressourcenschonenderen Fertigung führt. Darüber hinaus spielt auch die Entwicklung neuer Materialien eine wichtige Rolle. Durch die Kombination bestehender Schichten und Grundkörper werden am Institut Werkstoffe mit neuen Eigenschaften realisiert.

Simulationsunterstützte Produktion

Einen weiteren Themenschwerpunkt des Fraunhofer IST stellt der Bereich Simulation und Modellierung dar. Simulationen ermöglichen immer kürzere Entwicklungszeiten, z.B. können durch die modellbasierte Auslegung und Implementierung von Beschichtungsprozessen hocheffiziente Produktionsketten realisiert werden. Durch die Kopplung spezifischer Simulationsmodelle werden darüber hinaus Wechselwirkungen zwischen Produkten und Produktionssystemen bewertbar und dadurch Einsparpotenziale sichtbar. Der Aufbau von cyber-physischen Produktionssystemen ermöglicht eine nachhaltigere Auslegung der Produktion. Durch die Nutzung sogenannter »digitalen Zwillinge« lassen sich Gestaltungsalternativen in Echtzeit analysieren.

Weniger Abfall

Recycling ist ein wichtiges Stichwort für die Arbeiten am Fraunhofer IST. Um das Abfallvorkommen zu verringern und gleichzeitig den umweltfreundlicheren Umgang mit Chemikalien zu fördern, arbeitet das Institut in den Bereichen Stoffentwicklung und -substitution. Beispiele sind die Entwicklung alternativer Materialien und Produktionsprozesse, mit dem Ziel diverse umweltschädliche Stoffe wie Indium-Zinn-Oxid (ITO) oder Chrom (VI) zu ersetzen.

MASCHINENBAU, WERKZEUGE UND FAHRZEUGTECHNIK



Im Geschäftsfeld »Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik« werden Schichtsysteme zur Reibungsminderung sowie zum Verschleiß- und Korrosionsschutz entwickelt und anwendungsorientiert optimiert. Dies umfasst den gesamten Prozess von der Reinigung und der Vorbehandlung durch Strukturierungs- und Diffusionsbehandlungen über die Schicht- und Prozessentwicklung inklusive der Analytik und Simulation bis hin zur Integration in die industrielle Anwendung. Mit einem umfangreichen Portfolio an Beschichtungs- und Behandlungsverfahren ist das Fraunhofer IST in industriellen sowie öffentlichen Projekten in vielfältigen Anwendungsgebieten tätig wie z. B.:

- DLC- und Hartstoffschichten für Motor-, Antriebs- und Lagerkomponenten
- Werkzeuge zur ökologisch und ökonomisch optimierten Verarbeitung von Leichtbauwerkstoffen wie z. B. Aluminium, Titan, höchstfeste Stähle, Polymere
- Hochkorrosions- und verschleißfeste Kohlenstoffschichtsysteme für Dichtungsanwendungen
- Beschichtung von Ur- und Umformwerkzeugen
- Oberflächen für Batterien und Brennstoffzellen
- Verschleißfeste Antihaft- und Antifouling-Beschichtungen für die Lebensmittel- und Pharmaindustrie

Die voranschreitende Digitalisierung von Produktionsprozessen und Produkten steht ebenfalls im Fokus der Forschungsaktivitäten des Fraunhofer IST. Sensorintegrierte Oberflächen ermöglichen eine direkte Erfassung verschiedenster Prozessparameter wie z. B. Temperatur, Kraft, Verschleiß und Position

in den Produktionsprozessen, und bilden die Grundlage zur durchgängigen Digitalisierung und Flexibilisierung autonomer Produktionsanlagen. Sogenannte »smarte« Werkzeugoberflächen bieten neue Möglichkeiten zur prädiktiven Wartung und damit zur Steigerung der Produktivität von Fertigungsprozessen.

Sensorische Oberflächen werden am Fraunhofer IST für die unterschiedlichsten sicherheitsrelevanten Anwendungsgebiete entwickelt und erfolgreich eingesetzt. Beispiele sind:

- Sensorische Unterlegscheiben für eine kontinuierliche Kraftüberwachung
- Druck- und Temperatur-Dünnschichtsensorik für hochbelastete Werkzeuge und Bauteile
- Magnetische Funktionsschichten für hochpräzise Positioniersysteme und magnetische Label

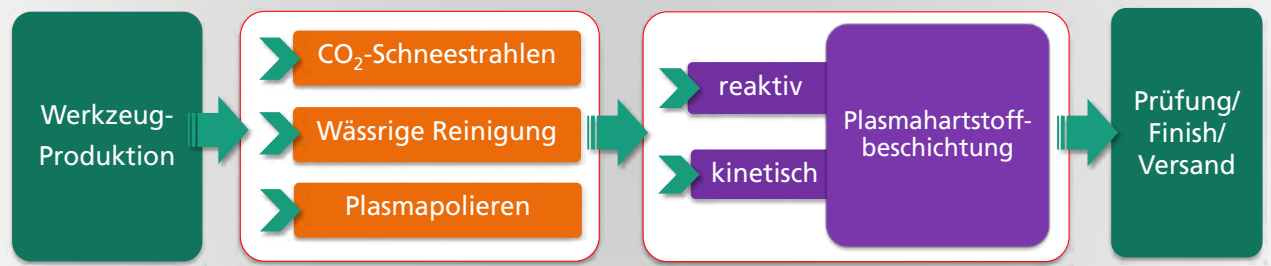
Darüber hinaus bietet die additive Fertigung von polymeren und metallischen Werkstücken vielseitige Ansatzpunkte für die Oberflächentechnik entlang der Prozesskette. Die Aktivitäten des Fraunhofer IST umfassen die Beschichtung von Pulvern zur Verbesserung ihrer Verarbeitung, den Einsatz atmosphärischer Plasmen im Druckprozess zur lokalen Optimierung der Bauteileigenschaften sowie die nachfolgende Oberflächenbehandlung zur Erzeugung von Funktionsflächen.

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

Königszapfen mit komplex geführten Leiterbahnen aus einer photolithographisch strukturierten 200 nm dünnen Chromschicht.

Geschäftsfeldbezogene Nachhaltigkeitsziele





1

OPTIMIERTE REINIGUNGSKETTE FÜR DIE PLASMABESCHICHTUNG VON WERKZEUGEN

Bei der Produktion von Zerspanungswerkzeugen entstehen Oberflächen- und Randschichtzustände, die für eine nachfolgende Beschichtung eine möglichst effiziente Reinigungsprozedur erfordern. Um neben der Vermeidung entsprechend aggressiver nasschemischer Reiniger auch weitere technologische Vorteile zu generieren, war das Fraunhofer IST in einem DBU-Verbundprojekt gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung erfolgreich an der Erarbeitung und Evaluierung einer alternativen Reinigungsprozesskette beteiligt.

Die Reinigungsprozesskette

Die entwickelten Kombinationen aus aufeinander abgestimmten Vorbehandlungsprozessen ermöglichen eine hohe Reinigungswirkung bei deutlich reduzierter Umweltbelastung. Gleichzeitig sind zusätzliche technologische Funktionen wie die Einstellung der Schneidkantenometrie bei geometrisch komplexen Zerspanungswerkzeugen möglich. Dies ergibt eine wirtschaftliche Alternative zu herkömmlichen Reinigungsprozessen.

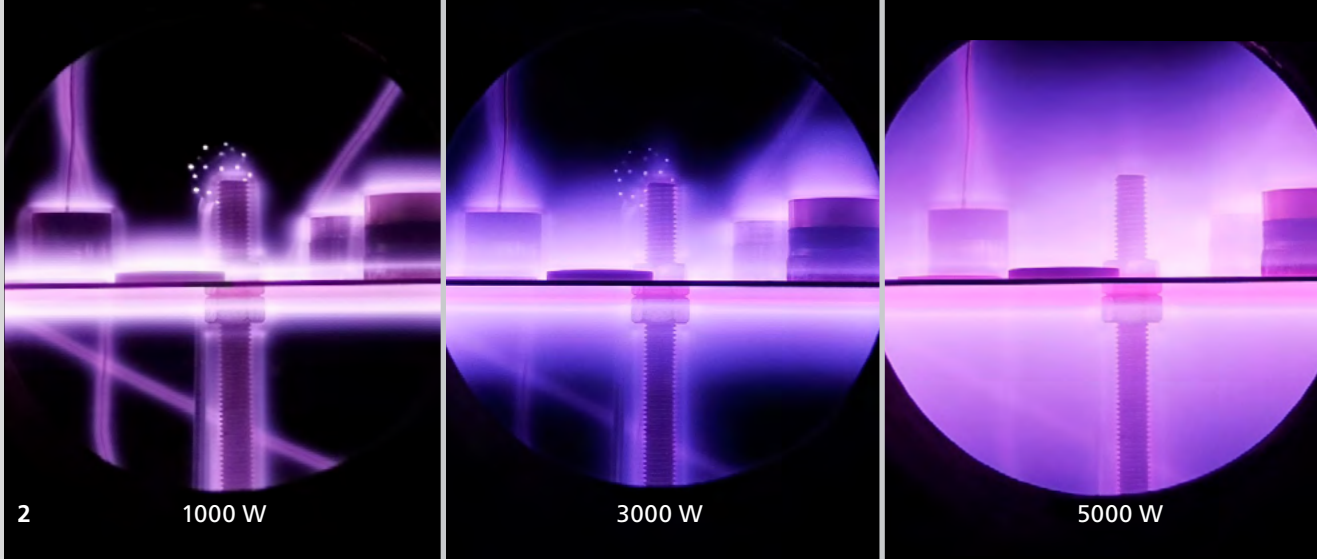
Um die Prozesssicherheit der in der Produktion nachfolgenden Vakuumbeschichtungsprozesse zu steigern, wurden folgende Einzelverfahren in unterschiedlicher Verkettung untersucht und mithilfe von Zerspanungsversuchen evaluiert:

- Wässrige zweistufige Reinigung mit biologisch abbaubaren Reinigern
- CO₂-Trockenschneestrahlen für die lokale rückstandsfreie Reinigung
- Plasmaelektrolytisches Polieren mit umweltverträglichen Medien
- Plasmafeinreinigung im Vakuum mit neuartigen Generatorkonzepten

Die einzelnen Verfahren

Als Weiterentwicklung des State of the Art in der Produktion wurde für das wässrige Reinigungsverfahren ein zweistufiges Reinigungskonzept so gewählt, dass der größtmögliche Effekt mit der kleinstmöglichen Einsatzmenge erreicht wird. Die intelligente Wirkstoffkombination hält die pH-Werte der eingesetzten wässrigen Reiniger in einem moderaten neutralen Bereich und lässt sich biologisch abbauen. Das Arbeiten mit dem auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigten CO₂-Schneestrahl ermöglicht die effiziente und schonende Entfernung partikulärer und filmischer Verunreinigungen wie u. a. Staub, Rückstände von Polierpasten, Öle oder Schneidemulsionen. Dieses Verfahren kann automatisiert und lokalisiert für die Reinigung schwer zu erreichender Geometriebereiche eingesetzt werden.

Beim Plasmaelektrolytischen Polieren (PEP) wird das zu behandelnde Bauteil in einem Elektrolyt aus nichttoxischen Salzen und Wasser durch Anlegen einer Spannung von einigen 100 V gereinigt und poliert. Neben sehr guten Reinigungsergebnissen werden Grate und Verunreinigungen im gleichen Prozessschritt entfernt. Außerdem lassen sich die Schneidkantenradien der Werkzeuge gezielt einstellen.



1 Schematische Verfahrenskette ÖkoClean.

2 Plasmafeinreinigung mit gepulsten Plasmen bei unterschiedlichen Plasmaleistungen.

Für den letzten Schritt der Vorbehandlung wird die Substratoberfläche unter Vakuumbedingungen mittels plasmachemischer und plasmaphysikalischer Prozesse von jeglichen chemischen Verbindungen von der Mikro- bis 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, Beschleunigungsspannungen und Plasmaleistung modifiziert werden können (vgl. Abb. 2).

Vergleich der einzelnen Reinigungsverfahren

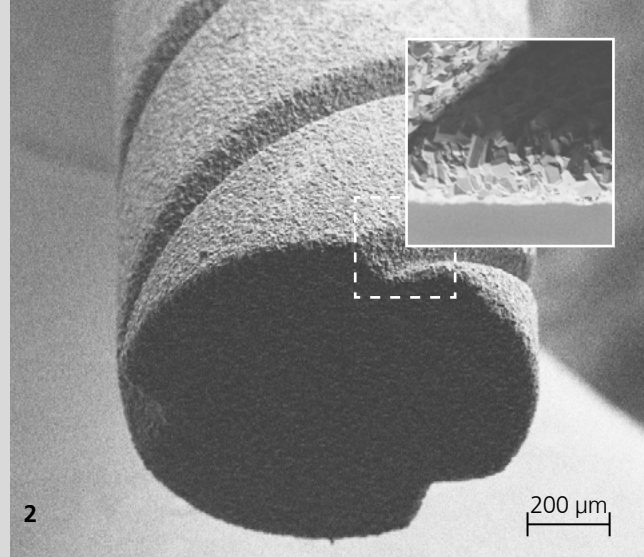
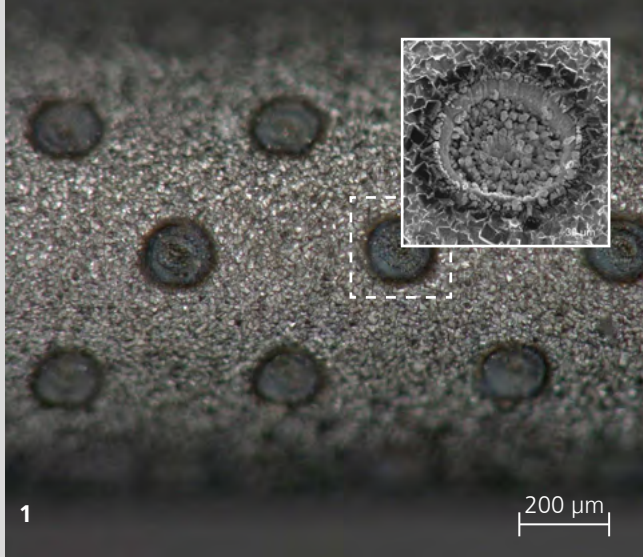
In der Entwicklung der Verfahrenskette wurden verschiedene Einzelverfahrenskombinationen an künstlich verschmutzten Zerspanwerkzeugen appliziert. Um eine bestmögliche Vergleichbarkeit herzustellen, wurde dazu eine synthetische Referenzverschmutzung aus Ölen, Fetten, Partikeln und Suspensionen der relevanten Fertigungskette entwickelt. Vor der Evaluierung wurden die Werkzeuge bezüglich Schneidkantenradien und Oberflächenrauheit sowie die Schichthaftung qualifiziert. Die maximale Standzeit der Werkzeuge wurde dann in einer Zerspanungsuntersuchung bestimmt.

Eine Bewertung der Ergebnisse zeigt den direkten Einfluss der Einzelverfahren in der jeweiligen Kette:

- Jegliche Reinigungsketten ohne Plasmafeinreinigung zeigten eine deutlich geringere Schichthaftung und Standzeit als Chargen mit integrierter Plasmafeinreinigung.
- Die optimierte wässrige Reinigung hat in der Verkettung keinen weiteren Einfluss, ist als Einzelverfahren aber mindestens so gut wie die Referenz.
- CO₂-Strahlen besitzt den technologischen Vorteil der lokal fokussierten Reinigungsmöglichkeit.
- Beim PEP können neben der Entfernung starker Verschmutzungen auch Schneidkantenradien eingestellt werden.
- Die Verkettung von PEP mit CO₂-Strahlen zeigt insgesamt die höchste Relevanz bezüglich der industriellen Nutzbarkeit. Die Reihenfolge zeigt dabei keinen signifikanten Einfluss.

KONTAKT

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



CVD-DIAMANT-MIKROSCHLEIFSTIFTE MIT OBERFLÄCHENSTRUKTURIERUNG

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) der TU Braunschweig wurden am Fraunhofer IST neuartige CVD-Diamant-Mikroschleifstifte für besonders anspruchsvolle Schleifoperationen entwickelt, bei denen es auf besondere Präzision und höchste Oberflächengüten ankommt. Die Neuheit des vorgestellten Werkzeugkonzepts besteht darin, dass eine polykristalline CVD-Diamantschicht als Schleifbelag eingesetzt wird. Zusätzlich sind in die Werkzeugoberfläche Strukturen eingebracht, um weitere Spanräume zu schaffen und durch verbesserte Kühlschmierstoffversorgung die Leistungsfähigkeit der Werkzeuge noch weiter zu erhöhen.

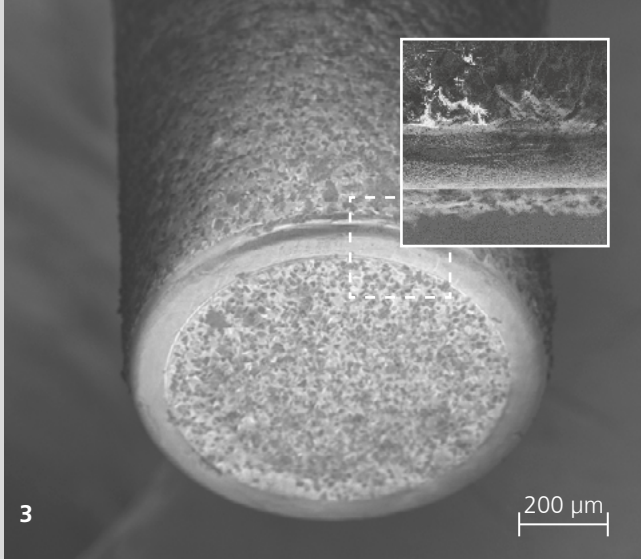
CVD-Diamant als High-Tech-Schleifbelag

Mit Heißdraht-CVD hergestellte polykristalline Diamantschichten sind aufgrund ihrer Materialeigenschaften und intrinsischen Oberflächentopographie ein unübertroffen verschleißfester Schleifbelag mit extrem scharfen und schnittfreudigen Mikroschneiden, die die gesamte Werkzeugoberfläche lückenlos bedecken. Im Unterschied zu konventionellen binderbasierten Diamant-Schleifbelägen besteht der Schleifbelag komplett aus Diamantkristallen mit sehr uniformer Größenverteilung. Es lassen sich ohne Einbußen bei den Bindungskräften auch beliebig feine Körnungen realisieren. Infolgedessen eignen sich CVD-Diamantschleifbeläge bestens für Schleifoperationen, bei denen es auf höchste Präzision und Qualität der Werkstückoberflächen mit niedriger Rauheit und reduzierter Randzonenschädigung ankommt. Der Nachteil von derart feinen Schleifbelägen war bisher, dass die CVD-Diamantschicht nur wenig Räume für den Transport von Kühlschmierstoff und die Aufnahme von Spänen bereitstellt. Der Lösungsansatz des Fraunhofer IST besteht darin, durch Einbringen von

Spiralnuten oder näpfchenförmigen Vertiefungen zusätzliche Spanräume und Schmieraschen zu schaffen und dadurch das Leistungsvermögen von CVD-Diamantschleifbelägen noch weiter zu verbessern.

Konzepte für zusätzliche Strukturierung

Es wurden zwei grundsätzlich verschiedene Konzepte zur Einbringung von Zusatzstrukturen realisiert und untersucht. Die eine bestand darin, durch Verwendung eines Nd:YAG-Festkörperlasers nach der Diamantbeschichtung Strukturen in die bereits fertige Diamantschicht einzubringen. Dieses Verfahren erlaubt das praktisch wahlfreie Einbringen nahezu beliebiger Strukturen und funktioniert selbst bei Schleifstiftdurchmessern von 0,2 mm und darunter (vgl. Abb. 1). Der zweite Weg bestand darin, den Hartmetallgrundkörper durch das Einschleifen von z. B. Spiralnuten zu strukturieren und anschließend die CVD-Diamantschicht aufzubringen (vgl. Abb. 2). Beide Strukturierungsvarianten wurden erfolgreich umgesetzt.



1 CVD-Diamantschleifstift nach Laserstrukturierung.

2 CVD-Diamantschleifstift mit geschliffenen Spiralnuten nach Bearbeitung von Zirkonoxidkeramik.

3 Konventioneller Diamantschleifstift mit galvanischer Bindung (D15) nach Bearbeitung von Zirkonoxidkeramik mit an der Spitze komplett verschlissenen Schleifbelag.

Erreichte Verbesserungen

Die neuartigen strukturierten CVD-Diamantschleifstifte wurden erfolgreich für die Bearbeitung von Quarzglas, Zirkonoxidkeramik und 100Cr6-Wälzlagerstahl eingesetzt. Im Vergleich zu galvanisch gebundenen Diamantschleifstiften mit Körnung D15 war die Rauheit der bearbeiteten Oberflächen jeweils signifikant verbessert. Auch bei Versuchsparametern, bei denen es bei den konventionellen Diamantschleifstiften bereits zu erheblichem Verschleiß besonders im Bereich der Werkzeugspitzen kam, zeigte sich bei den strukturierten CVD-Diamantwerkzeugen noch keinerlei Anzeichen von Verschleiß (vgl. Abb. 2 und 3). Die Arbeiten dauern zurzeit noch an. Aktuell werden die strukturierten CVD-Diamantwerkzeuge von mehreren Unternehmen aus dem projektbegleitenden Ausschuss im industriellen Einsatz erprobt. Der Einsatz des beschriebenen Konzepts ist nicht auf Mikrowerkzeuge beschränkt, sondern kann in analoger Weise auch auf andere Schleifkörper übertragen werden.

Das Projekt

Gefördert durch:

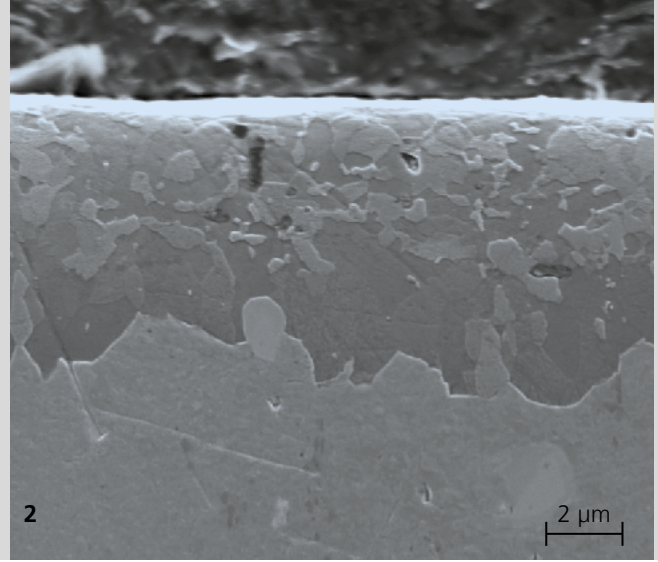
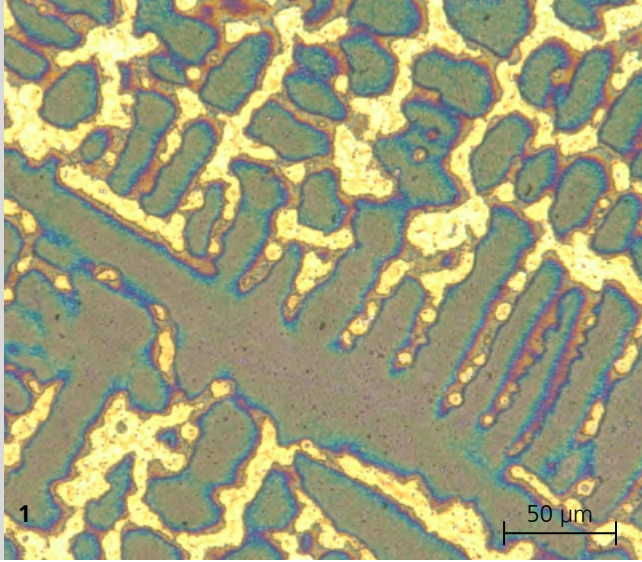


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das Projekt wurde gefördert unter der Zuwendungsnummer 19664 N im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags.

KONTAKT

Dr. Markus Höfer
Telefon +49 531 2155-620
markus.hoefer@ist.fraunhofer.de



RANDSCHICHTBEHANDLUNG VON HOCHTEMPERATURWERKSTOFFEN

Der Einsatz von Hochtemperaturwerkstoffen wie Nickel-, Molybdän- oder Cobalt-Chrom-Basislegierungen ist für viele Anwendungen unabdingbar. Dies betrifft z. B. thermisch hochbelastete Umformwerkzeuge oder Komponenten für den Motoren- und Turbinenbau. Die Werkstoffe erfüllen zwar meist die Anforderungen an die Festigkeit, in vielen Fällen sind das Reibungs- und Verschleißverhalten aber unbefriedigend. Am Fraunhofer IST wurden daher Randschichtbehandlungen entwickelt, die das Reibungs- und Verschleißverhalten dieser Werkstoffe signifikant verbessern.

Anwendung von Hochtemperaturwerkstoffen im Werkzeugbau

Eine wesentliche Anwendung der genannten Hochtemperaturwerkstoffe sind Umformwerkzeuge für die Warmumformung von hochfesten Titanlegierungen und Titanaluminiden. Bei Temperaturen bis zu 1200 °C werden daraus Komponenten für den Turbinen- und Motorenbau sowie die Medizintechnik hergestellt. Die Werkzeuge müssen bei Umformtemperatur eine höhere Festigkeit als die umzuformenden Werkstoffe bei niedriger Reibung aufweisen und gleichzeitig eine ausreichende Verschleißbeständigkeit gewährleisten, um eine wirtschaftliche Fertigung zu ermöglichen.

Die Randschichtbehandlung

Eine Möglichkeit, die Härte und Verschleißbeständigkeit metallischer Werkstoffe zu erhöhen, sind Diffusionsverfahren wie das Nitrieren und Borieren. Dabei diffundieren Stickstoff oder Bor in den Werkstoff und verändern die Werkstoffeigenschaften in der Randzone. Voraussetzungen dafür sind, dass Stickstoff oder Bor in geeigneter reaktiver Form an der Oberfläche bereitgestellt werden, in den Werkstoff eindringen können und die Temperatur hoch genug ist, um eine Diffusion zu ermöglichen. Abhängig vom zu behandelnden Werkstoff und den Prozessparametern können dabei Verbindungsschichten und Ausscheidungen entstehen, die zu einer Randschicht-

härtung führen. Beim Nitrieren erfolgt die Bereitstellung des reaktiven Stickstoffs überwiegend aus der Gasphase, häufig mit Plasmaunterstützung. Beim Borieren werden bis heute fast ausschließlich pulver- oder pastenförmige Spendermedien verwendet. Die Rückstände müssen nach dem Prozess aufwendig entfernt werden. Für Stahlwerkstoffe sind diese Nitrier- und Borierv Verfahren Stand der Technik. Vereinzelt werden auch Nickelbasiswerkstoffe mit pulver- oder pastenförmigen Spendermedien boriert.

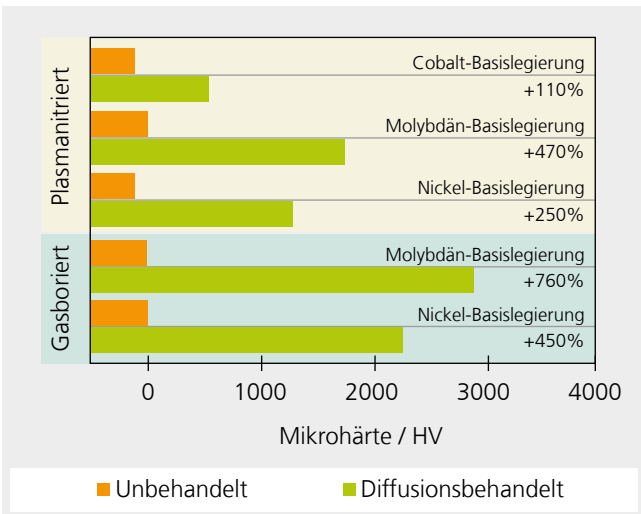
In einem Fraunhofer internen Forschungsprojekt wurde die Anwendung von Plasmanitrierprozessen und eines am Fraunhofer IST neu entwickelten Gasborierprozesses zur Randschichtbehandlung von Nickel-, Molybdän- oder Cobalt-Chrom-Basislegierungen untersucht. Für jeden der Werkstoffe konnten geeignete Behandlungsparameter identifiziert werden, bei denen sich gut haftende Randschichten mit hoher Härte ausbilden. Durch eine anschließende Wärmebehandlung können deren Eigenschaften in vielen Fällen weiter verbessert werden. Abbildung 2 zeigt die sich ausbildende Randschicht am Beispiel eines gasborierten Molybdänbasiswerkstoffs.

Testverfahren

Die Probenhärte wurde mit einem Mikrohärtemessgerät der Firma Fischer ermittelt. Dabei wird eine sehr kleine Prüflast verwendet, mittels der sich die Härte von dünnen Schichten



3



orts aufgelöst messen lässt. Zur Bewertung des Reibungs- und Verschleißverhaltens der randschichtbehandelten Hochtemperaturwerkstoffe steht am Fraunhofer IST ein Hochtemperaturtribometer zur Verfügung, mit dem bei Temperaturen bis 1000 °C Stift-Scheibe-Versuche unter definierter Schutzgasatmosphäre oder Umgebungsluft in verschiedenen Lastbereichen durchgeführt werden können. Bewertet werden der Reibwert, der auftretende Verschleiß und die ggf. auftretenden chemischen und strukturellen Veränderungen an den Werkstoffen.

Das Ergebnis

Sowohl bei Nickel-, Molybdän- als auch Cobalt-Chrom-Basislegierungen konnten durch angepasste Plasmanitrier- oder Gasborierprozesse beträchtliche Härtesteigerungen in der Randzone erzielt werden. Bei gasborierten Nickel- und Molybdänbasislegierungen konnte die Härte auf 2500 bis 3500 HV gesteigert werden. Gleichzeitig wurde der Reibwert gegenüber hochfesten Titanlegierungen und Titanaluminiden bei Umformtemperatur um bis zu 80 % gesenkt. Materialanhaftungen, bei unbehandelten Umformwerkzeugen eine der Hauptausfallursachen, konnten vollständig vermieden werden. Anwendungsversuche bei der Warmumformung von Titanaluminiden für die Herstellung von Turbinenschaufeln sind in Vorbereitung.

1 Gefüge einer Cobalt-Chrom-Basislegierung.

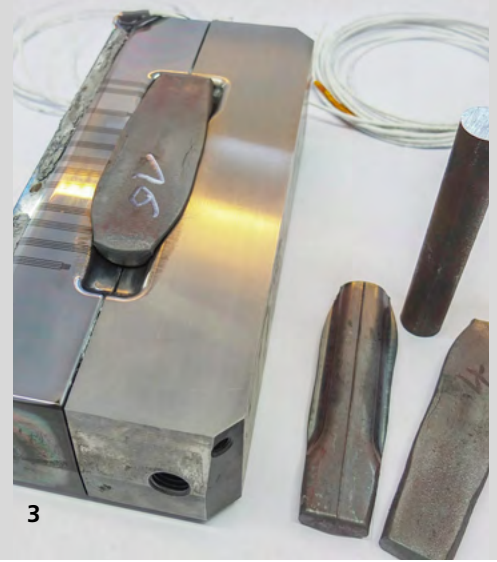
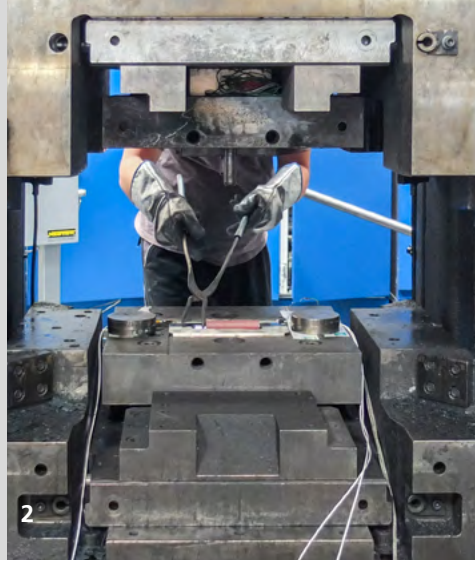
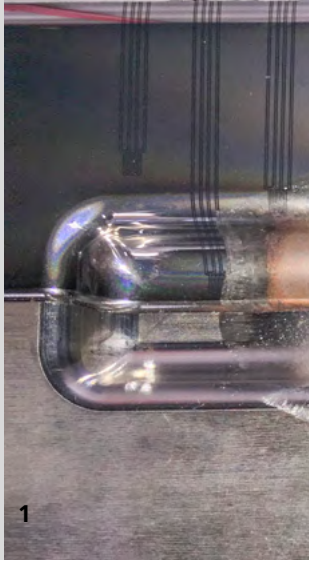
2 Querschliff einer randschichtbehandelten Molybdänbasislegierung.

3 Hochtemperaturtribometer für Reibungs- und Verschleißtests bis 1000 °C.

KONTAKT

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

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



ROBUSTE THERMORESISTIVE SENSORIK FÜR DIE HALBWARMUMFORMUNG

Für ein besseres Verständnis von Werkzeugverschleißprozessen in der Halbwarmumformung müssen die realen Temperaturverteilungen auf der Werkzeugo­berfläche während des Umformprozesses erfasst werden. Um diese zu ermitteln, wird am Fraunhofer IST ein Schmiedegesenk mit einem thermoresistiven und zugleich verschleißbeständigen Dünnschichtsystem beschichtet (vgl. Abb. 1), das in direktem Kontakt mit dem glühenden Stahlrohling die Temperaturverteilung in der Form misst.

Aufbau des Schichtsystems

Das sensorische Schichtsystem wird auf eine Werkzeughälfte abgeschieden (vgl. Abb. 1–3). Vor der Grundbeschichtung mit einer ca. 4,5 µm dicken Aluminiumoxidschicht (Al_2O_3) wird die Werkzeugo­berfläche poliert, sodass sie eine gemittelte Rautiefe im Bereich von 0,1 µm aufweist. Darauf wird eine 0,2 µm dünne Chromschicht homogen abgeschieden. Mittels Photolithographie und anschließender nasschemischer Ätzung werden die mäanderförmigen Sensorstrukturen in unterschiedlichen Bereichen des Werkzeugs angeordnet (vgl. Abb. 4). Diese Dünnschichtsensoren, deren Leiterbahnen vom Umformbereich über komplexe Konturen in den unbelasteten Kontaktierungsbereich verlaufen, werden mit einer zweiten 3 µm dicken elektrisch isolierenden und vor Verschleiß schützenden Al_2O_3 -Schicht versehen.

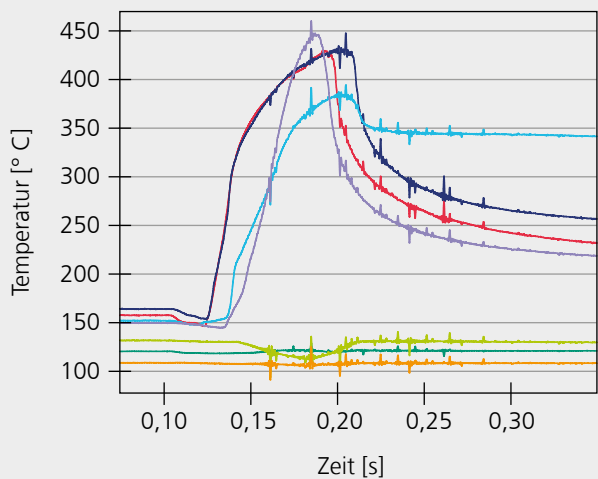
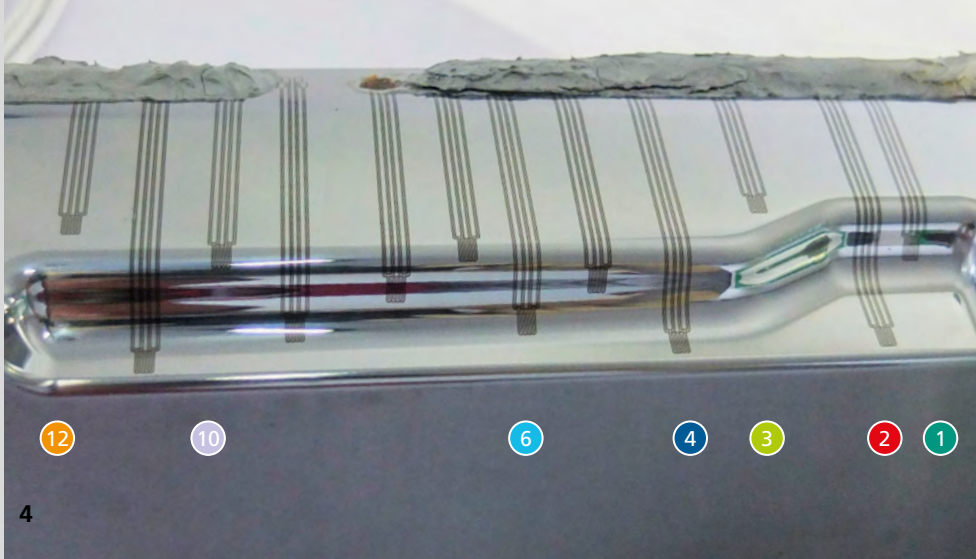
Messungen im Halbwarmprozess

Abbildung 2 zeigt das in eine Presse eingebaute sensorische Schmiedegesenk mit dem glühenden Stahlrohling für die Halbwarmumformung. In Abbildung 3 wird die Position

des umgeformten Werkstücks in dem Gesenk nachgestellt. Die einzelnen Sensorstrukturen messen in Vierleitertechnik orts aufgelöst die Temperaturverteilung. Ein entsprechender Messverlauf ist in nebenstehender Grafik dargestellt. Dabei wurden als Prozessparameter eine Kraft von 2600 kN und eine Anschlaghöhe von 32,5 mm gewählt.

Das Projekt

Diese Ergebnisse wurden innerhalb des von der Deutschen Forschungsgesellschaft geförderten Projekts »Untersuchungen zur Vorformung von Stahl im Halbwarmtemperaturbereich mit modifizierten kohlenstoffbasierten Schichtsystemen« (Fördernummer BR 2178/42-1) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH (IPH) und dem Institut für Oberflächentechnik IOT in Braunschweig erzielt.



■ Sensor 1 ■ Sensor 2 ■ Sensor 3 ■ Sensor 4
■ Sensor 6 ■ Sensor 10 ■ Sensor 12

Charakteristische Temperaturverläufe der einzelnen Sensorstrukturen für einen Umformprozess (vgl. Abb.4).

1 Zweiteiliges Umformwerkzeug, welches auf der oberen Hälfte mit dem thermoresistiven Dünnschichtsystem beschichtet ist.

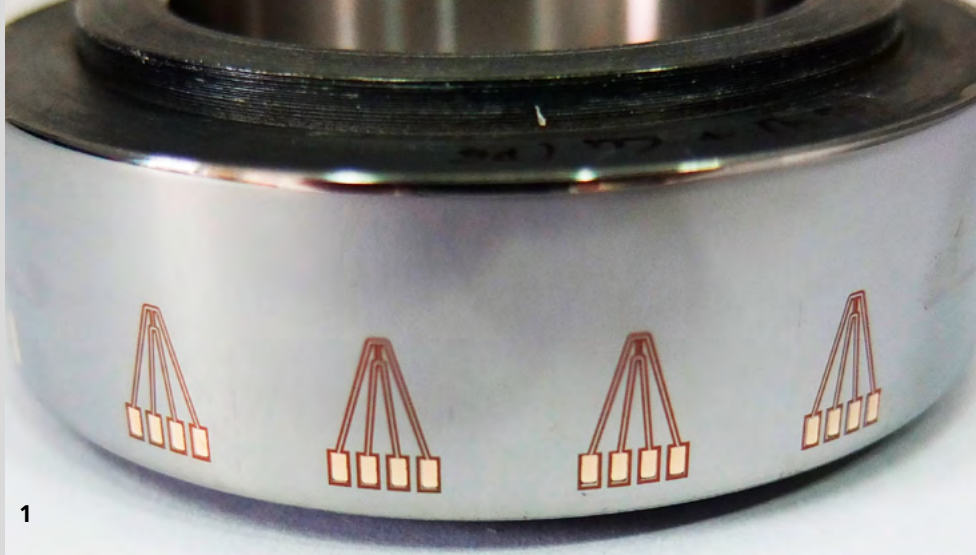
2 Presse mit eingebautem sensorischen Schmiedegesenk. Ein glühender Stahlrohling liegt bereits in direktem Kontakt mit der Dünnschichtsensorik.

3 Nachgestellte Kontaktsituation nach dem Umformprozess.

4 Anordnung der mäanderförmigen Sensorstrukturen auf dem Schmiedegesenk.

KONTAKT

Marcel Plogmeyer, M.Sc.
 Telefon +49 531 2155-661
 marcel.plogmeyer@ist.fraunhofer.de



DÜNNSCHICHTSENSORIK ZUR TEMPERATURMESSUNG IM MISCHREIBUNGSKONTAKT

Zur Optimierung von teil- oder vollgeschmierten Tribosystemen ist die Kenntnis der Temperatur im Schmerspalt wichtig. Um die Fresstragfähigkeit von Verzahnungen besser auslegen zu können, muss die Temperatur im mischreibungsbeanspruchten Zahnflankenkontakt gemessen werden. Dazu eignen sich sensorische Dünnschichtsysteme, die allerdings in diesen Kontaktzonen sehr hohem Verschleiß ausgesetzt sind. Im Rahmen eines AiF-Forschungsvorhabens (Nr. 19330 BG) entwickelt das Fraunhofer IST daher gemeinsam mit Partnern eine verschleißfeste Dünnschichtsensorik zur langzeitstabilen Messung von Temperaturen in mischreibungsbeanspruchten Zahnflankenkontakten.

Schichtsystem mit integrierten Temperatursensorstrukturen

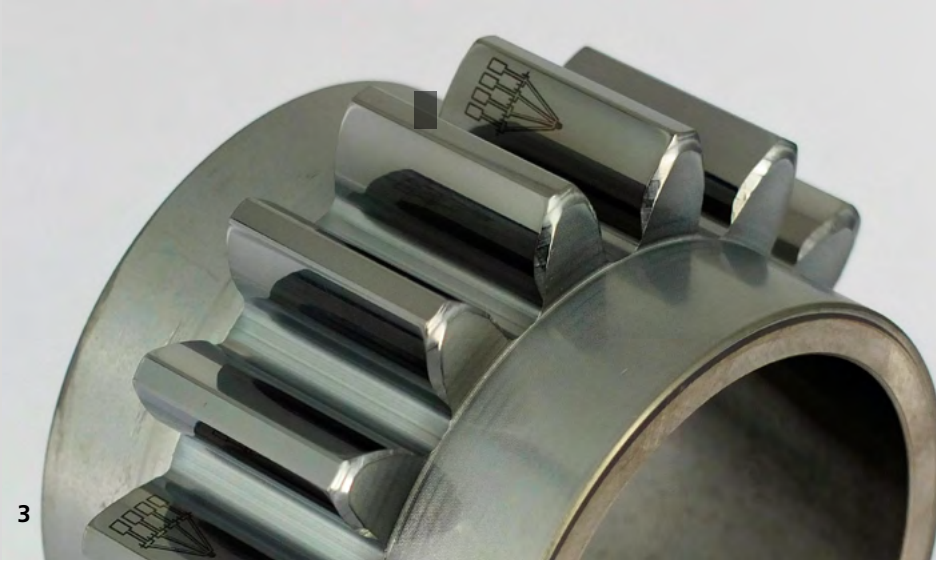
Das Dünnschichtsystem wird direkt auf polierten Oberflächen von Stahllingen und Zahnradflanken (R_z -Wert von $0,1\text{ }\mu\text{m}$) aufgebaut. Als Grundsicht wird Aluminiumoxid (Al_2O_3) als elektrische Isolationsschicht in einer Dicke von $4\text{--}6\text{ }\mu\text{m}$ homogen abgeschieden. Im Anschluss werden die Proben mit 200 nm dickem Chrom beschichtet, das in einer Kombination aus Photolithographie und nasschemischer Ätzung strukturiert wird. Ein Stahlling mit Sensorstrukturen ist in Abbildung 1 dargestellt, ein Zahnrad in Abbildung 3. Die minimale Strukturbreite konnte im Laufe des Projekts stark verringert werden und beträgt $10\text{ }\mu\text{m}$ (vgl. Abb. 2 und 4), wodurch eine hohe Ortsauflösung und Sensitivität der Sensoren erreicht wird. Abschließend wird als Isolations- und Verschleißschutzschicht eine $1\text{--}2\text{ }\mu\text{m}$ dicke SiCON®-Schicht aufgebracht, eine mit Silizium und Sauerstoff modifizierte amorphe Kohlenwasserstoffschicht (a-C:H:Si:O). Damit weist das Dünnschichtsystem eine Dicke von weniger als $10\text{ }\mu\text{m}$ auf.

Charakterisierung der Sensorstrukturen

Zur Aufnahme der thermoresistiven Widerstandskennlinien werden die Sensoren in einer sogenannten Vier-Leiter-Schaltung vermessen, d. h. über zwei Zuleitungen wird ein konstanter Strom angelegt und über zwei weitere Leitungen wird die über den Sensor abfallende Spannung gemessen. Der Sensorwiderstand berechnet sich dann nach dem Ohmschen Gesetz. Während der Messung befinden sich die Proben in einem Ofen und werden zunächst auf ca. $170\text{ }^\circ\text{C}$ erwärmt und im Anschluss wieder auf Raumtemperatur abgekühlt. Die Widerstände der einzelnen Sensorstrukturen weisen die für metallische Strukturen erwartete lineare Abhängigkeit von der Temperatur auf.

Temperaturmessungen im Mischreibungskontakt

Die Funktionalität der Dünnschichtsensoren sowie ihre Verschleißfestigkeit werden in Versuchsreihen unter Mischreibungsbedingungen getestet. In der nebenstehenden Grafik ist eine Beispielmessung der Temperaturerhöhung bei Überrollung des Sensors dargestellt.



1-2 *Stahling mit Sensorstrukturen (1) und Mikroskopaufnahme der 10 µm dicken Sensorstruktur (2).*

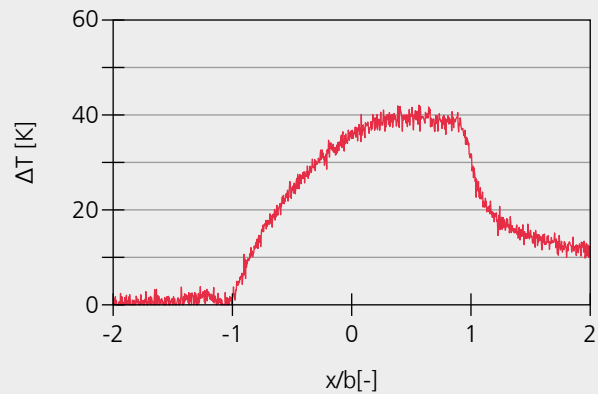
3-4 *Zahnradflanken mit Sensorstrukturen (3) und Mikroskopaufnahme der 10 µm dicken Sensorstruktur (4).*

Ausblick

Zukünftig soll das Sensorsystem so weiterentwickelt werden, dass auch Drücke und Spalthöhen bestimmt werden können. Ein solches multisensorisches Dünnschichtsystem könnte in einem nächsten Schritt auch in anderen mischreibungsbeanspruchten Kontakten wie in Wälzlagern, Gleitlagern oder Dichtungen zum Einsatz kommen, wobei entweder alle drei Größen – Temperatur, Druck und Spalthöhe – oder auch nur einzelne gemessen werden können.

Das Projekt

Die beschriebenen Ergebnisse wurden innerhalb des FVA-Projekts 789 I Sensorik für Mischreibung mit dem Thema »Entwicklung einer robusten Dünnschichtsensorik zur Messung der Temperatur in mischreibungsbeanspruchten thermo-elastohydro-dynamischen Kontakten« erzielt, an dem das Fraunhofer IST gemeinsam mit dem Institut für Maschinenkonstruktion (IMK) der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg arbeitet. Das Projekt ist gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags sowie der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF, Fördervorhaben Nr.: 19330BG) und hat eine Laufzeit vom 1.2.2017 bis 30.10.2019.



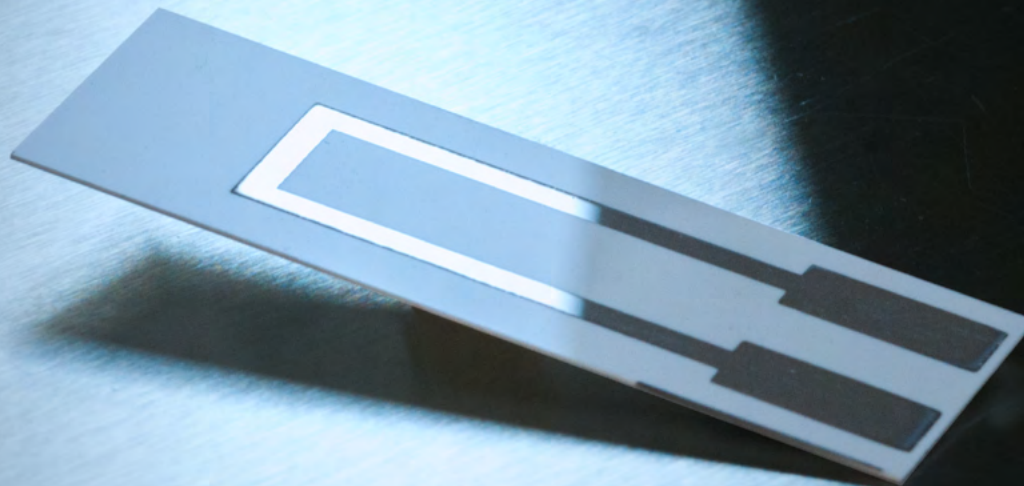
Versuchsbedingungen

Summengeschwindigkeit	2 m/s
Schlupf	40 %
Normalkraft	1,5 kN
Ölzuführtemperatur	40 °C

Gemessene Temperaturerhöhung im Mischreibungskontakt.

KONTAKT

Marcel Plogmeyer, M.Sc.
 Telefon +49 531 2155-661
 marcel.plogmeyer@ist.fraunhofer.de



MATERIALIEN FÜR HOCHTEMPERATUR-DMS

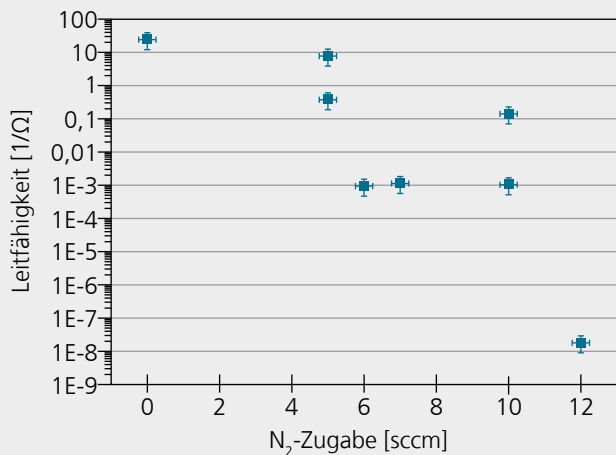
Dehnungsmessstreifen (DMS) erfassen Materialverformungen des Bauteils, an dem sie angebracht sind und ermöglichen damit die Anzeige von (kritischen) Kräften, Momenten und anderen mechanischen Beanspruchungen im Betrieb. Konventionelle DMS stoßen aber bei höheren Temperaturen etwa zwischen 200 und 400 °C an ihre Grenzen: Geklebte Systeme mit Trägerfolien sind hier nicht mehr einsetzbar und auch direkt aufgebrachte dehnungsempfindliche Filme wie z. B. Sputter-DMS sind schwer zu realisieren. Temperaturkoeffizienten der Schichten überlagern das Dehnungssignal und durch Oxidation ist ein kontinuierliches Ansteigen der Messwerte zu beobachten. Daher werden am Fraunhofer IST derzeit neue Ansätze für dehnungsempfindliche, temperaturbeständige Dünnschichtmaterialien erforscht.

Beispiel: Leitfähige Nitride, hergestellt mittels Gasfluss-Sputtern

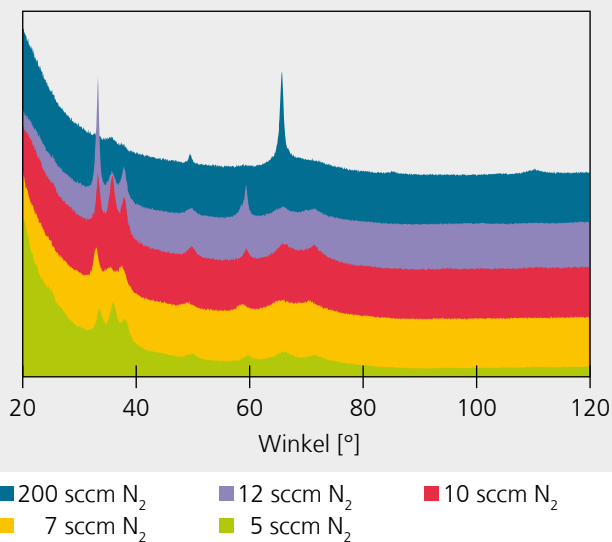
Angeregt durch Publikationen aus der universitären Forschung ist das leitfähige Aluminiumnitrid (AlN) am Fraunhofer IST in den Fokus gerückt. Aluminiumnitrid ist schon länger als piezoelektrisches Material bekannt. Stöchiometrisches AlN ist chemisch beständig, hochtemperaturstabil, aber auch elektrisch isolierend. Unter besonderen Bedingungen kann es mittels Gasfluss-Sputtern jedoch auch leitfähig abgeschieden werden – eine Voraussetzung für den Einsatz von AlN in der piezoresistiven Dehnungsmessung. Beim reaktiven Gasfluss-Sputtern findet – im Unterschied zum Magnetron-Sputtern – keine sogenannte Hysterese statt, d. h. keine Wechselwirkung zwischen dem metallischen Sputterprozess und der Reaktivgaszugabe. Insofern können ausgesprochen stabile reaktive Sputterprozesse realisiert werden. Zwischen der isolierenden Phase und der aluminiumreichen, metallischen Phase kann abhängig von der Zugabe des Reaktivgases während des Sputterprozesses, z. B. Stickstoff, ein besonders interessanter nichtstöchiometrischer Übergangsbereich (AlN_x) eingestellt werden.

Die Ergebnisse

AlN_x-Schichten mit unterschiedlicher Stickstoffzugabe wurden jeweils 2 Mikrometer dick auf isolierenden Oberflächen abgeschieden. Die elektrische Leitfähigkeit der Schichten konnte über acht Größenordnungen variiert werden (vgl. Abb. 1). Auch die chemische Zusammensetzung der Schichten, die Mikrostruktur und die kristallographischen Eigenschaften wurden bestimmt. Erwartungsgemäß zeigten diejenigen Proben die höchste Leitfähigkeit und den größten Aluminium-Überschuss, die mit der geringsten Stickstoffzugabe hergestellt wurden. Allerdings wurde mittels Röntgenbeugung nachgewiesen, dass auch bei den geringsten Stickstoffzugaben die hexagonale AlN-Phase die vorherrschende Phase der Schichten ist (vgl. nebenstehende untere Grafik). Die gemessenen Korngrößen nehmen mit geringerer Stickstoffzugabe ab. Eine metallische Aluminiumphase war indes nicht nachweisbar. Als Erklärung bietet sich ein Strukturmodell an, in dem überschüssiges Aluminium in einer AlN-Matrix fein verteilt, quasi als Dotierstoff vorliegt.



Elektrische Leitfähigkeit (logarithmisch) von AlN_x -Schichten als Funktion der Stickstoffzugabe.



Röntgenbeugungsmessungen an AlN_x -Schichten zeigen in allen Fällen die hexagonale Aluminiumnitridphase, jedoch mit unterschiedlichen Vorzugsorientierungen.

1 Vereinfachte Dehnmessstreifen-Struktur zur Bestimmung des k -Faktors und des Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstands (TCR).

Ausblick und Anwendungen

Die vorliegenden Ergebnisse stellen nur eine Zwischenbilanz der fortlaufenden Entwicklung dar. Derzeit wird untersucht, wie sich ein nachgelagerter Temperschritt im Vakuumofen auf die thermische Stabilität und die Leitfähigkeit der Schichten auswirkt. Im Fall einer erfolgreichen Entwicklung können Sputter-DMS zukünftig auch auf stark thermisch belasteten Bauteilen wie Kompressorschaukeln in Gas- oder Flugtriebwerken eingesetzt werden.

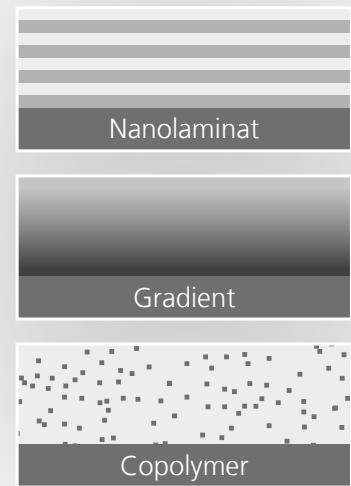
KONTAKT

Dr. Kai Ortner
Telefon +49 531 2155-637
kai.ortner@ist.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Holger Gerdes
Telefon +49 531 2155-576
holger.gerdes@ist.fraunhofer.de



1



2

NEUARTIGE KOMPOSITSCHICHTEN MITTELS ATMOSPHÄRISCHER PECVD

Derzeit werden Laminierplatten, beispielsweise bei der Herstellung von Dokumenten wie Pässen, Führerscheinen, nationalen Ausweisen und Bankkarten eingesetzt. Der Trend, immer mehr Funktionen und Merkmale auf solche Karten zu integrieren, führt jedoch zu steigenden Anforderungen an den Laminiervorgang bzw. an immer feiner werdende Strukturen. Gewünscht sind nm-dicke und lediglich μm -breite Strukturen auf der Folie. Diese können derzeit jedoch nicht hergestellt werden, da die Haftung zwischen Substrat und Laminierwerkzeug zu hoch ist, was dazu führt, dass Teile des Polymers nach dem Laminiervorgang an der Metallplatte haften bleiben. Das Fraunhofer IST arbeitet daher an einer geeigneten Antihafbeschichtung auf der Oberfläche der Laminierplatten, die diese Probleme lösen kann und darüber hinaus zukünftig die Verwendung von Materialien wie Polyethylenterephthalat, Glycol und Polyurethan (PET-G und PU) ermöglicht.

Der Lösungsansatz

Im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts »MONK« (FKZ: 13XP5046) wurde am Fraunhofer IST eine neue Art von Antihafbeschichtungen auf Basis von Verbundwerkstoffen erforscht. Die aus Prozessgasen mit zwei verschiedenen siliziumhaltigen Vorstufen hergestellten Beschichtungen zeichnen sich durch eine gute Haftung zum Substratmaterial und gleichzeitig ein hervorragendes Antihafverhalten gegenüber verschiedenen Polymeren aus.

Optimale Oberflächeneigenschaften

Zunächst wurden zwei siliziumhaltige Verbindungen als potenziell geeignete Schichtbildner ausgewählt, von denen eine haftungsfördernde Eigenschaften und die andere ein Antihafverhalten aufweist. Die Schichtbildner wurden – zum Teil auch gemischt – eingesetzt, um drei verschiedene Arten von Verbundbeschichtungen mittels Atmosphärendruck-Plasmaverfahren auf den Laminierplatten zu erzeugen (vgl. Abb. 2):

1. Nanolaminat: Diese Beschichtung besteht aus zwei verschiedenen Einzelschichten von nur wenigen Nanometern Dicke, die abwechselnd abgeschieden werden. Unten ist die haftungsfördernde Schicht, oben die Antihafbeschichtung.

2. Gradient: Die Gradientenschicht zeichnet sich durch zwei Präkursoren aus, welche über die Schichtdicke gegenläufig ihre Konzentrationen ändern, um einen fließenden Übergang von der haftvermittelnden Schicht zur Antihafschicht zu erreichen.
3. Copolymer: Hier werden beide Vorläufer vor dem Eintritt in die Plasmazone gemischt und gleichzeitig auf dem Substrat abgeschieden, sie bilden somit ein enges Netzwerk.

Die Ergebnisse

Im Anschluss an die Beschichtung wurden die Laminierplatten mit PU unter spezifischem Druck und spezifischer Temperatur zusammengebracht und zur Evaluierung der Schichten mittels Abzugstests wieder voneinander getrennt.

Die nebenstehende Grafik zeigt subtrahierte ATR-FTIR-Spektren, die durch Messung der Polymerfolien nach dem Laminieren und dem anschließenden Peel-Test generiert wurden. Nach der Messung wurden Referenzspektren von den aufgenommenen Spektren subtrahiert und Peakflächen bestimmt. Peaks im Wellenzahlenbereich von $1000\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ werden dem Vorhandensein von Si-O-Bindungen in den Plasmabeschichtungen zugeordnet. Ein Vergleich der Peakflächen

1 Sicherheitsfeature (gedruckt und geprägt).

2 Kompositschichtsysteme.

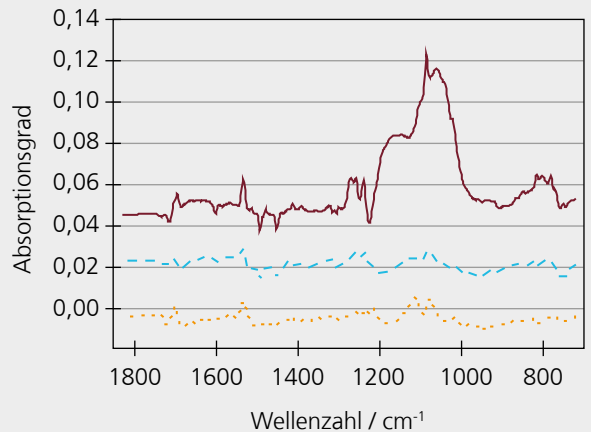
der drei verschiedenen Schichtsysteme ergab, dass im Falle des Copolymers eine signifikante Menge der Beschichtung während des Laminierprozesses auf das Polymer übertragen wurde. Im Gegensatz dazu zeigten die Spektren der Gradienten- und Nanolaminatbeschichtung keine für die Si-O-Bindung typischen Schwingungsbanden, was als Beweis dafür gilt, dass es keinen Beschichtungstransfer gibt. Folglich eignen sich grundlegend die Gradienten- und Nanolaminatbeschichtung für eine Beschichtung zwischen Laminierplatte und Folie.

Das nebenstehende Diagramm zeigt die Abzugswerte der Bleche. Die Antihafwirkung des Copolymers ist sehr schwach. Es scheint auf beiden Seiten, sowohl auf der Laminierplatte als auch auf der laminierten Folie, stark zu haften. Während des Abzugstests zeigt die Beschichtung ein kohärentes Versagen, das auf die starke Haftung an beiden Schnittstellen zurückzuführen ist. Das Nanolaminat hingegen zeigte deutlich bessere Ergebnisse als das Copolymer. Hier waren die Abzugskräfte nur ein Drittel derjenigen des Copolymers, aber im Vergleich zur unbeschichteten Referenz konnte keine Verbesserung beobachtet werden.

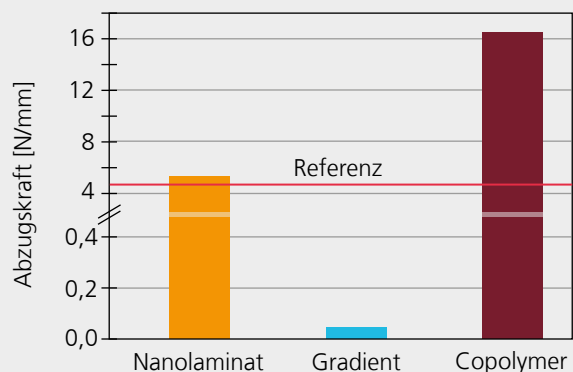
Die besten Ergebnisse in Bezug auf die gewünschte Antihafwirkung wurden mit der Gradientenschicht erzielt. Hier ist die Schälkraft um das 100-fache geringer als beim Referenzmaterial. Die Laminierfolie »fällt« mehr oder weniger von der Laminierplatte ab.

Ausblick

Durch den Einsatz der neuen Schichten wird es neben der Verwendung weiterer Materialien zukünftig außerdem möglich sein, verschiedenste Kunststoffe mittels robotergestützter automatisierter Schnelllaminierung zu laminieren.



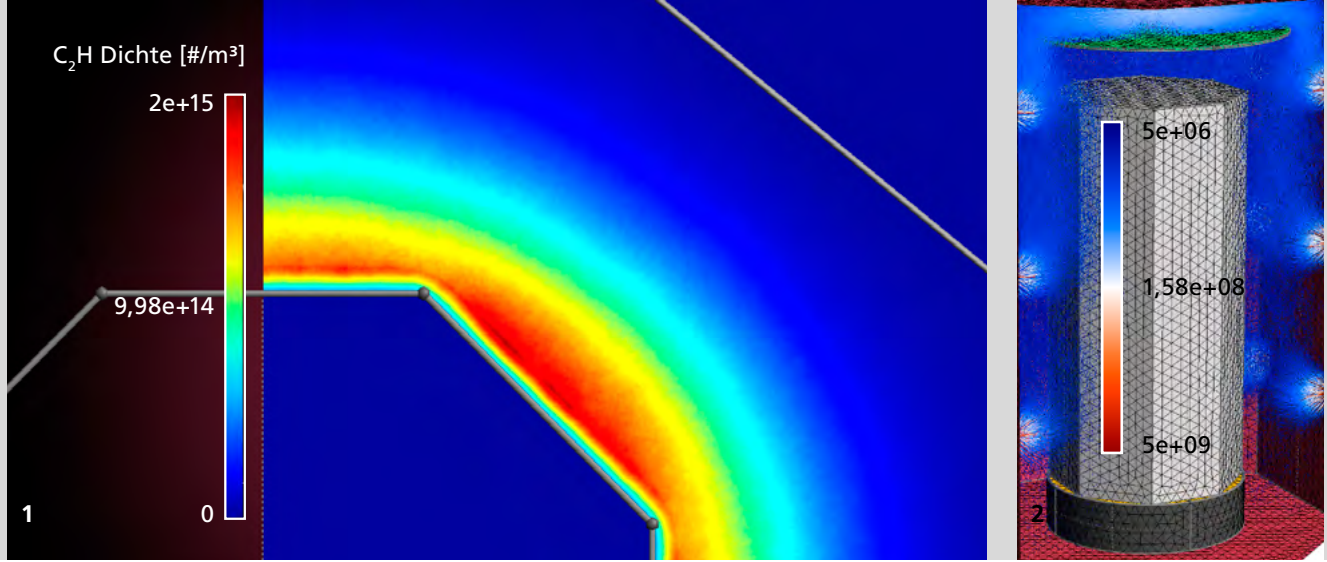
Subtraktionsspektren von laminierten Polymerfolien nach Abzug.



Abzugswerte der Kompositschichtsysteme.

KONTAKT

Annika Mann, M. Sc.
Telefon +49 531 2155-639
annika.mann@ist.fraunhofer.de



AUFSKALIERUNG VON PECVD-PROZESSEN

In PECVD-Prozessen (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) hergestellte tribologische Hartstoffschichten, insbesondere amorphe Kohlenwasserstoffe (a-C:H oder Diamond Like Carbon, DLC) werden in vielen technischen Anwendungen zum Einsatz gebracht. Ihre weitere Verbreitung und Verbesserung, insbesondere die Vergrößerung der beschichtbaren Bauteilfläche, ist jedoch durch die Komplexität des Beschichtungsprozesses limitiert. Das Fraunhofer IST arbeitet daher derzeit an einer In-situ-Erfassung der Beschichtungsbedingungen in Kombination mit einer Modellierung der Prozessdynamik und Schichtbildung, um so eine gezielte Aufskalierung des Verfahrens zu ermöglichen.

Amorphe Kohlenwasserstoffschichten schützen vor Reibung und Verschleiß

DLC-Schichten sind vielerorts das Mittel der Wahl zur Reibungs- und Verschleißminderung. Mit Reibwerten, die denen von Polytetrafluorethylen (Teflon®) nahekomen, und keramikähnlicher Härte eignen sie sich heute bereits häufig als Mittel zur Standzeitverbesserung und Qualitätssteigerung, beispielsweise in Umformprozessen. Oft werden erst durch DLC-Schichten neue Verfahren ermöglicht, wenn es z. B. darum geht, Kühlschmierstoffe in Umformprozessen zu sparen oder ganz zu vermeiden.

Die Herausforderung: Große und vielzählige Bauteile

DLC-Schichten werden zumeist in PECVD-Verfahren hergestellt. Die dabei eingesetzte Vakuum-Plasmaentladung hat ein komplexes physikalisches Verhalten, das obendrein stark von der Größe und Form des zu beschichtenden Teils abhängt. Je größer und komplexer das Werkstück geformt ist oder je mehr kleine Einzelteile zu beschichten sind, desto schwieriger wird es, die erforderlichen Geräteeinstellungen vorherzusagen, um eine hinreichende Beschichtungshomogenität zu erzielen.

Größere Bauteilvolumina in Form großer oder zahlreicher Werkstücke sowie eine zunehmende Komplexität beschichtbarer Bauteile sind jedoch gefordert, um das Anwendungsfeld zu erweitern und die Prozesse wirtschaftlicher zu machen.

Um dem daraus entstehenden Problem der Aufskalierung zu begegnen, bedient sich das Fraunhofer IST der computergetriebenen Simulation.

Der Lösungsansatz: Modellierung, Prozesskontrolle und Schichtanalyse

Im AiF Cornet Projekt »DLCplus – Improved DLC coatings by more efficient process design« arbeitet das Fraunhofer IST gemeinsam mit der Universität de Namur und der Forschungseinrichtung MateriaNova in Mons, Belgien, an dieser Herausforderung.

Mittels PIC-MC (Particle in Cell – Monte Carlo) werden Modelle der beschichtungsbildenden Teilchenströme erstellt. Die daraus resultierenden Aussagen über die messbaren, ortsabhängigen Plasmamaparameter, wie z. B. Ionen- und Neutralteilchen-Stromdichte und Plasmapotenzial, werden mit entsprechender Messtechnik in Beschichtungsexperimenten verifiziert.

Die hierbei erreichte tiefe Analyse der tatsächlichen Plasmaparameter an der Bauteiloberfläche ermöglicht die gezielte Einstellung und Verbesserung der Beschichtungen. Die Rückkoppelung der gemessenen Schichtcharakteristika dient wiederum als Mittel zur Verbesserung des Modells und Regelgröße für den Beschichtungsprozess.



Ausblick: Effizientere Prozessführung durch Modellierung und Prognose

Das Ziel der beschriebenen Arbeiten besteht in einer Prozesssteuerung, die den Stand der Technik wesentlich vorantreibt. Es sollen zuverlässige Vorhersagen des Beschichtungsergebnisses ermöglicht werden. Dadurch werden die Ergebnisse und zukünftige Möglichkeiten der Beschichtungstechnologien erheblich verbessert und erweitert. Auf diese Weise können nahezu alle Bereiche der formgebenden Metallindustrie, der Kraftfahrzeugtechnik und des Werkzeug- und Vorrichtungsbau profitieren. Höhere Effizienz steigert Produktivität sowie Zuverlässigkeit und senkt die Kosten. Das tiefere Verständnis des Beschichtungsprozesses ermöglicht bessere Optimierung und Erschließung neuer Beschichtungssituationen.

Das Projekt

Die beschriebenen Arbeiten erhalten Zuwendung zur Förderung eines Einzel-Forschungsvorhabens der industriellen Gemeinschaftsforschung aus dem Bundeshaushalt 2018, Einzelplan 09, Kapitel 0901, Titel 686 01, in der Variante: CORNET (als Teil eines transnationalen CORNET-Gesamtprojekts); IGF-Vorhaben-Nr.: 230 EN.

- 1 *Simulation der Dichte schichtbildender Gasteilchen.*
- 2 *Gasflusssimulation in einer modellierten Beschichtungskammer.*
- 3 *Voll bestückte PECVD-Beschichtungsanlage.*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Kai Weigel, M. Sc.
Telefon +49 531 2155-650
kai.weigel@ist.fraunhofer.de

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

*CFK-Mikrowellenreflektor mit
PVD- und PACVD-Funktionsschicht für MetOp-SG-Satelliten.*

Geschäftsfeldbezogene Nachhaltigkeitsziele



OBERFLÄCHENTECHNIK FÜR DIE GENERATIVE FERTIGUNG VON POLYMERBAUTEILEN

Die Additive Fertigung als Produktionsverfahren für die Herstellung von Bauteilen und Komponenten nimmt heute, und mehr noch in der Zukunft, eine bedeutende Rolle ein. Das Design hochkomplexer Geometrien, gepaart mit den unterschiedlichsten Materialien wie Metallen, Keramiken oder Kunststoffen, eröffnet eine Vielfalt, die mit den traditionellen Herstellungsverfahren wie Drehen oder Fräsen nicht möglich ist. Eine Schwachstelle der additiven Fertigung ist derzeit noch die Oberfläche, die je nach Fertigungsverfahren sehr unterschiedlich sein kann. Das kann zu Problemen im Einsatz der Bauteile führen und erfordert eventuell eine Oberflächenbehandlung. Am Fraunhofer IST werden daher additiv gefertigte Bauteile galvanisch metallisiert und mit den gewünschten Oberflächeneigenschaften versehen.

Strukturbauteile in der Raumfahrt

Bisher werden in der Raumfahrt sogenannte Strukturbauteile, d. h. Halterungen, Verbindungsstücke o. ä. aus Metall mit herkömmlichen Verfahren wie Drehen oder Fräsen gefertigt. Diese Teile sind schwer und, bedingt durch die Fertigungsverfahren, nicht immer optimal im Design. Werden diese Bauteile mittels additiver Verfahren hergestellt, so lassen sie sich vorteilhafter konstruieren, zum Beispiel um Gewicht zu sparen oder verbesserte mechanische Eigenschaften zu erhalten. Ersetzt man den Werkstoff Metall durch Kunststoffe, so kann man das Gewicht noch weiter reduzieren. Allerdings haben Kunststoffe gegenüber Metallen einige Nachteile, beispielsweise sind sie ohne entsprechende Beschichtung nicht leitfähig.

Die Eigenschaften von Kunststoffen

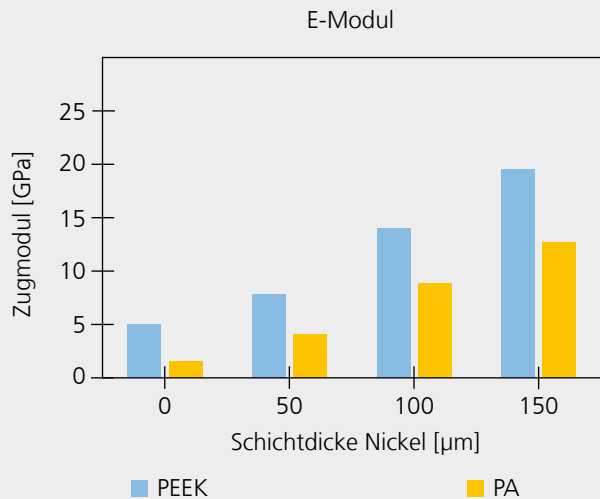
In dem vom DLR im Rahmen des Programms »InnoSpace Masters« geförderten Forschungsprojekt AMPFORS (Additive Manufacturing of Polymer Parts for Space) wird daher am Fraunhofer IST zusammen mit der Firma OHB System AG in Bremen sowie der Rauch CNC Manufaktur in Baden-Baden untersucht, wie die Metallisierung von additiv hergestellten

Bauteilen aus Kunststoff die Eigenschaften verbessern kann. Diese Bauteile sollen in der Raumfahrt eingesetzt werden und müssen eine Vielzahl besonderer Eigenschaften erfüllen. So neigen Polymere im Vakuum zum Ausgasen von Wasser oder nicht reagiertem Monomer, das sich auf optischen Instrumenten niederschlagen und ihre Funktion beeinträchtigen kann. Auch müssen die Oberflächen leitfähig sein, um eine elektrische Aufladung der Teile im Weltraum zu verhindern.

Beschichtung der Bauteile

Innerhalb des Projekts werden aus dem Hochleistungskunststoff Polyetheretherketon (PEEK) sowie dem Konstruktionskunststoff Polyamid (PA) Bauteile mit Hilfe des additiven Fertigungsverfahrens SLS (Selective Laser Sintering) hergestellt. Diese Teile wurden im Anschluss am Fraunhofer IST galvanisch metallisiert und getestet. Als Metall wurde eine Nickelschicht mit unterschiedlichen Schichtdicken von 0–150 µm aufgebracht. Erste Untersuchungen zeigen, dass die Metallschichten haftfest auf den Kunststoffoberflächen aufgebracht werden können. Der für Raumfahrtanwendungen wichtige Hafttest ECSS-Q-ST-70-17C, ein Thermoschocktest, wurde erfolgreich durchgeführt. Ebenso zeigte sich, dass die mechanischen Eigenschaften durch die Metallisierung drama-

2



Ansteigender E-Modul von beschichteten Polymeren (PEEK und PA) bei zunehmender Schichtdicke.

1–2 Metallisierte Strukturbauteile aus PEEK.

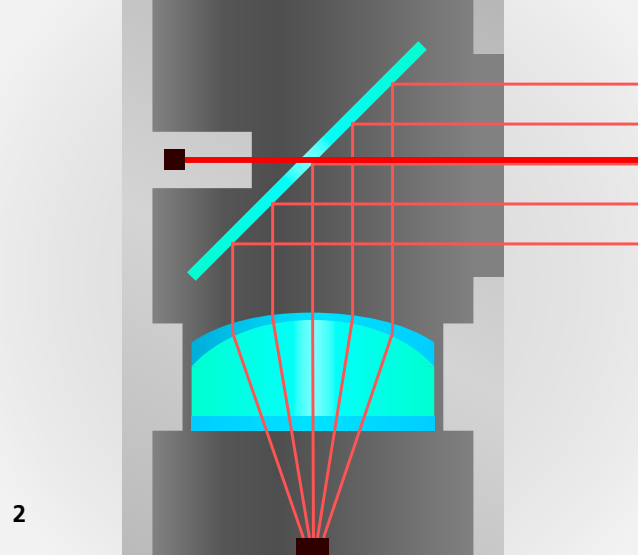
tisch verbessert wurden. So steigt zum Beispiel der E-Modul von unbeschichtetem PEEK von 4,8 GPa auf 20 GPa bei einer Schichtdicke von 150 μm Nickel auf dem Kunststoff. Ähnlich verhält es sich mit Polyamid (PA), wo sich der E-Modul von 1,5 GPa auf 12,5 GPa (vgl. nebenstehende Abbildung) erhöht. Biege- und Kompressionsmodul steigen entsprechend.

Ausblick

Im weiteren Rahmen des Projekts muss geklärt werden, inwieweit die mögliche Geometrieoptimierung die Metallisierung beeinträchtigt. Galvanische Verfahren leiden darunter, dass sich komplexe geometrische Strukturen nur noch bedingt metallisieren lassen, da das notwendige elektrische Feld häufig abgeschirmt wird. Lösungen können hier chemische Metallisierungsverfahren sein.

KONTAKT

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



SCHMALER IR-BANDPASSFILTER AUF DREIDIMENSIONALEN OBERFLÄCHEN

Sogenannte LIDAR-Systeme (Light Detection and Ranging) für Abstandsmessungen spielen nicht nur in der Automobilindustrie, z. B. beim autonomen Fahren eine wichtige Rolle, sondern sind auch essenziell in der Luft- und Raumfahrt. Hier liefern sie die Daten, wenn es darum geht, dass eine Raumkapsel präzise an eine Raumstation andocken soll. Um Fehler durch störendes Licht z. B. von der Sonne zu verhindern, wird ein schmalbandiger Infrarotbandpassfilter (IR-Bandpassfilter) mit breiter Blockung vor die eigentliche Optik gesetzt. Das Ziel ist es, künftig kompaktere und vor allem auch leichtere Systeme zu entwickeln. Einen Baustein dafür liefert das Fraunhofer IST mit der Entwicklung eines Prozesses, der eine direkte Abscheidung eines Bandpassfilters auf der Linse ermöglichen soll.

Die Herausforderung

Zur Herstellung schmaler IR-Bandpassfilter mit breiter Blockung wird am Fraunhofer IST ein komplexes System aus einer Vielzahl von Einzelschichten in der EOSS®-Sputteranlage hochpräzise abgeschieden. Die Abscheidung auf dreidimensionalen Oberflächen wie asphärischen Linsen stellt dabei eine große technische Herausforderung dar, denn die Beschichtungsrate hängt stark vom Abstand und Winkel der Beschichtungsfläche relativ zur Beschichtungsquelle ab.

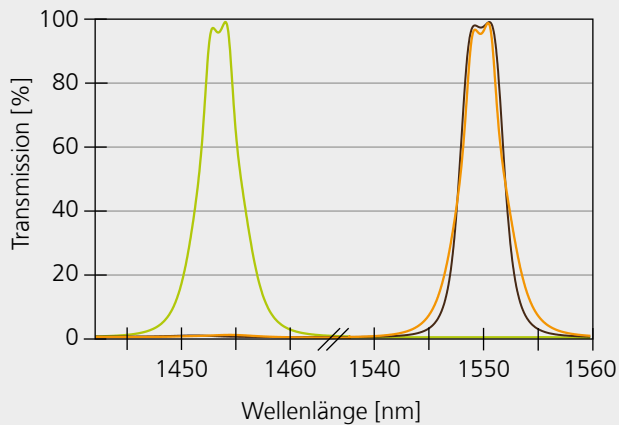
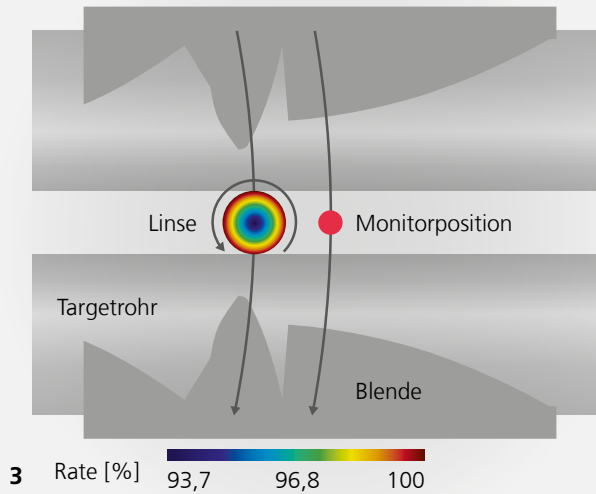
Ohne Korrekturmaßnahmen führt dies dazu, dass die Beschichtung einer plankonvexen Linse in ihrem Zentrum dicker ist als an den Rändern. Darüber hinaus ändert sich ebenfalls in Abhängigkeit von der Position auf der Linse zusätzlich der Einfallswinkel. Beide Effekte – die sinkende Schichtdicke zum Rand der Linse und der steigende Einfallswinkel – verstärken sich gegenseitig und verschieben den Bandpass zu kleineren Wellenlängen (vgl. Abbildung 2).

Die Lösung des Fraunhofer IST

Um beide negativen Effekte zu kompensieren, ist allein eine homogene Beschichtung der dreidimensionalen Oberfläche – z. B. mittels ALD-Verfahren (Atomic Layer Deposition) – nicht

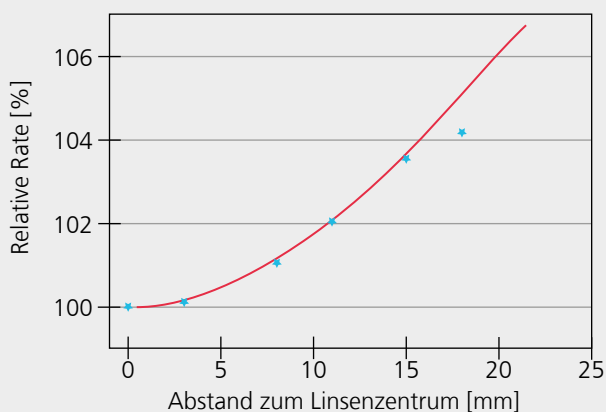
ausreichend. Für eine ideale Kompensation ist vielmehr ein Schichtdickengradient notwendig, bei dem die Dicke zum Rand der Linse so zunimmt, dass auch die Verschiebung des Bandpasses durch den steigenden Einfallswinkel korrigiert wird. Dazu wurde am Fraunhofer IST ein Prozess entwickelt, mit dem die optischen Filter auf einer plankonvexen asphärischen Linse mit einem Durchmesser von 50 mm mittels Magnetronsputtern präzise abgeschieden werden können.

Die Zentralwellenlänge des Bandpasses liegt bei 1550 nm. Für eine Störlichtunterdrückung sollte der Filter von 400 bis 1800 nm eine Blockung aufweisen. Diese sehr breite Blockung des Filtersystems wird mit zwei verschiedenen Schichtdesigns erreicht: Zum einen wird die plane Rückseite der Linse mit einem Blocker in Form eines Langpasses homogen beschichtet, zum anderen wird auf der konvexen Seite ein Bandpass mit einer Gradientenblende präzise abgeschieden. Der notwendige Schichtdickengradient auf der Linse wird mit Hilfe einer Rotation des Substrats und einer geeigneten Blende ermöglicht. Durch ein speziell angepasstes Schichtdesign ist der Bandpass auch bei dem maximalen Einfallswinkel von 37° nahezu unverändert (vgl. nebenstehende obere Grafik). Die Blendenform wurde mit Hilfe eines Digital Twin des Beschichtungsprozesses in der EOSS®-Anlage optimiert und konnte ohne weitere Anpassungen übernommen werden.



- T unpolarisiert 0 °, Dicke 100%
- T unpolarisiert 37 °, Dicke 100%
- T unpolarisiert 37 °, Dicke 106,8%

Transmission eines modifizierten Bandpasses für die Einfallswinkel von 0 ° und 37 ° mit unpolarisiertem Lichtstrahl. Das Transmissionsspektrum für einen Einfallswinkel von 0 ° ist für eine Dicke von 100 % dargestellt. Die Transmissionsspektren für einen Einfallswinkel von 37 ° sind für eine Dicke von 100 % und 106,8 % gezeigt.



- Simulierte Rate
- * Gemessene Rate auf der Linse

Gemessene und simulierte relative Rate des Tantalpentoxids, bezogen auf die Linsenmitte. Für einen optimalen Schichtdickengradient muss die Linse auf einer Umlaufbahn mit einem Radius von 545 mm gedreht werden.

- 1 Beschichtete asphärische plankonvexe Linsen.
- 2 Schema eines LIDAR-Systems.
- 3 Darstellung der Siliziumdioxid-Linsenblenden, der Linse und des Monitorsubstrats mit den jeweiligen Ratenprofilen auf den Oberflächen. In der Abbildung sind die Targets, die Hauptrotation der Anlage und die Subrotation der Linsen eingezeichnet.

Ausblick

Nach erfolgreicher Entwicklung des Prozesses ist es geplant, den vollständigen schmalen IR-Bandpassfilter mit breiter Blockung auf der Linse abzuscheiden und im LIDAR-System zu testen.

Das Projekt

Der schmale IR-Bandpassfilter auf einer plankonvexen asphärischen Linse mit einem Durchmesser von 50 mm für beispielsweise eine LIDAR-Anwendung wurde im Rahmen des BMBF-Forschungsprojekts »EPIC Lens« (FKZ 13N14583) entwickelt.

KONTAKT

Chris Britze, M. Sc.
Telefon +49 531 2155-516
chris.britze@ist.fraunhofer.de

ENERGIE UND ELEKTRONIK

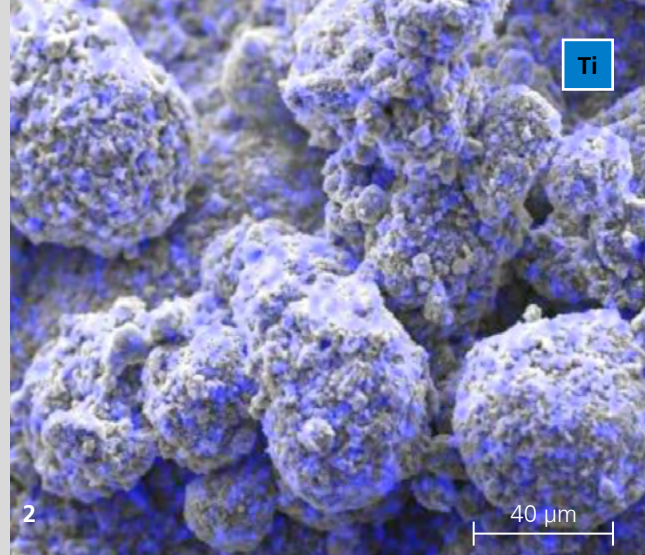
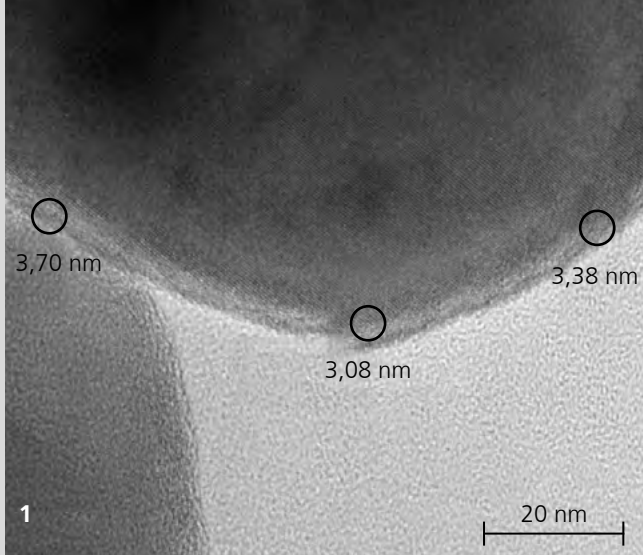


Im Geschäftsfeld »Energie und Elektronik« konzentrieren sich die Arbeiten des Instituts auf die folgenden Entwicklungen:

- 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 Wafer-Bonding, 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 Wasserstofferzeugung
- Korrosionsschutz- und Wärmedämmschichten für Hochtemperaturanwendungen, z. B. in Gasturbinen

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





EINSATZGEBIETE DER ATOMLAGENABSCHIEDUNG

Homogene und nanometergenaue Beschichtungen spielen für zahlreiche Anwendungsfelder wie z. B. bei der Herstellung von Brennstoffzellen, Lithium-Ionen-Batterien oder korrosionsbeständigen Schichten für Automobilteile eine immer größere Rolle. Am Fraunhofer IST werden daher seit längerem erfolgreich ALD-Prozesse entwickelt, mit denen solche Beschichtungen hergestellt werden können. In einem gemeinsamen Projekt mit dem Institut für Partikeltechnik der TU Braunschweig hat das Fraunhofer IST u. a. mittels Atomlagenabscheidung Batteriematerialien gezielt funktionalisiert.

Die Technologie

Die Atomlagenabscheidung (ALD) ist ein modifiziertes Verfahren der chemischen Gasphasenabscheidung. Die Merkmale des Prozesses sind zwei aufeinanderfolgende sich selbst begrenzende Oberflächenreaktionen, sodass extrem dünne, defektfreie und äußerst homogene Schichten abgeschieden werden können. Diese Vorteile der ALD-Technologie kommen zunehmend auch in anderen Branchen wie der Batterietechnologie zum Tragen.

Aktuelle Herausforderungen in der Batterietechnologie

Aktuelle Herausforderungen in der Batterietechnologie bestehen zum einen darin, die Herstellungsprozesse von Lithium-Ionen-Batterien zu optimieren, zum anderen sollen entsprechende Prozesse für neuartige Energiespeichertechno-

logien wie Festkörperbatterien (ASSB, engl. all-solid-state-battery) entwickelt werden. In beiden Fällen müssen Stoff-, Verfahrens- und Produktionsparameter mit der elektrochemischen Performanz, d. h. den gewünschten Leistungseigenschaften der Batterien korrelieren.

Alle Schritte der gesamten Prozesskette beeinflussen letztendlich die Produkteigenschaften: die Materialherstellung und -konfektionierung ebenso wie das Mischen und Dispergieren, die Extrusion von Elektroden suspensionen sowie das Beschichten und die Kalandrierung. Ein entscheidender Faktor dabei sind die Grenzflächen zwischen den eingesetzten Materialien und Komponenten. An diese Grenzflächen werden in Abhängigkeit von der Zellchemie unterschiedliche Anforderungen gestellt. Eine gezielte Funktionalisierung der Oberflächen mittels Atomlagenabscheidung erlaubt eine entsprechende Anpassung.

1 TEM-Aufnahme des TiO_2 -beschichteten Kompositmaterials.

2 REM-EDX von 5 Zyklen TiO_2 bei 70 °C (blau – Ti).

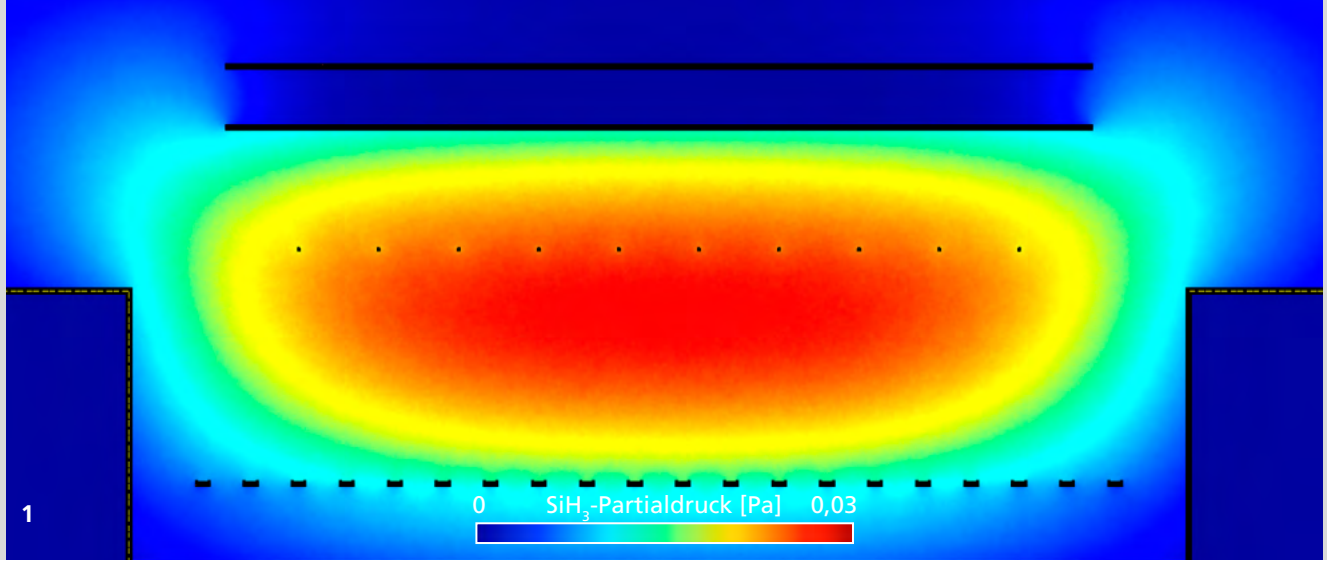
Ein Beispiel ist die in der Abbildung 1 dargestellte Beschichtung von Kompositmaterialien mittels ALD. Durch die Beschichtung wurde die Fließfähigkeit der Granulate bei den gegebenen Bedingungen verbessert und damit die Verarbeitbarkeit erleichtert. Darüber hinaus wirkt sich das Beschichtungsmaterial positiv auf die resultierenden Zelleigenschaften aus.

ALD in der Batterietechnologie

Das Einsatzgebiet der ALD in der Batterietechnologie erstreckt sich u. a. von der Funktionalisierung partikulärer Materialien wie z. B. Aktivmaterialien und Granulaten bis hin zu Schichtstrukturen wie Elektroden. Durch das gezielte Aufbringen von Funktionalitäten können verschiedene Effekte, wie beispielsweise die Verringerung von Grenzflächenwiderständen, die Verbesserung der chemischen Beständigkeit sowie verbesserte Haftungseigenschaften erzielt werden.

KONTAKT

Tobias Graumann, PMP
 Telefon +49 531 2155-780
 tobias.graumann@ist.fraunhofer.de



SIMULATION VON HWCVD-SILIZIUM-BESCHICHTUNGSPROZESSEN

Chemische Gasphasenabscheidung mittels des Heißdraht-CVD-Verfahrens (HWCVD) bietet die Möglichkeit, sowohl amorphe als auch nanokristallin dotierte und intrinsische Siliziumschichten mit hohen Raten bis zu 2 nm/s auf großen Oberflächen von bis zu 800 x 665 mm² herzustellen. In diesem Verfahren gibt es im Gegensatz zu anderen Technologien keinen hochenergetischen Ionenbeschuss, daher ist die resultierende Schichtspannung erheblich geringer. Die Optimierung dieser Prozesse hinsichtlich Schichteigenschaften und Homogenität ist aufgrund der komplexen Wechselwirkungen im Prozess und der Reaktionschemie sehr aufwendig. Am Fraunhofer IST wurde ein detailliertes Simulationsmodell der Gasphasen- und Oberflächenreaktionen in HWCVD-Siliziumabscheidungsprozessen mit Silan (SiH₄) und Wasserstoff (H₂) erstellt, um die Schichteigenschaften optimieren zu können.

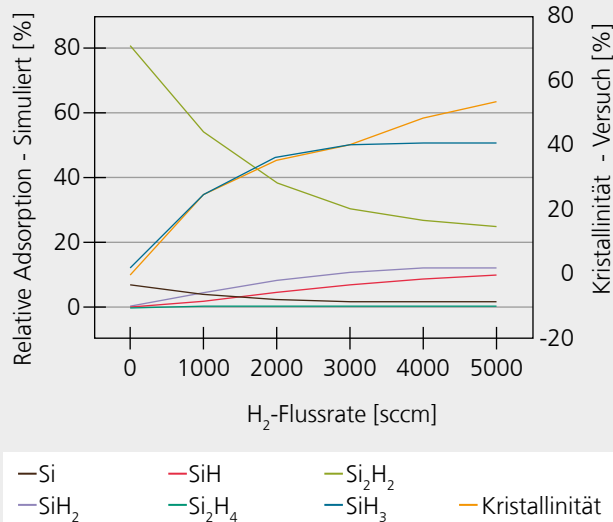
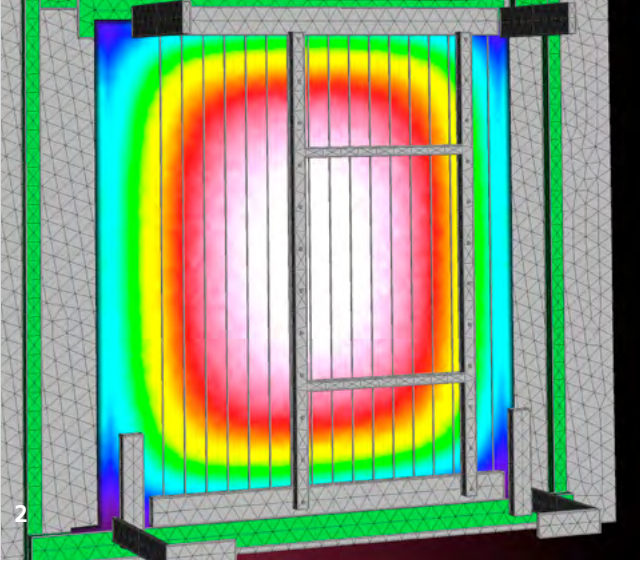
Der Lösungsansatz

Am Fraunhofer IST wurde eine kinetische Simulationssoftware entwickelt, bei der die Direct Simulation Monte Carlo (DSM-C)-Methode eingesetzt wird, um Strömungs- und Transportprozesse in Niederdruck-Beschichtungsprozessen abzubilden. Basierend auf dieser Software und auf Daten aus zahlreichen HWCVD-Experimenten wurde ein detailliertes Modell des Silizium-Abscheidungsprozesses entwickelt. Dieses zielt insbesondere auf ein Verständnis des Einflusses der Prozessparameter auf die Schichtmorphologie (amorph oder mikrokristallin) ab. Das neue Modell berücksichtigt neben den Prozessgasen SiH₄ und H₂ auch atomaren Wasserstoff sowie Silanradikale wie SiH₃ oder SiH₂, wobei insbesondere der atomare Wasserstoff die Kristallinität der abgeschiedenen Schichten beeinflusst. Neben der Gasphasenchemie wurde zusätzlich ein Oberflächenmodell bestehend aus atomar gebundenem Silizium, Dangling Bonds und Wasserstoffpassivierung aufgestellt.

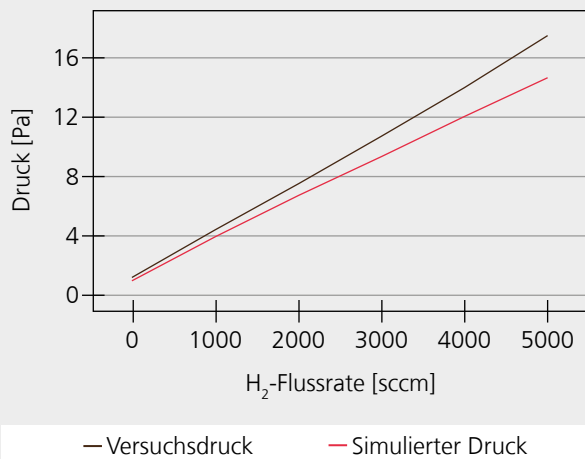
Validierung des Simulationsmodells

Das neue Modell wurde mit einer experimentellen Parameterstudie verglichen. Die gemessenen Daten umfassen den Totaldruck, die Abscheiderate sowie massenspektrometrische Messungen des Silan-Umsatzes. Nach erfolgreicher Validierung des Simulationsmodells wurde in weiteren Simulationsläufen der Einfluss des Wasserstoffpartialdrucks auf die Adsorptionsdynamik spezifischer Silanspezies an der Substratoberfläche untersucht.

Die Ergebnisse der Simulationsserie und zugehöriger Experimente bestätigen die bisherige Theorie, wonach Spezies mit höherer Oberflächenbeweglichkeit wie SiH₃ und Si₂H₄ zu kristallinen Schichten führen, während Spezies mit geringerer Oberflächenbeweglichkeit wie SiH, SiH₂ und Si₂H₂ zu einem amorphen Schichtenwachstum führen. Experimentell führt eine Zunahme des Drucks oder Wasserstoffstroms zu einer Zunahme der Kristallinität der Schichten, wobei die Simulation auch eine entsprechende Zunahme der SiH₃- und eine Abnahme der Si₂H₂-Konzentrationen zeigt.



Simulierte Speziesadsorption am Substrat als Funktion von Wasserstoff.



Simulierter Partialdruck von SiH₃-Spezies unter stationären Prozessbedingungen.

- 1 Simulierter Partialdruck von SiH₃-Spezies unter stationären Prozessbedingungen.
- 2 3D-HWCVD-Kammergeometrie von Pflug et al.

Ausblick

Diese Arbeit demonstriert ein virtuelles Werkzeug zur Prozessverbesserung der Siliziumabscheidung mittels HWCVD unter Minimierung zeit- und kostenaufwendiger experimenteller Studien. Weitere Verfeinerungen des Modells bzgl. wasserstoffbasierter Ätzreaktionen sowie der Integration von Dotierstoffen wie Bor oder Phosphor in die Prozesschemie sind in Planung. Ziel ist es, ein virtuelles Abbild einer vollständigen Prozesskette für siliziumbasierende pin-Strukturen im industriellen Maßstab zu erstellen.

Das Projekt

Das Projekt wurde im Rahmen der internen Programme der Fraunhofer-Gesellschaft gefördert, Fördernummer MAVO 831 409.

KONTAKT

Hunter King
Telefon +49 531 2155-641
hunter.king@ist.fraunhofer.de

Dr. Volker Sittinger
Telefon +49 531 2155-512
volker.sittinger@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 Imaginganwendungen
- 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:

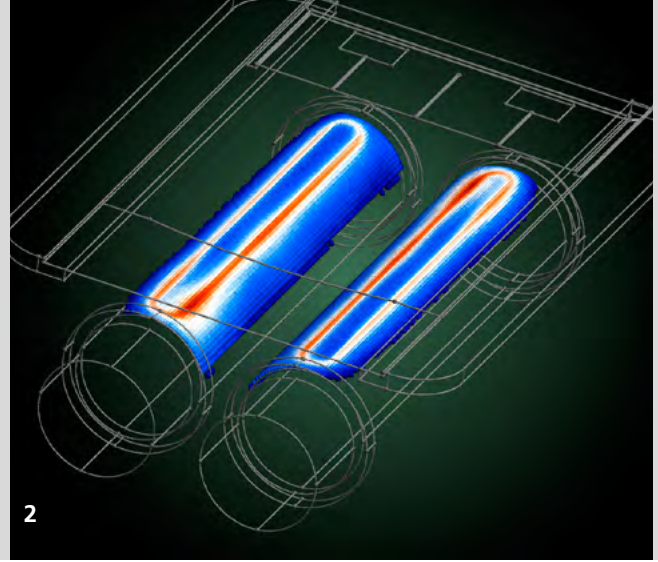
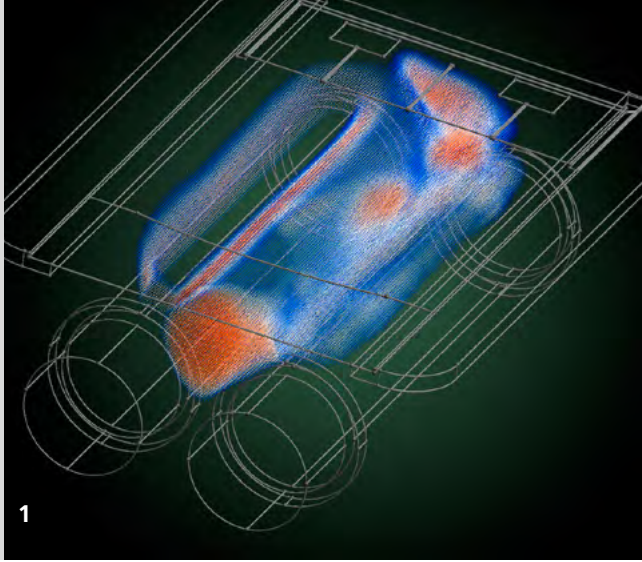
- In-situ-Kontrolle von Beschichtungsprozessen mit dem Monitoringsystem MOCCA+®
- Mappingsystem zur Messung der Ellipsometrie, Reflexion, Transmission, Streulicht und Raman-Spektroskopie auf 60x60 cm²
- Defektanalyse optischer Schichten mittels FIB-REM und konfokal optischer Mikroskopie
- Prüfung der 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.

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

Geschäftsfeldbezogene Nachhaltigkeitsziele





SIMULATION OPTISCHER PRÄZISIONS- SCHICHTEN AUF GEKRÜMMTEN BAUTEILEN

Bei der Herstellung optischer Komponenten ist es von Vorteil, die benötigten optischen Filtersysteme direkt auf gekrümmte Flächen von z. B. Linsen aufzubringen, statt separate Flachsubstrate zu verwenden. Dies minimiert die Anzahl von Komponenten und interner Reflexionen. Allerdings führt der variable Lichteinfallswinkel auf gekrümmten Flächen zu spektralen Verschiebungen. Um dies zu kompensieren, müssen die optischen Filter mit einem definierten Schichtdickenprofil aufgebracht werden. Im Falle einer konvexen Linse bedeutet dies z. B., dass die Schichtdicke von der Mitte zum Rand hin ansteigen muss. Demgegenüber stellt sich in PVD-Verfahren wie Magnetronspütern üblicherweise ein umgekehrtes Schichtdickenprofil auf konvexen Flächen ein. Ein digitaler Zwilling, basierend auf Daten aus einer am Fraunhofer IST durchgeführten vorherigen Multiskalen-Prozesssimulation, ermöglicht die iterative Optimierung von Blenden, um dieses Beschichtungsproblem zu lösen.

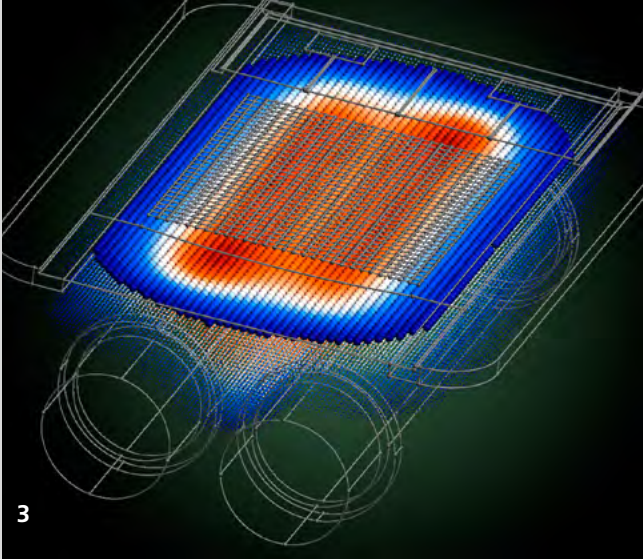
Der Lösungsansatz

Der Beschichtungsprozess wurde auf der EOSS®-Sputteranlage am Fraunhofer IST realisiert. Diese Anlage besteht aus zwei Sputter-Kompartments mit zylindrischen Doppelrohr-Kathoden, die in Argon gesputtert werden. Die Substrate sind an einem darüber angebrachten, schnell rotierenden Drehteller befestigt. In einer zusätzlichen RF-Plasmaquelle erfolgt die vollständige Oxidation der Teilschichten in einem Sauerstoffplasma. Für rotationssymmetrische 3D-Substrate kommt ein spezieller Probenhalter mit eingebauter Sub-Rotation zum Einsatz, wobei das Schichtdickenprofil durch spezielle Blenden an den Kompartimenträndern eingestellt wird.

Bei der Spezifizierung der Blendenform kommt das Multiskalen-Simulationsmodell ins Spiel. Das Plasma sowie der Gasfluss und Transport der gesputterten Teilchen können mit einer am Fraunhofer IST entwickelten kinetischen Software simuliert werden, in der die »Direct Simulation Monte-Carlo« (DSMC) – und »Particle-in-Cell Monte-Carlo« (PIC-MC) -Methoden kombiniert werden. Zwei praktische Probleme dabei sind der Rechenaufwand – ca. ein Tag für DSMC bzw. mehrere Tage für PIC-MC – sowie die Tatsache, dass sich das Schichtdickenprofil

auf bewegten Substraten aus der Addition vieler Teilprofile aus unterschiedlichen Positionen ergibt. Mit den bisherigen Methoden ist dieses Verfahren daher viel zu zeitaufwändig.

Mit einem Multiskalen-Ansatz werden diese Probleme wie folgt gelöst: Zunächst werden mit dem PIC-MC-Verfahren das Plasma sowie das Sputtererosions-Profil am Target bestimmt (vgl. Abb. 1, 2). Anschließend erfolgt mithilfe dieser Information die Simulation des Transports und der Streuung gesputterter Teilchen (vgl. Abb. 3). Dabei wird in einer Ebene wenige Millimeter unterhalb der Substrate mit einer Ortsauflösung von $10 \times 10 \text{ mm}^2$ der winkelaufgelöste Teilchenfluss aufgezeichnet. Mit dieser Ebene als »virtuelle Teilchenquelle« wird anschließend der verbleibende Teilchentransport bis zum Substrat mittels eines einfachen Ray-Tracing-Ansatzes berechnet. Hierbei kann gleichzeitig auch die Blende in parametrisierter Form mitberücksichtigt werden. Dieser Ansatz ist möglich, da die verbleibende Strecke unterhalb der mittleren freien Weglänge liegt und daher die Streuung mit dem Gas vernachlässigt werden kann. Der Ray-Tracing-Algorithmus ermöglicht die Berechnung einer vollständigen Bewegungstrajektorie in wenigen Sekunden auf einer einzelnen CPU und kann somit als »Digitaler Zwilling« für den Beschichtungsprozess auf 3D-Substraten angesehen werden.



3

1–3 Simulation der Plasmaentladung (1), des Targeterosionsprofils (2) sowie des Teilchentransports (3) beim Magnetronspintern.

Validierung des Simulationsmodells

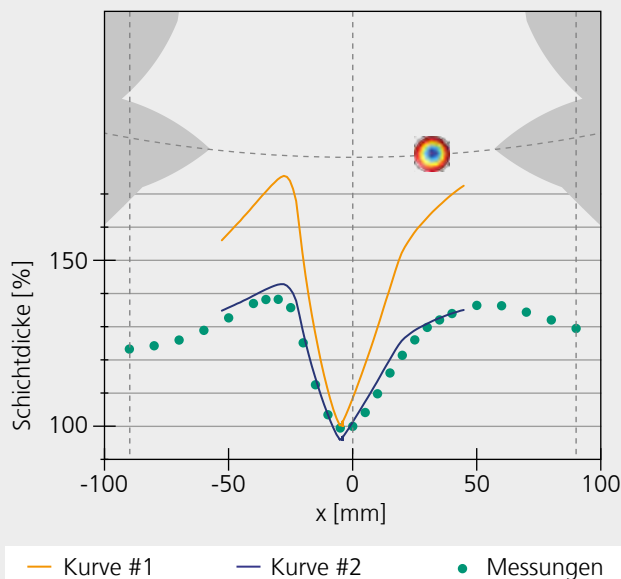
Es wurde ein Bandpassfilter auf eine plano-konvexe sphärische Linse mit 20 mm Durchmesser und 25 mm Krümmungsradius abgeschieden. Um die spektrale Verschiebung zu kompensieren, ist ein Schichtdickenanstieg um 3,5 % von der Mitte bis zum Rand erforderlich. Die durch iterative Optimierung erhaltene Blendengeometrie hat eine charakteristische Zackenform, deren Mittelpunkt mit der Linsentrajektorie zusammenfällt (vgl. Abb. 4, oben). Zum Testen des Modells wurde zunächst das Schichtdickenprofil auf nicht-rotierenden Flachsubstraten gemessen (vgl. Abb. 4, unten). Hierbei zeigte sich, dass die Annahme eines homogenen Target-Erosionsprofils unzureichend ist (Kurve #1), eine gute Übereinstimmung kann nur mit dem Sputterprofil aus der Plasmasimulation erzielt werden (Kurve #2). Mit einer entsprechend angepassten Blende und einem rotierenden Substrathalter wurde die Bandpassbeschichtung realisiert. Wie in Abb. 5 zu sehen, konnte die spektrale Verschiebung des Filters über die Linsenfläche mithilfe der numerisch optimierten Blende weitgehend eliminiert werden.

Ausblick

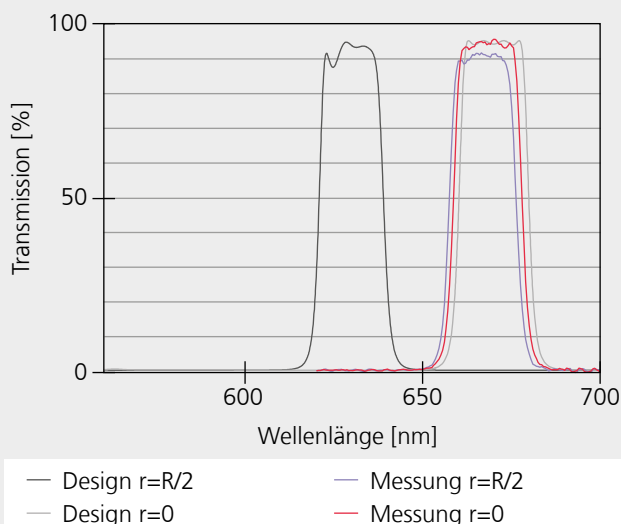
Der digitale Zwilling des Beschichtungsprozesses auf der EOSS®-Sputteranlage wurde erfolgreich validiert und kommt in Zukunft für weitere Prozess- und Substratgeometrien zur Anwendung.

KONTAKT

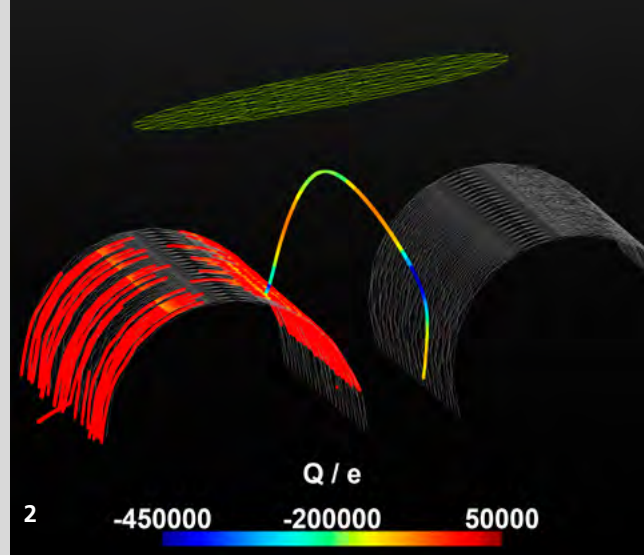
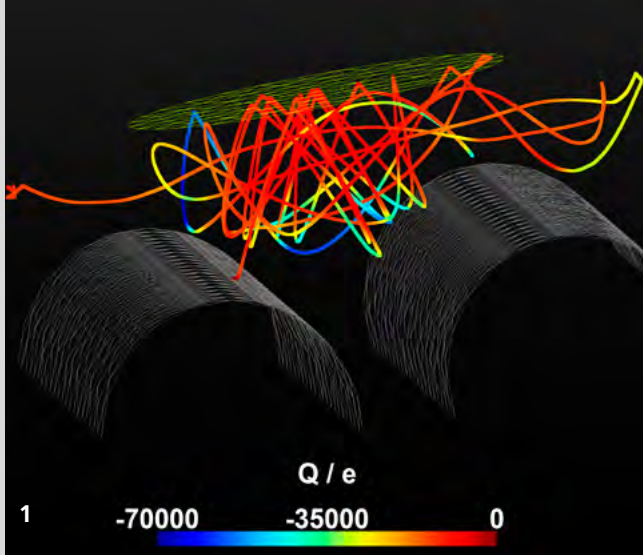
Dr. Andreas Pflug
Telefon +49 531 2155-629
andreas.pflug@ist.fraunhofer.de



4. Blende mit Linsen-Trajektorie, darunter gemessenes und gerechnetes Schichtdickenprofil auf Flachsubstrat.



5. Realisierte Beschichtung auf Linse und gemessene Spektren eines Bandpassfilters.



PARTIKEL IM BESCHICHTUNGSPROZESS

Bei optischen Beschichtungen wirken sich Partikel als Schichtdefekte auf die Abbildungsqualität, Leistungsverträglichkeit und Langlebigkeit der Optiken aus, insbesondere wenn es sich um Anwendungen im kurzwelligen Spektralbereich bzw. um Laserapplikationen handelt. Die Reduktion von Defekten in Beschichtungen stellt daher eines der wichtigsten Ziele der modernen Beschichtungstechnologien dar. Im Rahmen des Projekts »EVAPORE« wurden Mechanismen untersucht, die zur Entstehung von Partikeln führen können. Um das Verhalten von Staubteilchen in Beschichtungsprozessen besser nachvollziehen zu können, wurde am Fraunhofer IST bereits eine Software entwickelt, die in der Lage ist, die Bewegung und das Aufladen von Staubteilchen zu simulieren. Diese diente als Grundlage für die nun ebenfalls am Fraunhofer IST entwickelte Simulationssoftware PALADIN – Plasma Lattice Dust Integrator.

PALADIN – Plasma Lattice Dust Integrator

Die PALADIN-Software ist in der Lage, die Bewegung von Partikeln in einer beliebigen dreidimensionalen Geometrie zu simulieren. Dabei werden gerasterte Resultate aus einer ebenfalls am Fraunhofer IST entwickelten und zuvor durchgeführten Plasmasimulation genutzt, um die Kräfte und Ströme, die auf die Partikel wirken, auf Grundlage eines physikalischen Modells zu berechnen. Weiterhin werden Kollisionen der Teilchen mit bzw. die Haftung in Abhängigkeit von der Geometrie berechnet und aufgezeichnet.

Durch das Simulieren einer großen Anzahl von Teilchen können Statistiken erstellt werden, z. B. über die wirkenden Kräfte oder über die Größenverteilung der Partikel, die am Substrat haften. Außerdem kann die Bahn der Teilchen prinzipiell bis zu ihrem Ursprung rekonstruiert werden, sodass die Herkunft der meisten Teilchen, die eine Oberfläche beeinträchtigen, überprüft werden kann.

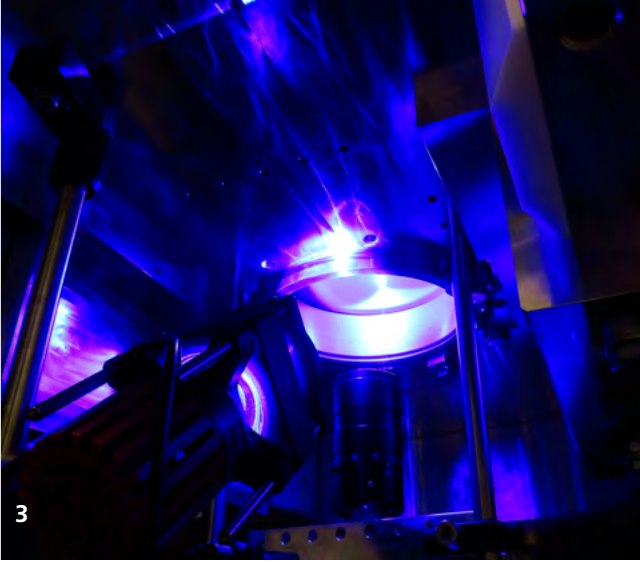
Untersuchungen zur Vermeidungsstrategie

Im Rahmen des Projekts wurde eine Vielzahl von Einflussfaktoren hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Partikelbelastung im Beschichtungsprozess geprüft. Ziel war die Entwicklung

von Strategien zur Vermeidung von Partikeln. Dafür wurden verschiedene Prozessparameter wie Prozessdruck, Gasfluss, Entladungsleistung und Pulsfrequenz, aber auch der Einfluss des Targetmaterials und der Herstellungsart experimentell getestet. Die Veränderung des Target-Substrat-Abstands sowie eine Variation des Magnetfelds beim Magnetronsputtern waren ebenfalls Teil der Untersuchungen.

Die Ergebnisse

Als sehr eindeutig hat sich der Zusammenhang zwischen der Häufigkeit des Auftretens sogenannter »Arcs«, d. h. Bogenentladungen, und der Partikelbelastung im Beschichtungsprozess herausgestellt. Solche Arcs entstehen in der Regel in Bereichen, in denen sich isolierende Schichten bilden und eine hohe elektrische Feldstärke vorhanden ist. Darüber hinaus zeigte sich, dass siliziumbasierte Partikel – das Standardmaterial für die niedrigbrechenden Schichten – gegenüber typischen hochbrechenden Materialien wie Tantalpentoxid eine stärkere Partikelbelastung verursachen. Der Grund liegt in der geringeren Masse der Si-Atome gegenüber den anderen Materialien wie z. B. Tantal (Ta) oder Niob (Nb). FIB-REM-Analysen an ausgewählten Proben haben diese Ergebnisse bestätigt. Außerdem wurde beobachtet, dass das Magnetfeld der Kathoden einen Einfluss auf die Bildung von Partikeln zu haben scheint.



1 Darstellung der Entwicklung der Ladung Q eines Teilchens in PALADIN. Sichtbar sind die Targets (grau, mittig) und das Substrat (gelb, oben) der EOSS®.

2 Ladungsverläufe von 100 Partikeln mit $10\ \mu\text{m}$ Radius. Nur ein Partikel konnte merklich vom Target abheben.

3 Partikelmonitor an der EOSS®.

Ausblick

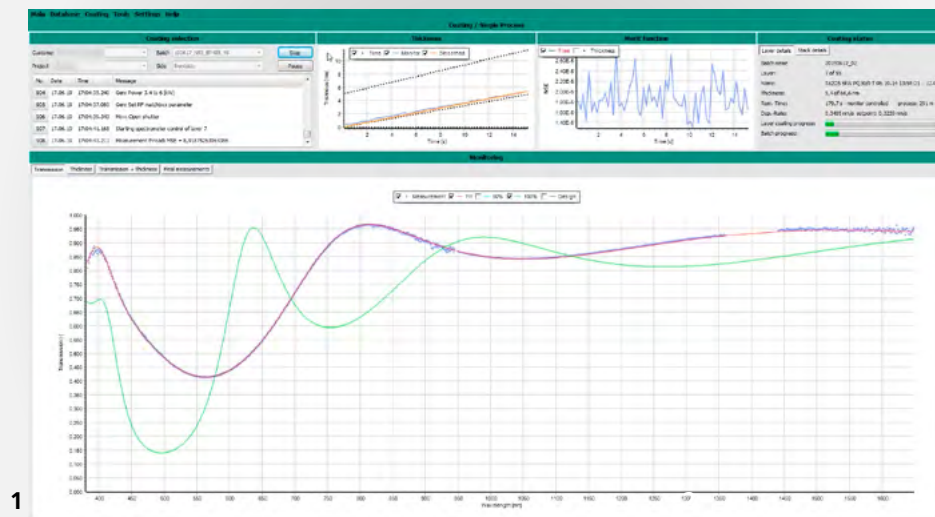
Zukünftig sollen weitere Untersuchungen die Datenbasis erhöhen und damit eine bessere statistische Aussagemöglichkeit über die verschiedenen Einflussfaktoren im Beschichtungsprozess hinsichtlich ihrer Relevanz für die Partikelbelastung liefern und ein tieferes Verständnis für die Partikelentstehung ermöglichen. Ziel ist eine kontinuierliche Verbesserung des Beschichtungsprozesses und damit eine Minimierung der Defektdichte.

Das Projekt

»EVAPORE – Entstehungsdetektion und Vermeidungsstrategien von Mikropartikeln in Plasmabeschichtungsprozessen für die optische Industrie« ist ein IGF-Projekt (Fördernummer 18590 N) der Forschungsvereinigung Feinmechanik, Optik und Medizintechnik e. V.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Hans-Ulrich Kricheldorf
 Telefon +49 531 2155-952
ulrich.kricheldorf@ist.fraunhofer.de



1



NEUE MÖGLICHKEITEN MIT MOCCA+®

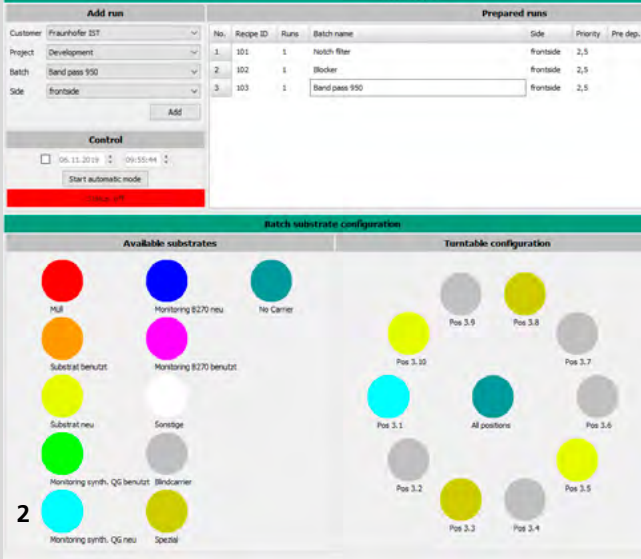
Die Komplexität der industrierelevanten optischen Filtersysteme, z. B. in der Telekommunikation, steigt kontinuierlich an. Außerdem erwarten Anwender einen immer höheren Automatisierungsgrad der Anlagen. Die am Fraunhofer IST entwickelte MOCCA+®-Software (Modular Optical Coating Control Application) ist in der Lage, neben dem optischen Breitbandmonitoring der einzelnen Schichten eines Filters auch die Steuerung der EOSS®-Anlage (Enhanced Optical Sputtering System) zu übernehmen. Zwischen den einzelnen Beschichtungsaufträgen ist kein Eingreifen des Anwenders mehr notwendig, da der Austausch der Substrate automatisiert erfolgt.

Vorbeschichtung

Mit der ebenfalls am Fraunhofer IST entwickelten EOSS®-Anlage können bis zu zehn Substrate gleichzeitig beschichtet werden. Bei einem der zehn Substrate handelt es sich in der Regel um das sogenannte Monitorsubstrat, durch das der Verlauf der Beschichtung mit Hilfe der MOCCA+®-Software überwacht wird. Spezielle Filterdesigns erfordern oftmals eine Vorbeschichtung des Monitorsubstrats. Das ist z. B. dann notwendig, wenn das Design mit einer niedrigbrechenden oder sehr dünnen Schicht beginnt. Der Unterschied im Brechungsindex zwischen dem Monitorsubstrat und der niedrigbrechenden Schicht reicht in dem Fall nicht aus, um die Abscheidung optisch zu überwachen. Aus diesem Grund werden die Kundensubstrate erst dann in die Beschichtungskammer geholt, sobald die Vorbeschichtung beendet ist. Der Tausch der Substrate wird vor dem Start des Prozesses festgelegt und erfolgt automatisch.

Parallele Rezeptschritte

Aktuelle Filterdesigns bestehen teilweise aus mehreren 100 Einzelschichten. Zwischen zwei Schichten werden jeweils bestimmte Rezeptschritte ausgeführt, z. B. die Änderung der Generatorleistung als Vorbereitung für die nächste Schicht. Bei der großen Anzahl an Schichten summieren sich deshalb selbst kurze Wartezeiten von einigen Sekunden zu einem nicht mehr vernachlässigbaren Wert im Stundenbereich auf. Aus diesem Grund ist es möglich, Rezeptschritte für die folgende Schicht bereits auszuführen, während die aktuelle Schicht noch läuft. Dadurch werden Wartezeiten verkürzt und die Produktivität der gesamten Anlage erhöht.



1 Oberfläche während einer laufenden Beschichtung.

2 Benutzeroberfläche zur Definition der Substratbelegung.

Redesign/Reoptimierung

Eine Optimierung der gesamten Beschichtung kann durch den Einsatz der externen Programme OptiLayer und OptiRE erreicht werden. Der Aufruf der Anwendungen und die Auswertung der Ergebnisse erfolgt ebenfalls vollautomatisiert. Mit Hilfe von OptiLayer können die noch nicht abgeschiedenen Schichten eines Filters angepasst werden, um prozessbedingte Schwankungen zu kompensieren. OptiRE erlaubt die Korrektur der Schichtdicken der bereits abgeschiedenen Schichten unter Berücksichtigung aller finalen Messungen dieser Schichten.

KONTAKT

Thomas Melzig, M. Sc.
Telefon +49 531 2155-644
thomas.melzig@ist.fraunhofer.de

LIFE SCIENCE UND UMWELT



Im Bereich »Life Science und Umwelt« 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
- Implantate
- Entkeimung von Oberflächen und Desinfektion
- Beschichtung und Funktionalisierung von medizinischen Einwegartikeln

Agrar- und Lebensmitteltechnik

- Entkeimung
- Desinfektion von Verpackungen
- Barrierschichten
- Antihafschichten

Wasser- und Luftreinigungstechnik

- Wasserdesinfektion und Abwasseraufbereitung mittels Diamantelektroden
- Systeme zur photokatalytischen Luft- und Wasserreinigung

Selbstreinigung

- Standardisierte Prüfverfahren zur neutralen Evaluierung photokatalytischer Produkteigenschaften

Textiltechnik

- Halogenfreier Flammenschutz 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.

»Labor im Beutel« zur Kultivierung von Stammzellen.

Geschäftsfeldbezogene Nachhaltigkeitsziele





SAUBERES WASSER FÜR LÄNDLICHE GEBIETE IM SÜDLICHEN AFRIKA

In den 16 afrikanischen Ländern südlich der Sahara, die unter das Dach der Entwicklungsgemeinschaft des südlichen Afrika (Southern Africa Development Community – SADC) fallen, haben mehr als 100 Millionen Menschen keinen Zugang zu sauberem Wasser. Am stärksten betroffen sind Menschen in ländlichen Gebieten oder in informellen Siedlungen ohne Anschluss an Leitungswasser und mit unzuverlässiger oder fehlender Energieversorgung durch das Netz. Wasser, das für Trink- und Sanitärzwecke verwendet wird, ist oft stark mit Keimen sowie mit organischen und/oder anorganischen Schadstoffen belastet. Eine wesentliche Ursache für diesen fehlenden Zugang zu sauberem Wasser ist eine mangelhafte Infrastruktur. Ländliche Wasseraufbereitungsanlagen befinden sich oft in einem schlechten Zustand, da sie nicht zuverlässig betrieben und gewartet werden. Darüber hinaus gelangen durch zunehmende Aktivitäten der Menschen und eine wachsende Bevölkerung immer mehr Schadstoffe in das Wasser. Im Rahmen des von der EU geförderten Horizon 2020-Projekts »Self-Sustaining Cleaning Technology for Safe Water Supply and Management in Rural African Areas«, kurz »SafeWaterAfrica«, entwickelte ein europäisch-afrikanisches Konsortium unter der Koordination des Fraunhofer IST eine »Made in Africa«-Lösung, um diese Lücke zu schließen.

Europa und Afrika – gleichberechtigte Partner

Europäische und afrikanische Partner haben im Rahmen des Projekts SafeWaterAfrica als gleichberechtigte Partner auf allen Ebenen – einschließlich der technischen Entwicklung, der Ausbildung und der Geschäftsentwicklung – eng zusammengearbeitet, um das Wasserreinigungssystem als »Made in Africa«-Lösung zu entwickeln und bei den afrikanischen Akteuren im Wassersektor bekannt zu machen. Eine »Made in Africa«-Wahrnehmung ist von entscheidender Bedeutung, um die SafeWaterAfrica-Technologie und die lokale Eigenverantwortung der Nutzer vor Ort zu erreichen.

SafeWaterAfrica – die Technologie

Kernkomponente des SafeWaterAfrica-Wasserreinigungssystems ist ein elektrochemisches Oxidationsverfahren mit Metallelektroden, die mit einer nur wenige Mikrometer dicken

leitfähigen bordotierten Diamantschicht beschichtet sind. Mit Hilfe dieser Elektroden werden organische Verunreinigungen wie Pestizide, Arzneimittel und Keime effizient aus verunreinigten Gewässern entfernt. Bei Niederspannung erzeugen die Elektroden starke Oxidantien wie Hydroxylradikale ($\text{OH}\bullet$) und Ozon (O_3), die in der Lage sind, Viren zu deaktivieren und organische Substanzen in sichere Substanzen zu zerlegen.

Das modulare Reinigungssystem verfügt über eine Vorbehandlung mit einer neu entwickelten und hocheffizienten Elektrokoagulation und Elektrodialyse. Die Vorbehandlung entfernt Schwebeteilchen und Schwermetalle, um eine optimale Effizienz der elektrochemischen Oxidation zu erreichen.

Zwei containerbasierte Demonstrationsanlagen in Waterval, Südafrika, und in Ressano Garcia, Mosambik, sind seit Monaten in Betrieb, wobei die Wasserquellen Klip River bzw. Inkomati River sind. Die Demonstratoren liefern Wasser gemäß den



Standards der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der südafrikanischen SANS 241 Regularien. Die südafrikanische Einheit wird erfolgreich durch lokales Personal betrieben. Sie ist mit Solarmodulen und Batterien für den netzunabhängigen Betrieb ausgestattet und wurde bereits im 24-Stunden-Betrieb getestet. 7–8 Stunden Sonneneinstrahlung reichen aus, um mindestens 10 000 Liter sauberes Wasser pro Tag zu produzieren, das für die Versorgung von 300 Menschen ausreicht.

Sozioökonomische und wirtschaftliche Auswirkungen

Die SafeWaterAfrica-Technologie wird zur Verbesserung der Trinkwasserversorgung beitragen und damit die Ziele der Vereinten Nationen für nachhaltige Entwicklung (SDG) 6 und 3 erfüllen. In den ländlichen Gemeinden bedeutet dies insbesondere für Frauen und Kinder eine Erleichterung bei der zeitaufwändigen Wasserbeschaffung und mehr Möglichkeiten für Bildung und produktive Tätigkeiten (SDG 5). Eine gute Gesundheit wird auch die Schulabwesenheitszeiten der Schülerinnen und Schüler reduzieren, mit entsprechenden positiven Auswirkungen auf die Bildung. Auf der wirtschaftlichen Seite werden durch die lokale Herstellung, Installation, Bedienung und Wartung von Systemen neue qualifizierte Arbeitsplätze im ländlichen Raum geschaffen (SDG 8).

Ausblick

Zukünftig werden die Arbeiten mit dem Ziel fortgesetzt, die Sichtbarkeit für das SafeWaterAfrica-System bei allen relevanten öffentlichen und privaten Interessengruppen zu erhöhen. Darüber hinaus wurden Geschäftsmodelle entwickelt, um die Technologie in der Entwicklungsgemeinschaft des südlichen Afrika einzuführen.

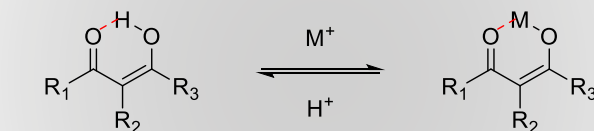
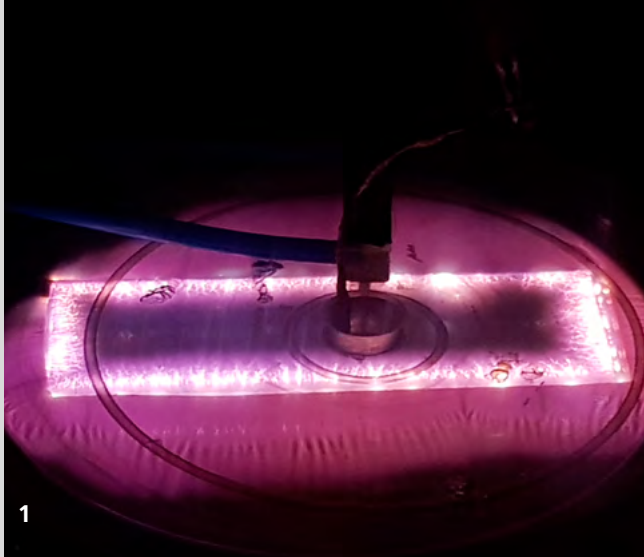
1 Demonstrationsanlage in Südafrika: Gesamtansicht mit den Solarmodulen zur Versorgung mit dem benötigten Strom.

2 Demonstrationsanlage in Ressano Garcia, Mosambik.

3 Ein Mitarbeiter kontrolliert die Elektrodeneinheit im SafeWaterAfrica-System in Ressano Garcia, Mosambik.

KONTAKT

Dr. Lothar Schäfer
Telefon +49 531 2155-520
lothar.schaefer@ist.fraunhofer.de



2

MODIFIKATIONEN VON MEMBRANEN ZUR ABWASSERREINIGUNG VON SCHWERMETALLEN

Zur Verbesserung der Abwasserreinigung von Schwermetallen wurde am Fraunhofer IST ein Atmosphärendruck-Plasmaverfahren entwickelt, um Filtermembranen gezielt zu funktionalisieren.

Die Herausforderung

Im Jahr 2025 werden nach Angaben der Food and Agriculture Organization (FAO) allein in den Vereinigten Staaten 1,8 Millionen Menschen unter absolutem Wassermangel leiden. Die Aufbereitung von Wasser in geeigneter Qualität ist daher von enormer Bedeutung. Ziel des Projekts »M²ARS« war es, eine oberflächenfunktionalisierte Filtermembran aus kostengünstigem Polypropylen (PP) zu entwickeln, die im Wasser enthaltene gesundheitsschädliche Metallionen hochselektiv an der Oberfläche ihrer Poren bindet. Ein weiterer Vorteil neben dieser Selektivität ist, dass die Filterung auf dem Prinzip der Adsorption beruht, sodass die Membran nicht nanoporig sein muss. Dadurch kann auf den Einsatz hoher Drücke verzichtet werden. Gleichzeitig wird das Risiko des Verstopfens der Membran deutlich reduziert. Das Atmosphärendruck-Plasmaverfahren zur Funktionalisierung der Membran erlaubt es, Plasmen auch in kleinsten Hohlräumen bis zu 10 µm zu zünden.

Die Oberflächenbehandlung

Metallionen können in Form sogenannter Chelatkomplexe gebunden werden. Die Metallionen bilden dabei das Zentralatom, das von einem mehrzähligen Liganden, d. h. einem Molekül, das mindestens zwei freie Elektronenpaare besitzt, gebunden wird. Bei dieser koordinativen Bindung werden die Bindungselektronen allein vom Liganden bereitgestellt. Mittels Atmosphärendruck-Plasmafunktionalisierung konnten am Fraunhofer IST sogenannte β-Diketone auf der PP-Oberfläche generiert werden, die als Liganden die Metallionen in Form

von Chelatkomplexen binden (vgl. Abbildung 2). Dafür wurde zunächst ein geeigneter Versuchsstand zur Erzeugung der β-Diketone durch ein Plasmaverfahren aufgebaut und getestet, das auf dem Prinzip der dielektrisch behinderten Entladung (DBE) bei Atmosphärendruck basiert. Durch den Einsatz poröser Elektrodenmaterialien ließ sich der Gasstrom gerichtet durch die Membran hindurchleiten (vgl. Abbildung 1).

Die Ergebnisse

Innerhalb der Projektlaufzeit konnte ein grundsätzlicher Funktionsnachweis auf Flachsubstraten erbracht werden: die β-Diketone auf der PP-Oberfläche sowie die Anbindung von Metallionen konnten jeweils erfolgreich mittels FTIR-ATR- und XPS-Spektroskopie nachgewiesen werden. Auf der β-Diketone-funktionalisierten PP-Oberfläche bildeten sich beispielsweise nach einer Auslagerung in einer wässrigen Eisen(III)-Lösung entsprechende Chelatkomplexe mit Eisen(III)-Ionen.

In der nebenstehenden Abbildung sind die XPS-Übersichtsspektren einer unbehandelten PP-Schicht, einer plasmaaktivierten PP-Schicht und einer plasmaaktivierten PP-Schicht nach der Auslagerung in einer wässrigen Eisen(III)-Lösung dargestellt. Durch die Plasmaaktivierung wurde die gewünschte sauerstoffhaltige Funktionalisierung erreicht. Auf der ausgelagerten Probe konnte deutlich Eisen nachgewiesen werden, wohingegen kaum Chlor detektiert wurde. Somit konnte gezeigt werden, dass ausschließlich Eisenionen auf der Oberfläche gebunden wurden. In einer anderen Versuchsreihe wurde die plasmafunktionalisierte PP-Schicht in einer Kupfer-

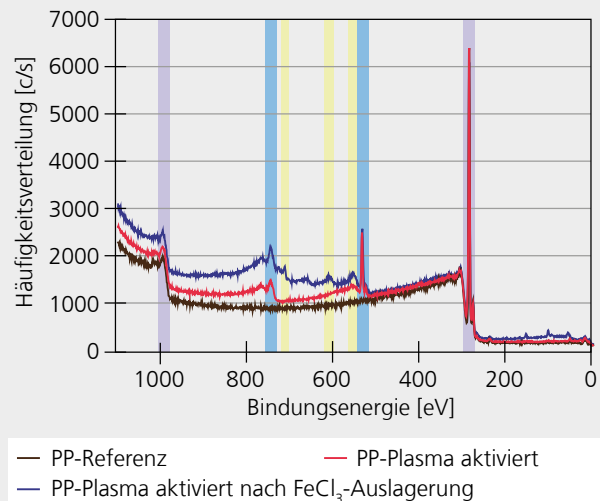
1 Atmosphärendruck-Plasmabehandlung einer Polypropylenmembran mit einer mittleren Porengröße von 40 µm mittels Dieletrisch Behinderter Entladung (DBE).

2 Mechanismus der Bildung von Chelatkomplexen mit β -Diketonen als Liganden.

fer(II)-Lösung ausgelagert. Auch dort konnte die Adsorption von Kupfer erfolgreich demonstriert werden. Der Prozess wurde zudem auf das 5 mm dicke Filtermaterial übertragen. Die Eindringtiefe der Behandlung wurde dabei durch eine Anfärbung mit Methylenblau untersucht. Dabei wurde bisher keine vollständige Durchdringung des Materials erreicht.

Der Ausblick

Zukünftig soll durch eine Optimierung der Plasmaaktivierung sowie durch die Anpassung des Membranmaterials (z. B. Dicke, Porenverteilung) eine vollständige Aktivierung des Materials erreicht werden. Zudem ist geplant, das Membranmaterial hinsichtlich der Filtrationsleistung von Metallen zu testen. Ein wichtiger Schwerpunkt dabei wird auch die Regeneration der Membranen und die damit verbundene Rückgewinnung der gefilterten Metalle sein. Auf Basis des evaluierten Plasmaprozesses, welcher sich gut in einen industrietauglichen Rolle-zu-Rolle-Prozess übertragen lässt, lassen sich weitere interessante Forschungsfelder erschließen wie z. B. die Isolierung von Feinchemikalien aus industriellen Abfallstoffen. In der Papierherstellung werden beispielsweise jährlich weltweit mehr als 500 Millionen Tonnen Schwarzlauge hergestellt, welche neben Lignin als Hauptprodukt weitere wertvolle Chemikalien wie Vanillin, Pestizide oder auch Pigmentruß beinhaltet.

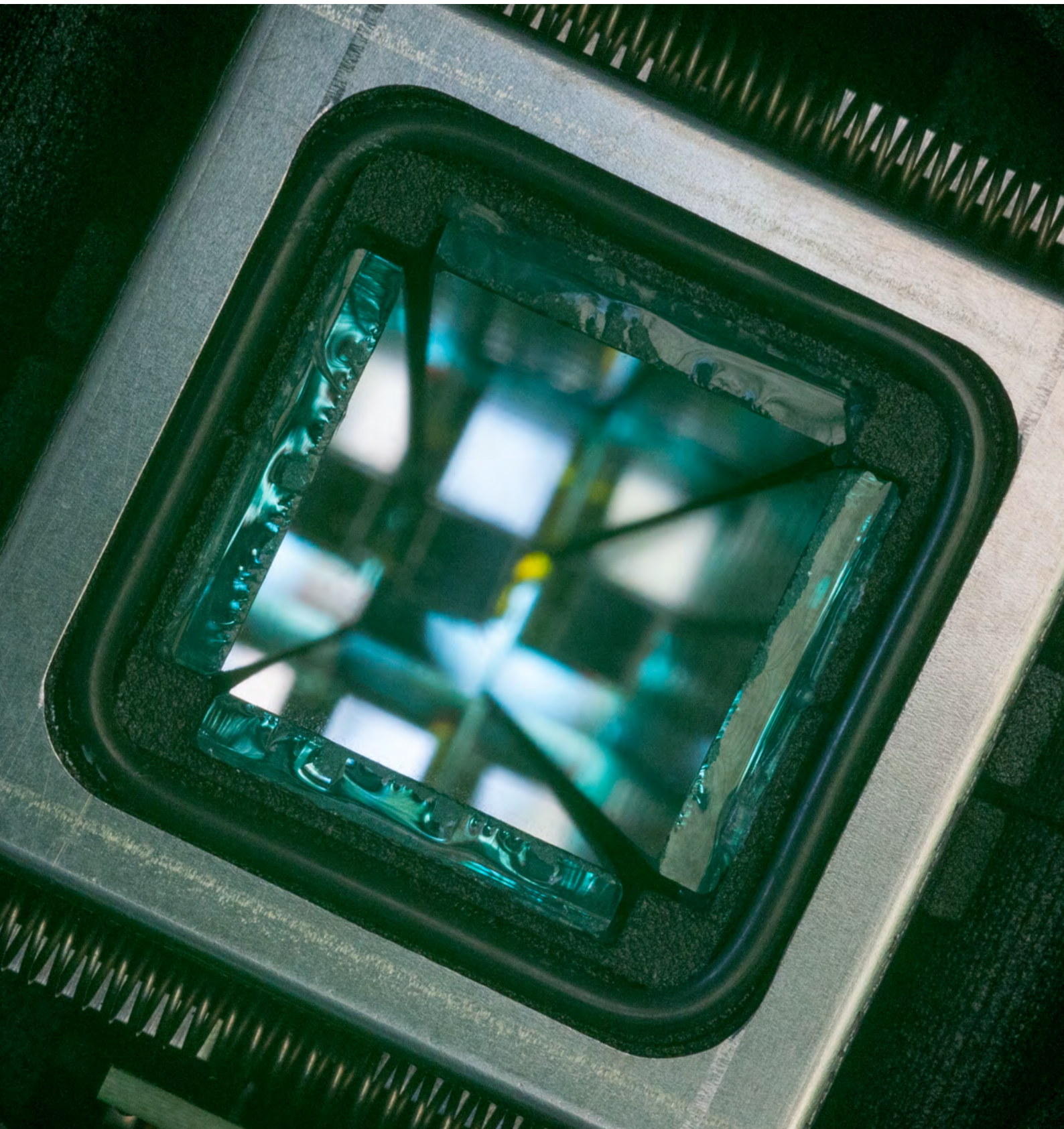


XPS-Übersichtsspektren einer unbehandelten Polypropylen-schicht (schwarz), einer plasmaaktivierten Polypropylen-schicht (rot) und einer plasmaaktivierten Polypropylen-schicht nach Auslagerung in eine wässrige Eisen(III)-Lösung (blau). Detektierte Kohlenstoff-Peaks sind in Grau, Sauerstoff-Peaks in Blau und Eisen-Peaks in Gelb hervorgehoben.

KONTAKT

Rowena Duckstein, M.Sc.
Telefon +49 531 2155-619
rowena.duckstein@ist.fraunhofer.de

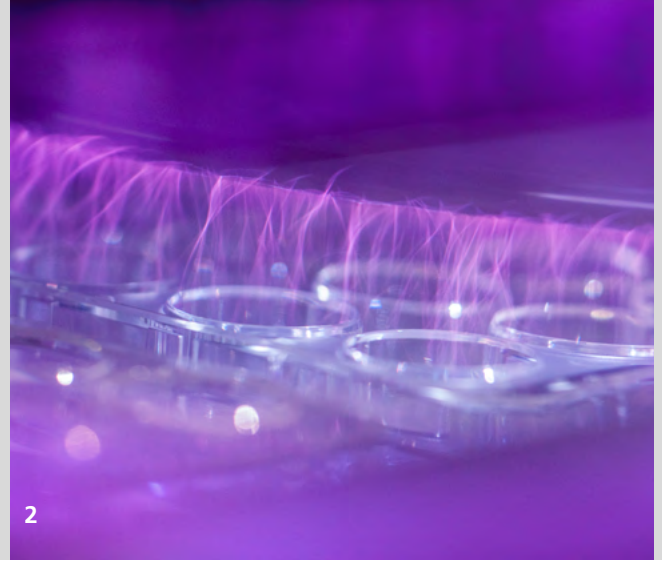
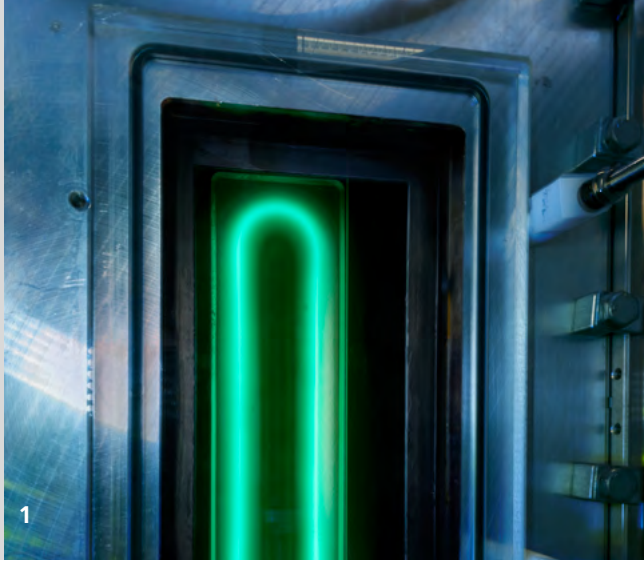
LEISTUNGEN UND KOMPETENZEN



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), digitale Prozessautomatisierung, cyber-physische Produkt- und Produktionssysteme, nachhaltige Fabrikssysteme und Life Cycle Management, Energiespeichersysteme, Schichtcharakterisierung und -prüfung, Aus- und Weiterbildung, anwendungsbezogene Auslegung und Modellierung, Simulation, Anlagen- und Komponentenentwicklung, Geräte- und Anlagenbau sowie Technologietransfer.



NIEDERDRUCKVERFAHREN UND ATMOSPHÄRENDRUCKVERFAHREN

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

Atmosphärendruckplasmen

- Plasmapolymerisation
- Dielektrisch behinderte Entladung
- Mikroplasmen und Plasma-Printing
- Integration von Plasma in Additive Fertigungsverfahren
- Plasma-Partikeltechnik
- Kalt-Plasmaspritzen

Elektrochemie

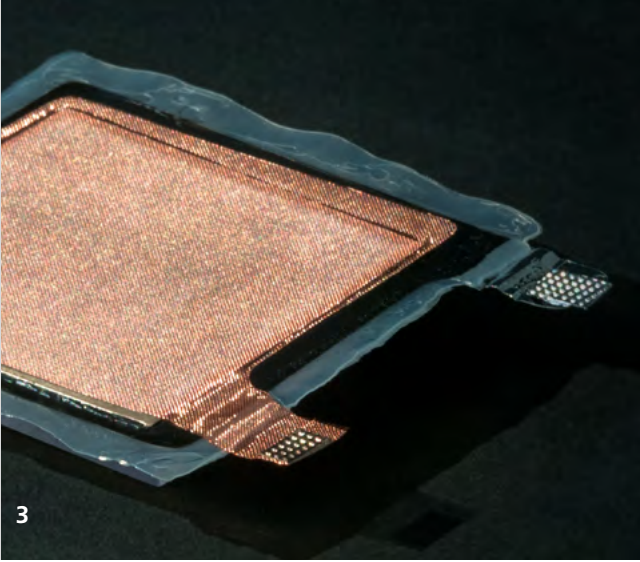
- Galvanische Metallisierung
- Chemische Metallisierung
- Metallabscheidung aus ionischen Flüssigkeiten
- Dispersionsabscheidung

Lasertechnik

- Laser-Plasma-Hybridverfahren
- Laserinduzierte Fluoreszenz
- Laserstrukturierung

Oberflächenchemie

- Tauchbeschichtung
- Spin-Coating
- Photopolymerisation
- Chemische Derivatisierung



ENERGIESPEICHER UND SYSTEME

Energiespeicherentwicklung und Verfahrenstechnik

- Entwicklung mobiler und stationärer Energiespeicher und Systeme bis zur industriellen Reife
- Formulierungs- und Fertigungsstrategien für Festkörperbatterien*
- Skalierbare Herstellung und Fertigung von Materialien für Energiespeichersysteme*
- Partikel- und Oberflächenbeschichtung
- Oberflächenfunktionalisierung
- Partikel-, Pulver- und Suspensionscharakterisierung*
- Elektrodenfertigung*
- Zellcharakterisierung und -sicherheit*

Nachhaltige Fabriksysteme und Life Cycle Management

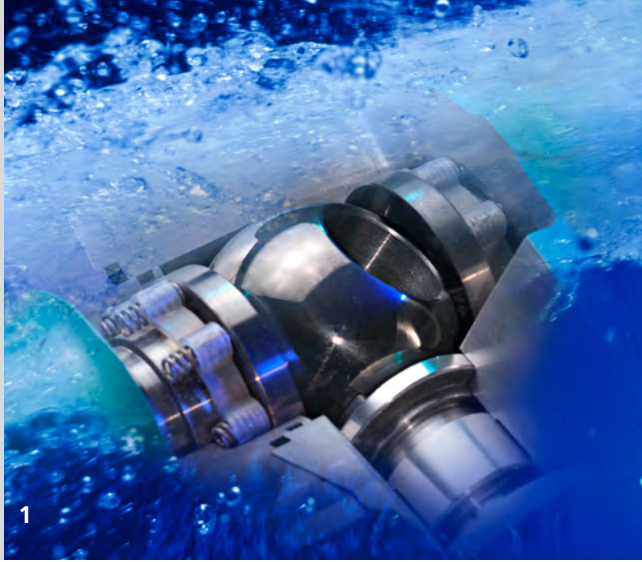
- Batteriezellfertigung*
- Modellbasierte Planung und Betrieb von Batterie-Produktionssystemen
- Simulation vom Material bis zur Fabrik
- Vernetzung virtueller Modelle mit realer Batterieproduktion in cyber-physischen Produktionssystemen (CPPS)
- Data Mining und Data Analytics entlang der Batterie-Prozesskette
- Ökologisch-ökonomische Lebensweganalysen

*in Kooperation mit der Battery LabFactory Braunschweig (BLB).

1 *HIPIMS-Plasma.*

2 *Plasmaentladung in synthetischer Luft.*

3 *Aufbau einer Batteriezelle.*



KOMPETENZ SCHICHTSYSTEME

Reibungsminderung und Verschleißschutz

- Amorphe Kohlenstoffschichten (DLC)
- Diamantschichten
- Hartstoffschichten
- Nitride/Kubisches Bornitrid (cBN)
- Metallschichten
- Plasmadiffusion/DUPLEX-Verfahren
- Trockenschmierstoffe
- Erosionsschutz
- Korrosionsschutz
- Antihaft- 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
- Magnetische 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 und -reinigung
- Oxidation und Reduktion von Metallen
- Plasma-Oberflächenmodifikation
- Optimierung von Haftverbünden

Produkt- und Produktionssysteme

- Life Cycle Management
- Nachhaltige Fabrikplanung
- Auslegung von Prozessketten und Produktionssystemen

Simulation

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

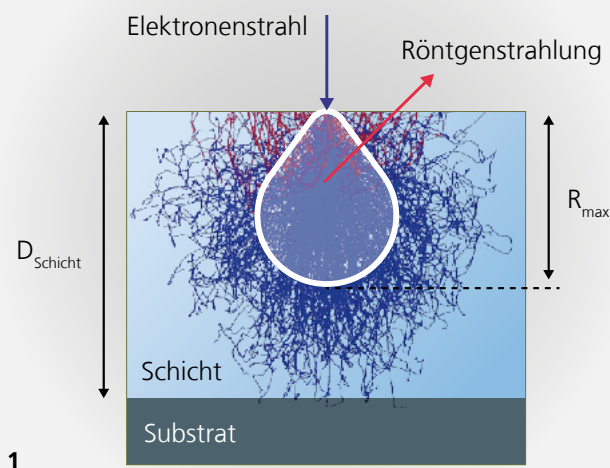
Analytik und Qualitätssicherung

- 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 Beschichtetes Kugelventil: Reduzierung der Antriebsleistung.

2 Demonstrator einer mobilen Messpistole mit lumineszenter Trägerfolie.

3 Rockwell-Test zur Überprüfung der Schichthaltung.



EPMA-ANALYSE DÜNNER SCHICHTEN: SCHICHTDICKE UND ZUSAMMENSETZUNG

Die chemische Zusammensetzung und die Schichtdicke sind bei dünnen Beschichtungen oft die wichtigsten Parameter, die die Funktion der Schicht bestimmen. Eine Qualitätssicherung dieser Parameter ist daher, sowohl bei der Entwicklung als auch in der Produktion, essentiell. Die Elektronenstrahl-Mikroanalyse (EPMA) ist eine vielseitige Methode zur Charakterisierung dünner Schichten mit Dicken von Nanometern bis Millimetern. Sie erlaubt die zerstörungsfreie Bestimmung der chemischen Zusammensetzung und bei Schichten im Sub-Mikrometer-Bereich auch der Schichtdicken mit hoher Genauigkeit und Nachweisempfindlichkeit.

Das Messprinzip

Bei der EPMA-Analyse wird die Probe mit einem fein fokussierten Elektronenstrahl zur Emission von Röntgenstrahlung angeregt, die mithilfe von mehreren wellenlängen-dispersiven Kristallspektrometern analysiert wird. Aus der Intensität der charakteristischen Röntgenstrahlung kann die chemische Zusammensetzung mit einer absoluten Genauigkeit von 1–3 wt% bestimmt werden. Bei Schichten, die dünner als 500–1000 nm sind, können – unter gewissen Randbedingungen – zusätzlich die Dicke der Schichten von Einzel- und Mehrschichtsystemen zerstörungsfrei bestimmt werden.

Bulk Analyse der chemischen Zusammensetzung

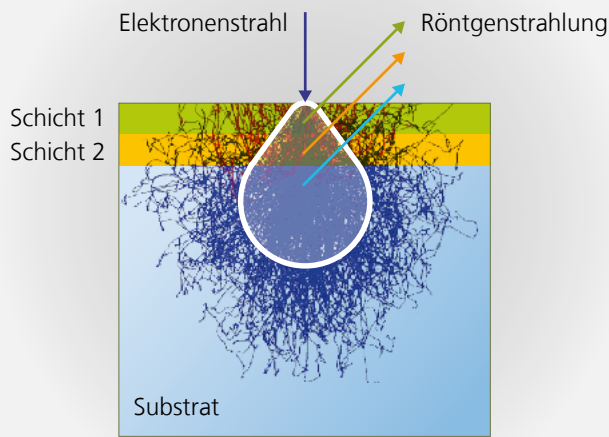
Wenn die Schichten relativ dick sind, d. h. $> 1 \mu\text{m}$, kann die chemische Elementzusammensetzung unabhängig vom Substrat gemessen werden (vgl. Abb. 1). Die Nachweisgrenze beträgt dabei ca. 0,01 wt% und die relative Genauigkeit 0,1 wt%. Die Ortsauflösung liegt, durch den fein fokussierten Elektronenstrahl, bei ca. $1 \mu\text{m}$. Dadurch können sehr gut ein- und zweidimensionale Verteilungen der chemischen Zusammensetzung gemessen werden, bei Schichten $> 10 \mu\text{m}$ auch am Querschliff. Die Abbildung 2 zeigt einen Querschliff durch ein Stück Gusseisen mit graphitischen Ausscheidungen.

Ein Linescan über eine der Ausscheidungen zeigt neben dem Kohlenstoff im Partikel 0,03 wt% Phosphor und in einer oberflächennahen Schale des Partikels bis zu 0,13 wt% Bor (vgl. nebenstehende obere Abbildung). Dies demonstriert die hohe Nachweisempfindlichkeit und die sehr gute Ortsauflösung des Verfahrens.

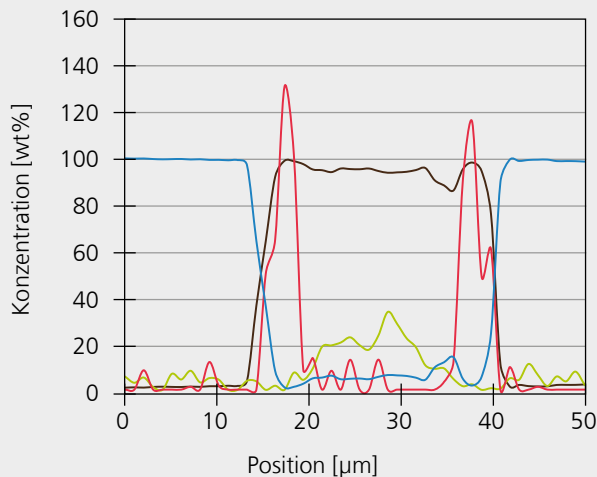
Die Dünnschichtanalyse

Neben der Analyse der chemischen Zusammensetzung ist bei Schichten dünner als 500–1000 nm auch eine Messung der Schichtdicke möglich. Der Elektronenstrahl kann in diesem Fall durch die Schicht bis in das Substrat eindringen. Dies geht sogar bei Zwei- oder Dreifach Schichtsystemen (vgl. Abb. 3). Voraussetzung ist, dass jedes beteiligte chemische Element nur in einer der Schichten oder im Substrat vorkommt, damit die entsprechende Elementstrahlung eindeutig zugeordnet werden kann.

Die nebenstehende untere Grafik zeigt ein Beispiel einer magneto-optischen Speicherdisk aus Polycarbonat, auf der sich unten eine Gd-Tb-Fe-Funktionsschicht befindet, die mit einer Al-Schutzschicht versehen ist. Mithilfe der EPMA-Dünnschichtanalyse kann ortsabhängig über den Radius der Disk simultan die Dicke beider Schichten und die Stöchiometrie der verborgenen

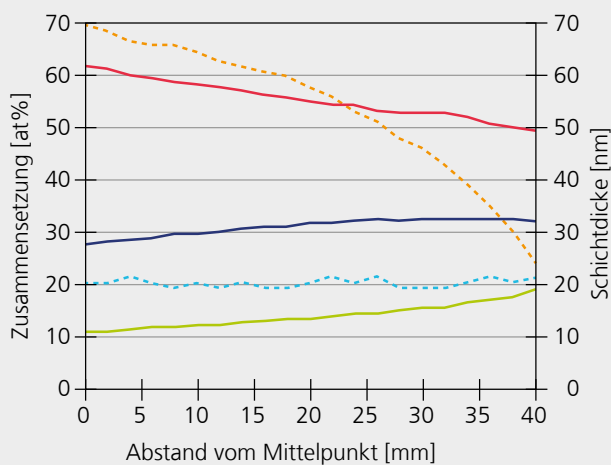


3



■ C ■ Fe ■ Px1000 ■ Bx1000

EPMA Linescan über eine graphitische Ausscheidung in Gusseisen.



MO-Disk
Al
Gd-Tb-Fe
PC
d_{Al}
d_{Gd-Tb-Fe}
Fe
Tb
Gd

Linescan über eine magneto-optische Speicherdisk, mit einer Al-Deckschicht und Gd-Tb-Fe-Funktionsschicht auf einem Polykarbonat-Substrat.

1 EPMA-Analyse dicker Schichten unabhängig vom Substrat: Eindringtiefe der Elektronen kleiner als die Schichtdicke.

2 Querschliff eines Gusseisens mit graphitischen Ausscheidungen.

3 EPMA-Analyse dünner Schichten. Eindringtiefe der Elektronen ist größer als die Schichtdicke. Simultane Bestimmung von Schichtdicke und Zusammensetzung ist möglich.

magneto-optischen Schicht Punkt für Punkt bestimmt werden. Man erkennt einen starken Gradienten in der Schichtdicke der Gd-Tb-Fe-Schicht von 70 auf 20 nm. Gleichzeitig variiert das (Gd+Tb)/Fe-Verhältnis signifikant über den Radius der Disk. Die Messdauer für diese Analyse betrug ca. 45 min.

Die Dünnschichtanalyse ist so empfindlich, dass damit unter günstigen Bedingungen sogar Monolagen eines Materials, die unter einigen 10–100 nm eines anderen Materials liegen, detektiert und vermessen werden können. So konnte etwa in einer Low-E-Glasbeschichtung eine nur 0,3 nm dicke NiCr-Schicht unter 30 nm einer Metalloxidschicht in der Dicke bestimmt und die Stöchiometrie von Ni zu Cr gemessen werden.

Ausführlichere Erläuterungen und weitere Beispiele finden Sie in Vakuum in Forschung und Praxis, Vol 31, Nr. 3 (Juni 2019), S. 26–36.

KONTAKT

Dr. Kirsten Schiffmann
Telefon +49 531 2155-577
kirsten.schiffmann@ist.fraunhofer.de

NAMEN, DATEN, EREIGNISSE







MESSEN, AUSSTELLUNGEN, KONFERENZEN

Hannover Messe 2019

Hannover, 1.–5. April 2019. Auf der diesjährigen Hannover Messe fokussierte sich das Fraunhofer IST auf wichtige Themen wie Industrie 4.0, Digitalisierung, Simulation und Modellierung von Materialien über Prozesse bishin zu Produkt- und Produktionssystemen und ganzen Fabriken. Im Rahmen des Fraunhofer-Gemeinschaftsstands »Digital Solutions & New Materials« zeigte das Institut anhand seiner Arbeiten zur Simulation von Beschichtungsprozessen, inwiefern digitale Lösungen die Entwicklung innovativer Produkte erleichtern und beschleunigen können. Darüber hinaus wurden die neuesten Ergebnisse aus dem Bereich der tribologischen Systeme sowie der integrierten Sensorik vorgestellt.

SVC TechCon 2019

Long Beach, Kalifornien, USA, 27. April–2. Mai 2019. Die bereits zum 62. Mal stattfindende SVC TechCon ist eine Konferenz mit besonderer Relevanz für Experten aus dem Bereich der Vakuumbeschichtungstechnologie und -materialien. Das Fraunhofer IST nutzte die Gelegenheit, in diesem Rahmen neben mehr als 150 weiteren Ausstellern die neuesten Ergebnisse zur HIPIMS-Technologie und zu optischen Schichten zu präsentieren. Zusätzlich wurden aus dem Feld der Simulation Erkenntnisse zu den Themen Staubpartikelsimulation, 3D-Mittelfrequenz-Simulation und dem Monitoringsystem MOCCA⁺® (Modular Coating Control Application) gezeigt.

Paris Air Show 2019

Le Bourget, Frankreich, 17.–23. Juni 2019. Auf der führenden Branchenmesse der Luft- und Raumfahrtindustrie präsentierte sich das Fraunhofer IST auf dem Gemeinschaftsstand des Bundesverbands der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e. V. (BDLI) mit seinem Angebot: neueste Schichtentwicklungen für Weltraumanwendungen wie Hohlleiter aus metallisiertem CFK für Antennen der »Sentinel-Mission« sowie optische Filter und Linsen für Weltraumanwendungen.

10th International Conference on High Power Impulse Magnetron Sputtering (HIPIMS)

Braunschweig, 19.–20. Juni 2019. Das Fraunhofer IST nahm als wissenschaftlicher Partner an der 10. internationalen Konferenz zum Thema High Power Impulse Magnetron Sputtering (HIPIMS) und der dazugehörigen Industrieausstellung teil. Die Konferenz bot eine Plattform für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus aller Welt, um sich über aktuelle Ergebnisse und Trends im Bereich Plasma-Oberflächentechnik auszutauschen. Ein Teil der Konferenz war in diesem Jahr erstmals auch dem Thema »Sputtertechnologien« gewidmet, woran sich Mitarbeiter der Gruppe »Hochionisierte Plasmen und PECVD« mit Posterbeiträgen beteiligten.

2

1 Blick auf den Fraunhofer- Gemeinschaftsstand auf der Hannover Messe 2019.

2 Der Stand des Fraunhofer IST auf der SVC TechCon 2019.

LASER World of Photonics 2019

München, 24.–27. Juni 2019. Die LASER World of Photonics ist die Weltmesse für Komponenten, Systeme und Anwendungen optischer Technologien. Der dazugehörige Fachkongress auf der Laser-Messe beleuchtet außerdem die gesamte Bandbreite der Photonik aus den unterschiedlichsten Perspektiven. Das Fraunhofer IST nutzte die Möglichkeit, um ultrapräzise optische Interferenz- und Bandpassfilter zu präsentieren, die mit dem Sputtersystem EOSS® (Enhanced Optical Sputtering System) hergestellt wurden.

Das System erlaubt eine Batch-Bearbeitung von bis zu zehn Substraten gleichzeitig bei extremer Präzision und Uniformität der Beschichtungen mit hochkomplizierten Schichtdesigns und hoher Prozesssicherheit. Darüber hinaus wurde eine Demo-version des Monitoringsystems MOCCA+® (Modular Coating Control Application) vorgestellt, das zur Schichtdickenkontrolle und Automatisierung des gesamten Beschichtungsablaufs im Bereich der Präzisionsoptik eingesetzt wird.

Rapid.Tech 2019

Erfurt, 25.–27. Juni 2019. Zum ersten Mal nahm das Fraunhofer IST im Rahmen eines Gemeinschaftsstands der Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung an der internationalen Fachmesse für Additive Manufacturing teil. Die additive Fertigung bietet wichtige Schnittmengen für die Oberflächentechnik. Das Fraunhofer IST beschäftigt sich in diesem Bereich unter anderem mit der Beschichtung von Pulvern, Scaffolds sowie In-situ-Plasmabehandlungen von 3D-gedruckten polymeren Gerüststrukturen.



MESSEN, AUSSTELLUNGEN, KONFERENZEN

V2019 – Vakuum & Plasma

Dresden, 8.–10. Oktober 2019. Das Fraunhofer IST nahm an der diesjährigen Fachtagung rund um die Dünnschicht-Oberflächentechnik im Rahmen der begleitenden Industrieausstellung teil. Fokus der V2019 lag thematisch auf der Plasma- und Vakuumtechnik für die Oberflächenveredlung in den Bereichen Energie und Medizin, Optik, Werkzeuge und Bauteile sowie Atomic Layer Deposition (ALD). Darüber hinaus beteiligte sich das Institut mit mehreren Beiträgen am wissenschaftlichen Programm der Konferenz.

Ausbildungsmesse »Markt der Möglichkeiten«

Wolfenbüttel, 23. Oktober 2019. In diesem Jahr präsentierte sich das Fraunhofer IST erstmals auf der Messe »Markt der Möglichkeiten« in der Henriette-Breymann-Gesamtschule in Wolfenbüttel. Interessierte Schülerinnen und Schüler konnten sich über die Ausbildung »Kaufleute für Büromanagement« sowie den Ausbildungsberuf des Physiklaboranten informieren.

International Battery Production Conference IBPC 2019

Braunschweig, 4.–6. November 2019. Im Hinblick auf nachhaltige Entwicklungen und Prozesse nimmt auch die weltweite Nachfrage nach elektrochemischen Energiespeichern, die nachhaltig produziert wurden, stetig zu. Trotz dieser hohen Nachfrage wird häufig der Produktionsprozess von Batterien vernachlässigt. Die International Battery Production Conference, die dieses Jahr zum zweiten Mal stattfand, nimmt sich dieser Lücke an und schafft so eine internationale Austausch- und Netzwerkplattform.

Das Fraunhofer IST, erstmalig wissenschaftlicher Partner der Konferenz, übernahm gemeinsam mit Vertretern des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) der TU Braunschweig und des TU-Instituts für Partikeltechnologie (iPAT) den Vorsitz der Konferenz.

Space Tech Expo Europe

Bremen, 19.–21. November 2019. Auf dem Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz Space beteiligte sich das Fraunhofer IST neben weiteren Instituten mit diversen für die Raumfahrt geeigneten beschichteten Bauteilen. Auf der dreitägigen Fachmesse wurden die neuesten Innovationen und Komponenten von Konstrukteuren, Anbietern von Teilsystemen und von Systemintegratoren für die zivile, militärische und gewerbliche Raumfahrt vorgestellt.

Formnext 2019

Frankfurt am Main, 19.–22. November 2019. Wenn es um Additive Manufacturing und die nächste Generation der intelligenten industriellen Produktion geht, dann ist die Messe Formnext die richtige Anlaufstation für innovative Unternehmen aus verschiedensten Bereichen. Das Fraunhofer IST ergriff zum ersten Mal die Chance zur Beteiligung unter dem Motto »The future of 3D manufacturing«, um einige der ausgewählten Instituts-Themen im Bereich des Additive Manufacturing vorzustellen.



International Conference on Reactive Sputter Deposition RSD

Braunschweig, 5.–6. Dezember 2019. In diesem Jahr fand die 18. International Conference on Reactive Sputter Deposition RSD zum ersten Mal in Braunschweig statt. Die vom Fraunhofer IST organisierte Konferenz inklusive der begleitenden Ausstellung bot für die rund 100 Teilnehmer aus 22 Ländern eine hervorragende Plattform, um über die neuesten Trends und deren Umsetzung in neue Technologien und innovative Produkte zu diskutieren. Die RSD ist nicht nur eine wissenschaftliche Konferenz, die das reaktive Sputtern von den physikalischen Grundlagen bis zur modellgestützten Simulation diskutiert, sondern adressiert auch die industrielle Umsetzung, was durch die eingeladenen Vorträge eindrucksvoll untermauert wurde.

Begleitend zur Konferenz wurde bereits am Vortag für Interessierte ein Short Course angeboten, in dem die Teilnehmer Hintergrundinformationen über die Sputtertechnologie bekamen. Die begleitende Ausstellung der Konferenz sorgte mit zehn Ständen von internationalen Unternehmen, die ihre neuesten Entwicklungen und Produkte präsentierten, für eine weitere Möglichkeit, sich miteinander auszutauschen.

1 *Blick auf den Stand des Fraunhofer IST auf der V2019.*

2 *Auszubildende und Ausbilder des Fraunhofer IST auf dem »Markt der Möglichkeiten«.*

3 *Besucher der technischen Ausstellung während der RSD 2019.*



EREIGNISSE, KOLLOQUIEN, WORKSHOPS

Science Day am Fraunhofer IST

Braunschweig, 29. Januar 2019. Bereits zum dritten Mal in Folge fand auch in diesem Jahr der »Science Day« am Fraunhofer IST statt. Doktorandinnen und Doktoranden des Fraunhofer IST sowie der Institute für Oberflächentechnik IOT und für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik IWF der TU Braunschweig hatten an diesem Tag die Möglichkeit, den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der beteiligten Institute den aktuellen Stand ihrer Promotionen vorzustellen. In zwangloser Atmosphäre wurden Informationen über die Forschungsthemen ausgetauscht und diskutiert.

70 Jahre Fraunhofer – #WHATSNEXT

Am 26. März 1949 wurde die Fraunhofer-Gesellschaft gegründet und feierte in diesem Jahr ihren 70. Geburtstag. Das Motto des Jubiläumsjahres: 70 Jahre Fraunhofer. 70 Jahre Zukunft. #WHATSNEXT.

Das Gründungsjubiläum war auch für das Fraunhofer IST ein Anlass zum Feiern. In diesem Sinne trug Institutsleiter Prof. Dr. Günter Bräuer seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zum Thema »Quantensprung und die fehlenden Farben der Sonne« vor. Im Anschluss daran schnitten beide Institutsleiter Professor Bräuer und Professor Herrmann die Geburtstagstorte an, die das Spektrum des Sonnenlichts mit einer abgeänderten Beschriftung der Absorptionslinien trug, das vor mehr als 200 Jahren von Namensgeber Joseph von Fraunhofer entdeckt wurde.

Gewinnerteam des »Hacking Engineering« wählt Fraunhofer IST-Technologie

Berlin, 17. – 19. Mai 2019. Der »Hacking Engineering«-Hackathon ist ein neues Format, das von der Fraunhofer-Gesellschaft und dem VDMA, dem größten Industrieverband Europas im Maschinenbau, ins Leben gerufen wurde. Die Idee ist es, Unternehmen aus dem Bereich Maschinenbau und Anlagentechnik mit Startups aus der Forschung und interessierten Studierenden zusammenzubringen, um gemeinsam innovative Zukunftstechnologien zu entwickeln. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer hatten 48 Stunden Zeit, um in Teams eine von vier vorgegebenen Challenges zu lösen. Eines der Gewinnerteams wählte das am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST entwickelte multifunktionale Dünnschichtsensormesssystem für ihre Lösung und gewann »Kill the valve«.

TU Night 2019

Braunschweig, 29. Juni 2019. Zum ersten Mal nahm auch das Fraunhofer IST an der TU Night – einer Mischung aus Wissenschaftsfestival und Campus-Open-Air – teil. Im Rahmen der technischen Ausstellung, die von 18 bis 23 Uhr stattfand, präsentierte das Institut eine breite Auswahl an Themen auf einem gemeinsamen Stand mit der Battery LabFactory Braunschweig BLB, dem Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik NFF und der Open Hybrid LabFactory e.V. OHLF. Unter dem Motto der Wissenschaftsnacht »Wissen bewegt Zukunft« gaben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IST den Besuchern einen Einblick in die aktuelle Forschungsarbeit des Instituts. Präsentiert wurden



unter anderem Hohlleiter aus metallisiertem CFK für Antennen der »Sentinel-Mission« und optische Filter für Weltraumwendungen, elektrochemische Systeme mit Diamantelektroden zur Wasserreinigung sowie ein Exponat aus dem Bereich der Batterieforschung.

European-Japanese Joint Workshop on Photocatalysis Standardization

Berlin, 24. Oktober 2019. Ein Mitarbeiter des Fraunhofer IST nahm in diesem Jahr am »European-Japanese Joint Workshop on Photocatalysis Standardization« teil. Im Rahmen dieser regelmäßig stattfindenden Workshops werden von Vertretern der Industrie und verschiedener Fachverbände neue Normungsvorschläge für den Bereich Photokatalyse entworfen, diskutiert und verabschiedet.

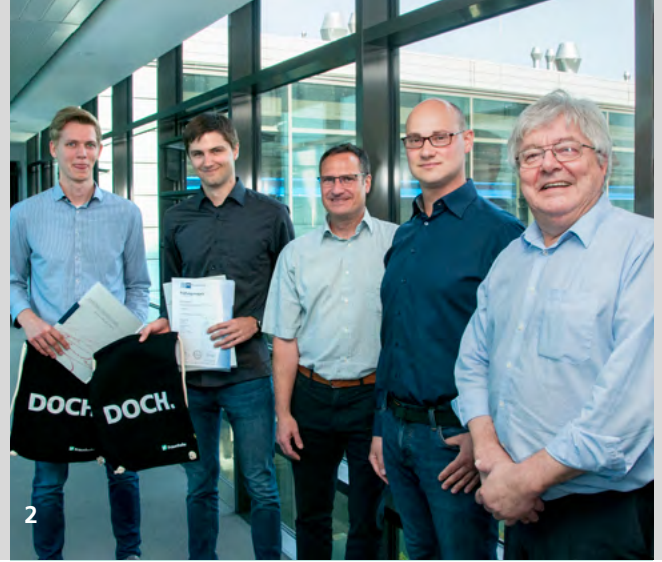
Vintage Class Alumni

Die Fraunhofer Vintage Class ist ein Programm, das sich an interne wissenschaftliche Führungskräfte richtet und die Übernahme von Schlüsselpositionen im oberen Institutsmanagement fördert. Jährliche Netzwerktreffen sowie Besprechungen mit Ehemaligen sind Teil des Programms. In diesem Jahr fand das Treffen der Vintage Class Alumni, an dem auch Mitarbeiter des Fraunhofer IST teilnahmen, in Braunschweig statt. Neben Besichtigungen der Open Hybrid LabFactory (OHLF) sowie der BatterieLabFactory (BLB) gehörten auch Führungen durch die Institute Fraunhofer IST und Fraunhofer WKI mit zum Programm.

1 Die Institutsleiter des Fraunhofer IST Prof. Dr. Günter Bräuer (links) und Prof. Dr. Christoph Herrmann (rechts) schneiden die Geburtstagstorte zum 70-Jahre-Jubiläum der Fraunhofer-Gesellschaft an.

2 Besucher der TU Night auf dem Stand des Fraunhofer IST.

3 Teilnehmer des Workshops »European-Japanese Joint Workshop on Photocatalysis Standardization«.



PREISE UND EHRUNGEN

Rudolf-Seeliger-Preis 2019

Cottbus, 17.–19. Juni 2019. Prof. Dr. Claus-Peter Klages wurde im Rahmen der diesjährigen 19. Fachtagung für Plasmatechnologie für seine Verdienste im Bereich der Plasmaforschung mit dem Rudolf-Seeliger-Preis ausgezeichnet. Mit dem Preis werden die langjährigen Arbeiten von Prof. Dr. Klages im Bereich der Entwicklung der Plasmatechnik gewürdigt. Klages, der den Grundstock für seine Tätigkeiten im Bereich der Plasmatechnologie bereits in seiner Zeit am Philips-Forschungslaboratorium in Hamburg – der Keimzelle des Fraunhofer IST – legte, prägte das Institut maßgeblich seit dessen Gründung 1990. Zunächst konzentrierte er sich auf die Abscheidung von Schichten durch aktivierte CVD-Prozesse, und hier insbesondere auf die Diamanttechnologie. Mitte der neunziger Jahre verlagerte er seinen wissenschaftlichen Schwerpunkt im Gebiet der Plasmatechnik und profilierte sich als international anerkannter Experte im Bereich der Atmosphärendruck-Plasmaverfahren.

Claus-Peter Klages steht nicht nur für Plasmatechnik, sondern auch für Qualität in der Forschung. »Das können nicht nur Kollegen, sondern insbesondere auch die Doktoranden bestätigen, deren Arbeiten er mit Korrekturen und Anmerkungen – natürlich in rot – versehen hat«, erinnert sich Dr. Andreas Pflug augenzwinkernd. Der Gruppenleiter im Bereich Simulation am Fraunhofer IST hielt die Laudatio im Rahmen der Preisverleihung: »Professor Klages war für uns alle ein wichtiges Vorbild. Er war äußerst produktiv, akquirierte, reiste,

forschte und publizierte sehr viel. Allein während seiner Zeit bei der Fraunhofer-Gesellschaft verfasste er 116 Artikel in Fachzeitschriften, 159 Konferenz-Paper, 55 Patentschriften sowie 9 Buchkapitel.« Dabei hatte er dennoch jederzeit ein offenes Ohr für alle. Bei kniffligen Fragen oder technischen Problemen hatte er stets eine gute Idee oder eine passende Veröffentlichung parat. »Sein Wissensschatz beeindruckt nach wie vor – nicht nur uns«, verrät Pflug.

Der Rudolf-Seeliger-Preis wird seit 2001 von der Deutschen Gesellschaft für Plasmatechnologie e.V. (DGPT) verliehen. Im Rahmen der zweijährlich stattfindenden Fachtagung für Plasmatechnologie würdigt die Gesellschaft damit die exzellente Arbeit verdienter Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Bereich der Plasmatechnologie.

Fraunhofer IST-Azubis zeigen Spitzenleistung

Die beiden Auszubildenden des Fraunhofer IST Conrad von Bülow und Jonas Boomers haben ihre Abschlussprüfung zum Physiklaboranten besonders erfolgreich abgeschlossen. Mit einem Schnitt von 1,4 gehört von Bülow sogar zu den Besten der Kammer. Als einer der besten Auszubildenden der Fraunhofer-Gesellschaft wurde er in München geehrt. Darüber hinaus wurden von Bülow sowie Tobias Alexander Wehke, der eine Ausbildung zum Fachinformatiker absolvierte, von der Industrie- und Handelskammer Braunschweig für ihre besonders guten Leistungen in den Abschlussprüfungen mit einer Ehrenurkunde ausgezeichnet. Herzlichen Glückwunsch!



INPLAS-Ehrenpreis

Venlo, Niederlande, 13. November 2019. Gründer und Vorstandsvorsitzender von INPLAS e. V., Prof. Dr. Günter Bräuer, Institutsleiter des Fraunhofer IST, erhielt im Rahmen der 14. INPLAS-Mitgliederversammlung bei der Firma IHI Hauzer Techno Coating B.V. den INPLAS-Ehrenpreis. Prof. Dr. Bräuer wird für sein jahrzehntelanges Engagement für die Plasma-Community und seinen Einsatz für die Weiterentwicklung der Plasmatechnik in Deutschland und Europa geehrt. 2005 wurde durch seine Initiative das Kompetenznetz INPLAS gegründet und 2006 bei Kompetenznetze Deutschland akkreditiert. Das Ziel ist weiterhin, das enorme Potenzial der Plasmatechnik politisch und anwendungsorientiert in die aktuellen Themen zu integrieren.

1 Preisträger Prof. Dr. Claus-Peter Klages.

2 Die Physiklaboranten Conrad von Bülow und Jonas Boomers mit ihren Ausbildern Sven Pleger und Daniel Schulze sowie Institutsleiter Prof. Dr. Bräuer (v.l.n.r.).

3 INPLAS-Geschäftsführerin Carola Brand, Institutsleiter des Fraunhofer IST Prof. Dr. Günter Bräuer, INPLAS-Vorstandsmitglied Dr. Michael Liehr (v.l.n.r.).





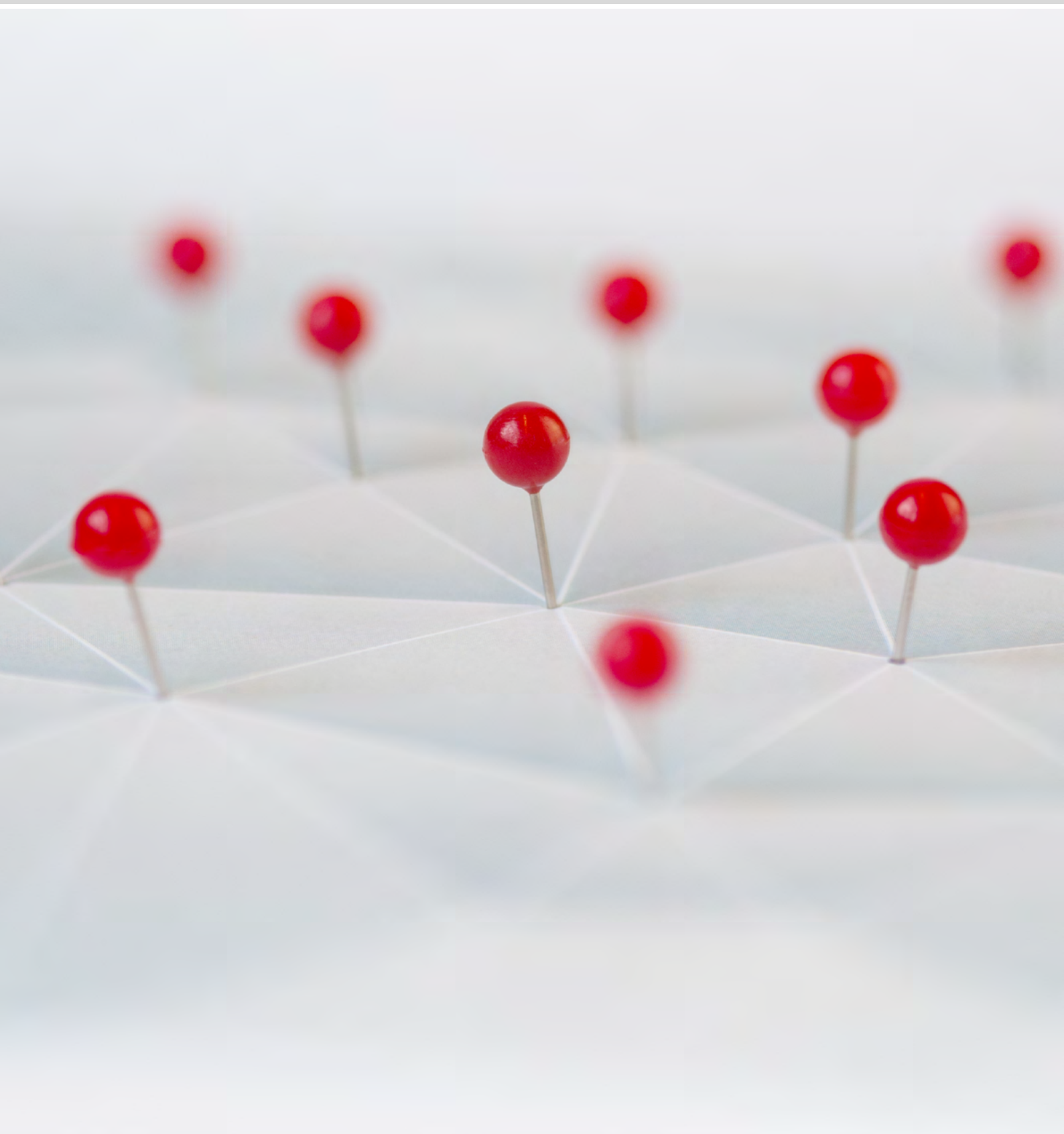
WIR NEHMEN ABSCHIED

Wir nehmen Abschied von unserem Mitarbeiter, Kollegen und Freund Frank Schmidt, der völlig unerwartet und viel zu früh im Alter von 52 Jahren verstorben ist. Fast 21 Jahre – sogar schon als Student – engagierte sich Frank Schmidt für unser Institut. In seinem Fachgebiet, dem Gasflussputtern, leistete der Elektroingenieur wichtige Beiträge zur Entwicklung neuartiger Plasmaquellen. Darüber hinaus hatte er als kompetente Elektrofachkraft stets eine Lösung parat. Nicht nur für seinen Sachverstand, auch für seine Hilfsbereitschaft und seine humorvolle Art war er bei allen bekannt und beliebt.

Wir trauern um einen lieben, sehr geschätzten Menschen, dem wir ein ehrendes Andenken bewahren werden. Unser aufrichtiges Mitgefühl gilt seiner Familie.

1 *Dipl.-Ing. Frank Schmidt.*

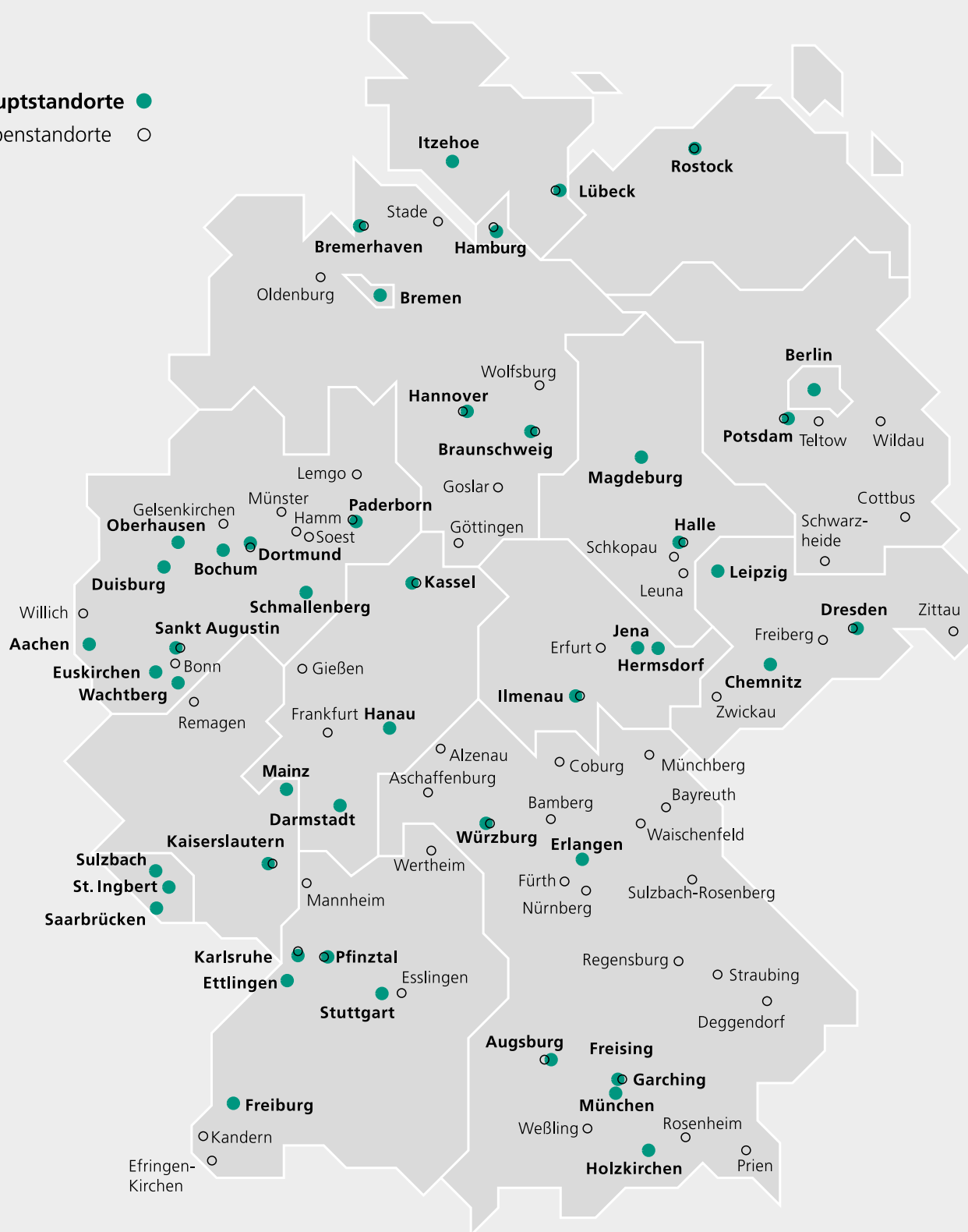
DAS FRAUNHOFER IST IN NETZWERKEN



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.

Hauptstandorte ●
Nebenstandorte ○



DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT AUF EINEN BLICK

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Sie ist Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz. Mit inspirierenden Ideen und nachhaltigen wissenschaftlich-technologischen Lösungen fördert die Fraunhofer-Gesellschaft Wissenschaft und Wirtschaft und wirkt mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft.

Interdisziplinäre Forschungsteams der Fraunhofer-Gesellschaft setzen gemeinsam mit Vertragspartnern aus Wirtschaft und öffentlicher Hand originäre Ideen in Innovationen um, koordinieren und realisieren systemrelevante, forschungspolitische Schlüsselprojekte und stärken mit werteorientierter Wertschöpfung die deutsche und europäische Wirtschaft. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Austausch mit den einflussreichsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 74 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 28 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,8 Milliarden Euro. Davon fallen 2,3 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent davon erwirtschaftet

Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 30 Prozent steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

Die Wirkung der angewandten Forschung geht weit über den direkten Nutzen für die Auftraggeber hinaus: Fraunhofer-Institute stärken die Leistungsfähigkeit der Unternehmen, verbessern die Akzeptanz moderner Technik in der Gesellschaft und sorgen für die Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Hochmotivierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf dem Stand der aktuellen Spitzenforschung stellen für uns als Wissenschaftsorganisation den wichtigsten Erfolgsfaktor dar. Fraunhofer bietet daher die Möglichkeit zum selbstständigen, gestaltenden und zugleich zielorientierten Arbeiten und somit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung, die zu anspruchsvollen Positionen in den Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft befähigt. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und des frühzeitigen Kontakts mit Auftraggebern hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

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



FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

Kompetenz durch Vernetzung

Im Fraunhofer-Verbund »Light & Surfaces« kooperieren sechs Fraunhofer-Institute auf den Gebieten Laser-, Optik-, Mess- und Beschichtungstechnik. Basierend auf grundlegenden Arbeiten in verschiedenen Anwendungsfeldern gewährleistet der Verbund eine schnelle und flexible Realisierung kundenspezifischer Systemlösungen in diesen Bereichen. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Markts ausgerichtete Strategien führen zu Synergieeffekten für den Kunden. In Kooperation mit den jeweils ortsansässigen Universitäten bieten die Institute das gesamte Spektrum der studentischen Ausbildung bis hin zur Promotion. Auf diese Weise sind die Fraunhofer-Institute nicht nur Innovationspartner für technologische Entwicklungen, sondern dienen auch kontinuierlich als Quelle des wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Kernkompetenzen des Verbunds

Die aufeinander abgestimmten Kompetenzen der sechs Verbundpartner gewährleisten eine schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an die unterschiedlichen Anforderungen aus den Bereichen:

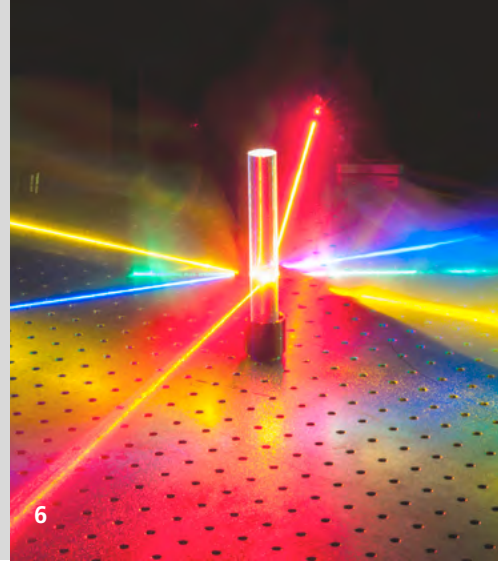
- Laserfertigungsverfahren
- Strahlquellen
- Messtechnik
- Medizin und Life Sciences
- Werkstofftechnik
- Optische Systeme und Optikfertigung
- Mikro- und Nanotechnologien
- Dünnschichttechnik
- Plasmatechnik
- Elektronenstrahltechnik
- EUV-Technologie
- Prozess- und Systemsimulation

Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP¹

Das Fraunhofer FEP arbeitet an innovativen Lösungen auf den Arbeitsgebieten der Vakuumbeschichtung, der Oberflächenbehandlung und der organischen Halbleiter. Grundlage dieser Arbeiten sind die Kernkompetenzen Elektronenstrahltechnologie, Plasmagestützte Großflächen- und Präzisionsbeschichtung, Rolle-zu-Rolle Technologien, Entwicklung technologischer Schlüsselkomponenten sowie Technologien für organische Elektronik und IC-/Systemdesign. Fraunhofer FEP bietet damit ein breites Spektrum an Forschungs-, Entwicklungs- und Pilotfertigungsmöglichkeiten, insbesondere für Behandlung, Sterilisation, Strukturierung und Veredelung von Oberflächen sowie für OLED-Mikrodisplays, organische und anorganische Sensoren, optische Filter und flexible OLED-Beleuchtung. Ziel ist, das Innovationspotenzial der Elektronenstrahl-, Plasmatechnik und organischen Elektronik für neuartige Produktionsprozesse und Bauelemente zu erschließen und es für unsere Kunden nutzbar zu machen. | www.fep.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT⁴

Mit über 540 Mitarbeitern ist das Fraunhofer ILT ein gefragter FuE-Partner der Industrie für die Entwicklung innovativer Laserstrahlquellen, Laserverfahren und Lasersysteme. Unsere 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 die Additive Fertigung. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik. | www.ilt.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF²

Das Fraunhofer IOF entwickelt innovative optische Systeme zur Kontrolle von Licht – von der Erzeugung und Manipulation bis hin zu dessen Anwendung. Unser Leistungsangebot umfasst die gesamte photonische Prozesskette vom opto-mechanischen und opto-elektronischen 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

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM⁶

Das Fraunhofer IPM entwickelt maßgeschneiderte Messtechniken und Systeme für die Industrie. Dadurch ermöglicht das Institut seinen Kunden, den Energie- und Ressourceneinsatz zu minimieren und gleichzeitig Qualität und Zuverlässigkeit zu maximieren. Fraunhofer IPM macht Prozesse ökologischer und gleichzeitig ökonomischer. Langjährige Erfahrungen mit optischen Technologien bilden die Basis für Hightech-Lösungen in der Produktionskontrolle, der Objekt- und Formerfassung, der Gas- und Prozesstechnologie sowie im Bereich der thermischen Energiewandler. | www.ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST⁵

Das Fraunhofer IST ist ein innovativer Partner für Forschung und Entwicklung in der Oberflächentechnik mit Kompetenzen in den zugehörigen Produkt- und Produktionssystemen. Ziel ist es, maßgeschneiderte Lösungen zu erarbeiten – vom Prototyp über wirtschaftliche Produktionsszenarien bis hin

zur Skalierung auf industrielle Maßstäbe, und dies auch unter Maßgabe geschlossener Material- und Stoffkreisläufe. www.ist.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS³

Licht und Schicht: Das Fraunhofer IWS wirkt überall dort, wo Laser- auf Oberflächentechnik trifft. Wenn es darum geht, unterschiedliche Materialien Lage um Lage aufzutragen, zu fügen, zu trennen, zu funktionalisieren oder zu analysieren, kommt das Dresdner Institut ins Spiel. Von der Entwicklung neuer Verfahren über die Integration in die Fertigung bis hin zur anwendungs-orientierten Unterstützung reicht das Angebot – alles aus einer Hand. Das Fraunhofer IWS stellt sich den Herausforderungen der Digitalisierung. Der Fokus liegt auf der Forschung und Entwicklung von Lösungen für »Industrie 4.0«. | www.iws.fraunhofer.de

KONTAKT

VORSITZENDER DES VERBUNDS

Prof. Dr. Karsten Buse
karsten.buse@ipm.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFÜHRER DES VERBUNDS

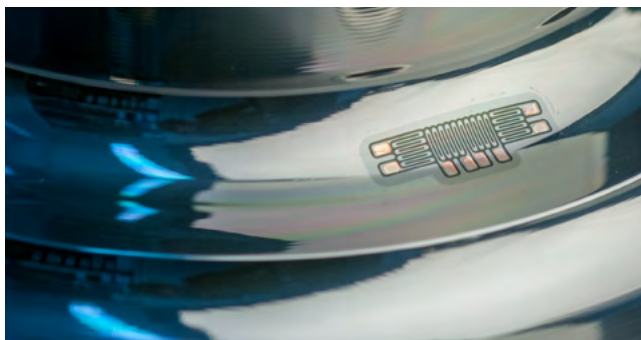
Dr. Heinrich Stülpnagel
 Telefon +49 241 8906-148
heinrich.stuelpnagel@ipm.fraunhofer.de

www.light-and-surfaces.fraunhofer.de

VERNETZUNG IN FRAUNHOFER-ALLIANZEN

Das Fraunhofer IST ist Mitglied in den zehn unten genannten Allianzen der Fraunhofer Gesellschaft. 2019 ist die Mitgliedschaft in der Fraunhofer-Allianz Batterie neu hinzugekommen. Die Allianz Batterie bündelt das Know-how der Fraunhofer-Gesellschaft im Bereich elektrochemischer Energiespeicher. Die über 20 Mitglieder beschäftigen sich schwerpunktmäßig damit, geeignete technische und konzeptionelle Lösungen im Bereich der elektrochemischen Energiespeicher unter besonderer Berücksichtigung der sozialen, ökonomischen und ökologischen Konsequenzen zu entwickeln und in die

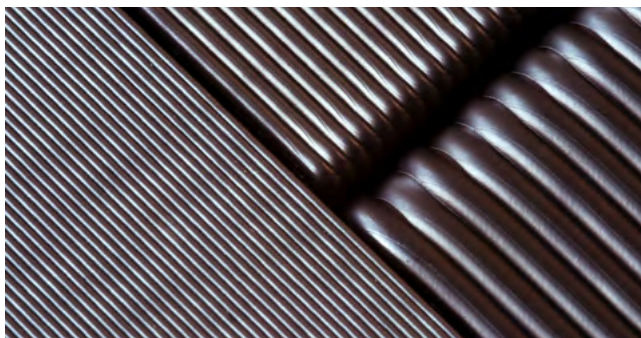
Anwendung zu überführen. Dabei spielen sowohl primäre als auch sekundäre (wieder aufladbare) Systeme, eine Rolle – von der Kleinstanwendung, wie zum Beispiel Knopfzellen bis zu großen stationären Systemen wie Redox-Flow-Batterien. Ziel der Allianz ist es, die Forschung im Bereich der elektrochemischen Energiespeicher zu einem zentralen Geschäftsfeld zu entwickeln und weiter auszubauen. Die Kompetenzen der Fraunhofer-Allianz Batterien umfassen dabei die Themen Material, Zellproduktion, System, Simulation und Testung.



ADAPTRONIK



AUTOMOBIL PRODUKTION



GENERATIVE FERTIGUNG

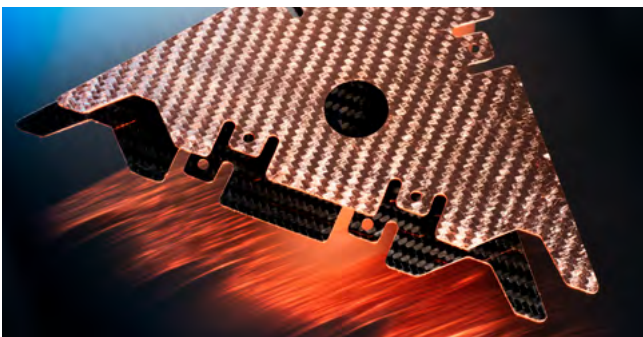
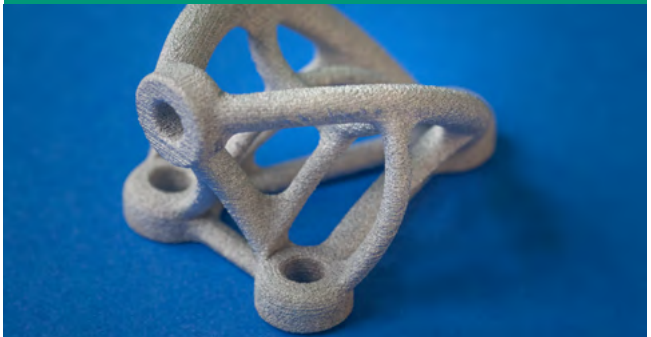


REINIGUNGSTECHNIK



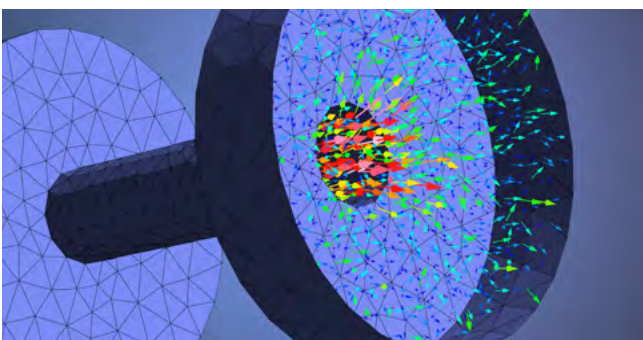
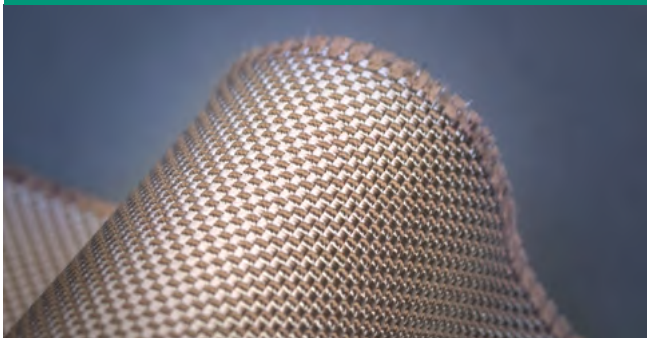
BATTERIEN

LEICHTBAU



SPACE

TEXTIL



SIMULATION

SYSWASSER



VERNETZUNG REGIONAL UND DEUTSCHLANDWEIT

Eine stärkere Vernetzung und Verzahnung sowohl der Forschungsthemen als auch der Forschungsakteure steht im Vordergrund der Aktivitäten des Fraunhofer IST innerhalb Braunschweigs, aber auch deutschlandweit. So soll die Forschungseffizienz gesteigert werden. Ziel ist es, Kunden und Partnern auch technologieübergreifend optimale Lösungen für deren Aufgabenstellungen anzubieten.

ForschungRegion Braunschweig

Um Wissen zu vernetzen, Innovationen nachhaltig zu fördern und die Spitzenposition der Wissenschaftsregion Braunschweig zu stärken, schlossen sich im Jahr 2004 insgesamt 27 Hochschulen, Bundesforschungsanstalten, Helmholtz-Institute, Fraunhofer-Institute, Forschungseinrichtungen der Leibniz-Gemeinschaft, Museen, Bibliotheken, das Klinikum Braunschweig und weitere Einrichtungen mit international hoch angesehener Forschung zur ForschungRegion Braunschweig e.V. zusammen – mit dabei ist auch das Fraunhofer IST.

Fraunhofer IST wird Mitglied in der Open Hybrid LabFactory e.V. (OHLF) und dem Fraunhofer-Projektzentrum Wolfsburg

Leichtbau und Elektromobilität sind zwei Stichwörter, die für die Zukunft des Automobilsektors vor allem in Hinblick auf Energieeinsparung und Ressourcenschonung eine bedeutende Rolle spielen. Der Forschungscampus OHLF hat sich daher die Erforschung und Entwicklung neuer und innovativer Leichtbaukonzepte für die Automobilindustrie zum Ziel gesetzt. Die Arbeiten der OHLF bilden dabei die gesamte Wertschöpfungskette für hybride Bauteile ab: vom Konzept über die Textilerstellung und den Fertigungsprozess bis hin zum Recycling. Seit kurzem ist nun auch das Fraunhofer IST Mitglied des Leichtbau-Campus.

Durch die Aufnahme in die Open Hybrid LabFactory wurde das Fraunhofer IST in diesem Jahr auch als neues Mitglied in das Fraunhofer-Projektzentrum Wolfsburg aufgenommen, das örtlich und inhaltlich in den Forschungscampus eingebunden ist. Das Projektzentrum fokussiert sich ebenso auf die Entwicklung einer umfassenden Prozesskette für Leichtbaustrukturen im Automobilsektor.

Weitere Kooperationen mit der TU Braunschweig

- Battery LabFactory Braunschweig BLB
- Laboratory for Emerging Nanometrology LENA
- Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik NFF
- Niedersächsisches Forschungszentrum für Luftfahrt NFL
- Zentrum für Pharmaverfahrenstechnik PVZ
- Open Hybrid LabFactory e.V.

Strategische Partnerschaft mit dem Kompetenzzentrum Tribologie in Mannheim

Am 10. Juli unterzeichneten die Hochschule Mannheim und das Fraunhofer IST eine Kooperationsvereinbarung zum Ausbau der gemeinsamen Forschungsaktivitäten im Bereich Tribologie und Oberflächen. Das Kompetenzzentrum Tribologie arbeitet bereits seit 2018 eng mit dem Braunschweiger Institut im Rahmen eines neu aufgelegten DFG-Schwerpunktprogramms SPP2074 »Fluidfreie Schmiersysteme« zusammen.





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 Schülerinnen und Schülern sowie Studierenden, die Interesse an den Forschungsbereichen des Fraunhofer IST haben, war auch im Jahr 2019 wieder ein wichtiger Teil der Arbeit am Institut.

Zukunftstag für Jungen und Mädchen am Fraunhofer IST

Braunschweig, 29. März 2019. Auch in diesem Jahr hatten Schülerinnen und Schüler aus den Klassen 5 – 9 im Rahmen des »Zukunftstags für Mädchen und Jungen« die Gelegenheit, einen Tag lang in die Forschungsarbeit der Fraunhofer-Institute IST und WKI hineinzuschnuppern. Insgesamt tauchten 24 junge Forscher – 13 Mädchen und 11 Jungen – einen Tag lang in den Forschungsalltag der Fraunhofer-Institute ein.

Nach einer Vorstellung der beiden Institute konnten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer am Fraunhofer IST Schichten mittels Kathodenzerstäubung herstellen und Flammproben mit verschiedenen Salzen durchführen. Am WKI stand die Herstellung und Bearbeitung von Spanplatten sowie die mechanische Materialprüfung auf dem Programm. Am Ende des Tages konnten die Mädchen und Jungen ihre beschichteten Werke als Andenken mit nach Hause nehmen.

Ausbildungsberufe

Gemeinsam mit dem Fraunhofer WKI bildet das Fraunhofer IST insgesamt sieben verschiedene Berufe aus:

- Physiklaborant/in
- Oberflächenbeschichter/in (Galvaniseur/in)
- Kauffrau / Kaufmann für Büromanagement
- Fachangestellte/r für Medien- und Informationsdienste – Fachrichtung Bibliothek
- Fachinformatiker/in – Fachrichtung Systemintegration
- Holzmechaniker/in
- Industriemechaniker/in

In diesem Jahr erhielt das Institut als besonders erfolgreicher Ausbildungsbetrieb von der Industrie- und Handelskammer Braunschweig eine Ehrenurkunde. Gleich zwei der Absolventen wurden für ihre besonders guten Leistungen in den Abschlussprüfungen geehrt.



1 13 Mädchen und 11 Jungen durften am Fraunhofer IST Schichten mittels Kathodenzerstreuung herstellen.

2 Ein Physiklaborant während der Arbeit.

3 Die neuen Auszubildenden mit Institutsleiter Prof. Bräuer.

Schülerpraktika / Praktika am Fraunhofer IST

Mit dem Ziel, Schülerinnen und Schüler naturwissenschaftliche Themen und die Arbeit an einem Forschungsinstitut näherzubringen, bot das Fraunhofer IST auch in diesem Jahr wieder 3 Mädchen und 5 Jungen die Möglichkeit eines Schülerpraktikums. Die jungen Forscherinnen und Forscher lernten jeweils über einen Zeitraum von ein bis drei Wochen das Berufsbild des Physiklaboranten kennen. Im Rahmen des Praktikums durften sie gemeinsam mit den Auszubildenden verschiedene Versuche, Experimente und Messreihen durchführen oder auch an großen Beschichtungsanlagen arbeiten, mit denen mit physikalischen und chemischen Verfahren funktionelle Schichten hergestellt werden.



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 in den Räumlichkeiten des Fraunhofer IST in Braunschweig. INPLAS hat aktuell 54 Mitglieder aus Industrie und Wissenschaft (vgl. Abb. 1). Etwa 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 fördern und zu moderieren. Einige Highlights der vielen Aktivitäten, Projekte und Veranstaltungen 2019 werden im Folgenden vorgestellt:

Anwendungsseminar »Aktivierung – Funktionalisierung«

Im Mittelpunkt des von der Tantec Plasma & Corona in Zusammenarbeit mit dem wissenschaftlichen Partner Fraunhofer IST und mit der organisatorischen Unterstützung der INPLAS-Geschäftsstelle am 12. und 13. März 2019 veranstalteten Anwendungsseminars standen Aktivierung und Funktionalisierung von Oberflächen mittels Atmosphärendruck- und Niederdruckverfahren. Die 31 Teilnehmer, überwiegend Anwender aus der Industrie, hatten dabei im Praxisteil auch Gelegenheit, Beschichtungsversuche unter fachkundiger Anleitung von Tantec- und IST-Plasmaexperten an mitgebrachten Probenmaterialien durchzuführen.

International Conference on Sputter Technology & 10th International Conference on Fundamentals and Applications of HIPIMS (ST-HIPIMS Conference 2019)

Die ST-HIPIMS-Conference fand am 19. und 20. Juni 2019 in der Stadthalle in Braunschweig statt und umfasste in diesem Jahr zum ersten Mal neben der Hochleistungsimpuls-Magnetronputtern-Technik auch weitere Techniken der Sputtertechnologie, wie z. B. Ionenstrahl- oder Gasflusssputtern. Es trafen sich

ca. 100 internationale Experten dieser Beschichtungstechnologien. In Vorträgen, Postern und Diskussionsrunden wurden die aktuellen Entwicklungen und Anwendungen, z. B. integrierte Sensorsysteme, flexible Leiterbahnen, und Räumwerkzeuge, erörtert. Zudem präsentierten 20 Industrieaussteller ihre Produkte und Dienstleistungen in der Vakuum- und Dünnschichttechnik.

Workshop – Digitalisierung, Big Data und Prozessketten

Am 8. Mai 2019 trafen sich in Berlin Anwender, Experten und Interessierte zum Thema Digitalisierung und Prozessketten in der Beschichtungstechnik, speziell der Plasmatechnik. Vortragende aus den Bereichen eBusiness-Standards, Prozessketten, Datenstrukturen und Datenmanagement zeigten Möglichkeiten und Wege, um Daten zu speichern, zu analysieren und mit weiteren Produktionsschritten zu verknüpfen. Eine „Offene Werkstatt“ zeigte an praktischen Beispielen, worauf es ankommt. Das Netzwerk INPLAS wird weiter an diesem Thema arbeiten und neben Projektangeboten auch Workshops anbieten, um Aufgabengebiete der Digitalisierung in der Plasmatechnik zu definieren.

41. Treffen des Industrie-Arbeitskreises »Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe« (IAK)

Werkzeughersteller und -anwender überwiegend aus der Industrie trafen sich zur 41. Ausgabe des IAK im November 2019 in Braunschweig, um sich zu neuesten Entwicklungen und Trends auf dem Gebiet der Zerspanungswerkzeuge und deren Beschichtungen auszutauschen. Das Spektrum der Vortragsthemen



umfasste dabei die hybride Bearbeitung von Turbinenbauteilen, Hybride Fertigung, Hartstoffschichtentwicklung, Simulation im Bereich der Zerspanung, HIPIMS bei der Werkzeugbeschichtung, Einsatz von HIPIMS bei der Werkzeugbeschichtung sowie Beschichtungen für neuartige Werkzeuge und mechatronische Systeme. Der von den Partnern IWF der TU Berlin, Fraunhofer IPK, Fraunhofer IST und INPLAS e. V. ausgerichtete IAK findet zweimal jährlich in Berlin und Braunschweig statt.

14. INPLAS-Mitgliederversammlung

Die 14. INPLAS-Mitgliederversammlung fand am 13. November 2019 in Venlo, Niederlande, statt. Die IHI Hauzer Techno Coating B.V. war Gastgeber der Versammlung, die ein wichtiges Instrument zur Diskussion und Abstimmung aktueller und zukünftiger Netzwerkaktivitäten darstellt. Ein Schwerpunkt bei der 14. Mitgliederversammlung stellte die Vorstellung eines im Netzwerk neuen Kooperationsformats in Form der INPLAS-Verbundprojekte dar. Es handelt sich um Auftragsforschungsprojekte ohne öffentliche Förderung, die einen unkomplizierten Einstieg in Themen, Technologie und/oder Anwendungsfelder bieten. Die ersten drei geplanten Projekte, die noch im ersten Quartal des Jahres 2020 starten sollen, befassen sich mit anwendungsorientierten fokussierten Fragestellungen auf den Gebieten der Antihaftoberflächen, der Digitalisierung im Bereich der Plasmadiffusionstechnologien und der Quantifizierung des CO₂-Fußabdrucks ausgewählter Beschichtungstechnologien. Mit einem relativ geringen Aufwand können diese Verbundprojekte eine ideale Basis für eine industrielle Umsetzung und/oder Projektförderung darstellen.

INPLAS-Arbeitsgruppen

Die AG »Neuartige Plasmaquellen und -prozesse« unter Leitung von Dr. Ulf Seyfert, VON ARDENNE GmbH, Matthias Nestler, scia systems GmbH und Dr. Anke Hellmich, Applied Materials GmbH & Co. KG, widmete sich sowohl in ihren zwei Treffen im Mai in Berlin und im November in Venlo, Niederlande, intensiv dem Stand und Entwicklungsbedarf auf dem Gebiet der plasmaunterstützten Gasphasenabscheidung (PECVD) (vgl. Abb. 2).

Die AG »Werkzeugbeschichtungen« unter der Leitung von Hanno Paschke, Fraunhofer IST, traf sich im Mai am IWF der TU Berlin und im November am Fraunhofer IST in Braunschweig. Hier diskutierten die Teilnehmer z.B. die Ergebnisse des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekts »Ökologische und funktionsoptimierte Vorbehandlungskette für die Plasmabeschichtung komplex geformter Schneidwerkzeuge« (kurz: »ÖkoClean«), eine Plasmafeinreinigung von Zerspanungswerkzeugen sowie neue Projektideen, auch unter Einbeziehung der Plasmatechnik 4.0.

In den Sitzungen des Gemeinschaftsausschusses »Kombinierte Oberflächentechnik«, der von Dr. Petra Uhlmann, Leibniz-Institut für Polymerforschung, geleitet wird, befassten sich die Teilnehmer im Februar bei der Coventya GmbH in Gütersloh und im Oktober bei der Plasmatrete GmbH in Steinhagen mit Technologien zur Cr(VI)-freie Kunststoffmetallisierung und neuen Einsatzmöglichkeiten von Atmosphärendruckplasmen unter Verwendung von Plasma-Jets.

Die von Professor Peter Awakowicz, Ruhr-Universität Bochum, Dr. Hendrikus Garritsen, Städtisches Klinikum Braunschweig und Professor Wolfgang Viöl, Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Göttingen, geleitete AG »Plasma4Life« traf sich im März am Fraunhofer IST Braunschweig. Im Fokus von Vorträgen und Diskussion standen die Entwicklungen und Projektmöglichkeiten auf dem Gebiet der Bioökonomie.

KONTAKT

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

www.inplas.de

PUBLIKATIONEN

Mitgliedschaften

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

A.SPIRE
www.spire2030.eu

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

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN)
www.din.de

Europäische Forschungsgesellschaft
für Blechverarbeitung e. V. (EFB)
www.efb.de

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

Europäisches Komitee für Normung (CEN)
www.cen.eu

European Factories of the Future Research Association (EFFRA)
www.effra.eu

European Joint Committee on Plasma and Ion Surface
Engineering (EJC/PISE)
www.ejc-pise.org

Fachverband Angewandte Photokatalyse (FAP)
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 Batterien
www.batterien.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 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

Innovationsnetzwerk Niedersachsen
www.innovationsnetzwerk-niedersachsen.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

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

Optence e. V.
www.optence.de

Open Hybrid LabFactory e. V.
www.open-hybrid-labfactory.de

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, Session Chairman.

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

Baron, S.: VDI-Richtlinien-Fachausschuss »CVD-Diamant-Werkzeuge«, Mitglied.

Bewilogua, K.: Programmkomitee EFDS-Workshop Haft- und Antihafschichten (Januar 2019).

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.: 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.

Dietz, A.: Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschung (AGEF), Mitglied.

Dietz, A.: Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e. V. (DGO), Mitglied des Vorstands.

Dietz, A.: EARTO- European Association of Research and Technology Organisations, Working Group Space Research, Mitglied.

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.

Gäbler, J.: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss NA 062 Materialprüfung, Arbeitsausschuss 062-01-72 »Chemische und elektrochemische Überzüge«, Mitglied.

Gäbler, J.: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss NA 062 Materialprüfung, Arbeitsausschuss 062-01-64 »Kohlenstoffsichten und keramische Hartstoffsichten«, 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«, Mitglied.

Gäbler, J.: VDI-Richtlinien-Fachausschuss »CVD-Diamant-Werkzeuge«, Mitglied.

Gerdas, H.: Society of Vacuum Coaters, Dozent.

Gerdas, H.: Society of Vacuum Coaters, Session Chairman.

Gerdas, H.: VDI/VDE-GMA Fachausschuss 2.11 »Elektrische Messverfahren; DMS-Messtechnik«, Mitglied.

Herrmann, C.: Battery LabFactory Braunschweig (BLB), Vorstandsmitglied.

Herrmann, C.: Internationale Akademie für Produktionstechnik (CIRP), Mitglied.

Herrmann, C.: Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik NFF, assoziiertes Mitglied.

Herrmann, C.: Niedersächsisches Forschungszentrum für Luftfahrt NFL, Mitglied.

Herrmann, C.: Open Hybrid LabFactory OHLF, Arbeitskreisleiter Umwelt und Recycling.

Herrmann, C.: Zentrums für Pharmaverfahrenstechnik PVZ, Mitglied.

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«, Stellvertretender Obmann.

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.: 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.: Fachverband Angewandte Photokatalyse (FAP), Forschungsausschuss, Mitglied.

Neumann, F.: Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Fakultät Versorgungstechnik, Studiengang »Bio- und Umwelttechnik«, Mitglied des Beirats.

Neumann, F.: ISO Normenausschuss TC 206/WG 9 »Photocatalysis«, Mitglied.

Paschke, H.: Fachausschuss FA10 »Funktionelle Schichten« der Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik e. V. AWT, Mitglied.

Paschke, H.: Industriearbeitskreis »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.: Kompetenznetz Optence e.V., »Networking in Photonics«, 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 Member, Paper Review Expert.

Sittinger, V.: Society of Vacuum Coaters, Program Chairman.

Sittinger, V.: Society of Vacuum Coaters, Session Chairman.

Sittinger, V.: European Materials Research Society (E-MRS) 2019 Spring Meeting, NANO-FUNCTIONAL MATERIALS, Scientific Committee Member.

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.: European Joint Committee on Plasma and Ion Surface Engineering (EJC/PISE), Chairman.

Thomas, M.: International Conference on Plasma Surface Engineering, International Program Committee IPC, Mitglied.

Thomas, M.: Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik INPLAS e.V., Vorstandsmitglied.

Thomas, M.: Plasma Germany, Koordinierungsausschuss, Mitglied.

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

Abramovic, I.; Pavone, A.; Moseev, D.; Lopes Cardozo, N. L.; Salewski, M.; Laqua, H. P.; Stejner, M.; Stange, T.; Marsen, S.; Nielsen, S. K.; Jensen, T.; Kasperek, W.; and W7-X Team; Keunecke, M. (2019): Forward modeling of collective Thomson scattering for Wendelstein 7-X plasmas. Electrostatic approximation. In: Review of scientific instruments 90, 023501 (12 pp.). DOI: 10.1063/1.5048361.

An, S.; Fricke, K.; Riemer, H.; Petersen, M.; Paschke, H.; Quade, A.; Ihrke, R.; Weltmann, K.-D.; Fröhlich, M. (2019): Vorbehandlung und Reinigung von Werkzeugoerflächen durch plasmaelektrolytisches Polieren zur Verbesserung der Haftung von Verschleisschutzschichten. In: Atmosphärische Plasmen, S. 69–79.

Badorreck, H.; Steinecke, M.; Jensen, L.; Ristau, D.; Jupé, M.; Müller, J.; Tonneau, R.; Moskovkin, P.; Lucas, S.; Pflug, A.; Grinevičiūtė, L.; Selskis, A.; Tolenis, T. (2019): Correlation of structural and optical properties using virtual materials analysis. In: Optics express 27 (16), pp. 22209–22225. DOI: 10.1364/OE.27.022209.

Bandorf, R. (2019): Hochionisierte Abscheideverfahren für Hartstoffschichten auf Kohlenstoffbasis. In: Journal für Oberflächentechnik 59 (Special Galvanotechnik), S. 29–31. DOI: 10.1007/s35144-019-0068-7.

Bandorf, R.; Biehl, S.; Brand, J. (2019): Oberflächenintegrierte Dünnschichtsensoren. In: Journal für Oberflächentechnik (Article in Press. First online: 30 December 2019. DOI: 10.1007/s35144-019-0446-1, 3 pp.). DOI: 10.1007/s35144-019-0446-1.

Biehl, S.; Meyer-Kornblum, E.; Paetsch, N.; Bräuer, G. (2019): Sensormodule für die optimierte Herstellung von naturfaserverstärkten Kunststoffen im Spritzguss. Symposium für Smarte Strukturen und Systeme <2019, Darmstadt>. In: Smarte Strukturen und Systeme, S. 91–101.

Bittner, F.; Bellmann, M.; Shamsuyeva, M.; Endres, H.-J.; Viöl, W. (2019): Improving the durability of bio hybrid fiber reinforced plastics by plasma treatment. In: Technologies for economical and functional lightweight design, pp. 201–212.

Bräuer, G.; Brand, J.; Britze, C.; Dietz, A.; Kondruweit, S.; Thomas, M.; Vergöhl, M. (2019): Für den weitesten Weg : Schichten im All. Mittels Galvanik und Sputtern hergestellte Schichten erfüllen extreme Anforderungen. In: Vakuum in Forschung und Praxis 31 (6), S. 26–31. DOI: 10.1002/vipr.201900729.

Brune, T.; Garritsen, H. S. P. (2019): Erkrankungen des Blutes: Hämotherapie. In: Neonatologie : die Medizin des Früh- und Reifgeborenen, S. 362–375.

Dmitriev, A. M.; Pflug, A.; und viele weitere (2019): RF plasma cleaning of water-cooled mirror equipped with notch filter based on shorted $\lambda/4$ line. In: Fusion engineering and design 164, Part A, pp. 1390–1393. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2019.02.090.

Dröder, K.; Hoffmeister, H.-W.; Baron, S.; Gäbler, J.; Höfer, M. (2019): Einsatzverhalten strukturierter CVD-Diamantbeschichteter Honleisten. In: Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren, S. 284–297.

Emmert, S.; Boeckmann, L.; Fischer, T.; Bernhardt, T.; Borchardt, T.; Viöl, W.; Wahl, P.; Wandke, D.; Metelmann, H.; Masur, K.; Bekeschus, S.; Wödtke, T. v.; Weltmann, K.-D. (2019): Plasmamedizin für Hauterkrankungen: Wunden und Tumoren. In: Atmosphärische Plasmen, S. 213–225.

Emmrich, S.; Plogmeyer, M.; Bartel, D. (2019): Dünnschichtsensorik zur ortsauflösenden Temperaturmessung in geschmierten Wälzkontakten. Tribologie-Fachtagung <60, 2019, Göttingen>. In: Reibung, Schmierung und Verschleiss: Forschung und praktische Anwendungen, 04/1, 6 S.

Flegler, F.; Groche, P.; Abraham, T.; Bräuer, G. (2019): Extremely smooth. How smooth surfaces enable dry and boundary lubricated forming of aluminum; WGP Jahreskongress <9, 2019, Hamburg>. In: Production at the leading edge of technology, pp. 239–247.

Gelker, M.; Mrotzek, J.; Ichter, A.; Müller-Goymann, C. C.; Viöl, W. (2019): Influence of pulse characteristics and power density on stratum corneum permeabilization by dielectric barrier discharge. In: Biochimica et biophysica acta / General subjects 1863 (10), pp. 1513 - 1523. DOI: 10.1016/j.bbagen.2019.05.014.

Grein, M.; Bendorf, R.; Schiffmann, K.; Bräuer, G. (2019): Material structure and piezoresistive properties of niobium containing diamond-like-carbon films. In: Surface and coatings technology 357, pp. 273–279. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2018.10.008.

Grein, M.; Gerstenberg, J.; Heide, C. v. d.; Bandorf, R.; Bräuer, G.; Dietzel, A. (2019): Niobium-containing DLC coatings on various substrates for strain gauges. In: *Coatings* 9 (7), 417, 11 pp. DOI: 10.3390/coatings9070417.

Hahn, I.; Siebert, S.; Theisen, W.; Paschke, H. (2019): Niedertemperatur-Plasmanitrieren zur Optimierung der Tribokorrosionseigenschaften nichtrostender Stähle für die Anwendung als Wälzlager. Tribologie-Fachtagung <60, 2019, Göttingen>. In: *Reibung, Schmierung und Verschleiss: Forschung und praktische Anwendungen*, FF05/1, 9 S.

Herrmann, A.; Dohse, A.; Köther, J.; Erguen, Y.; Thomas, M. (2019): New materials equipped with functional surface features via novel composite coatings deposited using atmospheric PECVD. 9–14 June 2019, Naples, Italy; International Symposium on Plasma Chemistry <24, 2019, Naples>. In: *ISPC 24 Proceedings*, 311, 3 pp. Online verfügbar unter <https://www.ispc-conference.org/ispcproc/ispc24/311.pdf>.

Herrmann, C.; Leiden, A.; Cerdas, F.; Bandorf, R.; Vergöhl, M. (2019): Sustainability through data-driven computational production and life cycle engineering. Society of Vacuum Coaters Annual Technical Conference <62, 2019, Long Beach, Calif.>. In: *62th Annual Technical Conference Proceedings. Part One ([KONGRESSFOLGE] Annual technical conference / Society of Vacuum Coaters)*, pp. 17–28. Online verfügbar unter <https://www.flipsnack.com/svcdigitalpublications/2019-proceedings-part-1.html>.

Höft, S.; Grahn, S.; Bialuch, I.; Augustin, W.; Scholl, S. (2019): Low-fouling heat exchanger for biofuel usage in combined heat and power units. In: *Heat transfer engineering* (Article in press. Published online: 22 Jan 2019. DOI: 10.1080/01457632.2018.1540452).

Justianto, M.; Harig, T.; Höfer, M.; Sittinger, V. (2019): Silicon films for heterojunction solar cells by hot-wire CVD. International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics <9, 2019, Leuven>. In: *SiliconPV 2019, the 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics* (AIP conference proceedings; 2147), 050006, 7 pp.

Justianto, M.; Höfer, M.; Harig, T.; Sittinger, V. (2019): Deposition of surface passivation layers for silicon heterojunction solar cells by hot-wire CVD. Society of Vacuum Coaters Annual Technical Conference <61, 2018, Orlando, Fla.>. In: *SVC bulletin* (Fall/Winter 2019), pp. 58–63. DOI: 10.14332/svc18.proc.0032.

King, H.; Pflug, A.; Ortner, K.; Höfer, M.; Harig, T.; Sittinger, V. (2019): DSMC – simulation of the influence of hydrogen addition on the properties of silicon deposited by HWCVD. In: *Surface and coatings technology* 379, 125035, 6 pp. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2019.125035.

Lachmann, K.; Duckstein, R.; Herrmann, A.; Dohse, A.; Jänsch, M.; Thomas, M. (2019): Funktionelle Schichten mittels DBE zur Steuerung der Haftung. In: *Atmosphärische Plasmen*, S. 142–149.

- Landgrebe, D.; Demmler, M.; Albert, A.; Schieck, F.; Weber, M. (2019): Technology development and tool concepts for high-temperature forming of titanium. In: Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 2018. Volume 2: Advanced Manufacturing, paper no. IMECE2018-86660, V002T02A027, 11 pp.
- Lehm, A.; Romstedt, D.; Schoenberger, V.; Meyer, H. T.; Eichler, M. (2019): Adhesive-free bonding of web-like plastic-metal combinations at low temperatures. Symposium on Composites <22, 2019, Kaiserslautern>. In: 22nd Symposium on Composites (Key engineering materials; 809), pp. 392–397.
- Linss, V.; Bivour, M.; Iwata, H.; Ortner, K. (2019): Comparison of low damage sputter deposition techniques to enable the application of very thin a-Si passivation films. International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics <9, 2019, Leuven>. In: SiliconPV 2019, the 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (AIP conference proceedings; 2147), 040009, 7 pp.
- Mathioudaki, S.; Vandenabeele, C.; Tonneau, R.; Pflug, A.; Lucas, S. (2019): Characterization of a pulsed low pressure argon discharge in a cylindrical magnetron reactor by plasma diagnostic and 3D plasma modeling. In: Journal of vacuum science & technology A : JVST 37 (3), 031301, 13 pp. DOI: 10.1116/1.5064690.
- Maurer, V.; Frank, C.; Porsiel, J. C.; Zellmer, S.; Garnweitner, G.; Stosch, R.: Step-by-step monitoring of a magnetic and SERS-active immunosensor assembly for purification and detection of tau protein. In: Journal of biophotonics (Article in Press. First published: 13 November 2019. DOI: 10.1002/jbio.201960090, 10 pp.)
- Mejauschek, M. (2019): Vorhersage von Plasmanitrierergebnissen. Projekt „ProgPlas“. In: ZVO-Report (3), S. 55. Online verfügbar unter https://www.zvo.org/fileadmin/zvo/ZVOreport/2019_DS/ZVO-Report_03-2019_X.pdf.
- Muydinov, R.; Steigert, A.; Wollgarten, M.; Michalowski, P. P.; Bloeck, U.; Pflug, A.; Erfurt, D.; Klenk, R.; Körner, S.; Lauermaun, I.; Szyszka, B. (2019): Crystallisation phenomena of In₂O₃:H films. In: Materials 12 (2), 266, 20 pp. DOI: 10.3390/ma12020266.
- Neubert, T. (2019): 3D-gedruckte Polymere funktional beschichtet. Geeignete Aktivierung notwendig. In: Plastverarbeiter (2), S. 30–31. Online verfügbar unter <https://www.plastverarbeiter.de/83031/3d-gedruckte-polymere-funktional-beschichtet/>.
- Neubert, T.; Borris, J.; Lachmann, K. (2019): Funktionelle Oberflächen für 3-D-gedruckte Polymere. In: Nachrichten aus der Chemie 67 (6), S. 28–29. DOI: 10.1002/nadc.20194086867.

Neubert, T.; Lachmann, K.; Zeren, V.; Schlüter, F.; Scopece, P.; Patelli, A.; Thomas, M. (2019): Influence of the substrate temperature on the layer properties made by an atmospheric plasma jet using different precursors. International Symposium on Plasma Chemistry <24, 2019, Naples>. In: ISPC 24 Proceedings, 373, 4 p. Online verfügbar unter <https://www.ispc-conference.org/ispcproc/ispc24/373.pdf>.

Neubert, T.; Zeren, V.; Steinberg, C.; Thomas, M.; Cámara Torres, M.; Scopece, P.; Howitz, S.; Lachmann, K. (2019): Funktionale Beschichtungen auf 3D-gedruckten Polymerimplantatstrukturen. Interdisziplinärer Kongress für Technik und Hygiene im Krankenhaus <20, 2019, Würzburg>. In: Kompendium Technik und Hygiene im Krankenhaus 2019, S. 22–25.

Nienhaus, A.; Bräuer, G.; Paschke, H.; Stangier, D.; Tillmann, W.; Paulus, M.; Sternemann, C. (2019): Nanocomposite PECVD multiphase coatings for wear reduction under thermal load conditions. Niedersächsisches Symposium Materialtechnik <3, 2019, Clausthal-Zellerfeld>. In: Tagungsband 3. Niedersächsisches Symposium Materialtechnik (Fortschrittsberichte der Materialforschung und Werkstofftechnik; 7), pp. 511–522.

Paschke, H.; Mejauschek, M.; Weber, M.; Brunotte, K.; Siegmund, M.; Peddinghaus, J.; Lenz, D.; Bräuer, G.; Behrens, B.-A.; Dültgen, P. (2019): Life time enhancement of forging dies with tailored diffusion treatments. Tooling Conference & Exhibition <11, 2019, Aachen>. In: Tooling 2019 Conference & Exhibition, 7 S.

Plogmeyer, M.; Biehl, S.; Paetsch, N.; Bräuer, G. (2019): Dünnschichtsensoren zur Temperaturmessung im Mischreibungskontakt. Symposium für Smarte Strukturen und Systeme <2019, Darmstadt>. In: Smarte Strukturen und Systeme, S. 161–168.

Pribbenow, J.; Landgraf, P.; Mejauschek, M.; Grund, T.; Lampke, T.; Bräuer, G. (2019): Prognosetool für Plasmanitrierprozesse zur Randschichtbehandlung von Werkzeugen und Bauteilen. In: Galvanotechnik 110 (8), S. 1473–1474.

Pribbenow, J.; Mejauschek, M.; Landgraf, P.; Grund, T.; Bräuer, G.; Lampke, T. (2019): Neural network for prediction of hardness profiles for steel alloys after plasma nitriding. In: IOP conference series (480), 012019, 6 pp. Online verfügbar unter <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/480/1/012019/pdf>.

Rickert, J.; Drachenfels, N. v.; Cerdas, F.; Herrmann, C. (2019): Integration of product entropy and LCA to screen the potential environmental impacts of complex product systems at the end-of-life stage. In: CIRP annals 68, pp. 25–28. DOI: 10.1016/j.cirp.2019.04.029.

Schäfer, L.; Biehl, S.; Pflug, A.; Vergöhl, M. (2019): Fabrication of precision optical components and thin film sensors by integrated processes. Vacuum Coating Conference Shenzhen VCCS 2019, 22.11.2019, Shenzhen, China; Vacuum Coating Conference Shenzhen <5, 2019, Shenzhen>. Online verfügbar unter <http://fhgonline.fraunhofer.de/bibliotheken/wkiist/SchaeferVCCS2019.pdf>.

Schiffmann, K. (2019): SIMS depth profile analysis of tribological coatings on curved surfaces. Influence of ion impact angle and take-off angle on ion yield and on the quantitative analysis of chemical composition. In: Surface and interface analysis 51 (7), pp. 703–711. DOI: 10.1002/sia.6641.

Schiffmann, K.; Steinberg, C. (2019): EPMA-Analyse dünner PVD- und CVD-Schichten. Grundlagen und Beispiele aus der industriellen Praxis. In: Vakuum in Forschung und Praxis 31 (3), S. 26–36. DOI: 10.1002/vipr.201900714.

Schulze, C.; Blume, S.; Siemon, L.; Herrmann, C.; Thiede, S. (2019): Towards energy flexible and energy self-sufficient manufacturing systems. CIRP Conference on Manufacturing Systems <52, 2019, Ljubljana>. In: Procedia CIRP 81, pp. 683–688. DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.176.

Schütte, T.; Neiss, P.; Rieke, J. E.; Gerdes, H.; Bandorf, R.; Vergöhl, M.; Bräuer, G. (2019): How to run a reliable reactive HIPIMS process over a target lifetime. Society of Vacuum Coaters Annual Technical Conference <62, 2019, Long Beach, Calif.>. In: 62th Annual Technical Conference Proceedings.

Part One ([KONGRESSFOLGE] Annual technical conference / Society of Vacuum Coaters), pp. 323–328. Online verfügbar unter <https://www.flipsnack.com/svcdigitalpublications/2019-proceedings-part-1.html>.

Sittinger, V.; Schäfer, L.; Gäbler, J.; Höfer, M.; Bräuer, G.; Bond, R. J.; Matthée, T.; Brackemeyer, D.; Wilsenach, J.; Woods, M. (2019): Self-sustaining cleaning technology for safe water supply and management in rural African areas – SafeWaterAfrica. Society of Vacuum Coaters Annual Technical Conference <62, 2019, Long Beach, Calif.>. In: 62th Annual Technical Conference Proceedings. Part One ([KONGRESSFOLGE] Annual technical conference / Society of Vacuum Coaters), pp. 69–76. Online verfügbar unter <https://www.flipsnack.com/svcdigitalpublications/2019-proceedings-part-1.html>.

Thomas, M.; Herrmann, A.; Dohse, A.; Borris, J.; Weidlich, E. R. (2019): Printing of μm structures with nano inks using a novel combination of high-resolution plasma printing and subsequent rotogravure printing. In: Plasma processes and polymers 16 (9), 11 pp. DOI: 10.1002/ppap.201900080.

Uhlmann, E.; Barth, E.; Gäbler, J.; Höfer, M. (2019): CVD-Diamantwerkzeuge mit SiC-Zwischenschicht. In: wt Werkstattstechnik online (11/12), S. 857–861.

Uhlmann, E.; Riemer, H.; An, S.; Fröhlich, M.; Paschke, H.; Petersen, M. (2019): Ecological and functional optimization of the pretreatment process for plasma based coatings of cutting tools. Global Conference on Sustainable Manufacturing <16, 2018, Lexington>. In: Procedia manufacturing 33, pp. 618–624. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.04.077.

Vergöhl, M.; Britze, C.; Bruns, S.; Pflug, A.; Zimara, J.; Schäfer, B.; Mann, K.; Kirschner, V. (2019): Uniformity and wavefront control of optical filters. International Conference on Space Optics <12, 2018, Chania>. In: International Conference on Space Optics – ICSO 2018 (Proceedings of SPIE; 11180). Online verfügbar unter <https://www.spiedigitallibrary.org/proceedings/Download?fullDOI=10.1117%2F12.2536069>.

Wang, X.; Mayrhofer, L.; Höfer, M.; Estrade, S.; López-Conesa, L.; Zhou, H.; Lin, Y.; Peiró, F.; Fan, Z.; Shen, H.; Schäfer, L.; Moseler, M.; Bräuer, G.; Waag, A. (2019): Facile and efficient atomic hydrogenation enabled black TiO₂ with enhanced photo-electrochemical activity via a favorably low-energy-barrier pathway. In: Advanced energy materials 9 (33), 1900725, 14 pp. DOI: 10.1002/aenm.201900725.

Vorträge und Poster

Bandorf, R.; Märtins, D.; Grein, M.; Hellmers, S.; Rösler, J.; Bräuer, G.: HIPIMS Deposition of Advanced DLC Coatings for Sensor and Tribological applications. 62nd Annual Technical Conference of the Society of Vacuum Coaters SVC, Long Beach, CA, US, 27. April–2. Mai 2019 (Vortrag).

Bandorf, R.; Keunecke, M.; Bialuch, I.; Brand, J.; Sittinger, V.; Schäfer, L.; Bräuer, G.: Diamond and Diamond-Like Carbon (DLC) Coatings Technologies and Applications. Carbon Taiwan, Taichung, TW, 2.–3. August 2019 (Keynote Vortrag).

Bandorf, R.: Optical Coating Systems and Manufacturing Equipment, Advanced Optical Coating Seminar, Feng Chia University, Taichung, Taiwan, 29. November 2019 (Vortrag).

Baron, S.: Einsatzverhalten strukturierter CVD-Diamantbeschichteter Honleisten, Industriearbeitskreis Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe, Berlin, 7. Mai 2019 (Vortrag).

Bräuer, G.: Sputtering technology – recent developments and application examples, 3. International Symposium on Coatings on Glass and Plastics, Tokyo, Japan, 4.–5. April 2019 (Vortrag).

Bräuer, G.: Some recent developments in sputter technology, Glass Performance Days, Tampere, Finnland, 26. Juni 2019 (Vortrag)

Bräuer, G.: Sputtering as key for innovations – some recent results from R+D, 12th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering AEPSE, Jeju, Südkorea, 03. September 2019 (Vortrag)

Bräuer, G.: Sputtering as key for innovations – some recent results from R+D, International Conference Power Electronics for Plasma Engineering PE2, Zielonka/Warschau, Polen, 24.–26. September 2019 (Vortrag).

Blume, S.; Dilger, N.; Herrmann C.: From Li-ion Batteries to All-Solid-State Batteries: A Life Cycle Comparison, International Battery Production Conference IBPC 2019, Braunschweig, 4.–6. November 2019 (Vortrag).

Dietz, A.; Moustafa, E.: Fly me to the moon – Und dann? Extraterrestrische Produktionsverfahren, 21. Werkstofftechnisches Kolloquium, Chemnitz, 6.–7. März 2019 (Eingeladener Vortrag).

Dietz, A.: Generative Fertigung: Herausforderungen und Chancen für die Oberflächentechnik, 41. Ulmer Gespräch der DGO, Ulm, 8.–9. Mai 2019 (Eingeladener Vortrag).

Dietz, A.; Moustafa, E.: Fly me to the moon – Und dann? Extraterrestrische Produktionsverfahren, 41. Ulmer Gespräch der DGO, Ulm, 8.–9. Mai 2019 (Eingeladener Vortrag).

Dietz, A.: Beschichtete Bauteile für Weltraumanwendungen, DLR – Workshop Additive Fertigung in der Raumfahrt, Bonn, 28. Mai 2019 (Vortrag).

Dietz, A.: Oberflächentechnik für die generative Fertigung von Polymerbauteilen, 22. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde der DGM, Kaiserslautern, 26.–28. Juni 2019 (Vortrag).

Dietz, A.: Challenges for the Electrochemical/ Electroless Metallization of Additive Manufactured Polymer Parts, 236th Meeting der Electrochemical Society (ECS), Atlanta, GA, US, 13.–17. Oktober 2019 (Eingeladener Vortrag).

Dietz, A.; Moustafa, E.: Processes for the electrowinning of metals and oxygen from lunar regolith, 236th Meeting der Electrochemical Society (ECS), Atlanta, GA, US, 13.–17. Oktober 2019 (Vortrag).

Dietz, A.; Moustafa, E.: Electrowinning of metals and oxygen from lunar regolith, ESA: Space resources workshop, Luxemburg, Oktober 2019.

Dröder, K.; Hoffmeister, H.-W.; Tounsi, T.; Gäbler, J.; Paetsch, N.; Höfer, M.: Strukturierte CVD-Diamant-Mikroschleifstifte, F.O.M.-Konferenz 2019: Herausforderungen in Photonik und Medizintechnik, Berlin, 6. November 2019 (Poster).

Eichler, M.: Atmosphärendruck-Plasmavorbehandlung von Optiken und Gläsern vor dem Kitten und Verkleben, 14. ThGOT Thementage Grenz- und Oberflächentechnik, Zeulenroda, 12.–13. März 2019 (Vortrag).

Gerdas, H.; Ortner, K.; Bandorf, R.; Schäfer, R.; Schütte, T.; Vergöhl, M.; Bräuer, G.: Microwave Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition of SiO_x Films. 62nd Annual Technical Conference of the Society of Vacuum Coaters SVC, Long Beach, CA, US, 27. April–2. Mai 2019 (Vortrag).

Gerdas, H.; Rieke, J.; Bandorf, R.; Schütte, T.; Vergöhl, M.; Bräuer, G.: Plasma Emission Monitor for controlling the ion to neutral ratio and stoichiometry of HIPIMS processes. International Conference on Sputter Technology / 10th International Conference on Fundamentals and Applications of HIPIMS, Braunschweig, 19. – 20. Juni 2019 (Poster).

Grube, M.; Hofer, M.; Hesselbach, J.; Michalowski, P.; Zellmer, S.; Kwade, A.: Syntheses of nickel-rich active materials and sulfidic solid electrolytes for ASSB cathodes, International Battery Production Conference IBPC 2019, Braunschweig, 4. – 6. November 2019 (Vortrag).

Grube, M.; Hesselbach, J.; Zellmer, S.; Kwade, A.: Syntheses for ASSB cathode materials, International Battery Production Conference IBPC 2019, Braunschweig, 4. – 6. November 2019 (Poster).

Herrmann, C.: Sustainability Through Data-Driven Computational Production and Life Cycle Engineering, 62nd Annual Technical Conference of the Society of Vacuum Coaters SVC, Long Beach, CA, US, 27. April – 2. Mai 2019 (Keynote Lecture).

Herrmann, C.: Optimierung komplexer galvanischer Prozesse durch cyber-physische Systeme, ZVO-Oberflächentage 2019, Berlin, 11. – 13. September 2019 (Vortrag).

Herrmann, C.: Digitalization and computational engineering for plasma coaters, International Conference Power Electronics for Plasma Engineering PE², Zielonka/Warschau, Polen, 24. – 26. September 2019 (Vortrag).

Herrmann, C.: Nachhaltigkeit in der Oberflächentechnik durch Industrie 4.0 und Life Cycle Engineering, V2019 – Vakuum & Plasma, Dresden, 8. – 10. Oktober 2019 (Eröffnung inkl. Plenarvortrag).

Herrmann, C.: Sustainability in Surface Engineering by Industry 4.0 and Life Cycle Engineering, Smart Manufacturing Forum, Feng Chia University, Taichung, Taiwan, 28. November 2019 (Keynote-Vortrag).

Herrmann, C.: Digitalization and computational engineering for plasma coaters, Conference on Theoretical and Applied Mechanics (CTAM 2019), Taichung, Taiwan, 29. November 2019 (Keynote-Vortrag).

Herrmann, C.: Surface Engineering from coating processes to factories, Advanced Optical Coating Seminar, Feng Chia University, Taichung, Taiwan, 29. November 2019 (Vortrag).

Höfer, M.; Haase, E.: Moderner Pflanzenschutz durch Ozon, Innovate! Convention, Osnabrück, 16. – 17. Oktober 2019 (Eingeladener Vortrag).

Höfer, M.; Haase, E.; Beltz, H.M.; Schlenz, J.: Praxisgerechte, ressourcenschonende Reinigung von Pflanzen und Oberflächen durch Desinfektion mit elektrochemisch erzeugtem wassergelöstem Ozon, Innovate! Convention, Osnabrück, 16. – 17. Oktober 2019 (Poster).

Keunecke, M.: Prozesse zur Abscheidung reibungs- und verschleißmindernder DLC-Schichten, Seminar: PVD- und CVD-Beschichtungsverfahren für tribologische Systeme, Regensburg, 7. – 8. Oktober 2019 (Vortrag).

King, H.; Ortner, K.; Harig, T.; Höfer, M.; Sittinger, V.: Maximizing SiH₃ Radical Concentration During HWCVD Si:H Film Production by Means of Wire Temperature and Deposition Pressure Tuning, 62nd Annual Technical Conference of the Society of Vacuum Coaters SVC, Long Beach, CA, US, 27. April–2. Mai 2019 (Vortrag).

Kwade, A.; Zellmer, S.: Skalierbare Herstellungsprozesse für aktuelle und zukünftige Batterietechnologien, Hagener Symposium Pulvermetallurgie – Schlüsseltechnologie für innovative Systemlösungen, Hagen, 28.–29. November 2019 (Vortrag).

Neubert, T.; Zeren, V.; Steinberg, C.; Thomas, M.; Cámara Torres, M.; Scopece, P.; Howitz, S.; Lachmann K.: Funktionale Beschichtungen auf 3D-gedruckten Polymer-implantatstrukturen, WümeK Kongress 2019, Würzburg, 8.–9. Mai 2019 (Vortrag).

Neubert, T.; Lachmann, K.; Zeren, V.; Schlüter, F.; Scopece, P.; Patelli, A.; Thomas M.: Influence of the substrate temperature on the layer properties made by an atmospheric plasma jet using different precursors, 24th International Symposium on Plasma Chemistry, Neapel, Italien, 9.–14. Juni 2019 (Vortrag).

Neubert, T.; Zeren, V.; Steinberg, C.; Thomas, M.; Schlüter, F.; Cámara Torres, M.; Scopece, P.; Howitz, S.; Lachmann K.: Funktionale Beschichtungen mittels Plasmajet auf 3D-gedruckten Polymerstrukturen, V2019 – Vakuum & Plasma, Dresden, 8.–10. Oktober 2019 (Vortrag).

Neumann, F.; Borris, J.; Bunzel, F.: Wirtschaftliche Herstellung von Holzschaum mittels Photokatalyse – Recyclbare funktionale Leichtbauwerkstoffe auf Basis photo- und elektrochemisch aktiv modifizierter Holz-Schäume »Refuel-Phoams«, AG-Treffen »Plasma4Life«, Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik INPLAS e.V., Braunschweig, 12. März 2019 (Vortrag).

Neumann, F.: Revision of DIN 52980 Methylene Blue – Preliminary results and observations of German standardization project »DePhakto«; Photocatalysis Europe-PIAJ Joint Meeting, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 24. Oktober 2019 (Vortrag).

Ortner, K.: Deposition of thick piezoelectric films by Gas Flow Sputtering. International Symposium on Piezocomposite Applications ISPA 2019, Dresden, 9.–11. Oktober 2019 (Vortrag).

Patelli, A.; Tamperi, F.; Marotta, E.; Zaniol, B.; Neubert, T.; Lachmann, K.; Scopece, P.; Mardegan, M.; Cattaruzza E.: A novel plasma jet with RF and HF coupled electrodes, 24th International Symposium on Plasma Chemistry, Neapel, Italien, 9.–14. Juni 2019 (Vortrag).

Pflug, A.: Modellgestützte Herstellung optischer Filter auf gekrümmten Linsenflächen, Workshop »Sputtern für die Präzisionsoptik«, Fraunhofer IOF, Jena, 9. Mai 2019 (Vortrag).

Pflug, A.: Modelling of thin film deposition processes as a service, International Conference Power Electronics for Plasma Engineering PE², Zielonka/Warschau, Polen, 24.–26. September 2019 (Vortrag).

Pflug, A.: Simulation assisted deposition of optical filters onto 3D substrates by magnetron-sputtering, 18th International Conference on Reactive Sputter Deposition RSD, Braunschweig, 5.–6. Dezember 2019 (Vortrag).

Schäfer, L.; Himmelsbach, T.; Schöniger, H.M.; Gäbler, J.: Strengthening groundwater management through an integrative approach, 2nd SADC Groundwater Conference, Johannesburg, South Africa, 4.–6. September 2019 (Vortrag).

Schäfer, L.: Fabrication of precision optical components and thin film sensors by integrated processes, Vacuum Coating Conference Shenzhen VCCS, 22. November 2019 (Eingeladener Vortrag).

Schäfer, L.; Sittinger, V.; Höfer, M.; Justianto, M.; King, H.; Harig, T.; Thiem, H.: Applications of Silicon-based Coatings Deposited by Hot-Wire CVD, Advanced Optical Coating Seminar, Feng Chia University, Taichung, Taiwan, 29. November 2019 (Vortrag).

Schiffmann, K.: Analyse- und Prüfverfahren von Schichten für tribologische Anwendungen, Seminar: PVD- und CVD-Beschichtungsverfahren für tribologische Systeme, Regensburg, 7.–8. Oktober 2019 (Vortrag).

Schott, A.: Multisensorische Dünnschichtsysteme, Industriearbeitskreis Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe, Braunschweig, 7. November 2019 (Vortrag).

Schütte, T.; Neiß, P.; Rieke, J.; Gerdes, H.; Bandorf, R.; Vergöhl, M.; Bräuer, G.: How to run a reliable reactive HIPIMS process over a target lifetime. 62nd Annual Technical Conference of the Society of Vacuum Coaters SVC, Long Beach, CA, US, 27. April–2. Mai 2019 (Vortrag).

Schütte, T.; Neiß, P.; Rieke, J.; Gerdes, H.; Bandorf, R.; Bräuer, G.: Combined control of ionization and stoichiometry in reactive highly ionized processes for production lines. International Conference on Sputter Technology / 10th International Conference on Fundamentals and Applications of HIPIMS, Braunschweig, 19.–20. Juni 2019 (Vortrag).

Sittinger, V.: Route to optimized aluminum-doped zinc oxide films from metallic rotatable sputter targets on large area for thin film photovoltaic modules, 3. International Symposium on Coatings on Glass and Plastics, Tokyo, Japan, 4.–5. April 2019 (Vortrag).

Sittinger, V.; Schäfer, L.; Gäbler, J.; Höfer, M.; Bräuer, G.; Bond, R.J.; Matthée, T.; Brackemeyer, D.; Wilsenach, J.; Woods, M.: 62nd Annual Technical Conference of the Society of Vacuum Coaters SVC, Long Beach, CA, US, 27. April–2. Mai 2019 (Vortrag).

Ulrich, S.: Entwicklung elektrochromer Materialien, V2019 – Vakuum & Plasma, Dresden, 8.–10. Oktober 2019 (Vortrag).

Thomas, M.; Lachmann, K.; Eichler, M.; Mann, A.; Neubert, T.; Klages, C.-P.; Herrmann, C.; Bräuer, G.: Plasma 4.0 – Selective surface functionalization by atmospheric pressure plasmas, Asian European Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE), Maison Glad Hotel, Jeju City, Korea, 1.–5. September 2019 (Invited Plenary Talk).

Thomas, M.; Mennenga, M.; Thiede, S.: Nachhaltige Produkte und Prozesse für New Energy Vehicles, Fachtagung Leichtigkeit PUR, OHLF, Wolfsburg, 19. September 2019 (Vortrag).

Vergöhl, M.: Deposition of Demanding Optical Coatings on Curved Substrates, Optical Interference Coatings Conference OIC, New Mexico, USA, 2.–7. Juni 2019 (Poster).

Weber, M.: Auswahl und Vorbehandlung der Werkstoffe für die Beschichtung, Seminar: PVD- und CVD-Beschichtungsverfahren für tribologische Systeme, Regensburg, 7.–8. Oktober 2019 (Vortrag).

Zellmer, S.: Einsatz prozessbegleitender Analytik entlang der gesamten Wertschöpfungskette für die Batteriezellproduktion, 2. PPA-Netzwerktreffen 2019, Göttingen, 29. August 2019 (Vortrag).

Dissertationen

Abraham, T.: Entwicklung von Kohlenwasserstoffschichten für die schmiermittelfreie Kaltumformung von Aluminiumblechen durch Tiefziehen. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 2019.

Masterarbeiten

Arafat, R.: Untersuchung des Einsatzpotentials von supercritical CO₂ als Kühlschmierstoffalternative für die Schleifbearbeitung, Technische Universität Braunschweig, Juni 2019.

Awate, A. S.: Experimental and theoretical investigation of machining processes, Technische Universität Braunschweig, Juni 2019.

Berkan, P.: Erstellung eines Montagekonzepts für die automatisierte Schließösenmontage mit Fokus auf die intelligente Datenvernetzung, Technische Universität Braunschweig, Oktober 2019.

Blömeke, S.: Entwicklung eines Kennzahlensystems zur Bewertung sowie Modellierung und Simulation von Closed-loop Production Systems, Technische Universität Braunschweig, April 2019.

Bommes, L.: Shopfloor Monitor: Multi-Camera-Based Detection and Tracking System for a large Manufacturing Environment, Technische Universität Braunschweig, März 2019.

Brand, C.: Ökobilanzierung einer LVP-Sortieranlage, Technische Universität Braunschweig, Oktober 2019.

Britze, C.: Entwicklung eines schmalen IR-Bandpassfilters auf einer asphärischen Linse, Technische Universität Braunschweig, August 2019.

Csuti, J.: Entwicklung und Ausgestaltung eines Predictive Maintenance Service-Delivery Konzeptes für das BASF Reliability Center – Development and design of a predictive maintenance service-delivery concept for the BASF Reliability Center, Technische Universität Braunschweig, Februar 2019.

Czarski, M.: Development of an indoor mixed reality visualization concept for manufacturing shop floors with implementation in learning factories, Technische Universität Braunschweig, Juli 2019.

Dierkes, J.: Bewertung von Methoden des energieeffizienten Produktionsmanagements zur Anwendung in energieflexiblen Produktionen, Technische Universität Braunschweig, Dezember 2019.

Dilger, N.: Energy and resource flow modelling of a PAN-based carbon fibre white and black manufacturing line, Technische Universität Braunschweig, Januar 2019.

Feist, L.: Ökobilanzierung der PET-Wertschöpfungskette mit Fokus auf PET-Produktion, Technische Universität Braunschweig, Oktober 2019.

Franke, J. F.: Entwicklung und exemplarische Anwendung einer Methodik zur Beschreibung, Modellierung und Bewertung autonomer Mobilität als System der Systeme, Technische Universität Braunschweig, März 2019.

Ghazi, M.: Entwicklung eines Chargenführungskonzeptes am Beispiel der Batteriezellproduktion der Battery LabFactory Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, August 2019.

Gödecke, D.: Entwicklung eines Konzeptes zur Potentialabschätzung der Wiederverwendbarkeit von Betriebsmitteln im Automobilbau am Beispiel einer Karosseriebauanlage, Technische Universität Braunschweig, März 2019.

Görtz, J.: Integration von GIS Technologien in LCA für die Analyse von Umweltauswirkungen der Energieproduktion, Technische Universität Braunschweig, Januar 2019.

Haller, F.: Grundlegende Untersuchungen zur Plasmanitrierung von Aluminium bei Atmosphärendruck, Technische Universität Braunschweig, April 2019.

Hassan, H.: Simulation of Scale-Effects in the Production of Lithium-ion Traction Batteries for Electric Vehicles, Technische Universität Braunschweig, Oktober 2019.

Helmke, M.: Analyse und Bewertung von Produktionstechnologien und -systemen für urbane Fabriken, Technische Universität Braunschweig, Juli 2019.

Hohmann, L.: Umsetzung eines Steuerungskonzeptes zur individualisierten Arzneiabfüllung im Rahmen einer wandlungsfähigen Produktionszelle, Technische Universität Braunschweig, September 2019.

Hou, L.: Anwendung von Data-Mining-Methoden zum Energiebenchmarking von Fabriken, Technische Universität Braunschweig, Dezember 2019.

Huang, Y.: Auswertung von hochfrequenten Daten in der Produktionstechnik, Technische Universität Braunschweig, November 2019.

Huang, Y.: Simulation based data analytics in industry, Technische Universität Braunschweig, Oktober 2019.

Ji, H.: Identifikation und Bewertung von Technologien zur Erfassung von Daten im Batterielebenszyklus, Technische Universität Braunschweig, Oktober 2019.

Knop, H.: Modellierung und Simulation von Produktions- und Recyclingprozessen im Kontext von Closed-loop Production Systems, Technische Universität Braunschweig, März 2019.

Kont, M.: Ökologische Bewertung von Substitutionsszenarien im automobilen Leichtbau, Technische Universität Braunschweig, Juni 2019.

Kröger, F.: Systematische Identifikation von Energiesparpotentialen in Industrieunternehmen, Technische Universität Braunschweig, August 2019.

Langner, J.: Konzeption und Validierung eines datenbasierten Prognosetools für die Planung von Wartungs- und Instandhaltungsprozessen im Bereich der Luftfahrt, Technische Universität Braunschweig, Mai 2019.

Li, S.: Entwicklung und Evaluation eines Mixed Reality Produktionsprozess für skalierte Lernfabriken, Technische Universität Braunschweig, März 2019.

Lips, J.: Life Cycle Assessment von PET-Produktion und relevanten Vorketten mit Fokus auf Analyse des Einflusses von Datenunsicherheiten, Technische Universität Braunschweig, Dezember 2019.

Maaßen, F.: Methoden- und Kriterienentwicklung für standardisierte LCAs von Bahnautomatisierungsprodukten, Technische Universität Braunschweig, Januar 2019.

Matthäi, J.: Entwicklung einer generischen Simulationsmethodik für cyber-physische Systeme auf Fabrikebene, Technische Universität Braunschweig, November 2019.

Mohwinkel, D.: Randschichtbehandlung von Hochtemperaturlegierungen für den Werkzeugbau und deren tribologische Bewertung Technische Universität Braunschweig, 2019.

Munoz Amador, O. A.: Identifikation und modellbasierte Bewertung industrieller Symbiose von urbaner Gemüseproduktion, Technische Universität Braunschweig, Oktober 2019.

Oberländer, M.: Konzeption und Validierung eines Datenerfassungskonzeptes für die Anwendung im Bereich „Predictive Maintenance“, Technische Universität Braunschweig, April 2019.

Ogaza, A.: Industrielle Verfahrensübersicht PECVD, Technische Universität Braunschweig, Dezember 2019.

Paehr, A.: Untersuchung und Bewertung potentieller Kreislaufstrategien für Verschleißteile in der Flugzeugfahrwerksinstandhaltung, Technische Universität Braunschweig, August 2019.

Pan, X.: Hochfrequente Daten Erfassung für die Produktionstechnik, Technische Universität Braunschweig, November 2019.

Pape, H.: Prädiktion von CFD-Simulationen mittels Machine Learning Methoden, Technische Universität Braunschweig, Oktober 2019.

Popov, D.: Untersuchungen zur Plasmabehandlung von porösen Polymeren, Technische Universität Braunschweig, August 2019.

Pydde, K.: Entwicklung und Integration eines Mixed Reality Interfaces für/in ein Industrie 4.0 Test-bed, Technische Universität Braunschweig, Juli 2019.

Raymann, K.: Enabling Tracking and Tracing of Lithium-Ion Battery Electrodes in Continuous Production Processes, Technische Universität Braunschweig, November 2019.

Rösler, J.: Laser-Oberflächenbehandlungen für Raumfahrtanwendungen, Technische Universität Braunschweig, August 2019.

Rudolf, S. M.: Entwicklung eines Analyse- und Bewertungsvorgehens für das Potential urbaner Fabriken für die Ausführung von urbanen Funktionen im städtischen Raum als „Urban Services“, Technische Universität Braunschweig, März 2019.

Scheck, N.: Data Mining Methoden für das Wissensmanagement in der Forschung zur Batteriezellproduktion, Technische Universität Braunschweig, Februar 2019.

Schmidt, S.: Bewertung der Energie- und Materialeffizienz in der Produktion von Karosseriebauteilen, Technische Universität Braunschweig, September 2019.

Schneider, E. U.: Erarbeitung eines Konzepts zum ganzheitlichen Recycling von Traktionsbatterien, Technische Universität Braunschweig, Mai 2019.

Schott, A.: Untersuchungen zum Einfluss der Depositionsparameter beim Magnetronsputtern auf Morphologie, mechanische Eigenschaften und Benetzung von Schichten im System Cr-N-O, Technische Universität Braunschweig, April 2019.

Sommer, D.: Assessment of implementations for 5G communication standard in industrial Sector by means of a use case and exemplary implementation at AMTC Testbed of Tongji University, China, Technische Universität Braunschweig, August 2019.

Sommer, P.: Konzeptentwicklung einer integrierten Kommunikationstechnologie in Feststoffarzneiformen zum Track & Tracing in Produktionsprozessen zur kundenindividuellen Arzneimittelherstellung, Technische Universität Braunschweig, August 2019.

Stascheit, C. W.: Assessing the environmental impact of photovoltaic systems, Technische Universität Braunschweig, Oktober 2019.

Stendel, A.: Literaturbasierte Ermittlung des realen Energiebedarfs von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen, Technische Universität Braunschweig, März 2019.

Taoying, S.: Data based assessment of the viability and environmental impact of using plug-in hybrid vehicles in police fleets, Technische Universität Braunschweig, Februar 2019.

Timmermann, I.: Entwicklung und Konzeption einer Methodik zur Prozess- und Qualitätsoptimierung in der Montage von Windenergieanlagen unter Anwendung einer digitalen Datenerfassung, Technische Universität Braunschweig, Februar 2019.

Trilling, J.: Induktives Einschmelzen flammgespritzter Schichten, Technische Universität Braunschweig, Mai 2019.

Trümper, T.: Simulative Optimierung des Energiebedarfs in der Batterieproduktion, Technische Universität Braunschweig, September 2019.

Tüting, J.: Praktische Versuche zum und theoretische Untersuchung des Remanufacturings von LED Schweinwerfern im Kontext Recycling 4.0, Technische Universität Braunschweig, März 2019.

Ventura Silva, G.: Development and conception of a life cycle oriented data acquisition and data storage concept on the example of production, Technische Universität Braunschweig, Dezember 2019.

Wang, X.: Advanced Energy Reporting by utilizing a Machine Learning Approach, Technische Universität Braunschweig, Juni 2019.

Weber-Renz, A.: Ökologische Bewertung und Vergleich eines Monopräparates mit einem Kombipräparat von der Wirkstoffherstellung bis zu fertigen Tablette, Technische Universität Braunschweig, Februar 2019.

Weerts, A.: Life Cycle Assessment (LCA) of Autonomous Electric Vehicles, Technische Universität Braunschweig, August 2019.

Weiß, J. T.: Entwicklung einer Methode zur kundenfunktionsorientierten Bauteilkostenberechnung zukünftiger Elektrofahrzeugkonzepte, Technische Universität Braunschweig, Oktober 2019.

Willenbrock, B.: Ökologische Bewertung neuartiger symbiotischer Nahrungsmittel Produktionssysteme, Technische Universität Braunschweig, Mai 2019.

Zhao, Z.: Sensitivitätsanalyse in der Ökobilanz der Wertschöpfungskette von Kobalt und Nickel für Batterieanwendungen, Technische Universität Braunschweig, Januar 2019.

Bachelorarbeiten

Amtz, J.: Bewertung nitrierter Bauteile, Technische Universität Braunschweig, Bachelorarbeit, März 2019.

Bertram, P.: Grundlagenuntersuchungen zum Verhalten nitrierter Warmarbeitsstähle bei Thermowechselbeanspruchung, Technische Universität Braunschweig, Bachelorarbeit, November 2019.

Hell, K.: Atmosphärendruck-Plasmavorbehandlung lackierter Oberflächen zur klebfreien Maskierung vor der Zweifarbenlackierung, Technische Universität Braunschweig, Bachelorarbeit, Januar 2019.

Köhl, C.: Erarbeitung eines Kalibrierversuchs für einen Tribologieprüfstand, Technische Universität Braunschweig, Bachelorarbeit, Juli 2019.

Lai, Z.: Entwicklung eines Messplatzes zur Charakterisierung der Dehnungsempfindlichkeit von Dünnschichten auf Polymerfolien, Technische Universität Braunschweig, Bachelorarbeit, März 2019.

Ritzka, J.: Auswirkung des Plasmanitrierens auf das Korrosionsverhalten austenischer Stähle, Technische Universität Braunschweig, Bachelorarbeit, Juni 2019.

Schutzrechtanmeldungen

Fischer, F.; Kunze, C.; Bähge, S.; Giesert F.; Brand, J.: Holzfuniere (behandelt/unbehandelt) mit einer dünnen elektrischleitfähigen Funktionsschicht.

Mainusch, N.; Scholz, D.; Viöl W.; Kappertz, O.; Tielebörger T.: Gerät und Verfahren De-Agglomeration und Beschichtung von Trockenstoffen wie Fasern und Pulvern.

BILDVERZEICHNIS

- 2 Bild: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 3 Bild 1. Ulrike Balhorn, Fraunhofer IST
- 6 Bild 1. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 6 Bild 2. Mirko Krenzel
- 7 Bild 3. Marko Eichler, Fraunhofer IST
- 8 Bild: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 9 Bild: Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH
- 10 Bild: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 11 Bild: PLASUS GmbH
- 13 Bild: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 15 Bild: Jan Benz, Fraunhofer IST
- 16 Bild 1. Architektenbüro HDR
- 17 Bild 2. Fraunhofer
- 22 Bild 1. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 22 Bild 2. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 23 Bild 3. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 23 Bild 4. Sven Pleger, Fraunhofer IST
- 24 Bild 1. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 24 Bild 2. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 25 Bild 3. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 26 Bild 1. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 26 Bild 2. Fraunhofer IST
- 27 Bild 3. Manuela Lingnau, Fraunhofer WKI
- 30 Bild 1. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 30 Bild 2. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 31 Bild 3. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 32 Bild: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 34 Bild 1. Illustration: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 35 Bild 2. Sebastian Klemm, Fraunhofer IST
- 36 Bild 1. Fraunhofer IST
- 36 Bild 2. Fraunhofer IST
- 37 Bild 3. Fraunhofer IST
- 38 Bild 1. Daniel Mohwinkel, Fraunhofer IST
- 38 Bild 2. Daniel Mohwinkel, Fraunhofer IST
- 39 Bild 3. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 40 Bild 1. Saskia Biehl, Fraunhofer IST
- 40 Bild 2. Saskia Biehl, Fraunhofer IST
- 40 Bild 3. Elke Bürger, Fraunhofer IST
- 41 Bild 4. Marcel Plogmeyer, Fraunhofer IST
- 42 Bild 1. Elke Bürger, Fraunhofer IST
- 42 Bild 2. Fraunhofer IST
- 43 Bild 3. Elke Bürger, Fraunhofer IST
- 43 Bild 4. Fraunhofer IST
- 44 Bild 1. Timon Dreßler, Fraunhofer IST
- 46 Bild 1. VTT Verschleißteiltechnik GmbH
- 46 Bild 2. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 48 Bild 1. Fraunhofer IST
- 48 Bild 2. Fraunhofer IST
- 49 Bild 3. Ingmar Bialuch, Fraunhofer IST
- 50 Bild: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 52 Bild 1. Foto: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 53 Bild 2. Foto: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
- 54 Bild 1. Foto: Chris Britze, Fraunhofer IST
- 54 Bild 2. Illustration: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST

- 55 Bild 3. Illustration: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 56 Bild: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 58 Bild 1. Bilal Temel, Institut für Partikeltechnik iPAT, TU Braunschweig; Laboratorium für Nano- und Quantentechnologie, Leibniz Universität Hannover
 58 Bild 2. Institut für Chemische und Thermische Verfahrenstechnik ICTV, TU Braunschweig
 60 Bild 2. Fraunhofer IST
 61 Bild 1. Fraunhofer IST
 62 Bild: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 64 Bild 1. Fraunhofer IST
 64 Bild 2. Fraunhofer IST
 65 Bild 3. Fraunhofer IST
 66 Bild 1. Fraunhofer IST
 66 Bild 2. Fraunhofer IST
 67 Bild 3. André Kaiser, Fraunhofer IST
 68 Bild 1. Fraunhofer IST
 69 Bild 2. Fraunhofer IST
 70 Bild: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 72 Bild 1. Virtual Consulting Engineers
 72 Bild 2. Virtual Consulting Engineers
 73 Bild 3. Lothar Schäfer, Fraunhofer IST
 74 Bild 1. Hannes Meyer, Fraunhofer IST
 76 Bild: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 78 Bild 1. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 78 Bild 2. Krees Nagel, Fraunhofer IST
 79 Bild 3. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 80 Bild 1. Rainer Meier, BFF Wittmar
 80 Bild 2. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 81 Bild 3. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 82 Bild 1. Illustration Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 82 Bild 2. Fraunhofer IST
 83 Bild 3. Illustration Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 84 Bild: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 86 Bild 1. Sandra Yoshizawa, Fraunhofer IST
 87 Bild 2. Holger Gerdes, Fraunhofer IST
 88 Bild 1. Sandra Yoshizawa, Fraunhofer IST
 88 Bild 2. Fraunhofer IST
 89 Bild 3. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 90 Bild 1. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 90 Bild 2. Julia Hardt, Fraunhofer IST
 91 Bild 3. Fraunhofer IST
 92 Bild 1. Ulrike Balhorn, IOT, TU-Braunschweig
 92 Bild 2. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 93 Bild 3. Ilka Blumentritt, Fraunhofer IST
 94 Bild 1. Ulrike Balhorn, IOT, TU-Braunschweig
 95 Bild 1. Ulrike Balhorn, Fraunhofer IST
 96 Bild: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 106 Bild 1. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 106 Bild 2. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 107 Bild 3. Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
 109 Bild 2. Ilka Blumentritt, INPLAS e. V.

IMPRESSUM

Das Fraunhofer-Institut für Schicht-
und Oberflächentechnik IST

Institutsleitung
Prof. Dr. Günter Bräuer
Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann

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
ROCO Druck GmbH
<https://www.rocodruck.de>

© Fraunhofer IST 2020

