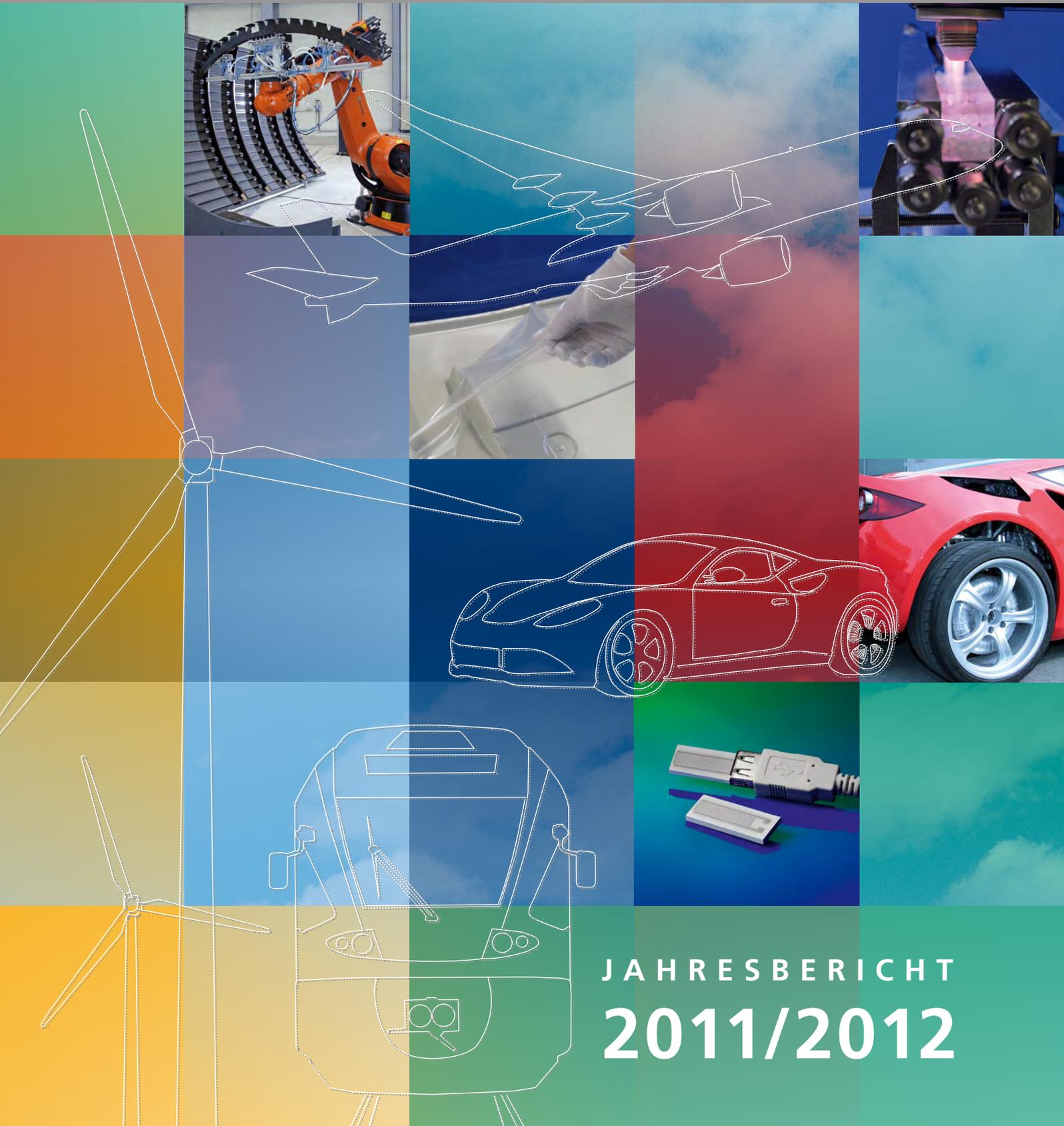




# Fraunhofer

## IFAM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK UND ANGEWANDTE MATERIALFORSCHUNG IFAM



JAHRESBERICHT  
**2011/2012**

JAHRESBERICHT  
**2011/2012**

# VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren,  
liebe Geschäftsfreunde und Kooperationspartner,  
liebe Förderer des Fraunhofer IFAM,

über ein erfolgreiches Jahr zu berichten ist in aller Regel eine angenehme Aufgabe. Und 2011 war in vielerlei Hinsicht für das Fraunhofer IFAM ein sehr erfolgreiches Jahr. Erstmals überschritt der Gesamthaushalt des Instituts die Marke von 40 Millionen Euro. Im Zuge dieses eindrucksvollen Wachstums erreichte auch der Personalstand mit über 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eine Höchstmarke. 2012 wird voraussichtlich ein Jahr der Konsolidierung werden, in dem wir das außerordentliche Wachstum der vergangenen Jahre auf hohem Niveau stabilisieren wollen. Vor dem Hintergrund des starken Personalaufwuchses in den vergangenen Jahren und des damit verbundenen gestiegenen Platzbedarfs wird in diesem Jahr mit der Erweiterung unseres Institutsgebäudes in Bremen begonnen.

Vor einem Jahr hatten wir an dieser Stelle das Ziel formuliert, den im Zuge der wirtschaftlichen Entwicklung rückläufigen Industrieanteil am Finanzierungs-Mix des Instituts nachhaltig zu steigern. Das ist uns gelungen. Es konnten die Erträge aus Industriaufträgen wie aus Projekten der öffentlichen Hand erheblich gesteigert werden, was aus unserer Sicht ein großer Erfolg ist. Unser Dank gilt allen Projektpartnern, die uns unterstützt haben und die uns bei Befragungen eine durchgängig hohe Kundenzufriedenheit zurückgespiegelt haben.

Neben dem Wachstum zieht sich vor allem eine Reihe erfolgreicher Kooperationen wie ein roter Faden durch das vergangene Jahr. So war 2011 für uns beide das erste volle Kalenderjahr mit gemeinsamer Verantwortung in der Institutsleitung. Wir fördern bewusst den engen Schulterschluss zwischen den Institutsbereichen, um die Innovationskraft des Instituts insgesamt weiter zu stärken. Gerade im Kontext neuer Forschungsthemen erkennen wir, dass die beiden Institutsbereiche und die verschiedenen Standorte des Fraunhofer IFAM einander in ihren Kompetenzen ergänzen und verstärken. Beispielhaft

<sup>1</sup> *Institutsleiter Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse und Prof. Dr. rer. nat. Bernd Mayer (von links).*



1

dafür ist das im vergangenen Jahr adressierte Themenfeld Biomaterialien für die Medizintechnik, in dem eine Vielzahl von Arbeitsgruppen aus beiden Institutsteilen erfolgreich zusammenarbeitet. So werden im Rahmen des 2012 anlaufenden Fraunhofer-internen Projekts »Degralast« neuartige biodegradierbare Knochenimplantate auf Basis von Metall-Keramik-Kompositen entwickelt.

Der Kooperationsgedanke drückt sich in der Fraunhofer-Gesellschaft auch im Miteinander der verschiedenen Fraunhofer-Institute und Einrichtungen aus: Hier ist das Fraunhofer IFAM inzwischen eines der am stärksten vernetzten Institute. In Projekten wie der seit Sommer 2009 im Rahmen des Konjunkturpakets II durch den Bund geförderten »Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität – FSEM« oder bei »CleanSky«, dem bislang größten EU-Forschungsprogramm zur nachhaltigen Förderung der Umweltverträglichkeit und Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Luftfahrt, spielte bzw. spielt das Fraunhofer IFAM eine zentrale Rolle im Konzert der beteiligten Organisationen.

Auch in regionaler Hinsicht war 2011 stark durch intensive und erfolgreiche Kooperationen geprägt. Hier ist auf eine enge und vielschichtige Zusammenarbeit mit der Universität Bremen, vorrangig in den MINT-Studienfächern, zu verweisen, die sich u. a. darin ausdrückt, dass wir 2011 am Fraunhofer IFAM mehr erfolgreiche Promotionen verzeichnen konnten als jemals zuvor in einem Kalenderjahr. Darüber hinaus wurde die Beteiligung der Universität Bremen an der laufenden Exzellenz-Initiative des BMBF aktiv unterstützt. Dies wird begleitet von Anstrengungen der Universität im Hinblick auf eine nachhaltige Qualitätssicherung in Lehre und Forschung. Wissenschaftliche Exzellenz am Fraunhofer IFAM dokumentierte sich 2011 beispielsweise in der Verleihung des erstmals vergebenen »German High Tech Champion Award« an zwei unserer Wissenschaftler. Über die universitäre Anbindung hinaus unterstützt das Fraunhofer IFAM auch die Nachwuchsförderung im schulischen Bereich, beispielsweise im Rahmen von Talent Schools.

Eine tragende Rolle spielte das Fraunhofer IFAM im kürzlich abgeschlossenen Fraunhofer Innovationscluster Multifunktionelle Materialien und Technologien »MultiMaT«, mit dem die Metropolregion Bremen/Oldenburg als Wissenschafts- und Innovationsstandort im Bereich der Materialwissenschaften weiter gestärkt wurde. Die regionale Verankerung des Fraunhofer IFAM wird im Weiteren durch Mitgliedschaften in Netzwerken der Schwerpunktbranchen Automobil- und Luftfahrtindustrie gefestigt. Mit AVIABELT e. V. für die Luft- und Raumfahrtindustrie sowie Automotive Nordwest e. V. für die Automobilindustrie wird eine regionale Verzahnung von Kompetenzen und somit eine nachhaltige Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit aller beteiligten Partner verfolgt.

Auch unser Institutsteil Dresden ist stark regional vernetzt: Neben der traditionell sehr engen Kooperation mit der Technischen Universität Dresden war das Fraunhofer IFAM wesentlich beteiligt am Erfolg des 2011 abgeschlossenen BMBF-Projekts »Thale PM«, in dessen Rahmen die in der Region vorhandenen Kompetenzen im Bereich der Pulvermetallurgie gezielt weiterentwickelt wurden.

Abschließend sei noch ein Wort in eigener Sache gestattet: Wir möchten an dieser Stelle all unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern danken, ohne deren wissenschaftliche Expertise und hervorragende Qualifikation – vor allem aber ohne deren außerordentliche Einsatzbereitschaft und Zusammenarbeit – die Erfolge des vergangenen Jahres nicht möglich gewesen wären. Eine Auswahl der Ergebnisse und Arbeitsschwerpunkte stellen wir Ihnen auf den folgenden Seiten in Projekt- und Trendberichten vor.

Viel Freude beim Lesen wünschen

Matthias Busse

Bernd Mayer

# INHALT

VORWORT	2
---------	---

## DAS INSTITUT IM PROFIL

Das Institut im Profil	6
Kurzporträt und Organigramm	8
Das Institut in Zahlen	9
Investitionen	10
Betriebs- und Investitionshaushalt	11
Erträge Betriebshaushalt	11
Personalentwicklung	12
Das Kuratorium des Instituts	13
Die Fraunhofer-Gesellschaft	14

## FORMGEBUNG UND FUNKTIONSWERKSTOFFE

Kompetenzen und Know-how	17
Arbeitsgebiete und Ansprechpartner	20
Ausstattung	22

## ERGEBNISSE AUS FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Drahtlose Vernetzung – Energy Harvesting für energieautarke Sensorsysteme	25
Superkondensatoren – leistungsfähige Energiespeicher	29
»MINT-Online«: Berufsbegleitende Premium-Studienangebote in MINT-Fächern	32
Elektromobile Entwicklungen – Vorsprung durch Systemforschung	36
Modellregion Elektromobilität Bremen/Oldenburg: E-Mobilität im Flottenversuch	42
Oxidationsschutz für metallische Werkstoffe	46

## MULTIFUNKTIONELLE MATERIALIEN UND TECHNOLOGIEN

Bremer Innovationscluster: Multifunktionelle Materialien und Technologien »MultiMaT«	51
--	----



## KLEBTECHNIK UND OBERFLÄCHEN

Kompetenzen und Know-how	57
Arbeitsgebiete und Ansprechpartner	61
Ausstattung	64

## ERGEBNISSE AUS FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Schneller und kostengünstiger mit Qualitätsgewinn: Fraunhofer IFAM beschleunigt industrielle Prozesse	67
Adhäsions- und Grenzflächenforschung – von Analyse und Simulation über Material- und Prozessentwicklung bis zur Qualitätsüberwachung	77
Reinigen und Aktivieren vor Lackieren und Kleben: Bei Faserverbund-Werkstoffen kommt es auf die richtige Oberfläche an	84
Entwicklung neuer Klebstoffe: Unmögliche Eigenschaftskombinationen möglich gemacht	90
Vorhersage und Bewertung von Nietprozessen durch neue Simulationsverfahren am Beispiel Flugzeugbau	95
Innovative Kunststoffe bieten Zukunftsperspektiven: Weiterbildung im Fraunhofer IFAM für den Faserverbundbereich	100

## MENSCHEN UND MOMENTE

Premiere für Fraunhofer IFAM: Bundespräsident und niedersächsischer Ministerpräsident informieren sich über FuE-Aktivitäten in Stade	106
Inline-Plasmabeschichtungen für effizienten Korrosionsschutz: CoSi Innovation Award 2011 für Christoph Regula	107
Plasma-Schutzschicht für Solarmodule in Boston ausgezeichnet: GHTC Award für Dr. Uwe Lommatzsch und Dr. Jörg Ihde	108
Bernd-Artin Wessels-Preis für exzellente Forschungskooperation	109

## VERBÜNDE | ALLIANZEN | ACADEMY

VERNETZT BEI FRAUNHOFER	
Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS	111
Fraunhofer-Allianz Adaptronik	113
Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion	114
Fraunhofer-Allianz Bau	115
Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung	115
Fraunhofer-Allianz Leichtbau	116
Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie	116
Fraunhofer-Allianz Photokatalyse	117
Fraunhofer-Allianz Polymere Oberflächen (POLO)	117
Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik	118
Fraunhofer-Allianz Simulation	118
Fraunhofer-Allianz Verkehr	119
Fraunhofer Academy – Forschungs-Know-how für Ihren Erfolg	119

## NAMEN | DATEN | EREIGNISSE

INHALT	121
Konferenzen   Tagungen   Workshops	122
Wissenschaftliche Veröffentlichungen	123
Patente	145
Ehrungen und Preise	146
IMPRESSUM	147

# DAS INSTITUT IM PROFIL

Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM leistet aktive Forschungs- und Entwicklungsarbeit in den folgenden Bereichen:

---

## Formgebung und Funktionswerkstoffe

---

Der Institutsbereich Formgebung und Funktionswerkstoffe konzentriert sich an den Standorten Bremen, Dresden und Oldenburg auf maßgeschneiderte Werkstofflösungen mit optimierten Fertigungsverfahren und Prozessen.

Das Spektrum der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten reicht vom Werkstoff über Formgebung bis hin zur Funktionalisierung von Bauteilen und Systemen. Wir erarbeiten kundenspezifische Lösungen, die von so unterschiedlichen Branchen wie der Automobilindustrie, der Medizintechnik, der Luft- und Raumfahrt, dem Maschinen- und Anlagenbau, der Umwelt- und Energietechnik oder der Elektronikindustrie nachgefragt werden.

Zum Thema Elektromobilität wird ein ganzheitliches Konzept mit drei Säulen verfolgt. Die Bereiche Energiespeicher und elektrische Antriebstechnik sowie Prüfen, Testen, Bewerten und Optimieren des Gesamtsystems stehen im Fokus der Arbeiten. In der Modellregion Elektromobilität Bremen/Oldenburg wird die Basis für neue Fahrzeug- und Verkehrskonzepte gelegt.

Im Themenfeld Formgebung stehen Entwicklungen zur wirtschaftlichen und ressourcenschonenden Fertigung von immer komplexer werdenden Präzisionsbauteilen und Komponenten im Fokus des Interesses. Mit modernsten pulver- und gieß-technologischen Verfahren wird daran gearbeitet, die Funktionsdichte in Bauteilen zu steigern. Unser Angebot umfasst neben der Auslegung der Bauteile und der Simulation der Formgebungsprozesse die fertigungstechnische Umsetzung und die zugehörige Schulung des Personals der Unternehmen.

Im Themenfeld Funktionswerkstoffe stehen Entwicklungen zur Verbesserung bzw. Erweiterung von Materialeigenschaften und der Verarbeitung der Werkstoffe im Mittelpunkt. Die Funktionswerkstoffe können sowohl im Fertigungsprozess direkt in das Bauteil integriert als auch auf Oberflächen appliziert werden. Sie verleihen dem Bauteil zusätzliche oder ganz neue Eigenschaften, wie beispielsweise elektronische oder sensorische Funktionen.

Auch die spezifischen Eigenschaften von zellularen Werkstoffen, Hybridwerkstoffen und Faserverbunden sowie Biomaterialien werden genutzt, um verschiedenste Anwendungen zu realisieren.

---

## Klebtechnik und Oberflächen

---

An den Standorten Bremen und Stade bietet der Institutsbereich Klebtechnik und Oberflächen der Wirtschaft qualifizierte Entwicklungen für die Klebtechnik, Plasmatechnik und Lacktechnik sowie die Faserverbundtechnologie an.

Die Leistungen des Institutsbereichs werden von vielen industriellen Partnern aus sehr unterschiedlichen Branchen nachgefragt. Die wichtigsten Märkte und Kunden sind zurzeit der gesamte Transportmittelbau – Luft, Straße, Schiene, Wasser – sowie dessen Zulieferer, der Maschinen- und Anlagenbau, die Energietechnik, die Baubranche, die Verpackungs-, Textil- und Elektroindustrie sowie die Mikrosystem- und Medizintechnik.

Das Arbeitsgebiet Klebtechnik gliedert sich in die Tätigkeitsfelder Klebstoffe und Polymerchemie (Klebstoffformulierung, Verbundwerkstoffe, Bioinspirierte Materialien), Klebtechnische Fertigung (Kleben in der Mikrosystem- und Medizintechnik, Klebstoffe und Analytik, Prozessentwicklung und Simulation, Applikationsverfahren), Werkstoffe und Bauweisen (Strukturberechnung und numerische Simulation, mechanische



Fügetechnik), Fügen und Montieren von FVK-Großstrukturen im 1:1-Maßstab (Fügetechnologien, Präzisionsbearbeitung, Montage- und Anlagentechnik, Messtechnik und Robotik) sowie die Anerkannte Stelle des Eisenbahn-Bundesamtes nach DIN 6701.

Die Plasmatechnik mit ihren Arbeitsgruppen Atmosphärendruck-Plasmatechnik, Niederdruck-Plasmatechnik, VUV-Excimer-Technik, neue Oberflächentechnologien und Anlagentechnik/Anlagenbau sowie die Lacktechnik mit ihren Bereichen Entwicklung von Beschichtungsstoffen und Funktionsbeschichtungen sowie Anwendungs- und Verfahrenstechnik sind im Arbeitsgebiet Oberflächen zusammengefasst.

Ergänzt werden diese beiden Arbeitsgebiete durch die Adhäsions- und Grenzflächenforschung mit den Arbeitsgruppen Oberflächen- und Nanostrukturanalytik, Applied Computational Chemistry, Elektrochemie/Korrosionsschutz und Qualitätssicherung Oberfläche.

Sämtliche Kernkompetenzen aus den genannten Tätigkeitsfeldern Klebtechnik, Plasmatechnik, Lacktechnik sowie Adhäsions- und Grenzflächenforschung fließen in die FuE-Aktivitäten im Kontext Faserverbundtechnologie ein. In diesem Arbeitsgebiet wird zudem intensiv von der Matrixharzentwicklung über die Faser-Matrix-Haftung sowie die Be- und Verarbeitung von FVK bis hin zu neuen Fertigungsverfahren zur Herstellung von FVK gearbeitet. Dimensionierungen von Verbindungen, Prozessentwicklung und automatisierte Montage großer FVK-Strukturen vervollständigen das Portfolio.

Ein Angebot, das die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ergänzt und von allen Branchen genutzt wird, ist die zertifizierende Weiterbildung im Bereich der Klebtechnik und der Faserverbundtechnologie. Nach der erfolgreichen Implementierung des klebtechnischen Personalqualifizierungskonzepts des klebtechnischen Zentrums im deutschsprachigen Raum und der Durchführung von Weiterbildungslehrgängen in weiteren europäischen Ländern werden die Lehrgänge jetzt auch welt-

weit für multinational tätige Unternehmen angeboten. Das Weiterbildungsangebot des Kunststoff-Kompetenzzentrums zur Faserverbundtechnologie rundet das Profil ab.

## Kompetenznetzwerk am Fraunhofer IFAM

### Formgebung und Funktionswerkstoffe

- Biomaterialien
- Elektrische Energiespeicher
- Elektrische Systeme
- Funktionsstrukturen
- Gießereitechnologie und Komponentenentwicklung
- Materialographie und Analytik
- Pulvertechnologie
- Sinter- und Verbundwerkstoffe
- Thermisches Management
- Zellulare metallische Werkstoffe

### Klebtechnik und Oberflächen

- Anerkannte Stelle des Eisenbahn-Bundesamtes nach DIN 6701
- Adhäsions- und Grenzflächenforschung
- Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM
- Klebstoffe und Polymerchemie
- Klebtechnische Fertigung
- Lacktechnik
- Plasmatechnik und Oberflächen PLATO
- Prozessreviews
- Technologiebroker
- Weiterbildung und Technologietransfer
- Werkstoffe und Bauweisen

# KURZPORTRÄT UND ORGANIGRAMM

Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM wurde 1968 als Arbeitsgruppe für angewandte Materialforschung gegründet und 1974 als Institut in die Fraunhofer-Gesellschaft eingegliedert. Als Vertragsforschungsinstitut mit neuen Schwerpunkten und systematischer Erweiterung entstand eine enge Kooperation mit der Universität Bremen. Die Institutsleiter wurden auf Lehrstühle im Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen berufen. Das Institut hat Standorte in Bremen und Dresden sowie Fraunhofer-Projektgruppen in Oldenburg und Stade.

Seit 2003 leitet Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse als geschäftsführender Institutsleiter den Bereich Formgebung und Funk-

tionswerkstoffe. Prof. Dr. rer. nat. Bernd Mayer leitet seit 2010 als Mitglied der Institutsleitung den Bereich Klebtechnik und Oberflächen.

In den jeweiligen Arbeitsbereichen Formgebung und Funktionswerkstoffe sowie Klebtechnik und Oberflächen zählt das Institut als neutrale, unabhängige Einrichtung zu den größten in Europa.

2011 betrug der Gesamthaushalt des Fraunhofer IFAM 40,4 Millionen Euro, beschäftigt waren 535 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, davon über 90 Prozent im wissenschaftlich-technischen Bereich.



# DAS INSTITUT IN ZAHLEN

Der Gesamthaushalt des Fraunhofer IFAM (Aufwendungen und Investitionen) im Jahr 2011 setzte sich zusammen aus den Haushalten der beiden Institutsbereiche Formgebung und Funktionswerkstoffe sowie Klebtechnik und Oberflächen.

## Haushalt

**Der vorläufige Gesamthaushalt belief sich auf insgesamt 40,4 Millionen Euro. Die einzelnen Institutsteile erreichten nachstehende Ergebnisse:**

### Formgebung und Funktionswerkstoffe Bremen

Betriebshaushalt (BHH)	10,7 Mio Euro
eigene Erträge (BHH) davon	10,0 Mio Euro
Wirtschaftserträge	3,3 Mio Euro
Bund/Land/EU/Sonstige	6,7 Mio Euro
Investitionshaushalt (IHH)	2,8 Mio Euro

### Formgebung und Funktionswerkstoffe Dresden

Betriebshaushalt (BHH)	4,3 Mio Euro
eigene Erträge (BHH) davon	3,8 Mio Euro
Wirtschaftserträge	1,2 Mio Euro
Bund/Land/EU/Sonstige	2,6 Mio Euro
Investitionshaushalt (IHH)	0,4 Mio Euro

### Klebtechnik und Oberflächen Bremen

Betriebshaushalt (BHH)	16,7 Mio Euro
eigene Erträge (BHH) davon	14,0 Mio Euro
Wirtschaftserträge	9,4 Mio Euro
Bund/Land/EU/Sonstige	4,6 Mio Euro
Investitionshaushalt (IHH)	1,9 Mio Euro

### Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM Stade

Betriebshaushalt (BHH)	2,2 Mio Euro
eigene Erträge (BHH) davon	2,2 Mio Euro
Wirtschaftserträge	0,3 Mio Euro
Bund/Land/EU/Sonstige	1,9 Mio Euro
Investitionshaushalt (IHH)	1,4 Mio Euro

## INVESTITIONEN

Im Fraunhofer IFAM wurden 2011 Investitionen in Höhe von 6,5 Millionen Euro getätigt. Sie verteilen sich wie angegeben auf die verschiedenen Institutsteile. Die wichtigsten Anschaffungen sind aufgeführt.

---

### Formgebung und Funktionswerkstoffe Bremen IHH (2,8 Mio Euro)

---

- | Solartankstelle Gildemeister mit Cellcube
- | 2<sup>nd</sup> Life Container
- | Solaranlage mit Batterien
- | Elektrofahrzeuge für Flottenversuche
- | Potentiostat Galvanostat
- | Ramanspektrometer AFM
- | Glovebox
- | Brennstoffzellenprüfstand
- | ENKAT Teststand
- | Batterietester

---

### Formgebung und Funktionswerkstoffe Dresden IHH (0,4 Mio Euro)

---

- | Multimode SPM-System

---

### Klebtechnik und Oberflächen Bremen IHH (1,9 Mio Euro)

---

- | Mobiles Rasterkraftmikroskop
- | Vakuum-UV-Excimer-Anlage zur Funktionsbeschichtung
- | Laborgalvanik
- | Inverse Gaschromatographie
- | Digitalmikroskopsystem
- | Partikelmessgerät zur Gasanalytik
- | Dosieranlage zur automatischen Applikation von 2K-Klebstoffen
- | Tekscan Druck-Folienmesssystem
- | GC-MS-Analyse für Thermogravimetrie
- | Streulichtsensor OS 500

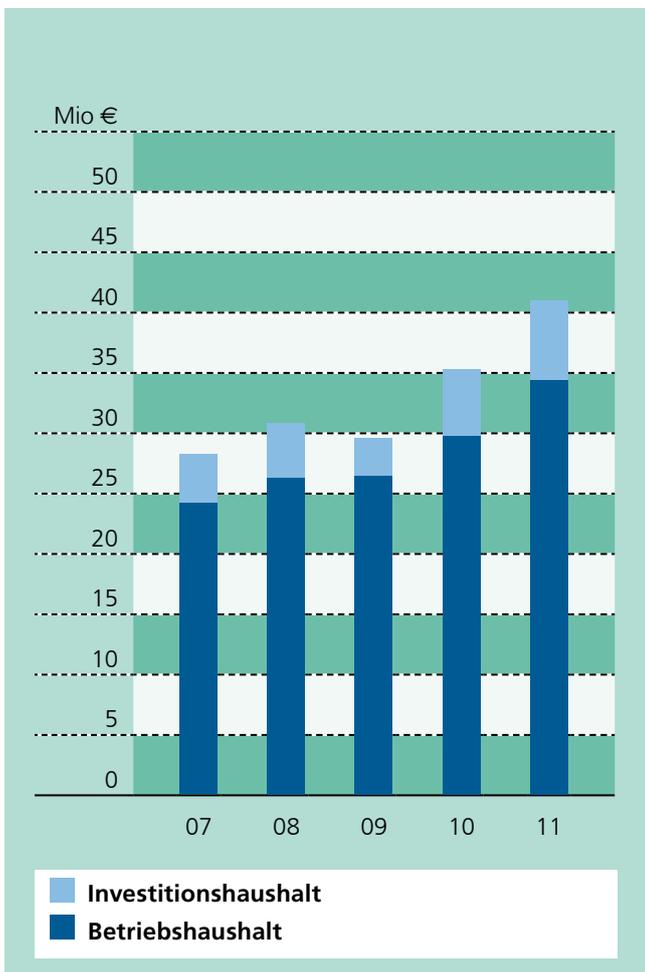
---

### Fraunhofer Projektgruppe Fügen und Montieren FFM Stade IHH (1,4 Mio Euro)

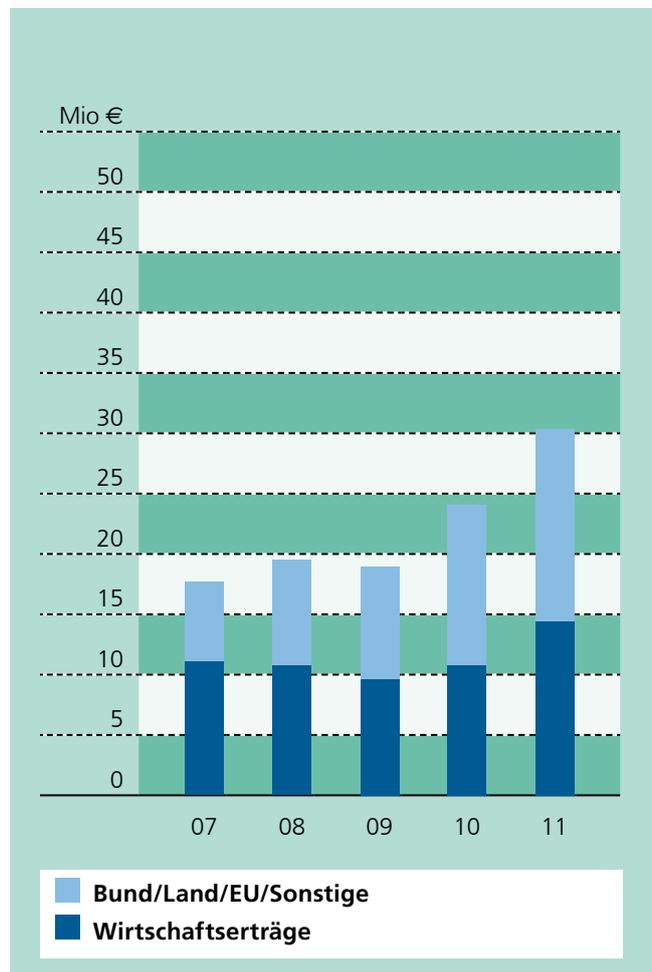
---

- | Montageanlage für große FVK-Strukturen, mit zwei 6-Achs-Robotern
- | Teststand zur Regelung der Form und Lage großer Bauteile
- | Laser-Scanner und Laser-Tracker zur 3-D-Vermessung von Bauteilen
- | Modulare 3-D-Wasserstrahlschneidanlage

## BETRIEBS- UND INVESTITIONSHAUSHALT



## ERTRÄGE BETRIEBSHAUSHALT

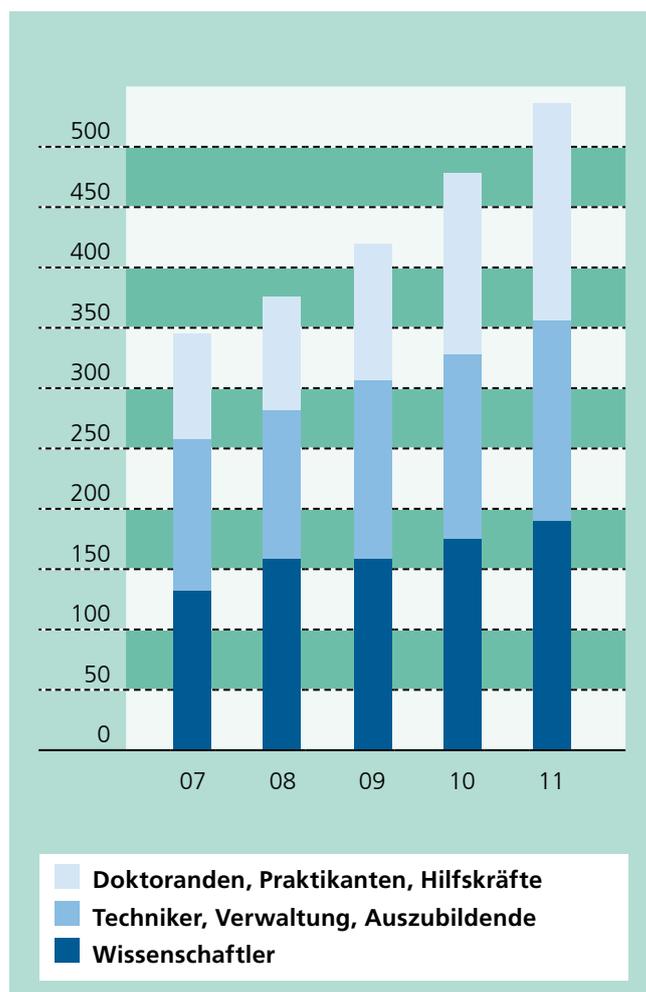


## PERSONALENTWICKLUNG

Zum 31. Dezember 2011 waren am Fraunhofer IFAM an den Standorten Bremen, Dresden, Oldenburg und Stade insgesamt 535 Personen tätig. Im Vergleich zum Vorjahr konnte das Institut bei der Zahl der fest angestellten Mitarbeiter einen Zuwachs von 12 Prozent verzeichnen.

### Personalstruktur 2011

Wissenschaftler	189
Technische Mitarbeiter	112
Verwaltung/interne Dienste/Azubis	54
Doktoranden/Praktikanten/Hilfskräfte	180
Insgesamt	535



# DAS KURATORIUM DES INSTITUTS

## Mitglieder

### Dr. Rainer Rauh

Vorsitzender des Kuratoriums  
(Vorsitz seit Mai 2011)  
Airbus Deutschland GmbH  
Bremen

### Prof. Dr. Ramon Bacardit

Henkel AG & Co. KGaA  
Düsseldorf

### Regierungsdirektorin

#### Dr. Annerose Beck

Sächsisches Staatsministerium  
für Wissenschaft und Kunst  
Dresden

### Prof. Dr. Rolf Drechsler

Universität Bremen  
Bremen

### Dr. Klaus Dröder

Volkswagen AG  
Wolfsburg

### Prof. Dr. Michael Dröscher

EVONIK Degussa GmbH  
Essen  
(bis September 2011)

### Prof. Dr. Reinhard X. Fischer

Universität Bremen  
Bremen  
(bis Mai 2011)

### Michael Grau

Mankiewicz Gebr. & Co.  
Hamburg

### Dr. Stefan Kienzle

Daimler AG  
Sindelfingen

### Prof. Dr. Jürgen Klenner

Airbus Deutschland GmbH  
Bremen  
(Vorsitzender bis Mai 2011)

### Dr. Johannes Kurth

KUKA Roboter GmbH  
Augsburg

### Carsten Meyer-Rackwitz

tesa SE  
Hamburg

### Dr. Matthias Müller

Robert Bosch GmbH  
Stuttgart

### Reinhard Nowak

Glatt GmbH  
Binzen

### Staatsrat Carl Othmer

Die Senatorin für Bildung  
und Wissenschaft der  
Freien Hansestadt Bremen  
Bremen  
(bis August 2011)

### Dr. Ralf-Jürgen Peters

TÜV Rheinland  
Consulting GmbH  
Köln

### Staatsrat

#### Dr. Joachim Schuster

Die Senatorin für Bildung,  
Wissenschaft und Gesundheit  
der Freien Hansestadt Bremen  
Bremen  
(seit August 2011)

### Jan Tengzelius M. Sc.

Höganäs AB  
Höganäs, Schweden

### Christoph Weiss

BEGO Bremer Goldschlägerei  
Wilh. Herbst GmbH & Co. KG  
Bremen

## Gäste

### Dr. Georg Oenbrink

Evonik Industries AG  
Essen

### Johann Wolf

BMW AG  
Landshut



## DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 60 Institute. Mehr als 20 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,8 Milliarden Euro. Davon fallen 1,5 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Niederlassungen sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im

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

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

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

**1** Sonderbriefmarke zum Gedenken an den 225. Geburtstag von Joseph von Fraunhofer (1787–1826) am 6. März 2012.

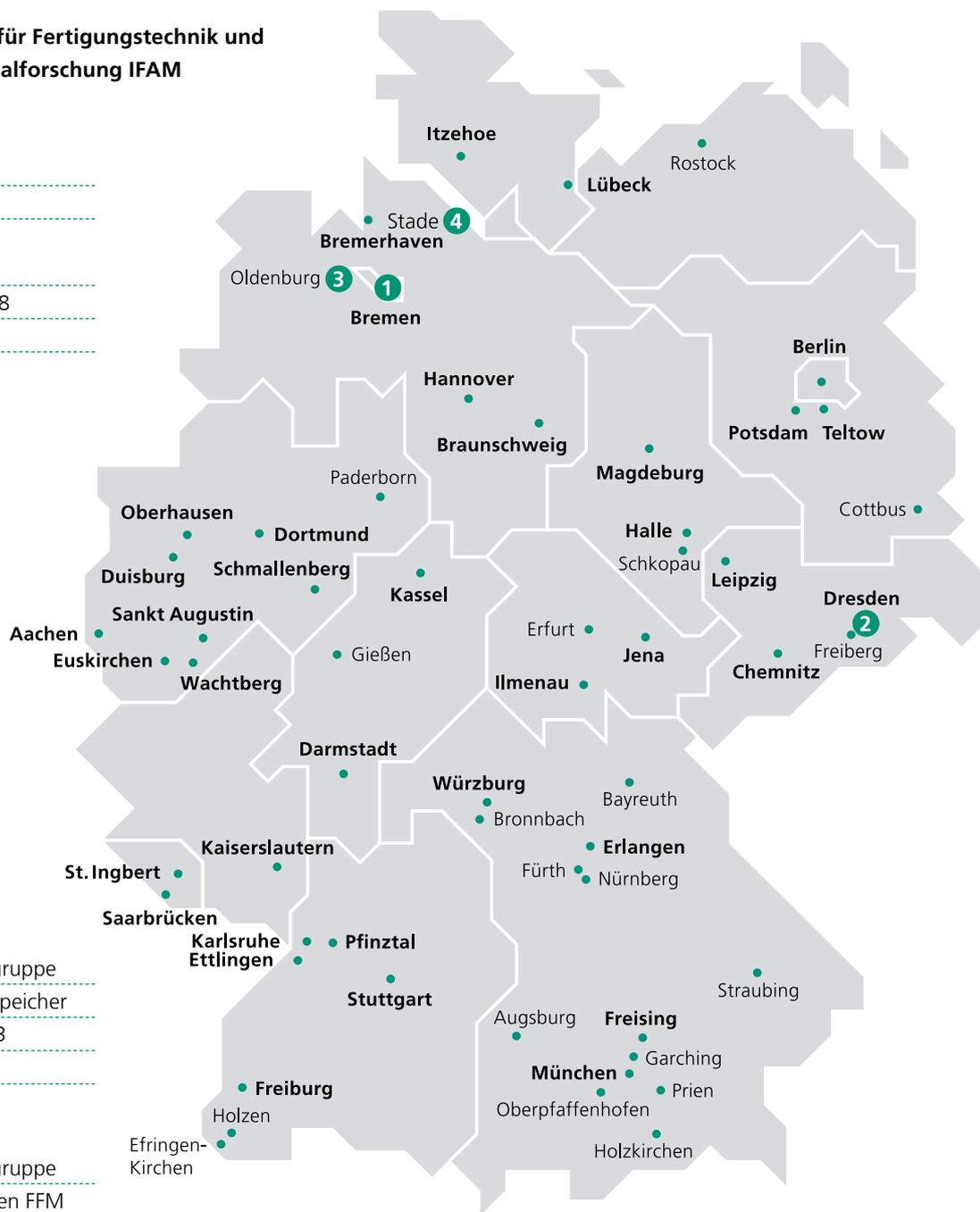
**Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM**

**1** Wiener Straße 12  
28359 Bremen

**2** Winterbergstraße 28  
01277 Dresden

**3** Fraunhofer-Projektgruppe  
Elektrische Energiespeicher  
Marie-Curie-Str. 1-3  
26129 Oldenburg

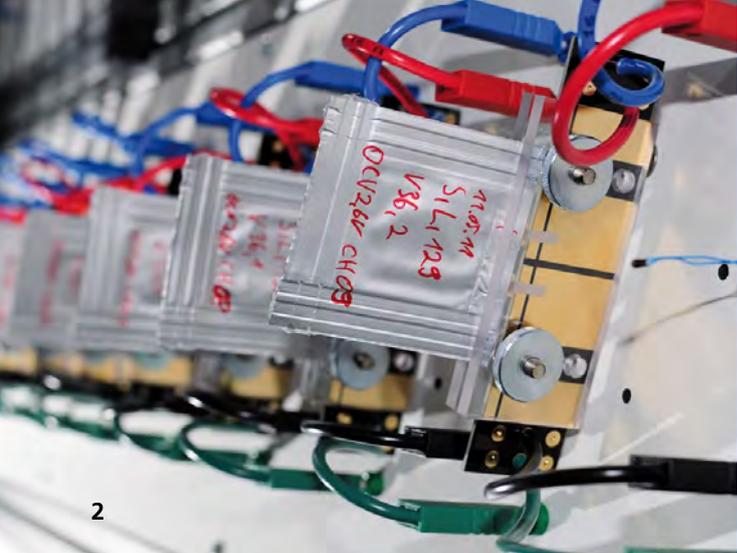
**4** Fraunhofer-Projektgruppe  
Fügen und Montieren FFM  
Forschungszentrum CFK Nord  
Ottenbecker Damm 12  
21684 Stade



**Institute und Einrichtungen**  
Weitere Standorte

# FORMGEBUNG UND FUNKTIONSWERKSTOFFE





2



3

## KOMPETENZEN UND KNOW-HOW

Bei der Erarbeitung von komplexen Systemlösungen spielen Netzwerke von Partnern aus der Wirtschaft und Forschungseinrichtungen eine entscheidende Rolle. Hier sind, insbesondere an den Schnittstellen der unterschiedlichen Fachrichtungen, Methodenkompetenz und exzellentes Fachwissen gefordert. Die Kompetenz der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am Fraunhofer IFAM und die Vernetzung mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft sind der Garant für die Erarbeitung innovativer Lösungen für die Wirtschaft.

Der Transfer von anwendungsorientierter Grundlagenforschung in produktionstechnisch umsetzbare Lösungen oder bauteilbezogene Entwicklungen ist eine Aufgabe, die eine ständige Erweiterung der Wissensbasis und der Methodenkompetenz erfordert. Deshalb hat der kontinuierliche Ausbau von spezifischen Kompetenzen und Know-how des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung – Formgebung und Funktionswerkstoffe – einen hohen Stellenwert.

Das Spektrum unserer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten reicht von anwendungsorientierter Grundlagenforschung bis hin zur Umsetzung in Produkte und zur Unterstützung bei der Fertigungseinführung.

Multifunktionsbauteile mit integrierter Sensorfunktion stellen spezifische Anforderungen an die eingesetzten Werkstoffe. Durch Kombinationen verschiedener Werkstoffe in einer Komponente können Eigenschaften lokal maßgeschneidert werden. Diese Materialkombinationen zu gestalten und in Fertigungsprozessen zu beherrschen ist eine wesentliche Aufgabe beim Ausbau der Kompetenz. Die Bandbreite reicht hier von Materialkombinationen Metall–Metall, Metall–Keramik bis hin zu Kombinationen mit CFK.

Fertigungsverfahren wie Spritzguss finden heute Anwendung bei der Herstellung von geometrisch anspruchsvollen

Bauteilen aus zahlreichen metallischen Legierungen und aus keramischen Werkstoffen. Es ist jetzt gelungen, die unterschiedlichen Eigenschaften von Werkstoffen auch gezielt lokal im Bauteil zur Anwendung zu bringen. So lassen sich Werkstoffeigenschaften wie z. B. hart–weich, dicht–porös oder Werkstoffe mit sensorischen Eigenschaften maßgeschneidert in Bauteile integrieren. Besonders interessant sind diese Entwicklungen in der Mikrobauerteilfertigung, wo durch solche integrierten fertigungstechnischen Lösungen die Einsparung der Mikromontage erreicht werden kann.

Besonders für die Entwicklung des »INKtelligent printing®« sind Formulierungen von funktionellen Tinten und Pasten sowie Kenntnisse zu deren Applikation auf Komponenten erarbeitet worden. Damit ist es möglich, Bauteile mit Sensorik auszustatten und so z. B. Betriebs- oder Umgebungsbedingungen zu erfassen.

Mit modernster Gießereieinrichtung und Analytik sowie einem umfassenden Know-how zur Verarbeitung von Aluminium-

- 1 *Fraunhofer-Demonstratorfahrzeug Frecc0 2.0 auf Testfahrt (Foto: Ingo Daute, © Fraunhofer).*
- 2 *Testsystem zur Erprobung und Charakterisierung von Materialien für elektrische Energiespeicher.*
- 3 *Flexible Testzelle für die Materialentwicklung neuartiger Energiespeicher.*



4

und Magnesiumlegierungen mittels Druckguss hat sich das Fraunhofer IFAM gut im Markt positioniert. Neben der Optimierung der Gießprozesse mit Dauerform wird der Kompetenzausbau mit dem Lost-Foam-Gießverfahren kontinuierlich vorangetrieben. Bei der Entwicklung der »CAST<sup>tronics</sup>®-Technologie« wird ein verfahrenstechnischer Ansatz verfolgt, der es den Gießereien ermöglicht, Funktionskomponenten direkt im Gießprozess selbst zu integrieren.

Die Umsetzung von zellularen metallischen Werkstoffen in Produkte ist auf einem hohen Know-how-Stand. Hier werden spezielle Lösungen für Märkte wie z. B. den Dieselpartikelfilter erarbeitet und damit das Prozesswissen kontinuierlich erweitert. Das eigene Themenportfolio wird konsequent mit den Bedürfnissen des Marktes abgeglichen, woraus neue technologische Herausforderungen abgeleitet werden. Hierbei spielen Fragen der Produktinnovation unter strikten wirtschaftlichen Randbedingungen eine genauso wichtige Rolle wie der Beitrag der Forschungsergebnisse zur Verbesserung der Lebensqualität und einer nachhaltigen Entwicklung für die Bereiche Transport, Energie, Medizin und Umwelt.

Auch weiterhin sind Werkstoffe und deren Verarbeitung bei allen Produktinnovationen ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Besonders ist das für die Urformverfahren hervorzuheben, da im Fertigungsprozess gleichzeitig Werkstoffeigenschaften und die Bauteilgeometrie beeinflusst werden können. Der sich daraus ergebende Markt wächst aufgrund zunehmender Produktkomplexität.

Werkstoffeigenschaften und Technologien für strukturelle und funktionelle Anwendungen werden maßgeschneidert und charakterisiert. Hierzu werden Hochleistungswerkstoffe, Verbundwerkstoffe, Gradientenwerkstoffe und Smart Materials weiterentwickelt sowie Fertigungstechnologien zur Integration der Eigenschaften in Komponenten erarbeitet.

Die Vertiefung der Werkstoffkompetenz in den speziellen Bereichen der Funktionswerkstoffe wie z. B. Magneten, den



5

Thermal-Management-Materialien, thermoelektrischen und magnetokalorischen Werkstoffen sowie Nanokompositen eröffnet unseren Kunden neue Chancen für Produktentwicklungen.

Ein sich dynamisch entwickelndes Arbeitsgebiet ist das Thema Elektromobilität mit den Schwerpunkten Energiespeicher, Antriebstechnik und Systemprüfung. Im Mittelpunkt der Arbeiten stehen hier die Entwicklung, Aufbau und Erprobung von Komponenten für Elektrofahrzeuge und deren Integration in Systeme. Ein Beispiel hierfür ist der Fraunhofer-Radnabenmotor, der maßgeblich am Fraunhofer IFAM entwickelt wurde. Ein Leistungszentrum für die Prüfung des kompletten elektrischen Antriebsstrangs ist bereits aufgebaut. Das Angebot umfasst dabei die gezielte Untersuchung und Bewertung von Elektromotoren, Leistungsumrichtern, Steuerungssystemen und Traktionsbatterien. Dazu gehört neben Versuchen zur Batteriealterung auch die Charakterisierung von Dauerlaufeigenschaften elektrischer Antriebssysteme anhand von standardisierten bzw. realen Fahrzyklen.

---

## Perspektiven

---

Die weitere Entwicklung komplexer Antriebssysteme wie z. B. Radnabenmotoren stellt auch in Zukunft ein interessantes Aufgabengebiet für das Fraunhofer IFAM dar. Gerade die Verbindung der eigentlichen Antriebsentwicklung mit der Umsetzung in einen Prototyp und dessen praktischer Erprobung ist hier vor dem Hintergrund der Nutzung fertigungs- und prüftechnischer IFAM-Kompetenzen zu nennen. Der Aufbau und die Einbindung von Gesamtfahrzeugmodellen in die Untersuchung von Batterien und Antriebsmotoren in Form von »Hardware in the Loop«-Simulationen auf dem IFAM-Antriebsstrangprüfstand stellt eine weitere interessante Ergänzung dar.



6

7

## VOM WERKSTOFF ZUR SICHEREN ANWENDUNG

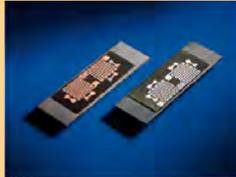
WERKSTOFF

FORMGEBUNG

FUNKTION

PRÜFUNG

ANWENDUNG



- Metall
- Keramik
- Polymer
- Strukturwerkstoffe
- Funktionswerkstoffe
- Werkstoffverbunde

- Pulvermetallurgie
- Gießereitechnologie
- Generative Verfahren
- Nano- und Mikrostrukturierung

- Integration der Funktionalisierung in den Fertigungsprozess
- Sensorik
  - Aktorik
  - Funktionelle Schichten
- Energiespeicher

- Werkstoffanalytik
- Mechanische Prüfung
- Funktionstest
- Systemprüfung
- Gutachten

- Maschinen- und Anlagenbau
- Automobilbau
- Elektromobilität
- Umwelt- und Energietechnik
- Luftfahrt
- Medizintechnik
- Mikrosystemtechnik

Kompetenzen Formgebung und Funktionswerkstoffe.

Die Entwicklung neuer fertigungstechnischer Möglichkeiten für eine kostengünstige Herstellung von Komponenten für den Antriebsstrang im Elektrofahrzeug hat eine große wirtschaftliche Attraktivität und stellt eine neue Herausforderung dar. Der Aufbau einer Fertigungszelle für die Funktionalisierung von Bauteilen und Oberflächen ist der nächste Schritt bei der Umsetzung und Einführung von Sensorintegration mittels Drucktechniken in bestehende industrielle Fertigungslinien.

- 4 Siebgedruckte Interdigitalstruktur zur Feuchte- oder Leitfähigkeitsmessung (Kontaktierung mittels USB).
- 5 Additiv, durch selektives Laserschmelzen gefertigte Studie eines Wundspreizers mit internem Kanal (untere Branche) und integriertem RFID-Chip (obere Branche).
- 6 Traumaplatten aus hochgefülltem Polymilchsäure-Komposit, z. B. zur internen Fixation kleiner Handröhrenknochen.
- 7 Verbundwerkstoff einlaminert in ein Sandwichbauteil zur Bauteilüberwachung.

# ARBEITSGEBIETE UND ANSPRECHPARTNER

## Institutsleitung

Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse  
Telefon +49 421 2246-100  
matthias.busse@ifam.fraunhofer.de

(Nano)-Komposite; Nanodispersionen;  
nanoporöse Schichten; Funktionsintegration;  
INKtelligent printing®; Ink-Jet-Printing  
und Aerosol-Jet®; Dispensverfahren;  
Sputtertechnologien; Sonderanlagen.

## Elektrische Energiespeicher

Prof. Dr. Bernd H. Günther, Dr. Julian Schwenzel  
Telefon +49 441 36116-262  
julian.schwenzel@ifam.fraunhofer.de  
Zellchemie; Metall-Luft-Batterien; Pastenentwicklung  
und Elektrodenherstellung; Zellenbau; Elektrokatalyse;  
Batterieteststände; In-situ-Analytik; Ramanspektroskopie;  
Simulation; Lebensdauer und Alterungsmechanismen.

## Gießereitechnologie und Komponentenentwicklung

Dipl.-Ing. Franz-Josef Wöstmann  
Telefon +49 421 2246-225  
franz-josef.woestmann@ifam.fraunhofer.de  
Gießereitechnologie: Aluminium-, Magnesium- und Zink-  
Druckguss; Gusseisen und Stahlguss; funktionsintegrierte  
Gussteile (CAST<sup>TRONICS</sup>®); Lost-Foam-Verfahren; Simulation;  
Rapid Prototyping. Komponentenentwicklung: Auslegung,  
Fertigung und Prüfung von elektrischen Maschinen und  
Antriebssträngen für E-Fahrzeuge.

## Elektrische Systeme

Dr.-Ing. Gerald Rausch  
Telefon +49 421 2246-242  
gerald.rausch@ifam.fraunhofer.de  
Elektromobilität; Elektrofahrzeuge; E-Motoren-Prüfstand bis  
120 kW; Prüfstand für Batterien bis 50 kWh; Fahrzyklenana-  
lyse; Reichweitenbestimmung; Systemprüfung elektromotori-  
scher Antriebsstrang.

## Materialographie und Analytik

Dr.-Ing. Andrea Berg  
Telefon +49 421 2246-146  
andrea.berg@ifam.fraunhofer.de  
Schadensanalyse; metallographische Schliiffuntersuchung;  
Pulvermesstechnik; Rasterelektronenmikroskopie mit EDX-  
Analyse; thermische Analyse; Dilatometrie; Spurenanalyse;  
Emissionsspektrometrie.

## Funktionsstrukturen

Dr. Volker Zöllmer  
Telefon +49 421 2246-114  
volker.zoellmer@ifam.fraunhofer.de

## Pulvertechnologie

Dr.-Ing. Frank Petzoldt  
Telefon +49 421 2246-134

frank.petzoldt@ifam.fraunhofer.de  
 Pulvermetallurgische Formgebung; Metallpulverspritzguss;  
 Prozess- und Materialentwicklung; Rapid Manufacturing;  
 Lasersintern; Siebdruck; Produktionsverfahren für  
 Metallschaumbauteile (FOAMINAL®); Simulation.

Demonstrationszentrum SIMTOP  
 Numerische Simulationstechniken zur Verfahrens- und  
 Bauteiloptimierung  
 Andreas Burlies  
 Telefon +49 421 2246-183  
 info@simtop.de

---

## Themenfelder und Zentren

---

Themenfeld Biomaterialien  
 Dr.-Ing. Philipp Imgrund  
 Telefon +49 421 2246-216  
 philipp.imgrund@ifam.fraunhofer.de  
 Biokompatible Metalle; resorbierbare Komposite;  
 Biopolymere; Mikrospritzguss; Mikrostrukturierung;  
 mechanische und biologische Prüfung; Peptidsynthese;  
 Oberflächen-Biofunktionalisierung; In-vitro-Zelltests.

Anwenderzentrum Metallpulverspritzguss  
 Dipl.-Ing. Lutz Kramer  
 Telefon +49 421 2246-217  
 forming@ifam.fraunhofer.de

Anwenderzentrum Functional Printing  
 Dr.-Ing. Dirk Godlinski  
 Telefon +49 421 2246-230  
 printing@ifam.fraunhofer.de

Anwenderzentrum Generative Technologien  
 Dipl.-Ing. Claus Aumund-Kopp  
 Telefon +49 421 2246-226  
 rapid@ifam.fraunhofer.de

Dienstleistungszentrum Materialographie und Analytik  
 Dr.-Ing. Andrea Berg  
 Telefon +49 421 2246-146  
 andrea.berg@ifam.fraunhofer.de

---

## Standort Dresden

---

### Pulvermetallurgie und Verbundwerkstoffe

---

Prof. Dr.-Ing. Bernd Kieback  
 Telefon +49 351 2537-300  
 Winterbergstraße 28 | 01277 Dresden  
 info@ifam-dd.fraunhofer.de  
 www.ifam-dd.fraunhofer.de

---

### Zellulare metallische Werkstoffe

---

Dr.-Ing. Günter Stephani  
 Telefon +49 351 2537-301  
 guenter.stephani@ifam-dd.fraunhofer.de  
 Fasermetallurgie; hochporöse Strukturen; metallische  
 Hohlkugelstrukturen; offenzellige PM-Schäume;  
 3-D-Siebdruckstrukturen; 3-D-Drahtstrukturen;  
 Sinterpapier; funktionelle Schichten und  
 Oberflächentechnologie.

---

### Sinter- und Verbundwerkstoffe

---

Dr.-Ing. Thomas Weißgärber  
 Telefon +49 351 2537-305  
 thomas.weissgaerber@ifam-dd.fraunhofer.de  
 Hochtemperaturwerkstoffe; nanokristalline Werkstoffe;  
 Werkstoffe für tribologische Beanspruchungen; Sputtertargets;

PM-Leichtmetalle; Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe; thermoelektrische Werkstoffe; dispersionsverfestigte Werkstoffe; Werkstoffe für die Wasserstoffspeicherung.

### Themenfelder

Themenfeld Energie und Thermisches Management

Dr.-Ing. Jens Meinert

Telefon +49 351 2537-357

jens.meinert@ifam-dd.fraunhofer.de

Wärme- und strömungstechnische Auslegung von Speichersystemen; messtechnische Validierung; Charakterisierung und mathematische Beschreibung; numerische Simulation von Masse-, Stoff-, Impuls- und Energietransportvorgängen.

## AUSSTATTUNG

### Bauteilfertigung

- Metallpulverspritzgussanlagen (Schließkraft 20 t und 40 t)
- 2-Komponenten-Spritzgussmaschine
- Einkavitätspritzguss
- Heißpresse (Vakuum, Schutzgas, 1800 °C)
- Uniaxiale Pulverpressen (bis 1000 t)
- Pulverpresse zur Warmkompaktierung (125 t)
- Strangpresse (5 MN)
- Anlagen zum Rapid Prototyping durch Lasersintern von Metallen; Konzeptmodelle durch 3-D-Printing auch in Farbe
- Kaltkammer-Druckgussmaschine (echtzeitgeregelt, Schließkraft 660 t)
- Warmkammer-Druckgussmaschine (echtzeitgeregelt, Schließkraft 315 t)

- Sandguss
- Feingussanlagen für Al, Cu, Fe und Sonderlegierungen
- Pilotanlagen zur Herstellung von Metallschaumbauteilen
- Mikrowellenanlage
- Siebdruckmaschine
- CNC-Fräse zur Modellherstellung
- Heißdrahtschneideanlage
- Modellfertigung Lost-Foam-Verfahren
- Gießanlage Lost-Foam-Verfahren (Al-, Cu- und Fe-Legierungen)
- Spark-Plasma-Sinteranlage (bis 300 mm Bauteildurchmesser)

### Mikro- und Nanostrukturierung

- Ink-Jet-Printing-Technologien
- Aerosol-Jet®-Technologie
- Dispensverfahren
- Mikrospritzgussanlage
- Vierpunkt-Spitzenmessplatz
- Tintenteststand
- Sputtertechnologie
- Gloveboxsystem

### Thermische/chemische Behandlung von Formteilen

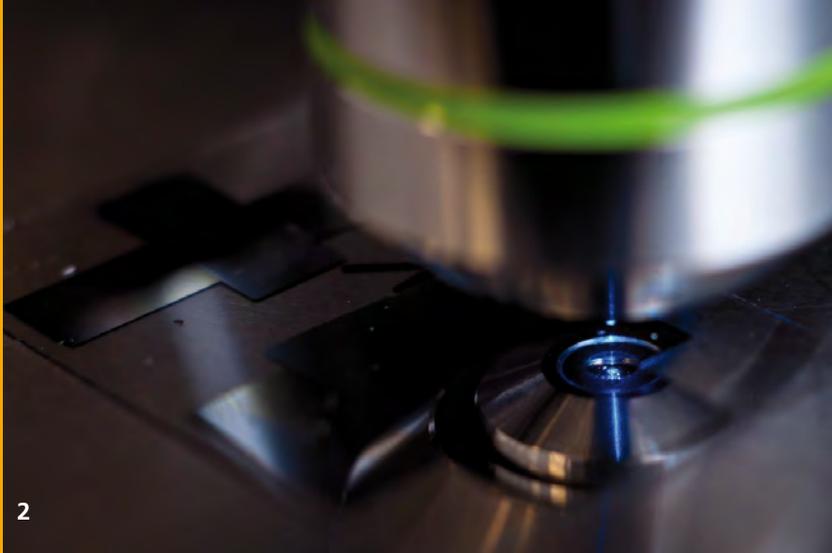
- Anlage zur chemischen Entwachsung von Spritzgussteilen
- Diverse Sinteröfen (bis 2000 °C, Schutzgas, Wasserstoff, Vakuum)

### Werkstoffsynthese und -verarbeitung

- Anlagen zur Herstellung von Gradientenwerkstoffen (Sedimentation, Nasspulverspritzen)



1



2

- Anlagen zur Herstellung metallischer Nanopulver und Nanosuspensionen
- Teststand zur Charakterisierung funktioneller Tinten für Ink-Jet-Printing-Verfahren
- Schmelzextraktionsanlage (Metallfasern)
- Rascherstarrungsanlage zur Herstellung nanokristalliner oder amorpher Bänder oder Flakes
- Schnellmischer und Scherwalzenextruder zur MIM-Feedstockherstellung
- Doppelschneckenextruder
- Kompoundierung von Biopolymeren und Kompositen
- Granulator

### Instrumentelle Analytik

- Rheometrie
- Mikrozugprüfmaschine
- Tensiometer
- 2-D-/3-D-Laser-Oberflächen-Profilometrie
- Wärmeleitfähigkeitsmessung von Formstoffen
- IR-Laser zur Dichtebestimmung transluzenter Materialien
- Magnetmesstechnik
- Elektrische Charakterisierung
- Dynamische Sensorcharakterisierung
- FIB – Focus Ion Beam mit Cryo-Stage

### Zertifiziert nach DIN 9001:2008

- REM-Rasterelektronenmikroskopie mit EDX
- Röntgenfeinstrukturanalyse
- Thermoanalytik mit DSC, DTA, TGA
- Sinter-/Alpha-Dilatometrie (akkreditiert)
- Pulvermesstechnik mit BET und Lasergranulometrie (Partikelgrößenanalyse)

- Spurenelementanalyse (C, N, O, S)
- Materialographie
- Emissionsspektrometer
- Röntgen-Tomograph (160 kV)
- Gasdurchlässigkeitsbestimmung

### Elektrische Energiespeicher

- Batterie- und Zellteststände (Zyklisierer)
- Impedanzspektroskopie (30 µHz ... 40 MHz)
- Laser-Mikroskopie
- Raman-Spektrometer mit integrierter AFM
- Thermoanalytik mit integrierter MS/IR
- Glovebox-System mit integrierter PVD-Einheit zur Elektrodenbeschichtung und Herstellung von Batteriezellen

### Elektromobilität

- Zwei Motorenprüfstände bis 120 kW
- Batterieteststand bis 50 kWh
- Testfahrzeuge zur Komponentenerprobung

### Rechner

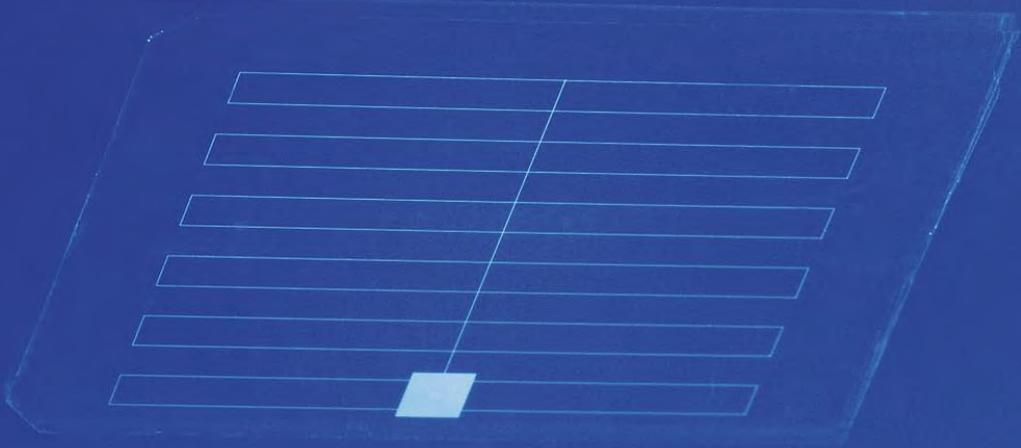
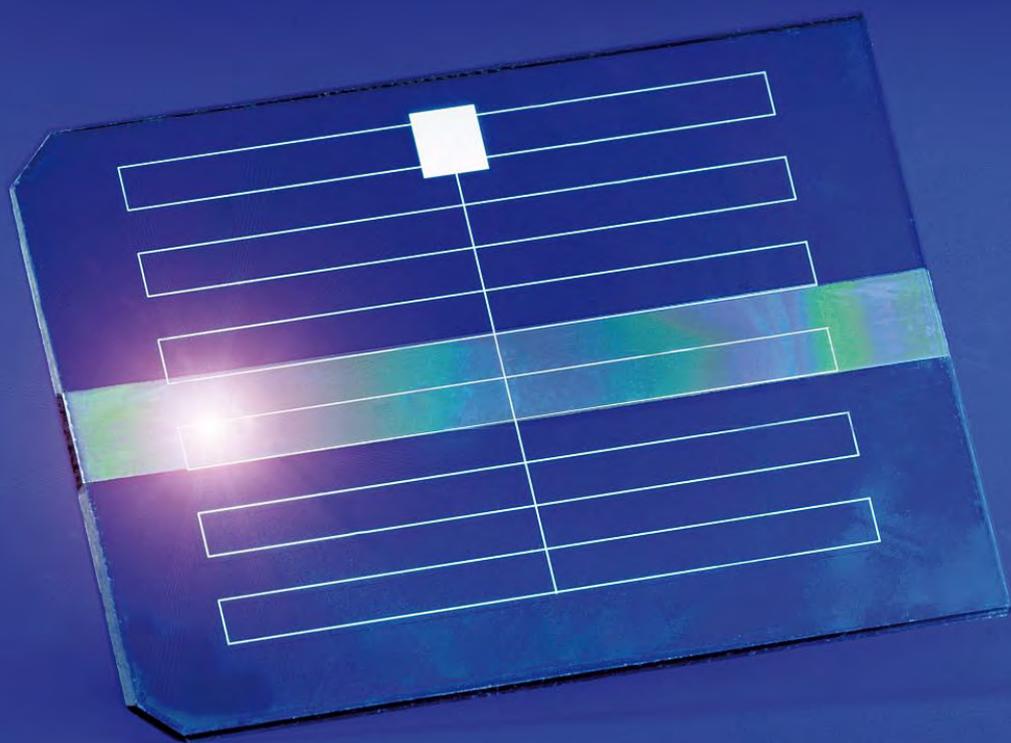
- Hochleistungs-Workstations mit Software zur nichtlinearen FE-Analyse, zur Formfüll- und Erstarrungssimulation sowie zur Bauteiloptimierung

1 *Mitarbeiter des Fraunhofer IFAM am Sinterofen.*

2 *Raman-Spektrometer mit In-situ-Messzelle.*

FORMGEBUNG UND FUNKTIONSWERKSTOFFE

ERGEBNISSE AUS FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG



# DRAHTLOSE VERNETZUNG – ENERGY HARVESTING FÜR ENERGIEAUTARKE SENSORSYSTEME

Drahtlose Sensornetze, die sich selbst mit Energie versorgen, werden die Überwachung von sicherheitsrelevanten Bauteilen zukünftig einfacher machen. In zahlreichen Anwendungen erfassen und bewerten Sensoren verschiedene technische Zustände. So ermöglichen Sensoren eine Aussage zu Temperatur, Position, Druck oder Feuchtigkeit. Die gemessenen Werte geben Auskunft über den Zustand eines Bauteils und ermöglichen Rückschlüsse zu Wartungsintervallen oder Lebensdauer von Maschinen. Die Funksignale der Sensorsysteme helfen, mögliche Gefahrenszenarien zu erkennen und diese dadurch zu vermeiden. Für eine optimale Funktion müssen Sensoren dazu auf Oberflächen appliziert oder in Bauteile integriert werden. Die erforderliche Energie für Sensor, Recheneinheit und Funkmodul zur Datenübertragung wird dann aus der Umgebung »geerntet«.

## Sensorsignale benötigen Energie

Sensoren wie Dehnungsmessstreifen oder Feuchtesensoren benötigen Energie, um ihre Messgrößen auszuwerten und übertragen zu können. Die Versorgung dieser Sensoren mit der notwendigen Energie erfolgt in den meisten Fällen kabelgebunden aus einer zentralen Energiequelle oder aber lokal durch Batterien. Wengleich hierbei meist Leistungen von nur einigen Milliwatt benötigt werden, stellt gerade die begrenzte Speicherkapazität und Lebensdauer der Batterien einen kritischen Punkt für den Einsatz von Sensoren dar. Auch die Qualität bzw. Zuverlässigkeit einer Batterie ist, je nach Umgebungsbedingungen, nicht immer zu gewährleisten. Können Batterien nicht wieder aufgeladen werden, so müssen sie ausgetauscht werden. Dies ist an unzugänglichen Stellen teuer oder sogar unmöglich. Ein weiterer Punkt, der in Zukunft eine größere Herausforderung darstellen wird, ist die schlechte

Recyclebarkeit: So werden heute in Europa nur ca. 19 Prozent der Batterien wiederverwertet [1]. Eine zu wechselnde Batterie definiert vor allem aber das Design einer Anwendung maßgeblich mit und schränkt somit die flexible Auslegung ein.

Schon heute finden sich drahtlose Netzwerke in zahllosen Anwendungen, u. a. in der industriellen Produktion, Logistik und in der Medizintechnik. Auch im privaten Umfeld ist der Einsatz dieser Technologien bereits in schnurlosen Telefonen, funkgesteuerten Garagentoröffnern oder ferngesteuerten Geräten und Maschinen alltäglich. Sie alle basieren auf drahtlosen Kommunikationssystemen. Es ist absehbar, dass der Einsatz drahtloser Netzwerktechnologien in Zukunft noch weiter zunimmt und neue Anwendungen folgen werden.

**1** *Verbindung von Druck- und PVD-Technologien zur Herstellung von Dünnschichtsolarzellen.*

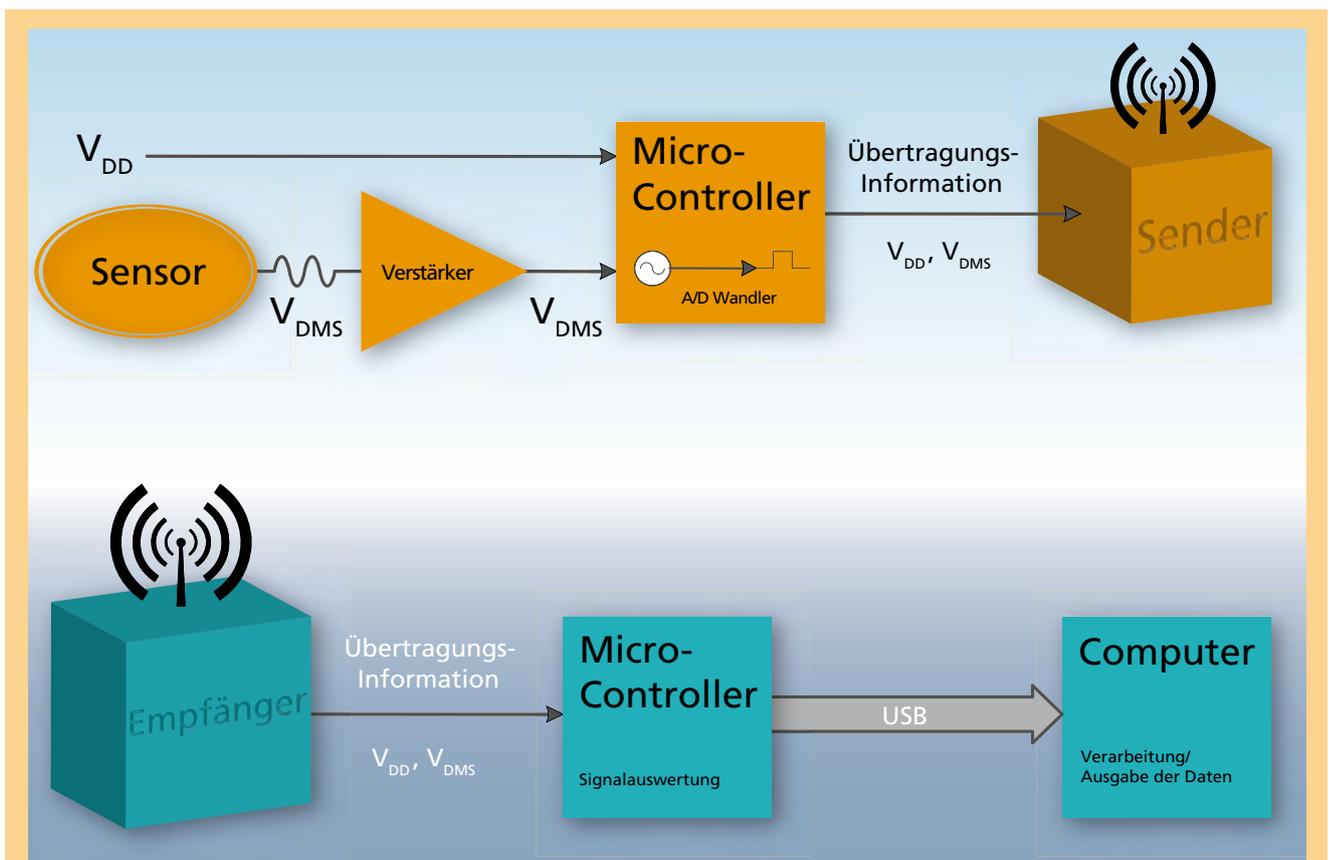
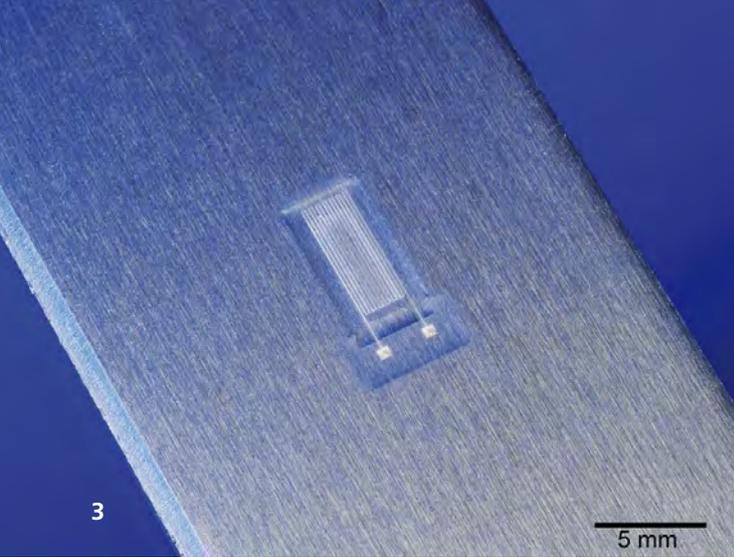


Abb. 2: Energieautarke Datenübertragung.

Der Einsatz drahtloser Sensoren ermöglicht neben technischen Vorteilen aber auch eine Kostenreduktion, bedingt durch höhere Flexibilität in ihren Anwendungen, da Kabel und Anschlüsse wegfallen. Nach Schätzungen können so bis zu 80 Prozent der Infrastrukturkosten für Sensoranwendungen reduziert werden. Darüber hinaus entfallen bis zu 100 Prozent der Kosten für Überwachung und Wartung von Sensoren. Die kabellose Vernetzung bietet zudem weitere Konstruktionsvorteile: Die wartungslosen Sensoren können in schlecht zugängliche Bereiche integriert werden. Diese Möglichkeit eröffnet weitreichende Lösungen für eine Strukturüberwachung.

### Drahtlos auslesbare Dehnungssensoren

Das Fraunhofer IFAM hat im Rahmen des Innovationsclusters »Multifunktionelle Materialien und Technologien – MultiMaT« in Kooperation mit der Arbeitsgruppe Kommunikationselektronik des Instituts für theoretische Elektrotechnik und Mikroelektronik (ITEM) der Universität Bremen Lösungen aufgezeigt, um die Messsignale gedruckter Dehnungsmessstreifen über Entfernungen von bis zu 100 Metern kabellos zu übertragen. Mittels einer drahtlosen Standarddatenübertragung (Funknetzstandard ZigBee mit 2,4 GHz) können die Sensoren ihre



gemessenen Signale an eine zentrale Recheneinheit, einen Laptop oder ein Mobiltelefon übertragen, auf dem die Daten dann exakt ausgewertet werden können. So lassen sich auch Signale in kritischen oder nichtzugänglichen Umgebungen erfassen und in Echtzeit auswerten. Die Wissenschaftler der Universität Bremen haben die Messwerterfassung und Datenübertragung dabei so programmiert, dass diese nur sehr wenig Energie verbrauchen: Sensor sowie Funkmodul sind nur im Augenblick der Messung aktiv und neue Messwerte werden verarbeitet, um diese dann mit verringertem Datenvolumen zu versenden. Dies führt dazu, dass die Sensoren über einen langen Zeitraum hindurch arbeiten können, ohne dass die Batterie des Funkmoduls gewechselt werden muss.

### Versorgung von Sensoren durch Energieernte – Energy Harvesting

Aktuell werden zahlreiche Ansätze verfolgt, die Energie für Sensoranwendungen sowie für die drahtlose Kommunikation von Sensorsignalen direkt aus dem technischen Betrieb heraus zu gewinnen und eine sogenannte Energieernte zu betreiben (engl. Energy Harvesting). Je größer die Energiemenge ist, die aus einem Harvesting gewonnen werden kann, desto kleiner können Batterien gestaltet oder sogar vollständig substituiert werden. Insgesamt wird das Ziel verfolgt, die über ein Energy Harvesting zu gewinnende Energie zu maximieren, gleichzeitig jedoch den Energieverbrauch der Anwendung zu minimieren.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Energie aus dem technischen Betrieb heraus zu gewinnen: So nutzen Solarzellen heute bereits das Sonnenlicht zur Energieerzeugung. Thermoelektrische Werkstoffe nutzen Temperaturgradienten, aus denen elektrische Energie gewonnen werden kann, und piezoelektrische sowie elektromagnetische Materialien gewinnen Energie aus mechanischen Schwingungen. Die benötigte

Energie für eine Zustandsüberwachung mittels Sensoren kann dann direkt aus den auftretenden Schwingungen gewonnen werden. Der große Vorteil hierbei ist, dass die Energie für eine Sensordetektion unmittelbar aus der zu überwachenden Größe gewonnen wird.

Die geerntete Energie steht, je nach Methode der Gewinnung, nur direkt nach dem Zeitpunkt der Erzeugung und nur für einen begrenzten Zeitraum von wenigen Millisekunden zur Verfügung. Neben der eigentlichen Energiemenge ist daher insbesondere auch die zeitliche Verfügbarkeit und damit eine möglichst flexible Energiespeicherung zu berücksichtigen. Dabei kann die Menge an Energie, die über Energy Harvesting gewonnen werden kann, zeitlichen Schwankungen unterliegen. Es werden Speicher benötigt, welche als Puffer oder als Zwischenspeicher fungieren können. Diese Speicher sollten eine minimale Selbstentladung aufweisen. Eine Herausforderung ist es dabei, die gewonnene Energie möglichst verlustfrei und effizient für die jeweilige Anwendung zu nutzen, gleichzeitig aber auch einen hohen Integrationsgrad zu ermöglichen.

### Das Forschungspotenzial: Generative Fertigung hochintegrierter Sensoren durch Functional Printing

Generative Fertigungsverfahren können sowohl für die Herstellung von Sensoren und Sensornetzen als auch für die Energieernte einen wesentlichen Beitrag leisten: Durch das direkte Aufbringen von Strukturen aus funktionalen Materialien auf Basis von Tinten oder Pasten mittels Ink-Jet oder Aerosol-Jet bzw. mittels Siebdruck oder Dispensverfahren können nicht

**3** Aerosolgedruckter DMS auf Aluminiumoberfläche.

**4** Sende- und Empfangseinheiten für drahtlose Sensorsignalübertragung.

nur elektrische Schaltkreise und Sensorelemente auf verschiedene Oberflächen aufgebracht werden. Es ist auch möglich, Strukturen zu erzeugen, die für die Energieernte genutzt werden können. Generative Lösungen zur Fertigung können direkt als ganzheitlicher Ansatz am Rechner entworfen und hochintegriert umgesetzt werden. Für die fertigungstechnische Umsetzung der Sensoren und der Energieernte steht damit eine Fertigungsplattform zur Verfügung, mit der sich eine drahtlose Signalkommunikation flexibel in Bauteile integrieren lässt. So können heute bereits Antennen gedruckt werden, aber auch das Drucken von Datenspeichern ist Gegenstand aktueller Arbeiten. Das Fraunhofer IFAM ist dabei in der Lage, die verschiedensten Materialien ganzheitlich und generisch zu betrachten und Sensoren sowohl auf Oberflächen zu applizieren als auch in Bauteile zu integrieren.

---

### **Der Ausblick: Mit Sicherheit autark**

---

Batterien können zukünftig durch (Dünnschicht-)Akkus ersetzt werden, welche z. B. durch eine Solarzelle aufgeladen werden. Damit arbeitet ein Sensormodul komplett energieautark, da die benötigte Spannung von typischerweise einigen Volt nun aus Sonnenlicht »geerntet« werden kann. Analog zum Sensor können solche Solarzellen ebenfalls als hochintegrierte Dünnschichtlösungen erzeugt werden. In aktuellen Arbeiten werden darüber hinaus piezoelektrische Materialien entwickelt, welche sich ebenfalls mittels generativen Verfahren für Energy Harvesting nutzen lassen. Neben den Sensoren lassen sich damit zukünftig auch Lösungen für ein Energy Harvesting zur drahtlosen Sensorkommunikation über generative Verfahren auf Oberflächen und in Bauteile integrieren.

## KONTAKT

*Dr. Volker Zöllmer*

*Telefon +49 421 2246-114*

*volker.zoellmer@ifam.fraunhofer.de*

### **Institut**

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und*

*Angewandte Materialforschung IFAM,*

*Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Bremen*

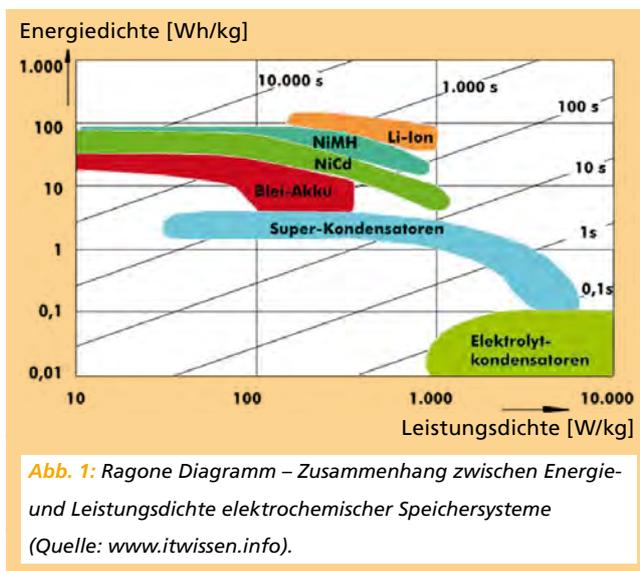
# SUPERKONDENSATOREN – LEISTUNGSFÄHIGE ENERGIESPEICHER

Neue Energiekonzepte erfordern flexible und leistungsfähige Energiespeicher. Insbesondere im Bereich der Elektromobilität sind elektrische Speicher mit hoher Energie- und Leistungsdichte eine Voraussetzung dafür, alternativen Antriebstechnologien zum Durchbruch zu verhelfen.

## Stand der Technik

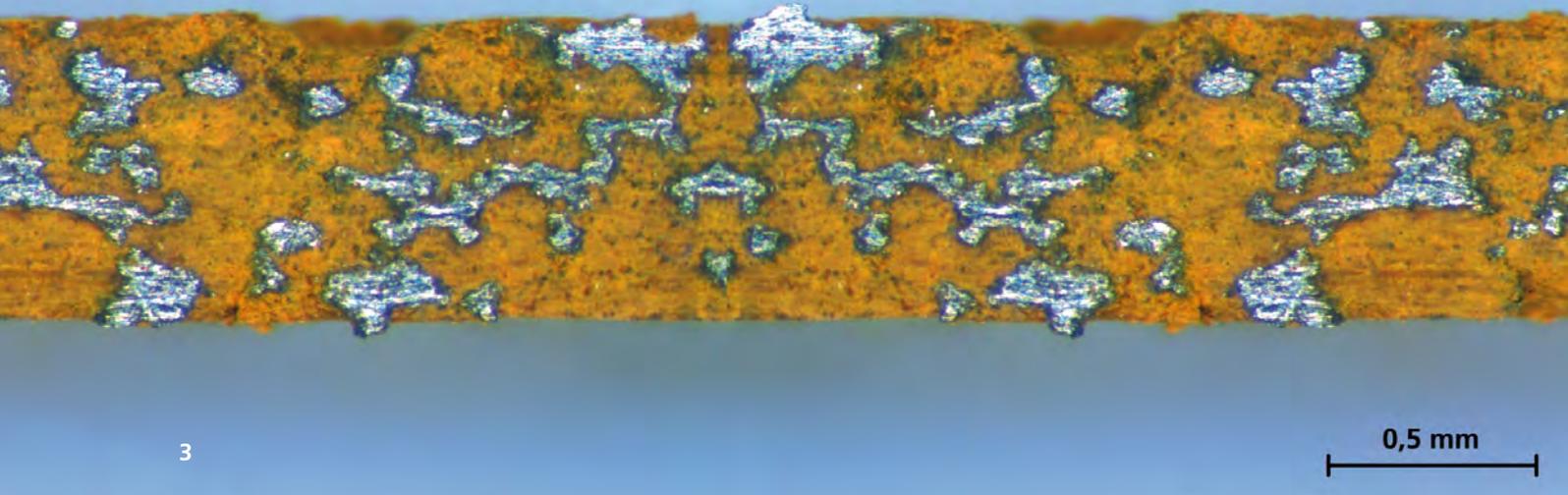
Batterien sind das derzeit wichtigste Speichermedium für elektrische Energie für eine Vielzahl mobiler und stationärer Anwendungen. Während diese Speicher Energiedichten von über 100 Wh/kg erreichen, stellen hohe Leistungsspitzen wegen der verhältnismäßig langsamen Kinetik der Redoxprozesse ein Problem für viele Anwendungen dar. Superkondensatoren sind eine Kategorie elektrochemischer Energiespeicher mit höherer Leistungsdichte, d. h. es können höhere Lade- und Entladeströme in kurzen Zeitspannen realisiert werden (Abb. 1). Somit ist einerseits eine Steigerung der Leistungsfähigkeit von elektrischen Energiequellen in Anwendungen möglich, bei denen zyklisch hohe Leistungen bereitgestellt werden müssen. Andererseits ist eine Leistungserhöhung in Kombination mit Batterien und Brennstoffzellen für eine kosteneffiziente Lösung zur Abdeckung des Leistungsbedarfs realisierbar, wie zum Beispiel bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen. Zudem zeichnen sich die Kondensatoren im Vergleich zu Batterien durch eine längere Lebensdauer (mehr Ladezyklen) sowie besseres Tieftemperaturverhalten aus.

Derzeit haben sich Superkondensatoren auf Basis von aktiviertem Kohlenstoff etabliert. Dessen spezifische Kapazität liegt in der Größenordnung von 100 F/g bei einer spezifischen Oberfläche von bis zu 3000 m<sup>2</sup>/g. Das Prinzip beruht auf dem



sogenannten Doppelschichteffekt. Dieses Konzept ist jedoch schon weitgehend optimiert, sodass das Potenzial für weitere Leistungssteigerungen begrenzt ist.

Einige Materialien zeigen schnelle reversible Faraday'sche Redoxreaktionen in den ersten Nanometern der Oberfläche. Diesen pseudokapazitiven Effekt weisen Oxide, Nitride oder Carbide von Übergangsmetallen auf. So wurde z. B. bei RuO<sub>2</sub> eine spezifische Kapazität im Bereich von 720 bis 1300 F/g nachgewiesen. Nachteilig sind jedoch die hohen Rohstoffpreise.



3

0,5 mm

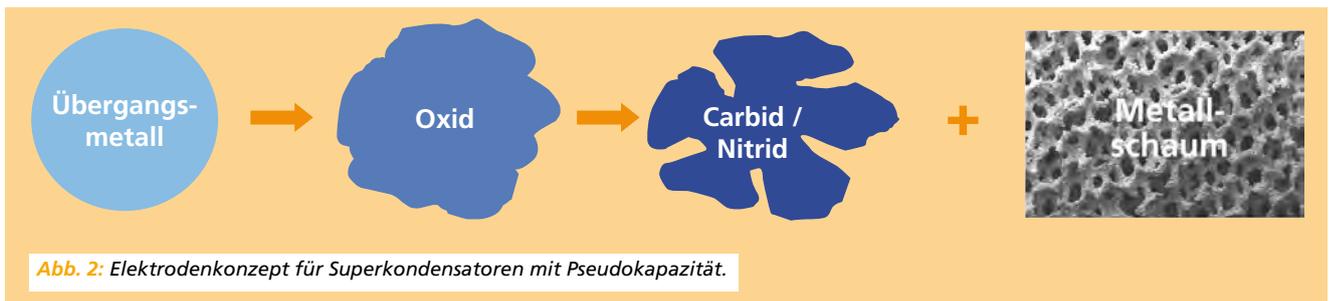


Abb. 2: Elektrodenkonzept für Superkondensatoren mit Pseudokapazität.

### Neues Konzept für Superkondensatoren

Im Rahmen einer Kooperation der Fraunhofer-Gesellschaft mit der Universität Michigan wurde ein neues Konzept für Superkondensatoren entwickelt (Abb. 2). Preiswerte Materialien mit hoher Pseudokapazität sind z. B. Molybdän- und Vanadiumnitrid. Als Elektrode und Träger für das aktive Material dient ein Metallschaum, der auf Basis einer pulvermetallurgischen Technologie hergestellt wird, die in Kooperation mit der Firma Alantum entwickelt wurde. Die dreidimensionale Anbindung des aktiven Materials gewährleistet eine gute Kontaktierung und gleichmäßige Wärmeverteilung bei hohen Leistungsdichten. Bei der Herstellung des Elektrodenmaterials wird das pulverförmige aktive Material zu einer Suspension aufbereitet und anschließend in den Porenraum des Metallschaums infiltriert. Abbildung 3 zeigt einen mit Vanadiumoxid infiltrierten Inconel-Schaum. In einem anschließenden Syntheseprozess wird das Oxid in ein Nitrid umgewandelt, wobei sehr hohe spezifische Oberflächen realisiert werden können (Tab. 1). Die Synthese vom Oxid zum Nitrid kann auch in einem separaten Syntheseprozess vor der Infiltration stattfinden. Die Synthese nach der Infiltration zeigt den Vorteil, dass damit eine besonders gute Anbindung und somit Kontaktierung des aktiven Materials mit der Metallschaumstruktur erreicht wird (Abb. 4).

Tabelle 1 zeigt die Kapazitäten von Übergangsmetallnitriden und -carbiden. Molybdän- und Vanadiumnitrid erreichen die höchsten Werte für die spezifische Kapazität, wobei Va-

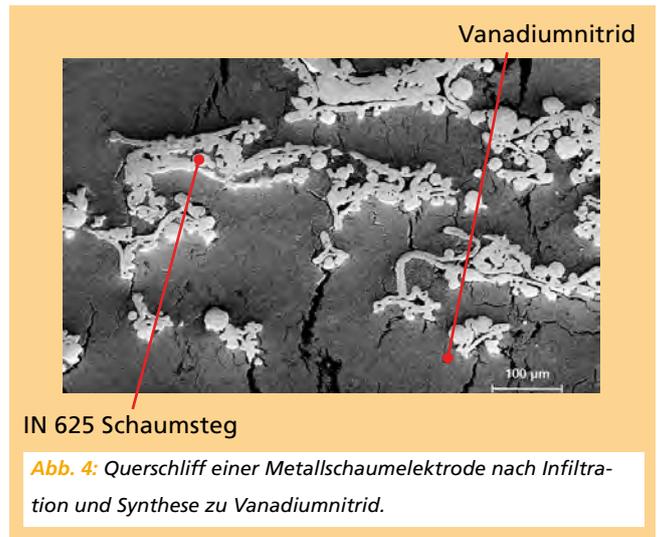


Abb. 4: Querschliff einer Metallschaumelektrode nach Infiltration und Synthese zu Vanadiumnitrid.

Material	Stabilitätsfenster (V)	Kapazität (F/g)	Spez. Oberfläche (m <sup>2</sup> /g)	Doppelschichtkapazität* (F/g)
VN	1,1 (KOH)	210	38	10
VC	0,8 (KOH)	2,6	6	1,3
Mo <sub>2</sub> N	0,8 (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	346	152	38
W <sub>2</sub> C	0,7 (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	79	16	4
W <sub>2</sub> N	0,8 (KOH)	25	42	11

\* Assumption: double layer capacitance of 25 µF/cm<sup>2</sup> (0,25 F/m<sup>2</sup>) B. E. Conway; *Electrochemical Supercapacitors*; Kluwer Academic/Plenum Publisher; (1999).

Tab. 1: Kapazitäten und spezifische Oberfläche von Übergangsmetallnitriden und -carbiden.



5a



5b

nadiumnitrid noch ein höheres Steigerungspotenzial durch eine mögliche Vergrößerung der spezifischen Oberfläche birgt. Die Kapazitätswerte verdeutlichen zudem, dass die Doppelschichtkapazität nur einen geringen Anteil an der Gesamtkapazität hat und den Hauptanteil die Pseudokapazität beisteuert.

---

### Ausblick

---

Die Werte für die spezifischen Kapazitäten zeigen das Potenzial, Energiedichten von derzeit 2–5 Wh/kg deutlich zu überbieten. Dazu sind weitere Arbeiten zur Optimierung der Synthese für das aktive Material, zur Maximierung des Stabilitätsfensters für das Elektrodenmaterial und zum Zelldesign geplant. Abbildung 5 zeigt das gefaltete Elektrodenmaterial. Das neu entwickelte Konzept für Superkondensatoren hat ein hohes Potenzial, einen Qualitätssprung hinsichtlich Leistungs- und Energiedichte gegenüber konventionellen kohlenstoffbasierten Doppelschichtkondensatoren zu erreichen.

Mit diesen viel versprechenden Lösungsansätzen und Ergebnissen hat das Fraunhofer IFAM einen weiteren Beitrag zur Entwicklung zukunftsfähiger Energiespeicher geleistet, die in vielfältigen Anwendungsbereichen für mobile und stationäre Systeme eingesetzt werden können.

### Auftraggeber

Gefördert von der University of Michigan, USA  
und der Fraunhofer-Gesellschaft

### Projektpartner

University of Michigan, USA  
Turtlerock Greentech, Michigan, USA  
Fraunhofer IFAM, Institutsteil Dresden

## KONTAKT

*Dipl.-Ing. Gunnar Walther*

*Tel.: +49 351 2537-340*

*gunnar.walther@ifam-dd.fraunhofer.de*

*Dr. Burghardt Klöden*

*Tel.: +49 351 2537-384*

*burghardt.kloeden@ifam-dd.fraunhofer.de*

### Institut

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM,  
Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Dresden*

**3** *Inconel-Schaum mit Vanadiumoxid infiltriert.*  
**5a + 5b** *Schaumelektroden, Faltdesign für Superkondensatoren.*



## »MINT-ONLINE«: BERUFSBEGLEITENDE PREMIUM- STUDIENANGEBOTE IN MINT-FÄCHERN

Mit dem Verbundprojekt »MINT-Online« ist die Fraunhofer Academy im Wettbewerb des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF »Aufstieg durch Bildung: offene Hochschulen« ausgewählt worden, innovative und nachfrageorientierte Konzepte für die berufsbegleitende Qualifizierung zu entwickeln. Projektpartner sind die Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg und die Fraunhofer-Institute IFAM, IWES und UMSICHT. Für die Fachgebiete Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik – kurz MINT – wollen die beteiligten Institutionen hochwertige und passgenaue Weiterbildungsstudiengänge in den Themenbereichen Umwelt – Nachhaltigkeit – erneuerbare Energien anbieten.

### **Neue Technologien fordern neue Bildungskonzepte**

Erneuerbare Energien, Windenergiesysteme, Bauphysik, Energiespeichersysteme und Elektromobilität wurden für das »MINT-Online«-Projekt als zukunftsweisende Themen identifiziert. Für diese Technologien wird ein weltweites Wachstum erwartet. Das Fraunhofer IFAM entwickelt in diesem Verbundprojekt weiterbildende Zertifikatskurse für Elektromobilität.

Der Umstieg vom Verbrennungsmotor zur Elektromobilität braucht nicht nur die Entwicklung einer passenden Infrastruktur, leistungsstarker Batteriesysteme oder neuer Fahrzeugkonzepte. Ganzheitlich betrachtet wird der Übergang hin zu Elektroantrieben die etablierten Zuliefer- und Fahrzeugherstellerstrukturen verändern und neue Anforderungen an technische Mitarbeiter stellen. Mit einer nachhaltigen Einführung dieser neuen Technologie ist deshalb immer auch die Qualifizierung von Personal verbunden. Damit Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität werden kann, muss sich die Industrie anpassen. Das »MINT-Online«-Konzept zeigt auf, wie Mitarbeiter

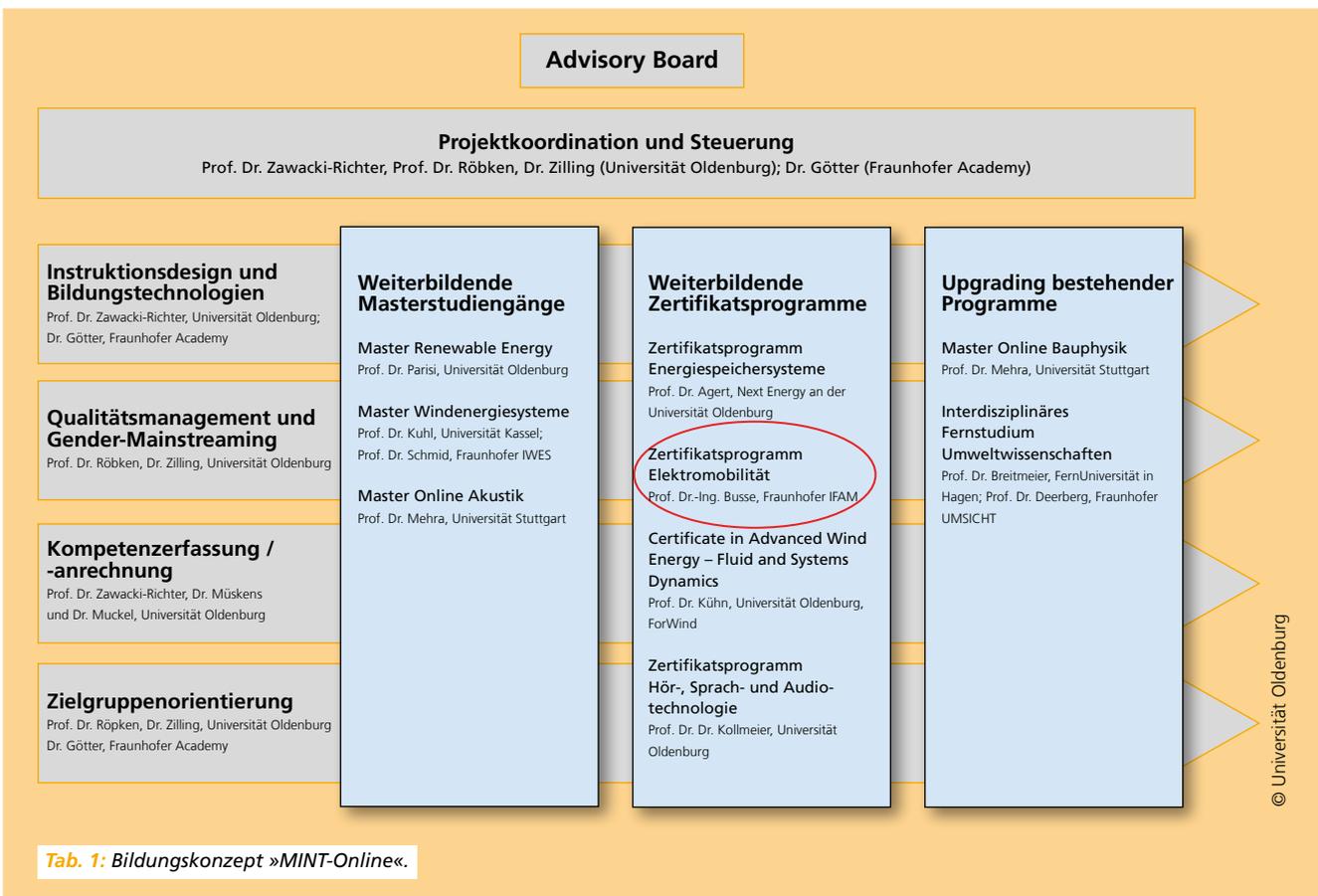
auf die neuen Wertschöpfungsstrukturen vorbereitet werden können. Die weiterbildenden Masterstudiengänge und Zertifikatsprogramme richten sich dabei an berufsbegleitend studierende, Wiedereinsteiger, Bachelorabsolventen sowie Berufstätige auch ohne formale Hochschulzugangsberechtigung.

### **Elektromobilität braucht interdisziplinäres Wissen**

Eine Umstellung auf Elektromobilität erfordert qualifiziertes Fachpersonal, das sich nicht nur auf das Kerngeschäft der Entwicklung einer neuen Technik und deren Wartung beschränkt, sondern die damit zusammenhängende Infrastruktur aufbauen und unterhalten kann. Diese Veränderung erfordert Neu- und Zusatzqualifikationen der betroffenen Fachkräfte, welche lediglich durch eine Umschulung, zusätzliche Weiterbildung basierend auf bisher erworbenem Wissen oder die Schaffung eines neuen Ausbildungsberufs realisiert werden können. Zur Abdeckung des kurzfristigen Fachkräftebedarfs



2



ist die Weiterbildung als primäres Ziel anzusehen, durch die erfahrenes Personal auf die sich ändernden Anforderungen geschult wird. Dabei ist der Bedarf der Weiterbildung in den Bereichen Kfz-Technik und -Service, Ersthelfern und in der Entwicklung und Produktion zu sehen.

autos eine Rolle, sondern auch für die Bereiche, die für die Wartung und Reparatur oder neue Mobilitätskonzepte verantwortlich sind.

Die zu entwickelnden Weiterbildungsprogramme müssen im Vergleich zu den heute vorhandenen Programmen fachübergreifend aus den Bereichen Fahrzeugtechnik, Kfz-Mechatronik, Ingenieurdisziplinen zu Fahrzeugtechnik und -produktion sowie zu elektrischen Energiespeichern, Hochvolttechnik und elektrischen Antriebssträngen kommen. Dies spielt nicht nur für die Forschung, Entwicklung und Produktion von Elektro-

- 1 *Aufbau und Inbetriebnahme des »Fraunhofer electric concept car – Frecc0«. Die Erfahrungen aus verschiedenen Projekten am Fraunhofer IFAM fließen in die Entwicklung des Zertifikatsprogramms Elektromobilität ein.*
- 2 *Vorbereitung der ersten Probefahrt des »Fraunhofer electric concept car – Frecc0«.*



Für eine kurzfristige Umsetzung und Bereitstellung von Weiterbildungsmöglichkeiten entwickelt das Fraunhofer IFAM ein Zertifikatsprogramm für Mitarbeiter aus der Industrie im Bereich Fahrzeugentwicklung und Produktion, Handwerksberufe wie Kfz-Mechatroniker, Kfz-Mechaniker sowie artverwandte Berufszweige, E-Techniker und artverwandte Berufe, Berufsrückkehrer und Ersthelfer. Hier ist ein unmittelbarer Bedarf zu sehen.

Durch angepasste Lehrgangsstrukturen werden Neueinsteiger auf ein gleichwertiges Bildungsniveau in Bezug auf die anzustrebenden Themeninhalte gehoben, gleichzeitig jedoch die aus gesetzlichen Vorschriften notwendigen Inhalte vermittelt.

Eine zusätzliche Herausforderung bei einem angestrebten Weiterbildungsangebot besteht in der Berücksichtigung der zeitlichen Hinderungen von berufstätigen und Teilnehmern mit Familienpflichten bei Weiterbildungsprogrammen.

Ziel soll es sein, alle Teilnehmer unabhängig des Bildungsniveaus und zeitlichen Beeinträchtigungen in den notwendigen Themeninhalten sowohl theoretisch wie auch praktisch weiterzubilden und ihnen durch diese Schulungen eine zusätzliche, zum Teil in der Zukunft notwendige Qualifikation zu bieten.

## ZERTIFIKATSKURSE E-MOBILITÄT

### Fahrzeugkonzepte und -technik

- Leichtbau
- Bordnetze (Kommunikation/ Spannungsversorgung)
- Antriebstechnik
- Leistungselektronik
- Elektro-Magnetische Verträglichkeit
- Zusatzaggregate (z. B. Heizung/Klimaanlage)

### Energiespeicher für Fahrzeuganwendung

- Brennstoffzellentechnik und deren Energiespeichersysteme
- Batteriemangement
- Aktuelle Batteriesysteme und deren Materialien
- Kondensatortechnik und deren Materialien

### Verkehrskonzepte und Infrastruktur

- Carsharing
- Ladestationen
- Normen und Standards
- HV-Sicherheit
- Range Extender

Tab. 2: Potenzielle Lehrgangsinhalte.

## Entwicklung des Zertifikatsprogramms Elektromobilität am Fraunhofer IFAM

Im Vordergrund für die erste Projektphase mit der Laufzeit von 3,5 Jahren ist die wissenschaftlich begründete Ausarbeitung und Erprobung der genannten Lehrangebote. Derzeit wird innerhalb des Verbundprojekts der Zertifikatskurs zur Elektromobilität am Fraunhofer IFAM entwickelt und gleichzeitig eine Zielgruppenanalyse durchgeführt. Das Forschungspotenzial liegt dabei im Schwerpunkt auf der Analyse der Heterogenität der Zielgruppe und den damit verbundenen Kursinhalten und der Struktur des Weiterbildungsangebots. Der Einsatz internetgestützter Bildungstechnologie ermöglicht raum-zeitlich flexible Zugangsmöglichkeiten. Gleichzeitig sollen über die internetgestützten Angebote internationale Studieninteressenten angesprochen werden. Die Anrechnung formell und informell erworbener Kompetenzen ermöglicht eine horizontale Durchlässigkeit der Studienangebote.

Gleichzeitig muss ein didaktisches Konzept erarbeitet werden, welches den neuen Anforderungen von unterschiedlichen Lehrzeitpunkten und Bildungsniveaus gerecht wird. Im Anschluss erfolgt eine Evaluationsphase von Pilotmodulen, in der die Lehrgänge erprobt werden.

Nach Abschluss der ersten Projektphase wird nach einer Prüfung durch den Projektträger und eine unabhängige Jury über die weitere Förderfähigkeit der einzelnen Projekte entschieden. Die zweite Phase ist die Implementierungsphase, in der die einzelnen Angebote marktfähig angeboten werden sollen. Parallel zu der Entwicklung der Zertifikatskurse wird am Fraunhofer IFAM die Errichtung von entsprechenden Lehrgangsstätten umgesetzt, in denen Konzeptfahrzeuge, Motorprüfstände und Testeinrichtungen für die Ausbildung und die am Fraunhofer IFAM beheimateten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Verfügung stehen.

## Auftraggeber

Gefördert durch:



## KONTAKT

*Markus Müller B.Sc.*  
 Telefon +49 421 2246-7008  
 markus.mueller@ifam.fraunhofer.de

## Institut

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
 Angewandte Materialforschung IFAM,  
 Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Bremen*



## ELEKTROMOBILE ENTWICKLUNGEN – VORSPRUNG DURCH SYSTEMFORSCHUNG

Am 2. September 2011 war es soweit: Die neuen Komponenten des »Fraunhofer electric concept car« – kurz Frecc0 – gingen auf Probefahrt. Zahlreiche Besucher konnten sich auf dem Abschlussevent in Papenburg auf der ATP-Teststrecke von der erfolgreichen Elektrifizierung des Antriebsstrangs zweier Demonstratorfahrzeuge überzeugen. Basis dieser beiden Elektroautos ist der Artega GT. In den Frecc0 1.0 wurde marktverfügbare Technik integriert und das Zusammenspiel dieser Komponenten optimiert. Im Frecc0 2.0 stecken von den Fraunhofer-Wissenschaftlern neu entwickelte Komponenten. Aufgebaut wurde ein funktionstüchtiges Elektroauto mit Fahrzeugkomponenten für Antrieb, Batteriesystem, Fahrzeugsteuerung und Netzintegration. Aber nicht nur den Fraunhofer-Wissenschaftlern dient der Frecc0 als Testplattform: Künftig können auch Automobilhersteller und Zulieferer den Frecc0 nutzen, um neue Komponenten zu testen oder weiterzuentwickeln.

### Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität

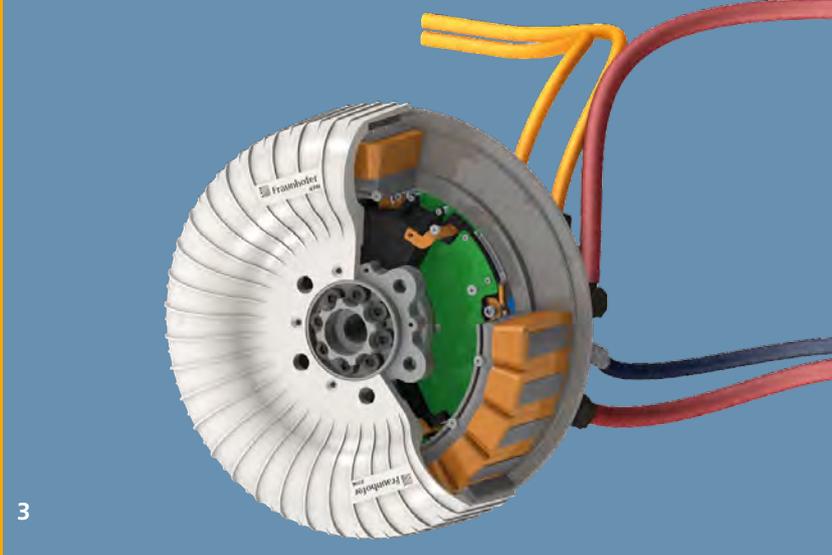
Mit der seit Sommer 2009 im Rahmen des Konjunkturpakets II durch den Bund geförderten »Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität – FSEM« wurde das Ziel verfolgt, im Zusammenwirken von über 30 Fraunhofer-Instituten innerhalb von knapp zwei Jahren ein Systemverständnis für die Elektromobilität zu erarbeiten. Das Fraunhofer IFAM war maßgeblich an der Entwicklung von Radnabenmotoren sowie dem Fahrzeugaufbau und der Systemintegration der innerhalb der FSEM entwickelten Fahrzeugkomponenten in das »Fraunhofer e-concept car type 0 – Frecc0« beteiligt. Die Entwicklung der Radnabenmotoren erfolgte in enger Zusammenarbeit der IFAM-Mitarbeiter mit den Fraunhofer-Instituten LBF, IWM und IISB. Am Aufbau der Demonstratorfahrzeuge arbeiteten neben Mitarbeitern des Fraunhofer IFAM Wissenschaftler des ESK, des LBF und des IISB zusammen.

### Radnabenmotoren

#### ■ Eine neue Generation von Radnabenmotoren

Ein wesentliches Ziel der FSEM war, einen Radnabenmotor mit integrierter Leistungselektronik als Traktionsantrieb für Elektrofahrzeuge unter serientauglichen Gesichtspunkten zu entwickeln. Die größte Herausforderung lag im Bau eines Motors mit einem zu herkömmlichen Antrieben vergleichbaren Drehmoment bei minimalem Gewicht, um die Höhe der ungefederten Masse und damit die fahrdynamischen Auswirkungen zu minimieren. Vor allem die Integration der notwendigen Leistungselektronik in den Bauraum des Motors stellte eine besondere Aufgabe, die darin bestand, den Radnabenmotor auch in einer 15-Zoll-Felge unterbringen zu können. Die

1 *Fraunhofer-Demonstratorfahrzeug Frecc0 2.0 auf Testfahrt (Foto: Ingo Daute, © Fraunhofer).*



Freiheiten des unabhängigen Antriebs jedes einzelnen Rads, die sich durch den Einsatz von Radnabenantrieben ergeben, erhöhen die Anforderungen an die Sicherheit des Antriebsystems sowie des Gesamtfahrzeugs. Hierfür sind sowohl auf Seiten des Motordesigns sowie der Auslegung als auch bei der Motor- und Fahrzeugsteuerung entsprechende Maßnahmen wie Redundanz von Teilsystemen und entsprechende Rückfallebenen zu berücksichtigen.

Die geforderte hohe Leistungsdichte machte eine Flüssigkeitskühlung von Motor und Leistungselektronik erforderlich, für die ein geeignetes Dichtsystem entwickelt wurde, welches die auftretenden hohen Umfangsgeschwindigkeiten ertragen kann. Ebenso war die Konstruktion spezieller, den auftretenden Lasten standhaltender und gleichzeitig extrem leicht laufender Radlagereinheiten nötig. Bei der Fertigung aller Teilkomponenten war zu beachten, dass serientaugliche Verfahren eingesetzt werden können, sodass die Umsetzung der neuen Technologie zur Anwendung in großen Serien von Anfang an mit geringem Aufwand möglich ist.

### Fahrverhalten mit Radnabenmotoren

Die Tests am realen Fahrzeug fingen nicht erst mit Fertigstellung der FreccO-Prototypen an. Bereits im Vorfeld ihrer Entwicklung wurden mit einem konventionell angetriebenen Artega GT umfangreiche Fahrbetriebsmessungen durchgeführt. Diese Tests erfolgten mit den Fragestellungen: Wie belasten die zusätzlichen reifengefederten Massen der Radnabenmotoren das Fahrwerk und wie wird dadurch die Fahrtdynamik beeinflusst? Wie werden Gesamtfahrzeug und Einzelkomponenten bei realistischem Fahrbetrieb beansprucht? Die Fahrzeuge wurden für die Tests mit umfangreicher Sensorik ausgestattet, um Belastung und Fahrverhalten durch Messdaten objektiv zu bewerten. So wurde in einer Parameterstudie untersucht, welchen Einfluss die zusätzlichen Massen der Radnabenmotoren auf die Belastung des Fahrwerks haben. Die Masse der Radnabenmotoren wurde während dieser Tests mit

Zusatzgewichten am Radträger simuliert. Hierbei stellte sich heraus, dass sich die Kräfte im Rad und Fahrwerk durch die Zusatzmasse leicht erhöhen. Diese Zunahme ist aus Sicht der Betriebsfestigkeit der Komponenten zwar zu beachten, erfordert aber keine nennenswerten konstruktiven Änderungen am Fahrwerkskonzept. Die Beschleunigungsamplituden des Rads senken sich im Gegensatz zu den Lasten sogar leicht ab, was sich positiv auf die Lebensdauer der Leistungselektronik im Radnabenmotor auswirkt. Aus Sicht der Fahrtdynamik kann durch die Montage der Radnabenmotoren-Zusatzmasse an der Hinterachse keine spürbare Verschlechterung des Fahrverhaltens festgestellt werden.

### Fertigungstechnische Optimierung

Der Fraunhofer-Radnabenmotor ist als permanentmagnet-erregte Synchronmaschine in Außenläuferbauweise realisiert. Die verwendeten Hochleistungsmagnete auf Basis von Neodym-Eisen-Bor ermöglichen ein hohes Drehmoment bei geringem Gewicht und gutem Wirkungsgrad. Die innen liegenden Spulen werden durch das flüssigkeitsdurchströmte Statorgehäuse aus Aluminium gekühlt, um die auf kleinem Raum anfallende Verlustwärme sicher abzuführen. Das funktionsintegrierte Statorgehäuse dient gleichzeitig zur Aufnahme und Kühlung der Elektronikeinheit mit Leistungselektronik und Motorsteuergerät.

Zur Herstellung des Statorgehäuses kam das »Lost-Foam-Gießverfahren« zum Einsatz. Es ermöglicht die endkonturnahe Fertigung von komplexen Bauteilen mit Hinterschneidungen und erlaubt damit die direkte Integration von Kühlkanälen in das Statorgehäuse. Die Anzahl der erforderlichen Dichtflächen reduziert sich auf ein Minimum und es können die für die

2 *Stator des Radnabenmotors montiert am FreccO 2.0 ohne Rotorglocke.*

3 *Schnittmodell des Radnabenmotors in der Konstruktion.*



4



5

hohe Leistungsdichte notwendigen, hohen Kühlleistungen realisiert werden. Das »Lost-Foam-Verfahren« eignet sich gleichermaßen für die Fertigung von Prototypen und großen Stückzahlen, was eine direkte Überführung des Statorgehäuses in eine Serienproduktion möglich macht. Die Rotorglocke wurde druckgussgerecht ausgelegt, um im späteren Verlauf eine kostengünstige Fertigung im Druckgussprozess zu ermöglichen. Durch die Gewichtsoptimierungen in Statorgehäuse und Rotorglocke konnte das Gesamtgewicht der Gehäusekomponenten auf ein Minimum reduziert werden.

### Bauraum optimal genutzt

Zur Erhöhung der funktionalen Sicherheit wurde der Motor aus zwei voneinander weitgehend unabhängig betreibbaren Teilsystemen aufgebaut. Trotz des erhöhten Komplexitätsgrads durch die Integration von zwei Umrichtern und Wicklungssystemen gelang der Einbau ohne eine Erhöhung des Bauraumbedarfs. Mögliche auftretende Fehler wurden bei der elektromagnetischen Auslegung berücksichtigt, sodass ein unzulässiges Bremsen oder sogar Blockieren des Rads beispielsweise bei einem Kurzschluss ausgeschlossen werden kann.

Durch die vom Fraunhofer IISB entwickelte integrierte Leistungselektronik wird die Anzahl der notwendigen Zuleitungen zum Betrieb des Motors minimiert. Ein zentrales Steuergerät agiert im Fahrzeug als Drehmomentkoordinator, der den durch Lenkwinkel, Gas- und Bremspedal vorgegebenen Fahrerwunsch unter Einbezug der fahrdynamischen Anforderungen, dem Batteriezustand und der aktuellen Temperatur von Motor und Leistungselektronik an die Radnabenmotoren überträgt. Als Übertragungsprotokoll wird der im Kfz-Bereich etablierte CAN-Bus verwendet. Zur Ansteuerung des Motors kommt ein modernes, wirkungsgradoptimiertes Regelungsverfahren zum Einsatz. Die geschwindigkeits- und drehmomentabhängigen Arbeitspunkte wurden durch die elektromagnetischen Auslegungsrechnungen und Messungen an der Maschine ermittelt und berücksichtigen Temperatur- und Sät-

tigungseinflüsse. Neben einer Steigerung des Wirkungsgrads ist so auch sichergestellt, dass das vom Fahrer gewünschte Drehmoment reproduzierbar und mit hoher Genauigkeit an den Rädern ankommt. Dies ist aus Sicherheits- und Fahrkomfortgründen ein wichtiger Aspekt.

### Herausforderung Dichtungskonzept

Eine wesentliche Herausforderung bestand in der Entwicklung eines Dichtungskonzepts für den Radnabenmotor. Bedingt durch die Außenläuferbauweise und die glockenartige Rotor-konstruktion ist die zuverlässige Abdichtung gegen Eindringen von Schmutz und Feuchtigkeit auf einem großen Außendurchmesser mit entsprechend hohen Umfangsgeschwindigkeiten von bis zu 30 m/s notwendig. Dies muss für den dynamischen Fall im Fahrbetrieb, aber auch im Stillstand, z. B. beim Abstellen des Fahrzeugs in einer Pfütze, gewährleistet sein. Für den Radnabenmotor wurden verschiedene Dichtungskonzepte und Materialpaarungen systematisch untersucht, optimiert und im Praxisbetrieb erprobt.

Strangzahl der Wicklung	6
Dauerleistung	55 kW
Bemessungsdrehmoment bei 550 U/min	700 Nm
Maximales Drehmoment (kurzzeitige Überlast)	900 Nm
Nutzahl des Stators	24
Polzahl des Rotors	22
Außendurchmesser gesamter Radnabenmotor	364 mm
Tiefe gesamt	105 mm
Axiale Bautiefe (Abstand Radträger zu Felgenflansch)	88 mm
Gesamtmasse	42 kg
Gesamtwirkungsgrad im Bemessungspunkt	92 %

Tab. 1: Technische Daten des Fraunhofer-Radnabenmotors.



## ■ Bewährungsproben auf dem Teststand

Über den gesamten Entwicklungsprozess wurde der Radnabenmotor durch numerische Simulationen konstruktionsbegleitend den im Rad zu erwartenden mechanischen und elektrischen Lasten ausgesetzt, um alle Anforderungen hinsichtlich Betriebsfestigkeit und Zuverlässigkeit zu erfüllen. Die elektromagnetische Auslegung erfolgte ebenfalls mithilfe numerischer Simulationsverfahren, um die Leistungsdaten unter den gegebenen Randbedingungen zu optimieren. Zum Abschluss der Arbeiten erfolgten intensive Prüfstandtests. Zunächst wurde auf dem sechsachsigen Reifenprüfstand W/ALT des Fraunhofer LBF das Verhalten der Prototypen unter realistischen Radaufstands- und Seitenkräften geprüft. Die auftretende Verformung von Lager, Rotorglocke und die resultierende Verformung des Luftspalts konnten aufgenommen und mit den numerischen Simulationen verglichen werden. Dabei zeigten sich keine unzulässigen Verformungen. Anschließend wurde das elektrische Betriebsverhalten des Radnabenmotors auf dem Motorenprüfstand am Fraunhofer IFAM an einer simulierten Batterie getestet.

---

## Demonstratorfahrzeuge Frecc0 1.0 und 2.0

---

## ■ Chance für neue Fahrzeugkonzepte

Aus heutiger Sicht wird der Verbrennungsmotor auch in den nächsten Jahren als Antrieb in Kraftfahrzeugen zum Einsatz kommen und weiter optimiert werden. Seine Bedeutung als alleinige Lösung zur Erzeugung von Antriebsenergie wird jedoch abnehmen. Derzeit bedienen Umbauten von konventionellen Fahrzeugen oder Kleinserien die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen. Das führt dazu, dass die Mehrzahl der existierenden Elektrofahrzeuge die seit den Anfängen des Automobilbaus bekannte Antriebstopologie besitzen: Ein zentraler Motor erzeugt das Antriebsmoment, das über Getriebe

und Differenzial auf zwei oder mehr anzutreibende Räder übertragen wird. In der Konsequenz bedeutet die zunehmende Elektrifizierung des Antriebsstrangs eine Umstellung für die Produktions- und Fertigungstechnik und ein Wandel im Produktportfolio. Elektromobilität wird zu einem Umdenken und einer Neuausrichtung in vielen Branchen führen. Mit dieser Umstellung werden intelligente Fahrzeugkonzepte entwickelt und es bietet sich die Chance, »das Auto neu zu denken«.

## ■ Aufbau der Fahrzeuge

Die Frecc0-Demonstratoren basieren auf einem Artega GT, wobei im Fahrzeug Frecc0 1.0 am Markt verfügbare Komponenten für die Umrüstung zum Elektrofahrzeug zum Einsatz kamen. Auch Batteriesystem und Ladeinfrastruktur sind mit marktverfügbarer Technologie umgesetzt worden. Der Frecc0 1.0 verfügt über zwei radnahe, getriebeübersetzte Antriebsmotoren. Der Frecc0 2.0 basiert auf den Komponenten, die innerhalb der Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität entwickelt wurden. Hierzu zählen Radnabenmotoren mit hoher Drehmomentdichte, ein Batteriesystem sowie ein On-Board-Ladegerät und ein externes Schnellladegerät. Die Kommunikation der Komponenten untereinander erfolgt über ein zentrales Steuergerät. Beim Frecc0 2.0 mit seinen Radnabenmotoren waren besondere Anpassungen erforderlich: Gemeinsam mit der Artega Automobil GmbH, dem Hersteller des Basisfahrzeugs, haben die Fraunhofer-Forscher ein Fahrwerkskonzept entwickelt, das die Verwendung der mechanischen Serienbremsanlage auf der Innenseite des Radträgers ermöglicht. Dabei ist es gelungen, eine Fahrdynamik zu erhal-

- 4 *Montierter Radnabenmotor am Frecc0 2.0 mit Felge und Bereifung.*
- 5 *Fraunhofer-Demonstratorfahrzeug Frecc0 2.0 auf dem ATP-Prüfgelände in Papenburg (Foto: Ingo Daute, © Fraunhofer).*
- 6 *Fraunhofer-Demonstratorfahrzeuge Frecc0 1.0 und 2.0 im Vergleich auf dem ATP-Prüfgelände (Foto: Ingo Daute, © Fraunhofer).*

ten, die dem Verhalten des Serienfahrwerks gleicht. Mit den beiden Frecc0-Versionen konnte erstmals ein Antriebskonzept mit Radnabenmotoren und mit zwei radnahen Motoren untersucht werden. Da sich beide Konzepte unterscheiden, bringt ihre Erprobung im realen Fahrzeug Erkenntnisse für die optimale Gestaltung künftiger Elektroautos. Die Ladeinfrastruktur im Frecc0 2.0 ermöglicht zudem eine umfassende Netzintegration und die praktische Erprobung eines Schnellladekonzepts. Mit mehreren verteilten statt eines zentralen Motors kann beispielsweise »Torque Vectoring« umgesetzt werden. Bei dieser Technik bringt eine angepasste Drehmomentverteilung an den Rädern der Hinterachse ein verbessertes Fahrverhalten in der Kurve. Da die Steuerung hierfür ausgiebig erprobt werden musste, sind beide Prototypen mit einem Mehrmotorenantrieb ausgestattet.

### **Funktionale Sicherheit**

Der Frecc0 verfügt über eine modular aufgebaute Bordelektronik auf Grundlage des bestehenden Artega-GT-Bordnetzes, die eine einfache Integration neuer Komponenten ermöglicht. Dies erfordert die detaillierte Abstimmung der Schnittstellen und der Kommunikation von Komponenten untereinander. Die Funktion der übergreifenden Fahrzeugsteuerung übernimmt im Frecc0 das vom Fraunhofer ESK entwickelte Zentrale Steuergerät (ZSG). Als zentrale Steuereinheit interpretiert es den Fahrerwunsch und setzt ihn über die Antriebssteuerung im Fahrzeug entsprechend um. Es steuert die Anbindung der Fraunhofer-Komponenten an das bestehende Fahrzeug, übernimmt das zentrale Zustandsmanagement, die Ansteuerung der Kühlsysteme für Radnabenmotoren und Batteriesystem und kontrolliert die Zwischenkreisvorladung.

Weiterhin musste berücksichtigt werden, dass bei Elektrofahrzeugen zunehmend sicherheitskritische Funktionen wie die Motorsteuerung und die Batteriesysteme rein über Software angesteuert werden. Die Bordnetz-Architektur des Frecc0 ist daher so sicher gestaltet, dass ein Fehlverhalten einer Komponente

keine kritischen Systeme beeinflussen kann bzw. fehlerhafte Systeme erkannt und abgeschaltet werden. Das Sicherheitskonzept basiert auf einer detaillierten Gefahrenanalyse und Risikobewertung nach dem neuen ISO (DIS) Standard 26262 bzw. IEC 61508 (DIN EN) für funktionale Sicherheit. Für jede der Fraunhofer-Komponenten wurde – maßgeblich durch das Fraunhofer LBF – eine Fehler-Möglichkeiten- und Einflussanalyse (FMEA) nach VDA-Standard durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Sicherheitskonzept für den Frecc0 berücksichtigt.

### **Mehrwert durch Systemforschung**

Künftige Generationen von Elektrofahrzeugen müssen für ihre Nutzer mindestens genauso zuverlässig, sicher und komfortabel sein wie konventionell betriebene Fahrzeuge. Gleichzeitig soll ihre Produktion wirtschaftlich sein. Zahlreiche Aspekte müssen hierfür bearbeitet werden – von neuen Antriebskonzepten, über das Batterie- und Ladesystem hin zur Fahrzeugsteuerung und der Anbindung der Fahrzeuge an die Infrastruktur.

Die intensive Kommunikation der Fraunhofer-Mitarbeiter untereinander hat das gegenseitige Verständnis der jeweiligen inhaltlichen und technischen Herausforderungen gesteigert und Synergieeffekte hervorgerufen, die schneller zu technisch ausgereifteren Entwicklungen führen. Nur so können die Entwicklungsziele bei der Herstellung und dem Betrieb des Fahrzeugs herausgearbeitet und innovative Fraunhofer-Lösungen entwickelt werden.

In der Bildung thematischer Cluster und in der themenspezifischen Projektzusammenarbeit innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft liegt ein Schlüssel für die Formulierung neuer Fragestellungen für Forschungsarbeiten zur Elektromobilität im Allgemeinen und zur Entwicklung von Komponenten im Speziellen. Beide Demonstratorfahrzeuge konnten Anfang

7



8



September 2011 im Rahmen einer Abschlussveranstaltung der Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität auf dem ATP-Prüfgelände in Papenburg vorgestellt und getestet werden.

### Entwicklungsplattformen für die Elektromobilität

Dank Frecc0 1.0 und 2.0 als wissenschaftliche Integrations- und Testplattformen profitieren künftige Arbeiten von den gesammelten Erfahrungen, den kompletten CAD-Datensätzen für das »Gesamtsystem Elektrofahrzeug«, dem Zugriff auf die Steuerungssoftware sowie auf alle fahrzeuginternen Kommunikationsstrukturen. Getestet und verglichen werden können aktuelle Fraunhofer-Entwicklungen auf dem Gebiet der Elektromobilität mit entsprechenden Produkten kommerzieller Anbieter ebenso wie kundeneigene Neuentwicklungen. Durch den modularen Aufbau der Testplattformen sind auch extern entworfene Fahrzeugkomponenten in der Regel leicht in das System zu integrieren und im praktischen Fahrzeugeinsatz zu testen. Mit den institutsübergreifenden Kompetenzen in thematisch orientierten Fraunhofer-Konsortien werden auf der Basis dieser Entwicklungsplattformen gegenwärtig sowohl eigene, weiterführende Fragestellungen, wie beispielsweise der optimierten Absicherung des Fahrverhaltens bei Mehrmotorenantrieb in kritischen Situationen, als auch völlig neue Entwicklungsprojekte der Elektromobilität gemeinsam mit Partnern aus der Industrie bearbeitet.

### Auftraggeber

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung.



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## KONTAKT

*Dipl.-Ing. Franz-Josef Wöstmann*

*Telefon +49 421 2246-225*

*franz-josef.woestmann@ifam.fraunhofer.de*

*Dipl.-Ing. Felix Horch*

*Telefon + 49 421 2246-171*

*felix.horch@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. Hermann Pleteit*

*Telefon +49 421 2246-199*

*hermann.pleteit@ifam.fraunhofer.de*

### Institut

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und*

*Angewandte Materialforschung IFAM,*

*Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Bremen*

- 7** *Montierter Radnabenmotor am Frecc0 2.0 mit Felge und Bereifung.*
- 8** *Fraunhofer-Demonstratorfahrzeug Frecc0 2.0 auf dem ATP-Prüfgelände in Papenburg (Foto: Ingo Daute, © Fraunhofer).*



1

# MODELLREGION ELEKTROMOBILITÄT BREMEN/OLDENBURG: E-MOBILITÄT IM FLOTTENVERSUCH

Mobile Lösungen für die Welt von heute – so lautet das Ziel der Modellregion Elektromobilität Bremen/Oldenburg. Seit Juli 2009 arbeitet das Fraunhofer IFAM federführend an dem Aufbau neuer Mobilitätskonzepte. Die Durchführung und Auswertung von Flottenversuchen sowie eine Mobilitätsanalyse sind die Kernaufgaben. Die erste Projektphase wurde erfolgreich umgesetzt. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) hat die konsequente Fortsetzung und den Ausbau dieser Modellregion bereits beschlossen und neue Projekte bis 2014 bewilligt.

---

## Elektromobilität in Modellregionen

---

Um den Markthochlauf optimal vorzubereiten, sollte die alltags- und nutzerorientierte Demonstration in Modellregionen durchgeführt werden. Dafür wurde ein deutschlandweiter Wettbewerb ausgeschrieben, dessen Ergebnis die Auswahl von acht Modellregionen aus 130 Bewerbungen war. Dazu gehören sowohl Metropol- als auch Flächenregionen. Die Auswahl fiel auf Berlin/Potsdam, Hamburg, Bremen/Oldenburg, Rhein-Ruhr, Sachsen, Rhein-Main, Region Stuttgart und München. Auf die lokalen Gegebenheiten zugeschnitten, konnte in diesen Modellregionen die anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung optimal eingebunden werden. Dies geschah innerhalb der Regionen mit jeweils verschiedenen Schwerpunkten und einer Vielzahl unterschiedlicher Akteure. Insgesamt wurden in der ersten Phase der Modellregion Elektromobilität Bremen/Oldenburg von Oktober 2009 bis November 2011 25 Einzelprojekte mit über 30 Projektpartnern und assoziierten Partnern durchgeführt. Zahlreiche Menschen aus der Region konnten somit in den letzten zwei Jahren Elektroautos testen und »erfahren«, dass es Alternativen zum Ver-

brennungsmotor gibt, die sie leicht in den Alltag integrieren können.

---

## Die Projektleitstelle steuert und koordiniert auf regionaler Ebene

---

Koordiniert und wissenschaftlich begleitet wurde die Modellregion durch das Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM und das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH, die gemeinsam die »Regionale Projektleitstelle« (PLS) für die Modellregion Bremen/Oldenburg leiten. Die Projektleitstelle übernahm die Koordination des Gesamtprogramms auf regionaler Ebene und war direkter Ansprechpartner der vom BMVBS beauftragten »Nationalen Programmkoordinationsstelle« NOW GmbH. Von der Leitstelle aus wurden alle administrativen Prozesse des Vorhabens gesteuert. Zentrale Aufgaben der »Regionalen Projektleitstelle« waren:



- ▮ Verwaltung und Koordination des Gesamtvorhabens
- ▮ Berichterstattung an den nationalen Programmkoordinator
- ▮ Steuerung und Organisation der Partnerstruktur in der Modellregion
- ▮ Netzwerkaktivitäten, regional und überregional
- ▮ Schnittstelle zu Vertretern der Länder und Kommunen in der Modellregion
- ▮ Integration und Koordination von regionalen Akteuren
- ▮ Initiierung von weiteren Projekten im Rahmen der Modellregion

Die Länder Bremen und Niedersachsen sowie die Metropolregion Bremen/Oldenburg mit all ihren bestehenden Strukturen gewährleisteten das gezielte Zusammenwirken von kommunalen Einrichtungen, den beteiligten senatorischen Behörden, der Handelskammer Bremen und Oldenburg, bereits etablierten Netzwerken (z. B. Automotive NordWest) sowie insbesondere von Firmen und wissenschaftlichen Einrichtungen in der Region.

### Aufbau der Flottenversuche

Das Fraunhofer IFAM führte in zwei thematisch getrennten Flottenversuchen Erprobungen zur Alltagstauglichkeit der heute am Markt verfügbaren Elektrofahrzeuge durch. Zum einen wurde dabei untersucht, ob Fahrzeuge den Anforderungen gewerblich betriebener Fuhrparks genügen, zum anderen, ob sich die E-Fahrzeuge für ein »Privates Carsharing« eignen. Die zentrale Fragestellung lag dabei in den Restriktionen, die sich aus den Eigenschaften der Batterie, also in erster Linie der Kapazität und somit der Reichweite und der Ladedauer ergeben.

Zum Einsatz im Flottenversuch »gewerbliche Nutzung« kamen Zweisitzer, Viersitzer bzw. Viertürer sowie ein Kleinlaster. Die Fahrzeuge dienten zum Teil als Ergänzung eines vorhandenen

Fuhrparks neben konventionell angetriebenen Fahrzeugen (z. B. Bremer Straßenbahn AG); sie wurden aber auch in Firmen eingesetzt, bei denen ein E-Fahrzeug das einzige Dienstfahrzeug war (z. B. E-Werk Ottersberg). Ebenso waren die Fahrprofile unterschiedlich; während einige der Fahrzeuge nur in der Stadt (Bremen, Oldenburg) genutzt wurden, waren auch Fahrzeuge im ländlichen Raum unterwegs (Ottersberg, Wangerland). Das Spektrum der Nutzung war somit vielfältig, deckte die gesamte Nutzungspalette für den individuellen Personennahverkehr ab und erlaubte Rückschlüsse auf die generelle Eignung elektrisch angetriebener Fahrzeuge. Die Fahrzeuge sind mit Datenloggern ausgestattet, sodass neben der im Gesamtprojekt durchgeführten Befragung der Nutzer auch fahrzeugspezifische technische Daten sowie die Fahrprofile (GPS-Daten) erhoben werden konnten. Diese Daten wurden automatisiert an einen Server übermittelt und im Projekt »Intelligente Integration« verarbeitet und ausgewertet.

Das »Private Carsharing« wurde ebenfalls mit Zwei- und Viersitzer-Fahrzeugen durchgeführt. Zusätzlich zum obligatorischen Datenlogger wurde ein Teil der Fahrzeuge mit einem internetbasierten Buchungssystem ausgestattet, das den jeweiligen Nutzergruppen ermöglichte, ihr Fahrzeug dezentral zu managen. Die Nutzergruppen teilten sich wiederum in zwei Untergruppen ein: Nachbarn, mit einem festen Stellplatz im Wohngebiet und Betriebsgruppen mit einem festen Stellplatz am Arbeitsplatz.

Neben der Erprobung der Fahrzeuge wurde untersucht, inwieweit die Nutzer die Elektroautos als alltagstauglich einstufen und welche Erfahrungen mit der selbstorganisierten gemeinschaftlichen Nutzung der Fahrzeuge gemacht wurden.

- 1 *Elektromobil um die Welt.*
- 2 *Modelle aus der Fahrzeugflotte.*



3



4

	Typ	Geschwindigkeit	Batterie	Reichweite
Citroën Berlingo Electrique	2-Sitzer	110 km/h	NaNiCl 23,5 kWh	ca. 120 km
German E-Cars Stromos	4-Sitzer	120 km/h	Lithium-Ionen 19 kWh	ca. 100 km
E-Wolf Delta 1	4-Sitzer	110 km/h	Lithium-Ionen 14 kWh	ca. 105 km
Think Global AS Th!nk City	2-Sitzer	ca. 105 km/h	NaNiCl 23 kWh	ca. 160 km
Vectris VX-1	Motorrad	ca. 110 km/h	Lithium-Ionen	ca. 75 km
EcoCraft Automotive EcoCarrier	2-Sitzer	ca. 75 km/h	Blei-Gel	ca. 50 km

Tab. 1: E-Fahrzeuge im Einsatz für die Modellregion Elektromobilität Bremen/Oldenburg.

### Ergebnis der Flottenversuche: Nutzer bestätigen Alltagstauglichkeit

Insgesamt konnten für das Fraunhofer IFAM 27 Elektrofahrzeuge im Alltagsbetrieb getestet werden. Über 250 Fahrer haben sie für ihre täglichen Fahrten im Beruf und privat erfolgreich genutzt und konnten bisher mit einer kumulierten Gesamtstrecke von über 200 000 km – also fünfmal um den Erdball – die Alltagstauglichkeit der Elektrofahrzeuge erfahren. Zudem wurde über 800 Menschen durch eine Probefahrt ein erster Eindruck vom Elektrofahrzeug vermittelt.

In der Gesamtheit kamen 2476 Elektrofahrzeuge in den acht Modellregionen zum Einsatz. Die Daten aller Regionen wurden ausgewertet und ergaben ein aussagekräftiges Ergebnis [1]. Die Untersuchungen der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung ergaben, dass sich Elektrofahrzeuge für den privaten Einsatz erst mittelfristig in größerem Umfang durchsetzen werden. Perspektivisch bietet sich – aufgrund der

momentan noch geringen Reichweiten und hohen Ladezeiten – die Verwendung von Elektrofahrzeugen im Privatbereich für Stadtfahrten oder Berufspendler an. In ländlichen Gegenden war die positive Resonanz überraschend. Gründe dafür sind die zumeist vorhandene private Stellfläche mit Stromanschluss und die gute Planbarkeit der Pendlerstrecken, die zudem in der Regel innerhalb der Reichweite eines Ladezyklus lagen.

Besondere Aufmerksamkeit verdient ein weiteres Ergebnis der Nutzerbefragung: Als besonders zukunftsreich beurteilen die Testfahrer die Integration von elektrischen Fahrzeugen in breitere Mobilitätskonzepte, zum Beispiel in der Kombination mit ÖPNV oder als Carsharing. Das Elektroauto wird also nicht nur als Ersatz für den konventionellen Privatwagen, sondern auch als Teil einer nachhaltigen Mobilitätskette gesehen.

3 Solarladestation am Fraunhofer IFAM.

4 Testfahrerin für das private Carsharing  
(Foto: Markus Spiekermann).

Der innerstädtische gewerbliche Flottenbetrieb erscheint nach den vorliegenden Ergebnissen als ein großes Einsatzgebiet für Elektrofahrzeuge. Das liegt zum einen an der Planbarkeit und Kontinuität betrieblicher Fahrten mit regelmäßigem Fahr- und Ladebetrieb. Zum anderen lassen sich im Flottenbetrieb Spezialisierungen einzelner Fahrzeugtypen in weit größerem Maße berücksichtigen als etwa im privaten Einsatz.

Aus der detaillierten Auswertung der Einzelfahrten in den Modellregionen lassen sich zusammenfassende Aussagen zu Fahrtlängen, täglichen Gesamtfahrstrecken sowie Lademen- gen und -verhalten ableiten. Die Fahrtlängen konzentrierten sich auf kurze Distanzen. Jede zweite Fahrt blieb unter 3,6 km und nur jede neunte Fahrt führte über 30 km hinaus. Die durchschnittliche Fahrtstrecke betrug rund 7,3 km. Dabei waren die Hälfte aller Fahrten bereits nach rund 11 Minuten erledigt und knapp 90 Prozent der Fahrten nach einer halben Stunde. Die durchschnittliche Fahrtstrecke lag bei rund 17 Minuten. Geladen wurden in der Hälfte aller Ladevorgänge 3,5 kWh oder weniger und in 10 Prozent der Fälle 14,6 kWh oder mehr. Die durchschnittliche Lademenge betrug 5,5 kWh. Die Dauer der Ladevorgänge betrug in der Hälfte der Fälle bis 75 Minuten, dagegen in 10 Prozent der Fälle 3,5 Stunden und mehr. Die durchschnittliche Ladedauer lag bei rund 2,5 Stunden. Daraus lässt sich auf Grundlage der vorliegenden Datenbasis zusammenfassend ableiten, dass die Reichweite der Fahrzeuge keine Einschränkungen für ihre alltägliche Nutzung darstellten [1].

## Auftraggeber

Gefördert vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).



Koordiniert von der NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in Berlin.

## Projektpartner

Projektpartner der Modellregion Elektromobilität Bremen/Oldenburg:

- BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH, Bremen
- Bremer Energie Institut (BEI), Bremen
- Bremer Straßenbahn AG, Bremen
- CRIE Centre for Regional and Innovation Economics, Bremen
- Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, Bremen
- Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH DFKI, Bremen
- EWE AG, Oldenburg
- H<sup>2</sup>O e-mobile GmbH, Varel
- Jacobs University Bremen
- Move About GmbH, Bremen
- Offis e.V., Oldenburg
- swb AG, Bremen

## KONTAKT

*Dr.-Ing. Gerald Rausch*

*Telefon: +49 421 2246-242*

*gerald.rausch@ifam.fraunhofer.de*

## Institut

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und*

*Angewandte Materialforschung IFAM,*

*Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Bremen*

*Modellregion Elektromobilität Bremen/Oldenburg*

*Regionale Projektleitstelle*



# OXIDATIONSSCHUTZ FÜR METALLISCHE WERKSTOFFE

Oxidationsbeständige Schichten, die hohen Temperaturen standhalten, erweitern das Einsatzspektrum etablierter metallischer Werkstoffe um ein Vielfaches. Damit eröffnen sich neue Perspektiven beim Einsatz als Oxidations- und Korrosionsschutz, beispielsweise in Kraftwerken und Chemieanlagen.

## Herausforderung: Schutz vor Korrosion und Oxidation

Stähle und intermetallische Legierungen sind weltweit verbreitete Werkstoffe mit herausragenden Eigenschaften. Allerdings limitiert die Beständigkeit der reinen Materialien gegenüber korrosiven und oxidativen Angriffen deren Einsatzspektrum. Schäden durch Korrosion und Hochtemperaturoxidation verursachen hohe finanzielle Verluste z. B. bei den Betreibern von Kraftwerken und Chemieanlagen durch lange Stillstands- bzw. Wartungszeiten und die teilweise hohen Kosten bei der Ersatzteilbeschaffung.

## Hohe Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit von Schutzschichten

Eine Lösung für dieses Problem ist die Entwicklung von Schutzschichtsystemen, die auf das Metall aufgebracht werden können. Polymer abgeleitete keramische Materialien (PDC, Polymer-Derived Ceramic) in den Systemen  $\text{SiOC}$ ,  $\text{Si(B)CN}$  und  $\text{SiC}$  zeichnen sich durch eine hohe Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit aus. So sind zum Beispiel Materialien aus dem System  $\text{Si(B)CN}$  in Argon bis  $1600\text{ °C}$  temperaturstabil und bis  $1400\text{ °C}$  oxidationsbeständig. Aufgrund

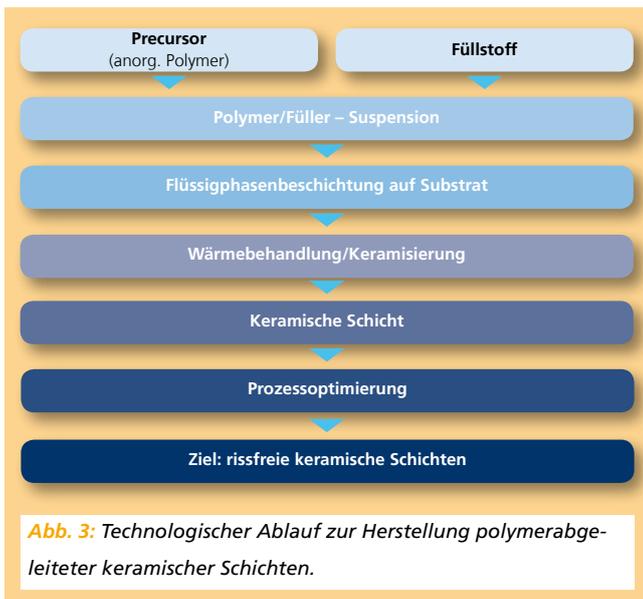
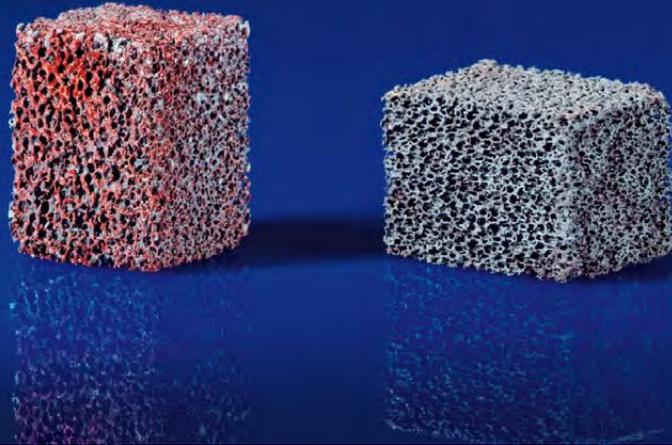
dieser Eigenschaften eignen sich derartige Materialien sehr gut für Beschichtungen für den Oxidations- und Korrosionsschutz.

## Aktuelle Forschungsbeispiele

Ausgangsstoffe für die Beschichtungen sind kommerziell erhältliche anorganische Polymere, wie Polysiloxane, Polysilazane oder Polycarbosilane, die durch einen thermischen Prozess in anorganische Festkörper umgewandelt werden. Diese polymerabgeleiteten Keramiken sind glasartig oder nanostrukturiert aufgebaut.

Die Beschichtung erfolgt über Flüssigphasenbeschichtung wie Tauch- oder Sprühbeschichtung. Der Vorteil der aus der Lacktechnik gut bekannten Beschichtungstechnologie im Vergleich zu PVD- oder CVD-Verfahren liegt in der Möglichkeit auch große Bauteile mit komplizierter Geometrie mit geringem technologischem Aufwand zu beschichten.

Im Beschichtungsprozess werden die Bauteile zunächst mit Lösungen oder Suspensionen der Ausgangspolymere beschichtet. Dadurch bildet sich auf der Oberfläche des Bauteils ein Polymerfilm aus, der über eine Temperaturbehandlung unter



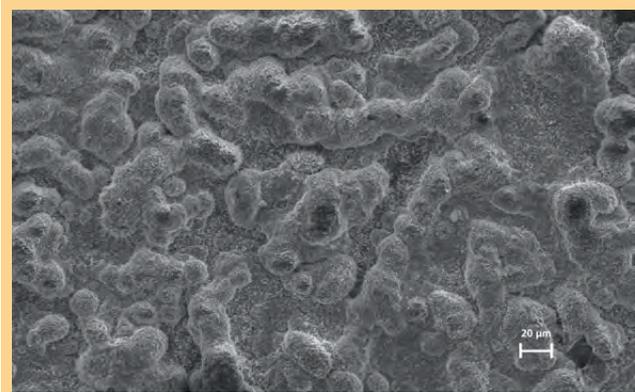
Schutzgas oder Luft thermisch zersetzt und so in die Polymerkeramik überführt wird.

In die Polymersuspensionen können auch noch Füllstoffe eingearbeitet werden, wie z. B.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , die zur Erhöhung der maximal erzeugbaren Schichtdicken bei Einfachbeschichtungen führen. Weiterhin können durch die Füllstoffauswahl Eigenschaften der Schicht wie Härte, thermische Ausdehnung, elektrische und thermische Leitfähigkeit usw. gezielt beeinflusst werden. In Abbildung 3 ist der technologische Ablauf zur Herstellung polymerabgeleiteter keramischer Schichten dargestellt.

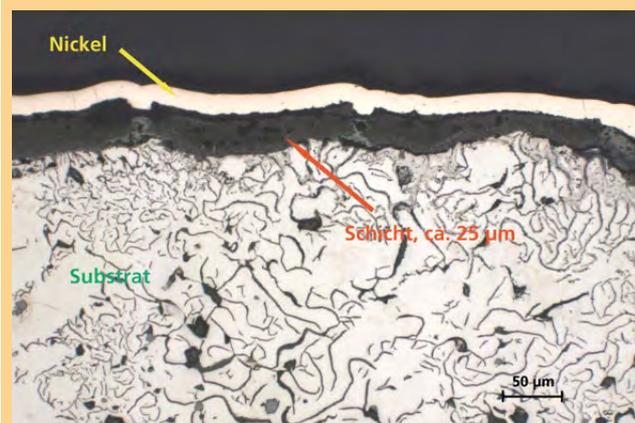
Untersuchungen zur Vorbehandlung der Substrate zeigten, dass eine ausreichende Oberflächenrauheit eine wichtige Voraussetzung für eine gute Schichthaftung ist. Aus diesem Grund wurde insbesondere für Baustahlbleche Sandstrahlen als notwendige Vorbehandlung gewählt.

Die so erzeugten Schichtsysteme haben eine Dicke von 12 bis 25  $\mu\text{m}$ . Sie sind dicht, riss- und porenfrei und passen sich sehr

gut der Oberfläche des Substrates an. Im Gitterschnitttest nach DIN EN ISO 2409 wurde ISO Kennziffer 0 erreicht. In den Abbildungen 4 und 5 wird als Beispiel eine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -gefüllte Schicht auf einem Baustahlsubstrat vorgestellt.



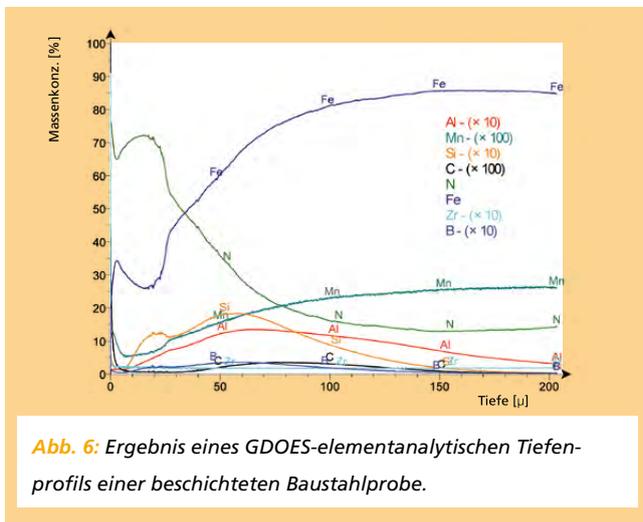
**Abb. 4: REM-Aufnahme einer  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -gefüllten Schicht auf einem Baustahlsubstrat.**



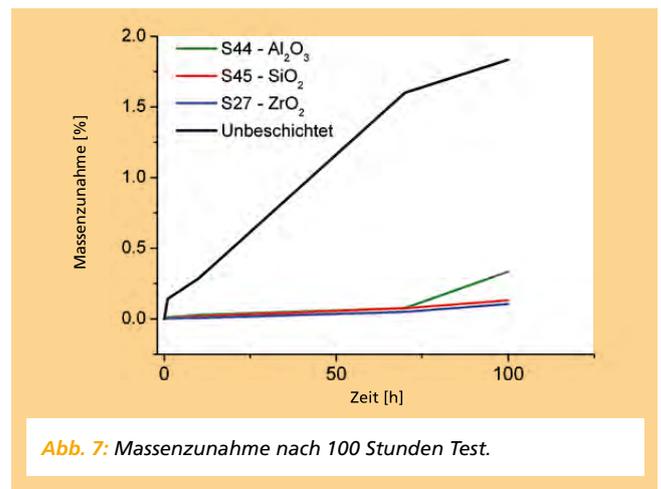
**Abb. 5:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -gefüllte Schicht auf einem Baustahlsubstrat: Querschliff, 900-fach vergrößert, Schichtdicke ca. 25  $\mu\text{m}$ .**

- 1  $\text{ZrO}_2$ -gefüllte  $\text{SiCN}$ -Schicht auf metallischen Hohlkugeln (316L).
- 2 Beschichteter (rechts) und unbeschichteter (links) offenzelliger Metallschaum nach Oxidationsversuch.

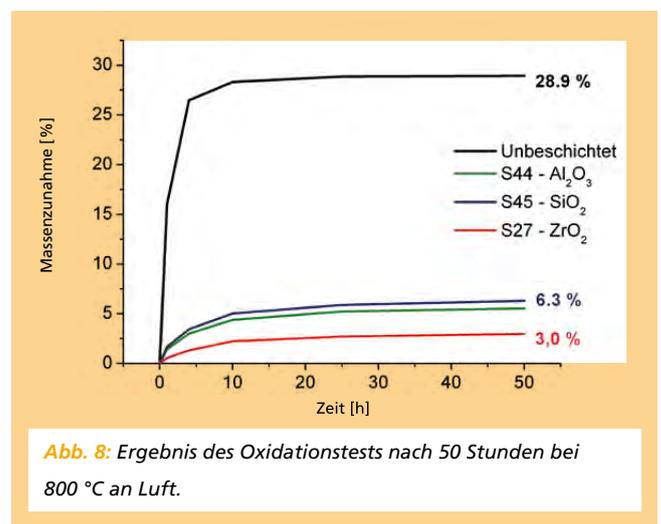
Elementanalytische Tiefenprofile beschichteter Baustahlproben durch GDOES (Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy) zeigen, dass es während der thermischen Behandlung zur Diffusion von Elementen aus der Schicht in das Substrat kommt. Dabei bildet sich eine Zwischenschicht zwischen Beschichtung und Substrat aus. Diese Zwischenschicht verringert zum einen die Unterschiede im thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Schicht und Substrat, zum anderen kommt es zur Ausbildung von direkten chemischen Bindungen zwischen den beiden. Folglich zeichnen sich derartige Beschichtungen durch eine sehr hohe Haftfestigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit, besonders im Vergleich mit physikalisch aufgetragenen keramischen Schichtsystemen, aus.



Zum Test der Betriebstauglichkeit der Schichtsysteme wurden die beschichteten Proben Oxidationstests bei 800 °C an Luft unterzogen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7 dargestellt. Nach den Oxidationstests zeigten die Schichten eine leichte Verfärbung, behielten aber ihre gute Haftfestigkeit. Risse oder Abplatzungen wurden nicht beobachtet. Die Oxidation (Massenzunahme) der unbeschichteten Probe ist ca. zwanzigfach höher als die der beschichteten Proben.



Unter ähnlichen Bedingungen wurden auch beschichtete, aus Carbonyleisenpulvern hergestellte offenzellige Metallschäume getestet. Aufgrund der großen Oberfläche der Metallschäume werden die Unterschiede zwischen beschichteten und unbeschichteten Proben besonders deutlich. Wie aus Abbildung 8 hervorgeht, kann auch die Oxidation der offenzelligen Metallschäume um das Zehnfache verringert werden.





Da FeCrAl-Stähle als Hochtemperaturmaterialien eingesetzt werden können, erfolgten die Oxidationstests auch an gesinterten Hohlkugelstrukturen aus diesem Material (1.4767 / CrAl 20-5) bei 1100 °C an Luft für 400 Stunden. Das Testergebnis (Abb. 10) zeigt, dass das unbeschichtete Material bereits nach 50 Stunden eine Massenzunahme aufweist, die nach 100 Stunden drastisch zunimmt. Nach 300 Stunden und einer Massenzunahme von mehr als 40 Prozent wurde das Experiment abgebrochen. Im Gegensatz dazu wird bei der beschichteten Probe nach einer geringen Massenzunahme zu Beginn des Experimentes nahezu Massenkonstanz über 400 Stunden beobachtet. Die Massenzunahme überstieg nie die Schwelle, die für die vollständige Oxidation des Aluminiums in der Legierung errechnet wurde.

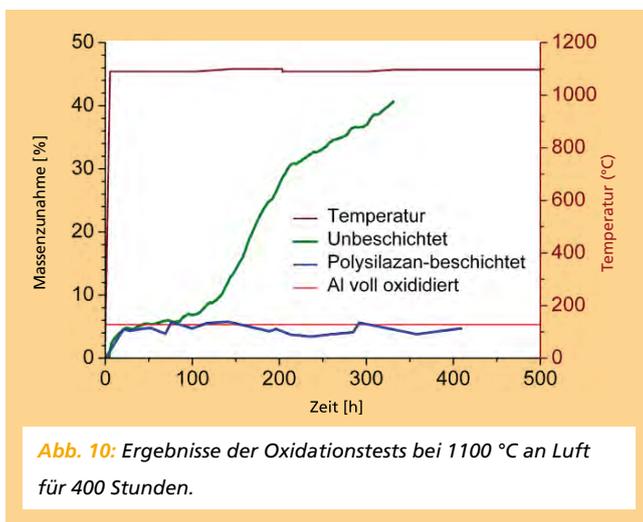


Abb. 10: Ergebnisse der Oxidationstests bei 1100 °C an Luft für 400 Stunden.

## Einsatzgebiete

Die aufgetragenen Hochtemperaturoxidationsschutzschichten eignen sich für viele verschiedene metallische Materialien und wurden z. B. erfolgreich an Grauguss und den Edelfstählen

316L und 430L getestet. Allerdings müssen für jeden Einsatzfall angepasste Schichtsysteme entwickelt und getestet werden.

Der Vorteil solcher Oxidationsschutzsysteme liegt in der Standzeitverlängerung von Bauteilen und Anlagen, der Möglichkeit zur Erhöhung von Betriebstemperaturen bei gleichem Materialeinsatz oder dem Einsatz von weniger oxidationsbeständigen und daher preiswerteren Stählen bei gleichen Einsatzbedingungen. Anwendungsgebiete für derartige Schichtsysteme finden sich in Kraftwerken, Chemieanlagen und in der Metallurgie. Derzeit werden diese Oxidationsschutzsysteme in Müllverbrennungsanlagen getestet.

## KONTAKT

Dr. Ralf Hauser

Telefon: +49 351 2537-373

ralf.hauser@ifam-dd.fraunhofer.de

### Institut

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und

Angewandte Materialforschung IFAM,

Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Dresden

9 Halterungen für SiC-Verkleidung in Verbrennungskesseln für Müllkraftwerke: Al-Oxid gefüllte SiCN-Schicht, Zr-Oxid gefüllte SiCN-Schicht, ungefülltes SiCN (von links nach rechts).

Multifunktionelle  
Materialien  
und Technologien  
»MultiMaT«  
Bremen





## BREMER INNOVATIONSCLUSTER: MULTIFUNKTIONELLE MATERIALIEN UND TECHNOLOGIEN »MULTIMAT«

Seit nunmehr vier Jahren kooperieren Wirtschaft und Wissenschaft der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Innovationscluster »MultiMaT« und erarbeiten gemeinsam Werkstofflösungen für die Schlüsselbranchen Automotive, Windenergie und Luft- und Raumfahrt. In dieser Zeit hat sich ein ausgezeichnetes Netzwerk gebildet und die Forschungsergebnisse des Innovationsclusters bilden die Basis für weitere interessante Innovationen. Finanziert wurde »MultiMaT« vom Land Bremen aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung EFRE, von der Fraunhofer-Gesellschaft und von einem Industriekonsortium.

### Der Bremer Innovationscluster »MultiMaT«

Bremen ist ein Industriestandort, der durch wichtige Industriezweige wie Flugzeugbau, Raumfahrt, Automobilbau, Schiffbau, Logistik, Windenergieanlagenbau und maritime Technologien geprägt ist. Für diese Firmen stellen permanente Innovationen in den Werkstofftechnologien eine unabdingbare Voraussetzung für ihre mittel- und langfristige internationale Wettbewerbsfähigkeit dar. Dieses gilt umso mehr für die von den Hochtechnologie-Unternehmen abhängigen Zulieferer und Dienstleistungsunternehmen. Um einen Wettbewerbsvorsprung zu halten und auszubauen, ist es erforderlich, technologische und strukturelle Vorteile in Form von Alleinstellungsmerkmalen gegenüber den Wettbewerbern unter einem steten Zeitdruck zu entwickeln. Dazu benötigen die Firmen eine sehr effiziente und innovative Zulieferer-,

Forschungs-, Entwicklungs- und Dienstleistungsinfrastruktur, auf die sie jederzeit schnell und flexibel zugreifen können.

Weit über 40 Partner sind dem Cluster beigetreten. Innerhalb der Pilotprojekte wurden Fragestellungen zu Sensoren zum Einsatz im Offshore-Bereich, miniaturisierte Sensorik und Sensorintegration sowie langzeitbeständige funktionelle Oberflächen und Fügen von Faserverbundstrukturen sowie zahlreiche bilaterale Projekte aus diesen Themenbereichen bearbeitet.

Der Cluster gliedert sich in einen engeren Kern mit 25 Vollmitgliedern aus Forschung und Industrie, die aktiv wissenschaftliche Fragestellungen in den Themengebieten der fünf Pilotprojekte bearbeiten. Darüber hinaus gibt es noch den etwas weiteren Kreis aus sogenannten assoziierten Mitgliedern, die

1 Siebgedrucktes Thermoelement: Leitbild von »MultiMaT«.



2

Struktur	Inhalte	Ergebnisse	Wirkung
Land Bremen finanziert	Grundlagenforschung	Offener Austausch für Vollmitglieder und assoziierte Mitglieder Workshops	Beschleunigte Innovationsprozesse Zusammenarbeit im Cluster Querschnitts-Know-how Ideenentwicklung
Fraunhofer-Gesellschaft finanziert	Methoden- und Prozessentwicklung	Projekttreffen Veröffentlichungen Berichte	Netzwerkbildung - neue Kooperationen - neue Geschäftsbeziehungen Vereinfachter Zugang zu F+E-Dienstleistungen
Industrie finanziert	Spezifische anwendungsbezogene Entwicklungen	Produktbezogene Umsetzung für Vollmitglieder	Wettbewerbsvorteile Neue / verbesserte Produkte Patente, Lizenzen

Tab. 1: Struktur des Innovationsclusters »MultiMaT«.

zwar zurzeit nicht aktiv in die Projektarbeit eingebunden sind, aber regelmäßig über die Aktivitäten im Cluster informiert und in die Netzwerkarbeit des Clusters eingebunden werden.

### Highlights aus den »MultiMaT«-Pilotprojekten

#### Wirksame Anti-Eis-Beschichtung für Raketenträgersysteme

Im Rahmen des Projekts »MultiMaT« wurde in enger Kooperation zwischen dem Fraunhofer IFAM, EADS/Astrium und dem Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation ZARM eine Studie durchgeführt, welche sich dem Problem der Vereisung von Ariane-Trägerraketen widmet. Im ersten Schritt dieser Kooperation ist eine Expertise erstellt worden, in der mögliche Technologien für Anti-Eis-Beschichtungen für Raketenträgersysteme erarbeitet wurden. Es konnte eine Übersicht über die verfügbaren Anti-Eis-Beschichtungen gewonnen werden, die sich für dieses spezielle Problem eig-

nen. In ersten Vereisungstests sind die vielversprechendsten Materialien hinsichtlich ihrer Anti-Eis-Wirkung und dem Eis-Anhaftungsverhalten getestet worden. Es konnte gezeigt werden, dass keine kommerziell verfügbare Beschichtung die harten Anforderungen dieser Tests erfüllen kann.

Auf Basis der gewonnenen Ergebnisse wurde am Fraunhofer IFAM ein modellartiger neuartiger Beschichtungsstoff entwickelt, welcher hervorragende Ergebnisse in den Vereisungstests am ZARM zeigte. Sowohl eine wesentlich geringere Eis-anhaftung als auch eine verringerte Eisbildung kann durch das temporäre Coating erzielt werden. In weiteren Tests, in denen die Startphase des Ariane-Systems simuliert wurde, konnte ein sehr leichtes Ablösen des Eises aufgezeigt werden.

#### Materialprüfung auf hoher See

Windenergieanlagen an Offshore-Standorten unterscheiden sich in vielen technischen Details von den Anlagen an Land. Die Außenwände von Turm, Gondel und Rotorblättern werden mit speziellen Beschichtungen gegen den hohen Salzgehalt von Luft und Wasser geschützt, elektrische Kontakte und mechanische Komponenten müssen ebenfalls besonders geschützt werden. Bei der Wartung und Instandhaltung kann die Anwendung bzw. Verwendung der richtigen Materialien, Techniken und Verfahren bedeutende Einsparungen möglich machen.

Werden Materialien zum ersten Mal im Offshore-Bereich eingesetzt, ist eine erneute Untersuchung der Lebensdauer und Ermüdung am Einsatzort erforderlich. Die Kombination der Einflussfaktoren auf See ergibt ein Lastkollektiv, welches

2 Ariane-5-Rakete beim Start (© ESA-CNES-ARIANESPACE/ Optique Vidéo du CSG).

3 Anbringung der Sensorproben an einem Auslagerungsstandort (© Fraunhofer IWES).





zukünftig durch eine Kombination von Untersuchungen im Labor und im Meer simuliert werden soll. Allerdings unterscheiden sich die spezifischen Belastungen von Standort zu Standort. Daher müssen die Feldversuche ein breites Spektrum an möglichen Anwendungsstandorten mit jeweils spezifischem Belastungspotenzial abdecken.

Die Wissenschaftler des Fraunhofer IWES nutzten vier Auslagerungsstandorte: Helgoland Westmole, Leuchtturm »Alte Weser«, Hörnum auf Sylt und in der Jade bei Wilhelmshaven. Im Dezember 2008 wurden über 30 Stahlbleche mit verschiedenen Sensorproben im sogenannten »Wechselwasserbereich« (Tidenzone) auf Helgoland ausgebracht. Mindestens zweimal pro Jahr wurden sie geborgen und im Labor auf Schädigungen untersucht. Um einen Teil der Sensoren über eine UMTS-Verbindung jederzeit auf Funktion und Abweichungen vom erwarteten Verhalten überprüfen zu können, wurde ein Echtzeitmesssystem auf der Westmole installiert.

### Neue Generation von Dünnschichtsolarzellen für transparente Dach- und Fassadenkonstruktionen

Das Fraunhofer IFAM entwickelte gemeinsam mit der Firma Vector Foiltec GmbH flexible Solarzellen, die sich z. B. auch auf Kunststofffolien aus dem Hightech-Material ETFE (Ethylen-Tetrafluorethylen) aufbringen lassen. Grundlage für diesen innovativen Ansatz ist dabei ein neuartiges Halbleitermaterial, welches die Universität Oldenburg entwickelt hat: Es ist frei von dem in vielen Materialien enthaltenen und sehr teuren Rohstoff Indium und verspricht darüber hinaus eine hohe Effizienz der Solarzellen.

Im Innovationscluster »MultiMaT« arbeiteten die Vector Foiltec GmbH, das Fraunhofer IFAM und die Universität Oldenburg Hand in Hand, um dieses neue Material gemeinsam zu neuen Dünnschichtsolarzellen zu entwickeln. Von den neuen Dünnschichtsolarzellen verspricht sich die Vector Foiltec GmbH zahlreiche Vorteile, insbesondere die bisher für die Verschatt-

ung von Innenräumen auf die Folie applizierte passive Bedrückung mit aktiven Strukturen zur Nutzung der solaren Energie zu ersetzen.

Im Rahmen des Innovationsclusters »MultiMaT« konnte das innovative Halbleitermaterial der Universität Oldenburg bereits erfolgreich zu ersten Solarzellen verarbeitet werden. Durch die Kooperation der drei Partner wird die Leistungsfähigkeit nun gemeinsam weiter vorangetrieben und spezifisch auf die Anforderungen der Vector Foiltec GmbH entwickelt. Das Ziel der gemeinsamen Kooperation sind Lösungen zur Integration von Dünnschichtsolarzellen in attraktive und nachhaltige Konstruktionen der Folienarchitektur, die dann in naher Zukunft großflächig an verschiedenen Bauten realisiert sein werden.

### Qualitätsgesichertes Kleben von CFK-Komponenten

Ziel des Projekts »Fügen von Faserverbundstrukturen« war die Erarbeitung notwendiger material- und fertigungstechnischer Grundlagen, welche für die Einführung einer durchgängigen Prozesskette zur automatisierten und qualitätsgesicherten langzeitbeständigen klebtechnischen Verbindung von carbonfaserverstärkten (CFK-)Bauteilen erforderlich sind. So konnte ein grundlegendes Verständnis über die in diesen Klebungen herrschenden Adhäsionsmechanismen erarbeitet werden sowie Maßnahmen zu deren gezielter Steuerung bzw. Optimierung entwickelt werden. Insbesondere die Umgebungsbedingungen während der Applikation pastöser Zweikomponentenepoxidklebstoffe entscheiden über die Qualität und Langzeitstabilität der resultierenden CFK-Klebung.

Als weiterer Schlüsselfaktor zur Gewährleistung hoher Festigkeiten von CFK-Klebung hat sich der Oberflächenzustand

4 *Fassade: »Projekt Eden« in Cornwall, GB (© Vector Foiltec GmbH).*

5 *National Swimming Center, Peking (© Vector Foiltec GmbH).*



der CFK-Bauteile vor dem Klebstoffauftrag erwiesen. Die herstellungsbedingte Kontamination der CFK-Oberflächen durch Produktionshilfsstoffe wie Trennmittel führt bei mangelnder Oberflächenvorbehandlung zu adhäsivem Versagen der Klebverbindung. Hier gilt es, entweder geeignete Trennhilfsmittel bereits bei der Herstellung der CFK-Komponenten auszuwählen oder Oberflächenvorbehandlungsverfahren so zu kombinieren, dass eine restlose Entfernung dieser Trennmittel gewährleistet wird.

Der Oberflächenzustand wird durch den Aerosol-Wetting-Test überwacht, der in der Produktionslinie die Benetzungseigenschaften der Bauteiloberflächen charakterisiert. Entwickelt wurde das Verfahren am Fraunhofer IFAM in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen OptoPrecision. Dieses Verfahren konnte innerhalb des Innovationsclusters »MultiMaT« weiterentwickelt und evaluiert werden.

---

## Fazit

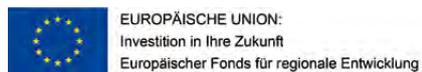
---

Sowohl von der inhaltlichen Umsetzung der wissenschaftlichen Ergebnisse als auch von dem Grad der Vernetzung zwischen Wirtschaft und Wissenschaft ist der Cluster ein Erfolg für die Metropolregion Bremen-Oldenburg und für alle beteiligten Partner. Das Netzwerk bleibt auch über den Förderzeitraum hinaus bestehen.

## Auftraggeber

Gefördert vom Land Bremen aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung EFRE, der Fraunhofer-Gesellschaft und einem Industriekonsortium.

Förderzeitraum: 1.1.2008–31.12.2011



## KONTAKT

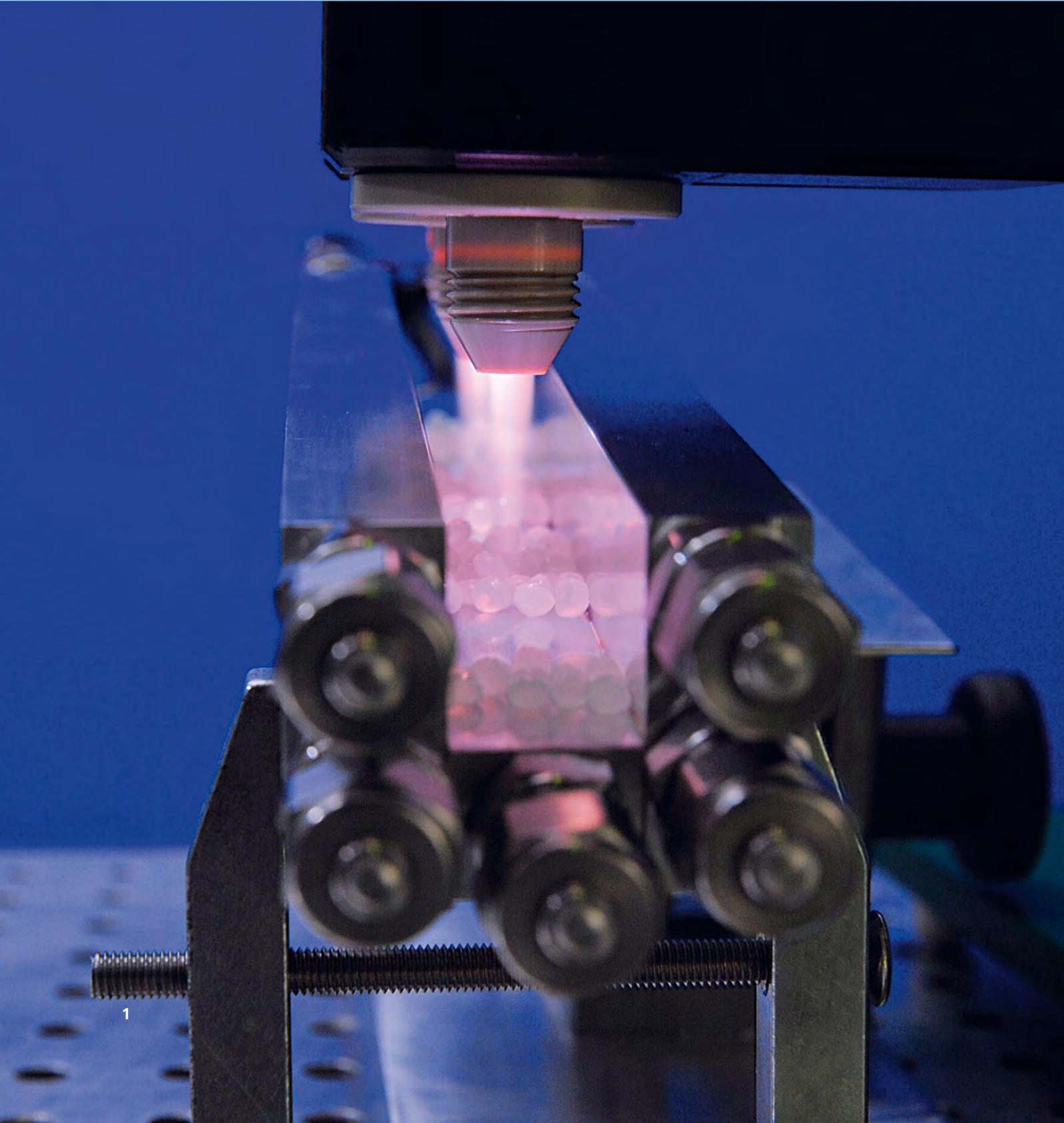
*Geschäftsstelle Innovationscluster »MultiMaT«  
clo Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik  
und Angewandte Materialforschung IFAM  
Wiener Straße 12 | 28359 Bremen*

*Dr.-Ing. Frank Petzoldt  
Telefon: +49 421 2246-134  
frank.petzoldt@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. Michael Wolf  
Telefon: +49 421 2246-640  
michael.wolf@ifam.fraunhofer.de*

**6** *Untersuchung der Benetzungseigenschaften von Oberflächen mithilfe der Aerosol-Benetzungsprüfung.*

# KLEBTECHNIK UND OBERFLÄCHEN





## KOMPETENZEN UND KNOW-HOW

Der Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM ist die europaweit größte unabhängige Forschungseinrichtung auf dem Gebiet der industriellen Klebtechnik mit circa 300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Im Mittelpunkt stehen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Klebtechnik, der Oberflächentechnik und der Faserverbundtechnologie mit dem Ziel, der Industrie anwendungsorientierte Systemlösungen zu liefern.

Multifunktionale Produkte, Leichtbau und Miniaturisierung – erreicht durch die intelligente Kombination von Werkstoffen und Fügeverfahren – bieten neue Möglichkeiten, die vom Bereich Klebtechnik und Oberflächen realisiert werden. Die Aktivitäten reichen von der Grundlagenforschung über die Fertigung bis zur Markteinführung neuer Produkte. Industrielle Einsatzfelder sind überwiegend der Transportmittel- und Anlagenbau, die Energietechnik, die Verpackungs-, Textil- und Elektroindustrie sowie die Mikrosystem- und Medizintechnik.

Das Tätigkeitsfeld Klebtechnik umfasst die Entwicklung und Charakterisierung von Klebstoffen und Matrixharzen für Faserverbundwerkstoffe, die beanspruchungsgerechte konstruktive Auslegung und Simulation von Kleb-, Niet- und Hybridverbindungen sowie deren Charakterisierung, Prüfung und Qualifizierung. Planung und Automatisierung der industriellen Fertigung der Verbindungen ergänzen diese Arbeiten. Prozessreviews sowie zertifizierende Weiterbildungen im Kontext Klebtechnik und Faserverbundtechnologie runden das Profil ab.

Das Tätigkeitsfeld Oberflächentechnik gliedert sich in die Gebiete Plasmatechnik, Lacktechnik sowie Adhäsions- und Grenzflächenforschung. Maßgeschneiderte Oberflächenmodifizierungen – wie Oberflächenvorbehandlungen und funktionelle Beschichtungen – erweitern das industrielle Einsatzspektrum vieler Werkstoffe deutlich oder machen deren technische Verwendung überhaupt erst möglich. Die Optimierung der Langzeitbeständigkeit von Klebungen und Beschichtungen

inklusive Früherkennung von Degradations- und Korrosionserscheinungen sowie Validierung von Alterungsprüfungen und prozessintegrierte Oberflächenkontrolle stehen hier u. a. im Fokus. Die Forschungsergebnisse im Kontext Alterung und Oberflächenvorbehandlungen stellen sowohl für die Klebtechnik als auch für die Beschichtungstechniken relevantes Basiswissen dar – so werden Klebverbindungen und Beschichtungen sicherer und zuverlässiger.

Mit der Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM im Forschungszentrum CFK Nord in Stade baut das Fraunhofer IFAM seine Aktivitäten hinsichtlich Großstrukturen aus faserverstärkten Kunststoffen (FVK; z. B. CFK oder GFK, d. h. carbon- oder glasfaserverstärkter Kunststoff) zukunftsweisend aus – Fügen, Montieren, Bearbeiten, Reparieren und zerstörungsfreies Prüfen von FVK-Großstrukturen im 1:1-Maßstab. Dadurch wird auf dem Arbeitsgebiet FVK-Technologie die Lücke zwischen Labor- bzw. Technikumsmaßstab und industrieller Anwendung geschlossen.

Sämtliche Kernkompetenzen aus den genannten Arbeitsgebieten der Klebtechnik, Plasmatechnik, Lacktechnik, Adhäsions- und Grenzflächenforschung sowie der Fraunhofer FFM fließen

- 1 *Atmosphärendruck-Plasmabehandlung von temperatursensitiven Schüttgütern, wie z. B. Kunststoffkleinteile, Saatgut.*
- 2 *Vergießen eines elektronischen Bauteils.*

in die FuE-Aktivitäten im Kontext Faserverbundtechnologie ein. In diesem Tätigkeitsfeld wird zudem intensiv von der Matrixharzentwicklung über die Faser-Matrix-Haftung sowie die Be- und Verarbeitung von FVK bis hin zu neuen Fertigungsverfahren zur Herstellung von FVK gearbeitet. Dimensionierungen von Verbindungen, Prozessentwicklung und automatisierte Montage großer FVK-Strukturen vervollständigen das Portfolio.

Der gesamte Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen ist nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert, die Prüflaboratorien Werkstoffprüfung, Korrosionsprüfung und Lacktechnik sind zusätzlich nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert. Das Klebtechnische Zentrum ist über DVS-PersZert® nach DIN EN ISO/IEC 17024 als akkreditierte Personalqualifizierungsstelle für die klebtechnische Weiterbildung international anerkannt. Es ist gemäß der Anerkennungs- und Zulassungsverordnung Weiterbildung (AZWV) zugelassen. Das Kunststoff-Kompetenzzentrum ist auch nach AZWV zugelassen und erfüllt die Qualitätsanforderungen der DIN EN ISO/IEC 17024. Die »Anerkannte Stelle« für das Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen ist nach DIN 6701-2 und in Anlehnung an DIN EN ISO/IEC 17021 durch das Eisenbahn-Bundesamt akkreditiert.

---

### Perspektiven

---

Die Industrie stellt an die Prozesssicherheit bei der Einführung neuer Technologien sowie bei der Modifizierung bereits genutzter Technologien hohe Anforderungen. Sie sind für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen maßgebend und richtungweisend. Gemeinsam mit den Auftraggebern werden innovative Produkte entwickelt, die anschließend von den Unternehmen erfolgreich auf den Markt gebracht werden. Die Fertigungstechniken spielen dabei eine immer wichtigere Rolle, weil die hohe Qualität und die Reproduzierbarkeit der Fertigungsprozesse wesentliche Voraussetzungen für den Markterfolg sind.

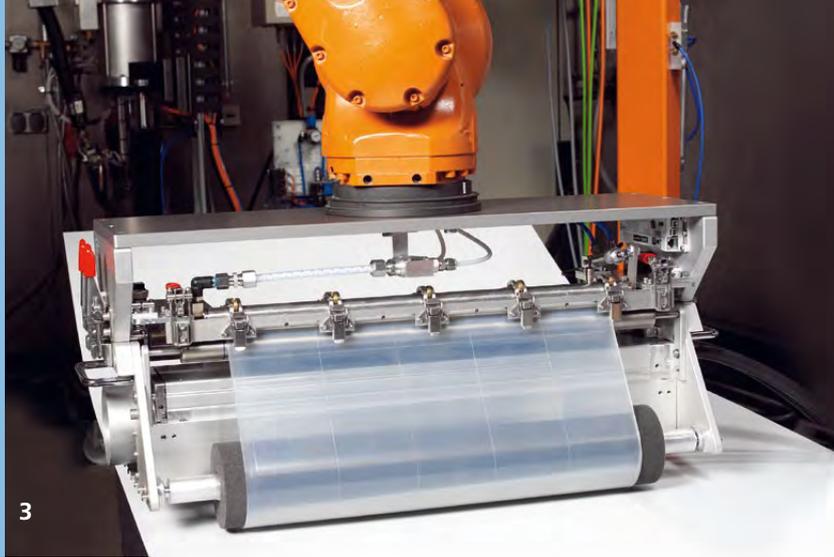
So ist die Klebtechnik im gesamten Fahrzeugbau eine schon länger eingeführte Technologie, deren Potenzial jedoch noch nicht voll ausgeschöpft wird. Leichtbau für den ressourcenschonenden Transport, Kleben in der Medizin und der Medizintechnik sowie der Einsatz von nanoskaligen Materialien bei der Klebstoffentwicklung sind nur einige Beispiele für die breit gefächerten Tätigkeiten des Instituts.

Um weitere Branchen für die Klebtechnik zu gewinnen, gilt für alle Arbeiten der Anspruch: Der Prozess Kleben und das geklebte Produkt sollen noch sicherer werden! Dieses Ziel lässt sich nur erreichen, wenn alle Stufen der klebtechnischen Fertigung bei der Herstellung von Produkten zusammengefasst und einer ganzheitlichen Betrachtung unterzogen werden.

Dazu gehören:

- Anwendungsspezifische Klebstoffauswahl und -qualifizierung, gegebenenfalls -modifizierung
- Klebgerechte Gestaltung und Auslegung von Strukturen mit numerischen Methoden (z. B. FEM)
- Vorbehandlung der Oberflächen und Erarbeitung von Korrosionsschutzkonzepten
- Entwicklung klebtechnischer Fertigungsschritte mittels Simulation und Integration in den Fertigungsablauf der Produkte
- Auswahl und Dimensionierung der Applikationseinrichtungen
- Klebtechnische Personalqualifizierung aller, die an der Entwicklung und Fertigung von Produkten beteiligt sind, und in der Faserverbundtechnologie für die ausführende Ebene

In allen Bereichen setzt das Fraunhofer IFAM verstärkt auf rechnergestützte Methoden. Beispielhaft sind hier die numerische Beschreibung von Strömungsvorgängen in Dosierpumpen/-ventilen und die Multiskalen-Simulation von der Molekular-Dynamik bis hin zu makroskopischen Finite-Elemente-Methoden bei der numerischen Beschreibung von Werkstoffen und Bauteilen zu nennen.



Verschiedene spektroskopische, mikroskopische und elektrochemische Verfahren geben einen Einblick in die Vorgänge bei der Degradation und Korrosion von Werkstoffverbunden. Mit diesen »instrumentierten Prüfungen« und begleitenden Simulationsrechnungen werden im Fraunhofer IFAM Erkenntnisse gewonnen, die empirische Testverfahren auf der Basis von standardisierten Alterungs- und Korrosionstests nicht bieten.

Weitere wichtige Fragestellungen für die Zukunft lauten: Wo und wie wird in der Natur geklebt? Was können wir daraus für die industrielle Klebtechnik lernen? Untersucht wird bereits der Weg von der Bioadhäsion auf molekularer Ebene bis zu medizinischen Klebstoffen mit Proteinbestandteilen.

Der Anspruch, Prozesse und Produkte noch sicherer zu machen, wird jedoch nicht nur auf die Klebtechnik beschränkt. Er gilt genauso für die Plasma- und Lacktechnik.

Branchen mit hohen Ansprüchen an die Oberflächentechnik greifen auf das hohe technologische Niveau des Instituts zurück. Deshalb zählen auf diesem Gebiet namhafte Unternehmen – insbesondere aus dem Flugzeug- und Automobilbau – zu den Auftraggebern.

### Arbeitsschwerpunkte

- Formulierung und Erprobung neuer Polymere für Klebstoffe, Laminier-/Gießharze, bis hin zur industriellen Einführung
- Entwicklung von Zusatzstoffen (Nanofüllstoffen, Initiatoren etc.) für Klebstoffe
- Synthese von Polymeren mit Überstruktur und Biopolymeren
- Computergestützte Materialentwicklung mit quanten-/molekularmechanischen Methoden
- Entwicklung und Qualifizierung klebtechnischer Fertigungsprozesse
- Entwicklung innovativer Verbindungskonzepte, z. B. für den Fahrzeug- und Flugzeugbau (Kleben, Hybridfügen)
- Applikation von Kleb-/Dichtstoffen, Vergussmassen (Mischen, Dosieren, Auftragen)
- Kleben in der Mikrofertigung (z. B. Elektronik, Optik, Adaptionik)
- Rechnergestützte Fertigungsplanung
- Ökonomische Aspekte der Kleb-/Hybridfügetechnik
- Konstruktive Gestaltung geklebter Strukturen (Simulation des mechanischen Verhaltens geklebter Verbindungen und Bauteile mithilfe der Methode der Finiten Elemente, Prototypenbau)
- Entwicklung industrietauglicher, umweltverträglicher Vorbehandlungsverfahren für das langzeitbeständige Kleben und Lackieren von Kunststoffen und Metallen
- Funktionelle Beschichtungen durch Plasma- und Kombinationsverfahren
- Prüfung und Qualifizierung von Beschichtungsstoffen, Rohstoffen und Lackierverfahren
- Entwicklung funktioneller Lacke für Spezialanwendungen
- Entwicklung von Spezialprüfverfahren (z. B. Bildung und Haftung von Eis auf Anti-Eis-Beschichtungen)

**3** *Das Riblet-Lacksystem aus dem Fraunhofer IFAM: Der reibungswiderstandreduzierende Lack wird von dem Rollenapplikator automatisch auf ein Bauteil aufgetragen.*

- Kennwertermittlung, Schwing- und Betriebsfestigkeit von Kleb- und Hybridverbindungen
- Werkstoffmodellgesetze für Klebstoffe und polymere Werkstoffe (quasi-statisch und Crash)
- Bewertung von Alterungs- und Degradationsvorgängen in Materialverbunden
- Elektrochemische Analytik
- Bewertung und Entwicklung neuer Korrosionsschutzsysteme
- Analyse klebtechnischer Entwicklungs- und Fertigungsprozesse
- Qualitätssicherungskonzepte für kleb- und lacktechnische Anwendungen durch fertigungsintegrierte Analyse von Bauteiloberflächen
- Lehrgänge – national und international – zum European Adhesive Bonder – EAB (Klebpraktiker/-in), European Adhesive Specialist – EAS (Klebfachkraft) und European Adhesive Engineer – EAE (Klebfachingenieur/-in)
- Lehrgänge zur/zum Faserverbundkunststoff-Praktiker/in (FVK-Praktiker/in) und Faserverbundkunststoff-Instandsetzer/in (FVK-Instandsetzer/in)

# ARBEITSGEBIETE UND ANSPRECHPARTNER

## Institutsleiter

Prof. Dr. rer. nat. Bernd Mayer  
Telefon +49 421 2246-419  
bernd.mayer@ifam.fraunhofer.de

## Klebtechnische Fertigung

Dipl.-Ing. Manfred Peschka MBA  
Telefon +49 421 2246-524  
manfred.peschka@ifam.fraunhofer.de  
Fertigungsplanung; Dosier- und Auftragstechnik; Automatisierung; Hybridfügen; Fertigung von Prototypen; Auswahl, Charakterisierung, Qualifizierung von Kleb-, Dicht- und Beschichtungsstoffen; Schadensanalyse; elektrisch/optisch leitfähige Kontaktierungen; adaptive Mikrosysteme; Dosieren kleinster Mengen; Eigenschaften von Polymeren in dünnen Schichten; Fertigungskonzepte.

- Mikrosystem- und Medizintechnik
- Klebstoffe und Analytik
- Prozessentwicklung und Simulation
- Applikationsverfahren

## Plasmatechnik und Oberflächen PLATO

Dr. Ralph Wilken  
Telefon +49 421 2246-448  
ralph.wilken@ifam.fraunhofer.de  
Oberflächenmodifizierung (Reinigung, Aktivierung für z. B.

Kleben, Bedrucken, Lackieren) und Funktionsschichten (z. B. Haftvermittlung, Trennschicht, Easy-to-clean, Korrosionsschutz, Permeationsbarriere, Abrasionsschutz, Reibminderung, antimikrobielle Wirkung) für 3-D-Teile, Schüttgut, Bahnware; Anlagenkonzepte und Pilotanlagenbau.

- Atmosphärendruck-Plasmatechnik
- Niederdruck-Plasmatechnik
- VUV-Excimer-Technologie
- Neue Oberflächentechnologien
- Anlagentechnik/Anlagenbau

## Klebstoffe und Polymerchemie

Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig  
Telefon +49 421 2246-470  
andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de  
Entwicklung und Charakterisierung von Polymeren; Nanokomposite; Formulierung von Klebstoffen, Matrixharzen und Funktionspolymeren; vorbeschichtbare Klebstoffe; Leitklebstoffe; Verbesserung der Langzeitbeständigkeit; Kleben ohne Vorbehandlung (Polyolefine, Leichtmetalle, beölte Bleche mit 2K, thermoplastische Komposite); Photohärtung; Härtung bei niedriger Temperatur, aber langer offener Zeit; Curing on Demand; Schnellhärtung; Haftklebstoffe; Vergussmassen; Auswahl und Qualifikation von Klebstoffen; Versagensanalyse; Klebstoffe auf Basis natürlicher Rohstoffe; Peptid-Polymer-Hybride; Kleben in der Medizin; biofunktionalisierte und biofunktionale Oberflächen.

- Klebstoffformulierung
- Verbundwerkstoffe
- Bioinspirierte Materialien

---

## Lacktechnik

---

Dr. Volkmar Stenzel

Telefon +49 421 2246-407

volkmar.stenzel@ifam.fraunhofer.de

Entwicklung von Funktionsbeschichtungen, z. B. Anti-Eis-Lacke, Anti-Fouling-Systeme, schmutzabweisende Systeme, selbstheilende Schutzbeschichtungen, strömungsgünstige Beschichtungen; Rezepturoptimierung (Nass- und Pulverlacke); Rohstoffuntersuchung; Entwicklung von Richtrezepturen; Charakterisierung und Qualifizierung von Lacksystemen sowie Rohstoffen; Produktfreigaben; Farbmanagement; Optimierung von Beschichtungsanlagen; Qualifizierung von Beschichtungsanlagen (Vorbehandlung, Applikation, Trocknung); Schadensuntersuchungen; anwendungsbezogene Methodenentwicklung; akkreditiertes Prüflabor Lacktechnik.

- Entwicklung von Beschichtungsstoffen und Funktionsbeschichtungen
- Anwendungs- und Verfahrenstechnik

---

## Adhäsions- und Grenzflächenforschung

---

Dr. Stefan Dieckhoff

Telefon +49 421 2246-469

stefan.dieckhoff@ifam.fraunhofer.de

Analyse und Entwicklung grenzflächenbestimmter Prozesse, Technologien und Materialien; Oberflächen-, Grenzflächen-, Schichtanalytik; Schadensanalyse; Qualitätssicherung durch fertigungsintegrierte Analysen von Bauteiloberflächen; kundenspezifische Konzeptentwicklung für klebtechnische, lacktechnische und oberflächentechnische Anwendungen; Korrosionsschutzkonzepte für metallische Werkstoffe; nasschemische und elektrochemische Oberflächenvorbehandlungsverfahren; Untersuchung von Adhäsions- und Degradationsmechanismen; Analyse reaktiver Wechselwirkungen an

Werkstoffoberflächen; Modellierung molekularer Mechanismen bei Adhäsions- und Degradationsphänomenen; Strukturbildung an Grenzflächen; Anreicherungs- und Transportprozesse in Klebstoffen und Beschichtungen; akkreditiertes Korrosionsprüflabor.

- Oberflächen- und Nanostrukturanalytik
- Applied Computational Chemistry
- Elektrochemie/Korrosionsschutz
- Qualitätssicherung Oberfläche

---

## Werkstoffe und Bauweisen

---

Dr. Markus Brede

Telefon +49 421 2246-476

markus.brede@ifam.fraunhofer.de

Werkstoff- und Bauteilprüfung; Crash- und Ermüdungsverhalten von Niet- und Klebverbindungen; Faserverbundbauteile; Leicht- und Mischbauweisen; Auslegung und Dimensionierung von Klebverbindungen; Qualifizierung von mechanischen Verbindungselementen; Optimierung mechanischer Fügeprozesse; Auslegung und Dimensionierung von Nietverbindungen; akkreditiertes Prüflabor Werkstoffprüfung.

- Strukturberechnung und numerische Simulation
- Mechanische Fügetechnik

---

## Weiterbildung und Technologietransfer

---

Prof. Dr. Andreas Groß

Telefon +49 421 2246-437

andreas.gross@ifam.fraunhofer.de

www.kleben-in-bremen.de

www.kunststoff-in-bremen.de

Qualifizierung zum European Adhesive Bonder, EAB (Klebpraktiker/-in), European Adhesive Specialist, EAS (Klebfachkraft) und European Adhesive Engineer, EAE (Klebfachingenieur/-in) mit europaweit anerkannten DVS®/ EWF-Zeugnissen; Inhouse-Lehrgänge; Beratung; Fertigungsqualifizierung; Studien; Arbeits- und Umweltschutz; Weiterbildung zur Faserverbundkunststoff-Praktikerin/zum Faserverbundkunststoff-Praktiker sowie zur Faserverbundkunststoff-Instandsetzerin/zum Faserverbundkunststoff-Instandsetzer.

- Klebtechnisches Zentrum
- Kunststoff-Kompetenzzentrum

#### Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM

Dr. Dirk Niermann  
 Forschungszentrum CFK Nord  
 Ottenbecker Damm 12  
 21684 Stade  
 Telefon: +49 4141 78707-101  
 dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de  
 Automatisierte Montage von Faserverbundkunststoff-(FVK-) Großstrukturen bis in den 1:1-Maßstab: Kleben, Kombinationen aus Kleben und Nieten; adaptive Präzisionszerspannung; automatisierte Mess- und Positionierverfahren; Form- und Lagekorrektur von biegeschlaffen Großstrukturen im Montageprozess.

- Fügetechnologien
- Präzisionsbearbeitung
- Montage- und Anlagentechnik
- Messtechnik und Robotik

#### Technologiebroker

Prof. Dr. rer. nat. Bernd Mayer  
 Telefon +49 421 2246-419  
 bernd.mayer@ifam.fraunhofer.de

#### Anerkannte Stelle des Eisenbahn-Bundesamtes nach DIN 6701-2

Dipl.-Ing. (FH) Andrea Paul  
 Telefon +49 421 2246-520  
 andrea.paul@ifam.fraunhofer.de  
 Beratung; Prüfung und Zulassung von Schienenfahrzeugbaubetrieben und ihrer Zulieferer hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Klebarbeiten gemäß den Vorgaben der DIN 6701 ausführen zu können.

#### Prozessreviews

Dipl.-Ing. Manfred Peschka MBA  
 Telefon +49 421 2246-524  
 manfred.peschka@ifam.fraunhofer.de  
 Analyse von Entwicklungs- und/oder Fertigungsprozessen unter klebtechnischen Aspekten und unter Berücksichtigung der Richtlinie DVS® 3310; Prozess- und Schnittstellen; Design; Produkt; Nachweis der Gebrauchssicherheit; Dokumente; Fertigungsumgebung.



1

## AUSSTATTUNG

### Klebtechnik und Oberflächen

- Niederdruck-Plasmaanlagen bis 3 m<sup>3</sup> für 3-D-Teile, Schüttgut und Bahnware (HF, MW)
- Atmosphärendruck-Plasmaanlagen für 3-D-Teile und Bahnware
- Robotergeführte Atmosphärendruck-Plasmaanlage (6-achsig) zur flächigen und Linien-Behandlung sowie -Beschichtung
- VUV-Excimer-Anlage zur Oberflächenbehandlung und Beschichtung
- CO<sub>2</sub>-Schneestrahlanlagen
- Mobile Lasereinheit zur Oberflächenvorbehandlung
- Tribometer in Kombination mit Nanoindentation
- Laserscanner zur 3-D-Vermessung von Bauteilen bis 3500 mm
- Universalprüfmaschinen bis 400 kN
- Anlagen zur Werkstoff- und Bauteilprüfung für hohe Belastungs- und Verformungsgeschwindigkeiten bei ein- und mehrachsigen Spannungszuständen
- All-Electric-Labor-Nietautomat mit halb automatischer Installation von ein- und zweiteiligen Verbindungselementen, C-Bügel-Bauweise mit 1,5 m Rahmentiefe, maximale Stauchkraft: 70 kN, Bohrspindel für Drehzahlen bis 18 000 U/min und Bohrrinnenschmierung sowie Hochgeschwindigkeitsarbeitsraumüberwachung
- Labor-Vakuumpresse mit PC-Steuerung zur Herstellung von Multilayer-Prototypen
- 200-kV-FEG-Transmissionselektronenmikroskop mit EDX, EELS, EFTEM und 3-D-Tomographie sowie Cryo- und Heizoption
- Focussed Ion Beam (FIB) zur In-situ-Präparation von Querschnitten und TEM-Lamellen
- Hochauflösendes Rasterelektronenmikroskop (HRSEM) mit Cryo-Präparationskammer
- Inverse gas chromatography (IGC)
- Konfokale Lasermikroskopie
- Labor-Galvanikanlage
- Hochleistungspotentiostat, 30 V, 20 A
- Hochleistungspotentiostat, 100 V, 20 A
- MultEchem<sup>TM</sup>-Potentiostaten-System mit 4 unabhängigen Reference-600-Potentiostaten
- Salzsprühnebelgerät
- LIF (Laser-induced Fluorescence)
- Thermographie
- XRF-Handgerät (Röntgenfluoreszenzanalyse)
- Oberflächenanalytiksysteme und Polymeranalytik mit XPS, UPS, TOF-SIMS, AES und AFM, Kontaktwinkel
- Chromatographie (GC-MS, Headspace, Thermodesorption, HPLC)
- Thermoanalyse (DSC, modulierte DSC, DMA, TMA, TGA, Torsionspendel)
- MALDI-TOF-MS zur Protein- und Polymercharakterisierung
- Peptidsyntheseautomat
- Lichtstreuung zur Charakterisierung trüber Dispersionen
- Spektroskopisches Ellipsometer
- Laser-induzierte Plasma-Spektroskopie (LIPS)
- Technikum für organische Synthese
- IR-, Raman-, UV-VIS-Spektrometer
- IR-VCD-Spektrometer (Infrared Vibrational Dichroism)
- Rheologie (Rheolyst AR 1000 N, ARES – Advanced Rheometric Expansion System)
- Wärmeleitfähigkeitsmesseinrichtung
- Dielektrometer
- Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) und Rauschanalyse (ENA)
- Doppelschnecken-Extruder (25/48D) und Knetzer zum Einarbeiten von Füllstoffen in Polymere
- Einschnecken-Messextruder (19/25D) zur Charakterisierung der Verarbeitungseigenschaften von Polymerkompositen
- 12-achsiger Roboter zur Fertigung von Mikroklebverbindungen

1 *Im Fraunhofer IFAM entwickelte Messvorrichtung für den Runback-Eis-Test an Flügelprofilen.*



- Zwei Linux-PC-Cluster mit insgesamt 176 CPUs
- Verschiedene Dispergieraggregate
- Lackapplikationsautomat
- Voll klimatisierte Lackierkabine
- Lacktrockner mit entfeuchteter Luft
- UV-Härtungstechnik
- Pulverlack-Extruder
- Mahltechnik für die Pulverlackherstellung
- Mechanisch-technologische Prüfungen
- Farbmessgerät MA 68 II
- Optische Prüftechnik
- Prüftechnik Anti-Eis-Lacke
- Wellentank-Simulationskammer
- Prüfringleitung für Lackbelastungstests
- Miniaturprüfringleitung für Lackbelastungstests
- Freibewitterung an verschiedenen Standorten
- Raster-Kelvin-Sonde
- Beschichtungstechnik (Coatema Deskcoater)
- 6-Achsen-Industrieroboter, 125 kg Traglast, auf zusätzlicher Linearachse, 3000 mm
- Einkomponenten-Kolbendosiersystem SCA SYS 3000/SYS 300 Air
- Einkomponenten-/Zweikomponenten-Zahnrad dosiersystem t-s-i, umrüstbar auf Exzentrerschneckenpumpen
- Frei konfigurierbare Einkomponenten-/Zweikomponenten-Dosiertechnik, an spezifische Aufgaben anpassbar, mit umfangreicher Messtechnik (Eigenentwicklung)
- Phased-Array Ultraschallmessgerät Olympus OmniScan MX PA
- Fluoreszenzmikroskop
- Rheometer Bohlin Gemini 200
- Klimaprüfkammern für alle Norm- und Sonderprüfungen
- Halle für Großstrukturmontage, 80 × 50 m<sup>2</sup>, zwei 20-Tonnen-Kräne, 15 m unter Kranhaken
- Modular flexible Montageanlage für große FVK-Strukturen mit zwei hochgenau kalibrierten 6-Achs-Robotern auf 15 m Linearachse und Werkzeugwechselautomatik

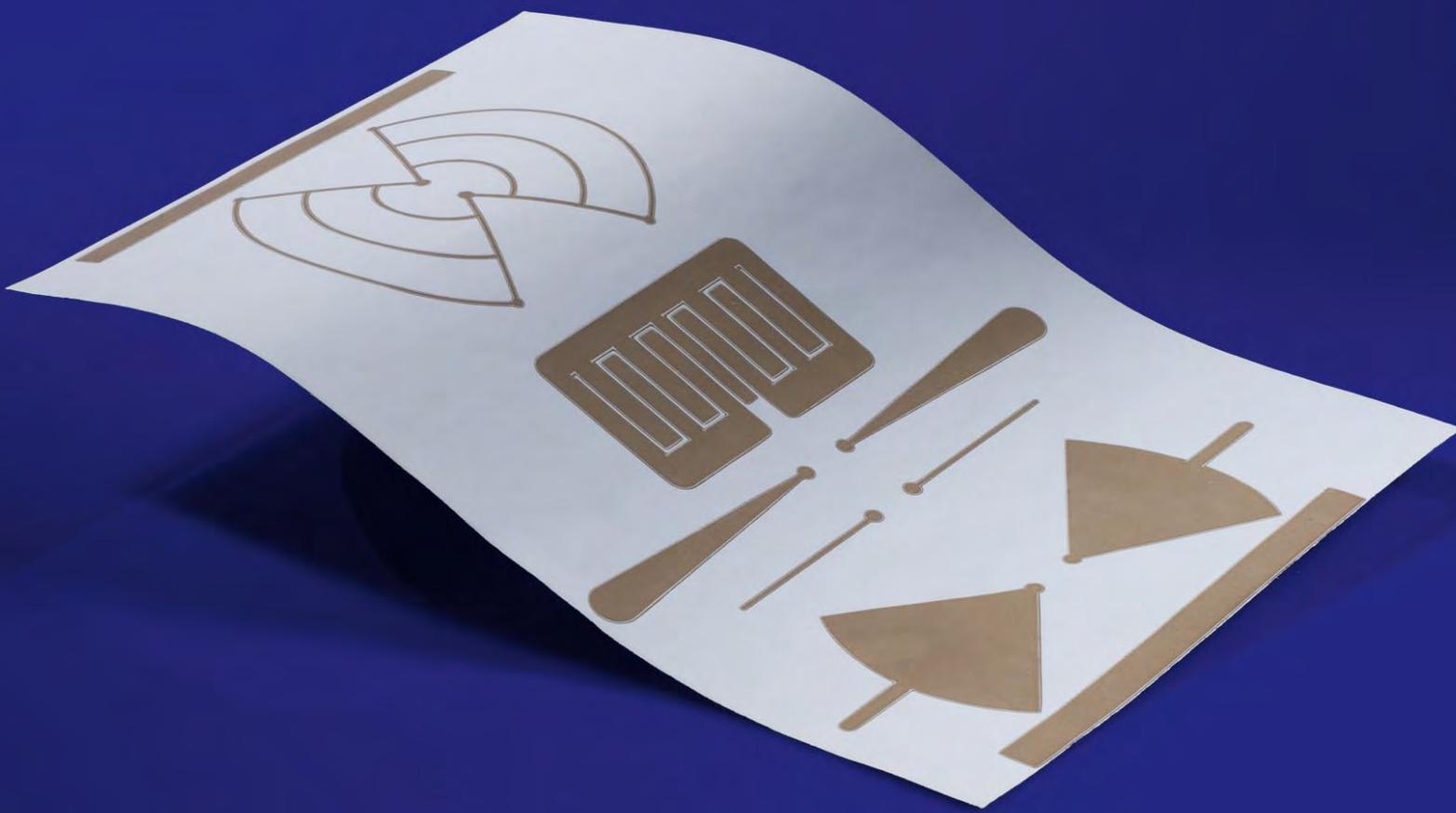
- Teststand zur Regelung der Form und Lage großer Bauteile; er umfasst 6 Industrieroboter mit Parallelkinematik sowie einen hochgenau kalibrierten 6-Achs-Roboter auf 4 m Linearachse
- Kombination Laser-Scanner und Laser-Tracker zur 3-D-Vermessung von Bauteilen bis 30 m Länge
- Laser-Tracker zur 3-D-Vermessung, Reichweite 80 m
- Laser-Radar zur 3-D-Vermessung von Bauteilen, Reichweite 30 m
- Modulare 3-D-Wasserstrahlschneidanlage, 6000 bar, mit Laserpositionier- und Bohreinheit

## Zertifizierung und Akkreditierung

- Der gesamte Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen ist nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert, die Prüflaboratorien Werkstoffprüfung, Korrosionsprüfung und Lacktechnik sind zusätzlich nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert.
  - Das Klebtechnische Zentrum ist über DVS-PersZert® nach DIN EN ISO/IEC 17024 als akkreditierte Personalqualifizierungsstelle für die klebtechnische Weiterbildung international anerkannt. Es ist gemäß der Anerkennungs- und Zulassungsverordnung Weiterbildung (AZWV) zugelassen.
  - Das Kunststoff-Kompetenzzentrum ist auch nach AZWV zugelassen und erfüllt die Qualitätsanforderungen der DIN EN ISO/IEC 17024.
  - Die »Anerkannte Stelle« für das Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen ist nach DIN 6701-2 und in Anlehnung an DIN EN ISO/IEC 17021 durch das Eisenbahn-Bundesamt akkreditiert.
- 2 *4-fach-Potentiostat zur elektrochemischen Charakterisierung von Beschichtungen und Klebverbindungen.*
  - 3 *Maßgeschneiderte elektrisch leitfähige Klebstoffformulierungen für verschiedene Herstellungsverfahren und Anforderungsprofile, z. B. Flexo- und Offsetdruck.*

KLEBTECHNIK UND OBERFLÄCHEN

ERGEBNISSE AUS FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG





## SCHNELLER UND KOSTENGÜNSTIGER MIT QUALITÄTSGEWINN: FRAUNHOFER IFAM BESCHLEUNIGT INDUSTRIELLE PROZESSE

Die Luftfahrtmesse in Dubai im November 2011 war ein echter Erfolg für den europäischen Flugzeugbauer Airbus. Mit vollen Auftragsbüchern kehrten die Firmenvertreter zurück – allein für das umweltfreundliche Modell A320neo gab es 175 neue Bestellungen. Was das Unternehmen auf der einen Seite freut, stellt es auf der anderen vor Probleme: Die Kunden erwarten eine möglichst schnelle Lieferung, doch bei hoher Nachfrage stößt die Produktion an ihre Grenzen. Bisher hatte sich Airbus das Ziel gesetzt, bis Ende 2012 pro Monat 42 Maschinen der A320-Familie zu bauen. Nach der Messe in Dubai hieß es umdenken: Airbus-Verkaufschef John Leahy sprach von 50 Flugzeugen pro Monat, die man nun produzieren wolle – und müsse.

Beispiele wie dieses aus der Luftfahrtindustrie finden sich auch in vielen anderen Industriezweigen. Ist die gesamtwirtschaftliche Lage gut, wird bestellt. Erfolgreiche Unternehmen stoßen dann an Produktionsgrenzen, doch zusätzliche Kapazitäten lassen sich nicht kurzfristig bereitstellen. Anspruchsvolle Hochtechnologie kommt nach wie vor noch oft aus Deutschland, hingegen wird Massenware längst in Billiglohnländern gefertigt. Zusätzliche Investitionen in neue Produktionsstätten werden dennoch mit Augenmaß getätigt: Was heute noch voll ausgelastet ist, kann bei einer Rezession schon bald wieder stillstehen und ein Unternehmen finanziell stark belasten. Die Lösung heißt für viele Industriefirmen deshalb schon länger »Prozessbeschleunigung«: Optimal aufeinander abgestimmte Werkstoffe und Arbeitsschritte, ein steigender Automatisierungsgrad, steigende Reproduzierbarkeit, die verbesserte Qualitätsüberwachung schon während der Produktion – solche Ansätze ermöglichen Herstellern oft schon kurzfristig deutliche Gewinne in Effizienz und Wirtschaftlichkeit.

Mit beschleunigten Prozessen lassen sich auch Anforderungen wie im eingangs beschriebenen Beispiel meistern. Der Bereich Klebtechnik und Oberflächen im Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM ist hierbei der ideale Partner: Sämtliche wissenschaftlichen Einheiten dieses Institutsteils erzielen schon seit Jahren in Zusammenarbeit mit ihren industriellen Auftraggebern exzellente Resultate, wenn die Optimierung und Beschleunigung von Herstellungsprozessen zum Thema wird. Ob es um den bestmöglichen Einsatz der Klebtechnik, neue Lacke und neue Verfahren des Lackierens, die Oberflächenvorbehandlung und -beschichtung oder die Automatisierung von Bearbeitung sowie Montage geht, um nur einige Beispiele zu nennen: Die europaweit größte unabhängige Forschungseinrichtung auf

1 Airbus A350 XWB (Xtra Wide Body; Quelle: AIRBUS S.A.S. 2010 – Computer Rendering by FIXON – GWLNSD).



dem Gebiet der Klebtechnik bietet der Industrie seit langer Zeit Lösungen an, die Produktionsprozesse schneller, effizienter und günstiger machen – und das typischerweise mit besserer Qualität und höherer Fertigungssicherheit.

### Fügen und Montieren: Früher manuell, heute automatisiert

Beim Bearbeiten, Fügen und Montieren war das Fraunhofer IFAM bisher mit vielen Projekten erfolgreich, bei denen es um den Ersatz manueller Fertigungsschritte durch automatisierte Prozesse ging. Wo früher Menschen aufwendig Oberflächen vorbehandelt, Qualität überwacht, Klebstoff aufgetragen oder gebohrt, gefräst und gefügt haben, kommen heute meistens Roboter und Maschinen zum Einsatz. Sie erledigen die Aufgaben rund um die Uhr und sind in Zuverlässigkeit sowie Präzision dem Menschen weit überlegen. Ein Beispiel aus der Luftfahrtindustrie zeigt, welches Beschleunigungspotenzial die Automatisierung künftig beim Flugzeugbau haben kann. Dort wird – etwa beim in der Produktionseinführung befindlichen A350 XWB (Xtra Wide Body; Abb. 1) – immer stärker auf carbonfaserverstärkten Kunststoff (CFK) gesetzt.

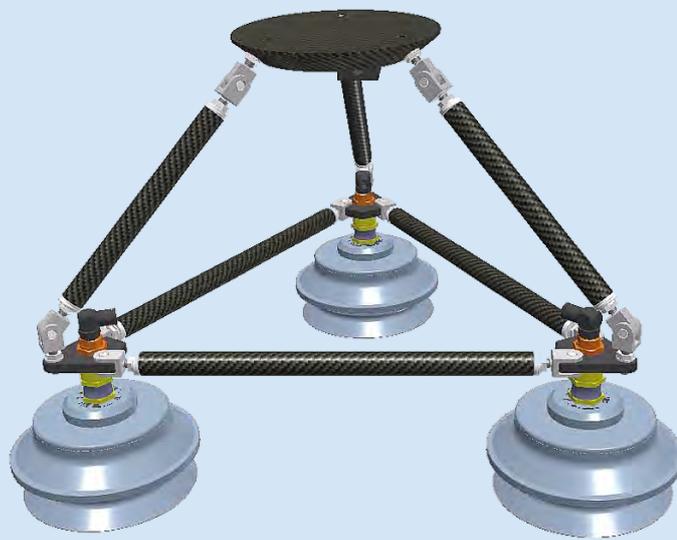
Bei der Verbindung von zwei lastübertragenden CFK-Bauteilen wird bislang noch das traditionelle Nieten bevorzugt. Ein Klebstoff fungiert dabei nur als Spaltausgleichsmasse – der Fachausdruck dafür ist »shimmen«. Das Shim-Material dichtet die Zwischenräume der Bauteile ab. Weil diese unregelmäßig sind und aus Gewichtsgründen nicht mehr Shim als unbedingt erforderlich verwendet werden soll, ist der derzeitige Shim-Prozess aufgrund z. T. mehrfacher manueller Mess- und Anpassvorgänge äußerst zeit- und ressourcenaufwendig. In Bremen und im Forschungszentrum CFK Nord in Stade haben Experten des Fraunhofer IFAM nun zusammen mit Flugzeugbauern ein Verfahren entwickelt, welches auch großdimensionale Bauteile mithilfe hochspezialisierter Lasertechnik so exakt

vermisst, dass die dreidimensionalen Spaltgeometrien schon vor dem Zusammenfügen auf Millimeterbruchteile genau bekannt sind und zudem Verformungen durch den Fügedruck berücksichtigt werden. Der Vorteil: Dank der hochpräzisen Messergebnisse kann die Shim-Masse in einem automatisierten Arbeitsgang absolut passgenau aufgetragen werden. Der Geschwindigkeitszuwachs ist immens (Abb. 2).

Der Einsatz laseroptischer Messverfahren ermöglicht auch bei anderen Prozessschritten die Ablösung manueller, taktile Verfahren. Beim Bohren, Fräsen und Fügen an Großstrukturen erreichen sich selbst orientierende, robotische Systeme mittlerweile eine Genauigkeit, die der eines herkömmlichen, manuell ausgeführten Prozesses ebenbürtig oder sogar überlegen ist (Abb. 3). Die besondere Herausforderung stellen hierbei die unvermeidbaren Formabweichungen der Großbauteile dar, die es verbieten, dem Roboter – wie z. B. in der Automobilindustrie – feste Bearbeitungsbahnen einzuprogrammieren. Mit berührungslosen Messverfahren und der Überwachung durch optische bzw. Kraft- und Momentensensoren lassen sich heute sowohl kleine Komponenten als auch biegeschleife Großbauteile sekundenschnell in die richtige Position und Form bringen, wo früher eine aufwendige manuelle Schrittfür-Schritt-Annäherung stattfinden musste. Bisher hintereinanderliegende Prozessschritte können heute parallel durchgeführt werden, indem beispielsweise mehrere Roboter verschiedene Bearbeitungsschritte, wie das Oberflächenvorbehandeln der einen und Fügen der anderen Komponenten, gleichzeitig an einem Arbeitsplatz bewerkstelligen.

Nicht nur bei der Realisierung solcher automatisierten Prozessschritte greift das Fraunhofer IFAM auf einen breiten Erfahrungsschatz zurück – wobei im Bereich Zerspanung und

- 2 *Automatisierte klebtechnische Montage eines Spants in eine CFK-Flugzeugrumpfschale.*
- 3 *Automatisiertes hochgenaues Fräsen der Fensteröffnung an einer Flugzeugrumpfschale aus CFK.*



Robotik darüber hinaus eine enge Kooperation mit dem Institut für Produktionsmanagement und -technik IPMT der Technischen Universität Hamburg-Harburg besteht. Die Experten des Fraunhofer IFAM arbeiten auch permanent an Verfahren zur schnelleren Aushärtung von Klebstoffen und Shims. Durch den schnelleren Härteprozess kann auch die Montage von Fixierhilfen vermieden werden, die bislang beim langsamen Aushärten notwendig waren. Damit entfällt an dieser Stelle ein kompletter manuell durchgeführter Arbeitsgang, was wiederum der Prozessgeschwindigkeit zugutekommt.

Auf einer anderen Ebene ist es die flexiblere Gestaltung von Produktionsanlagen, mit der eine Beschleunigung erreicht werden kann. Hier erarbeitet das Fraunhofer IFAM zum Beispiel Lösungen, die Produktionsanlagen für vielfältige Bauteil-Geometrien verwendbar machen. Damit sollen – wie in der Vergangenheit oft geschehen – zeit- und kostenaufwendige Umrüstungen oder gar Neuinstallationen von Produktionslinien vermieden werden, wenn ein Modellwechsel ansteht. Moderne Sensoren und Aktuatoren machen es möglich, dass sich maschinengestützte Greifarme oder Roboter mit ihren Bearbeitungswerkzeugen auf andere Aufgaben umprogrammieren lassen und dann mit veränderten Geometrien, Werkstoffen oder Arbeitsschritten funktionieren. Speziell für den Flugzeugbau hat die Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM des Fraunhofer IFAM im CFK Nord Stade beispielsweise einen carbonfaserverstärkten Greifer entwickelt, der flexibel Flugzeugbauteile mit verschiedenen Geometrien aufnehmen kann (Abb. 4). Er passt sich den vielen Schalen mit unterschiedlichen Krümmungen an, die in einem Flugzeug verbaut werden. Erreicht wird dies durch beweglich angeordnete Saugnäpfe, die auf einer leichten Fachwerkträgerstruktur platziert sind.

### Oberflächenvorbehandlung: Produktionsintegrierte Verfahren mit Mehrfachnutzen

Auch im Bereich der Oberflächenvorbehandlung hat das Fraunhofer IFAM Entwicklungen initiiert, durch die Prozesse schneller und schlanker werden. Das geschieht vor allem dadurch, dass aufeinander aufbauende Prozesse nicht mehr wie früher separat durchgeführt, sondern direkt zueinander gebracht werden. In vielen Industriezweigen, wie zum Beispiel der Luftfahrtindustrie, müssen Werkstoffe und Bauteile oft noch mit aufwendiger manueller Arbeit gereinigt und für die Klebung oder Lackierung vorbereitet werden, bevor sie in den eigentlichen Produktionsprozess gelangen. Für langfristig konkurrenzfähige und wirtschaftliche Prozesse muss das Ziel jedoch darin liegen, die Vorbehandlung mit adaptierten, bedarfsgerechten Verfahren automatisch gesteuert direkt in die Prozesslinien zu integrieren. Wenn das Material beispielsweise vor dem Kleben erst noch gestrahlt werden muss, kann dies auch in einer Massenproduktion durch verschiedene Techniken direkt vor dem Kleben geschehen – sicher und effizient (siehe Seite 84; »Reinigen und Aktivieren vor Lackieren und Kleben: Bei Faserverbund-Werkstoffen kommt es auf die richtige Oberfläche an«).

Ein anderes Beispiel der FuE-Aktivitäten des Bereichs Plasmatechnik und Oberflächen – PLATO – am Fraunhofer IFAM sind sogenannte Transferfolien für die Herstellung von Bauteilen. Dabei handelt es sich um Bahnware, die in Bauteilformen eingelegt wird und sich an die Geometrie der Form anpassen kann. Die Bahnware hat nicht nur eine »trennende« Wirkung, durch die sich das Bauteil nach dem Formen wieder aus der Form herauslösen lässt; sie ist zudem in der Lage, der Bauteil-

**4** *Modularer carbonfaserverstärkter Leichtbaugreifer, der Flugzeugbauteile flexibel aufnehmen und handhaben kann – eine Entwicklung der Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM.*



oberfläche durch eine plasmapolymere Transferbeschichtung gleichzeitig noch weitere Funktionen hinzuzufügen, etwa einen effizienten Kratzschutz. Während im herkömmlichen Herstellungsprozess eines Spritzgussbauteils noch drei Schritte notwendig sind – zunächst die Bauteilformung, anschließend die Säuberung von den Trennmittelresten, dann das Aufbringen des Kratzschutzes – ist es mit dem von den Fraunhofer IFAM-Experten entwickelten Verfahren möglich, das Bauteil in nur einem Schritt fertigzustellen. Hierbei verbleibt die Folie bis zum Prozessende oder sogar bis zur Auslieferung an den Endkunden als Schutzfolie auf der hergestellten Komponente, wodurch sich weiter Prozesskosten und Arbeitsschritte einsparen lassen.

Diese »In-mould-Verfahren« können auch andere Funktionen integrieren – beispielsweise eine Lackierung von CFK-Bauteilen. Das geformte Teil ist dann bereits komplett fertig, wenn es aus der Formpresse kommt, weil der gewünschte Lack bereits vorher auf die Trennschicht aufgebracht war. Auch als sofort funktionierender Verschmutzungsschutz für die hergestellten Bauteile, die der Kunde nur noch vor Gebrauch abziehen muss, lässt sich die vom Fraunhofer IFAM entwickelte Transferfolie nutzen. Sie dient gleichzeitig als Schutz vor Beschädigungen bei weiteren Verarbeitungsschritten und beinhaltet damit auch eine qualitätssichernde Wirkung (Abb. 5).

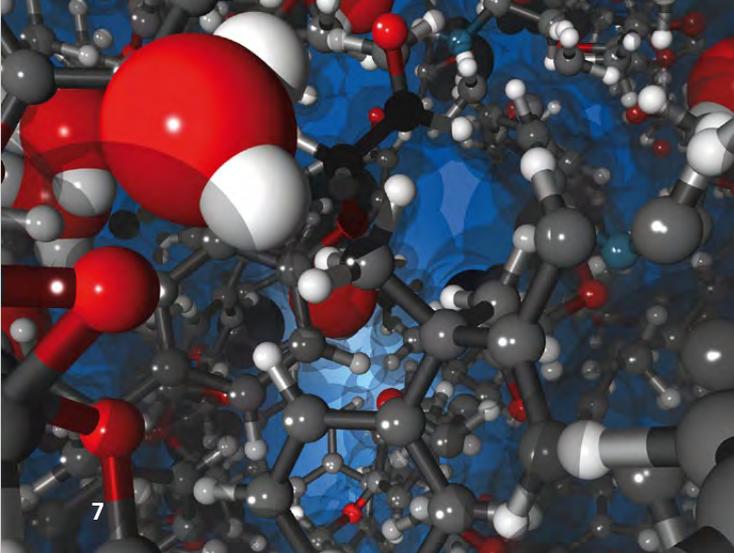
Im Bereich der Plasmabeschichtung arbeitet PLATO an produktionsintegrierten Verfahren, die gezielte lokale Beschichtungen mit Plasmadüsen ermöglichen (Abb. 6). Diese werden optimal auf die Bedürfnisse des Kunden angepasst. Für einen Betrieb aus der Automobilzulieferbranche wurde zum Beispiel ein Verfahren entwickelt, mit dem eine Korrosionsschutzbeschichtung exakt auf die beanspruchten Bereiche einer Servogetriebebesteuerung aufgebracht wird. Im Abstand weniger Sekunden reinigt dabei zunächst eine Plasmadüse das Material, bevor eine weitere Düse die Schutzschicht aufbringt. Noch vor wenigen Jahren wäre für derartige Schritte ein zeitaufwendiges nasschemisches Verfahren samt anschließender Trocknung und teurer Entsorgung der umweltschädlichen Chemikalien notwendig gewesen. Heute geschieht die Bearbeitung in

einem Bruchteil der Zeit und zwar qualitätsgesichert direkt vor der Klebung, sodass nicht nur die Prozesskosten deutlich gesenkt werden konnten, sondern auch noch die Fertigung am Standort Deutschland wieder attraktiver wurde.

Eine ähnliche Weiterentwicklung gelang PLATO in der Solarbranche. Für diese wurden funktionelle Atmosphärendruck-(AD-)Plasma-Beschichtungen entwickelt. Sie verleihen den Materialien und Bauteilen widerstandsfähige und alterungsbeständigere Oberflächen, die zum einen den Wartungsaufwand reduzieren und zum anderen darüber hinaus ihre Funktionssicherheit und Lebensdauer verlängern. Die hocheffiziente Beschichtung verhindert beispielsweise bei Solarmodulen die Korrosion und erhöht ihre Lebensdauer um bis zu 20 Prozent. Gegenüber früheren Verfahren, die mit Niederdruck-Plasma (ND) arbeiteten, sorgt nicht nur die Beschichtung bei Atmosphärendruck schon für eine erhebliche Produktionsbeschleunigung. Auch hier lässt sich die Beschichtung vollständig automatisiert – auch gezielt selektiv – aufbringen. Sie ist problemlos in eine bestehende Produktion integrierbar. Die Entwicklung der PLATO ist nicht auf Solarmodule beschränkt: Alle Materialien, egal ob Metalle, Keramiken, Gläser oder Polymere, lassen sich mit AD-Plasma-Schutzbeschichtungen versehen. Für diese Anwendung mit ihrem hohen Innovationspotenzial erhielten die Forscher des Fraunhofer IFAM Dr. Uwe Lommatzsch und Dr. Jörg Ihde den »German High Tech Champions Award 2011« auf dem Gebiet Solar/Photovoltaik in Boston (siehe Seite 108 – Menschen und Momente; »Plasma-Schutzschicht für Solarmodule in Boston ausgezeichnet: GHTC Award für Dr. Uwe Lommatzsch und Dr. Jörg Ihde«).

Für die Vorbehandlung von Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Carbon-Nano-Tubes; CNT), die in der Industrie in den vergange-

- 5 Entformen, transferieren und schützen durch Flex<sup>Plas</sup>-Technologie aus dem Fraunhofer IFAM.
- 6 Lokal, inline-tauglich und umweltfreundlich: Atmosphärendruck-Plasma-Beschichtung für Haftvermittlung und Korrosionsschutz.



nen Jahren einen Boom erlebt haben, hat PLATO ebenfalls ein hocheffizientes neues Verfahren entwickelt. Wo früher eine nasschemische Vorbehandlung in Säuren über 24 Stunden notwendig war, steht nun eine nur noch wenige Sekunden dauernde effiziente Plasma-Vorbehandlung bei Atmosphärendruck zur Verfügung. So konnte durch einen umweltfreundlichen Prozess das Marktpotenzial von CNTs signifikant gesteigert werden.

Im Bereich von Niederdruck-Plasma-Schichtabscheidungen gelang es den Experten von Plasmatechnik und Oberflächen wiederum, die Geschwindigkeit des Aufbringens von Funktionsbeschichtungen deutlich zu erhöhen. Weniger Zeitaufwand bedeutet auch in diesem Fall eine höhere Produktionsgeschwindigkeit und geringere Fertigungskosten. So können Abrasionsschutzschichten, die ihre Wirkung erst bei Schichtdicken größer als ein Mikrometer entfalten, kostengünstig und konkurrenzfähig angeboten werden.

### Adhäsions- und Grenzflächenforschung: Kleine Dimensionen, große Wirkung

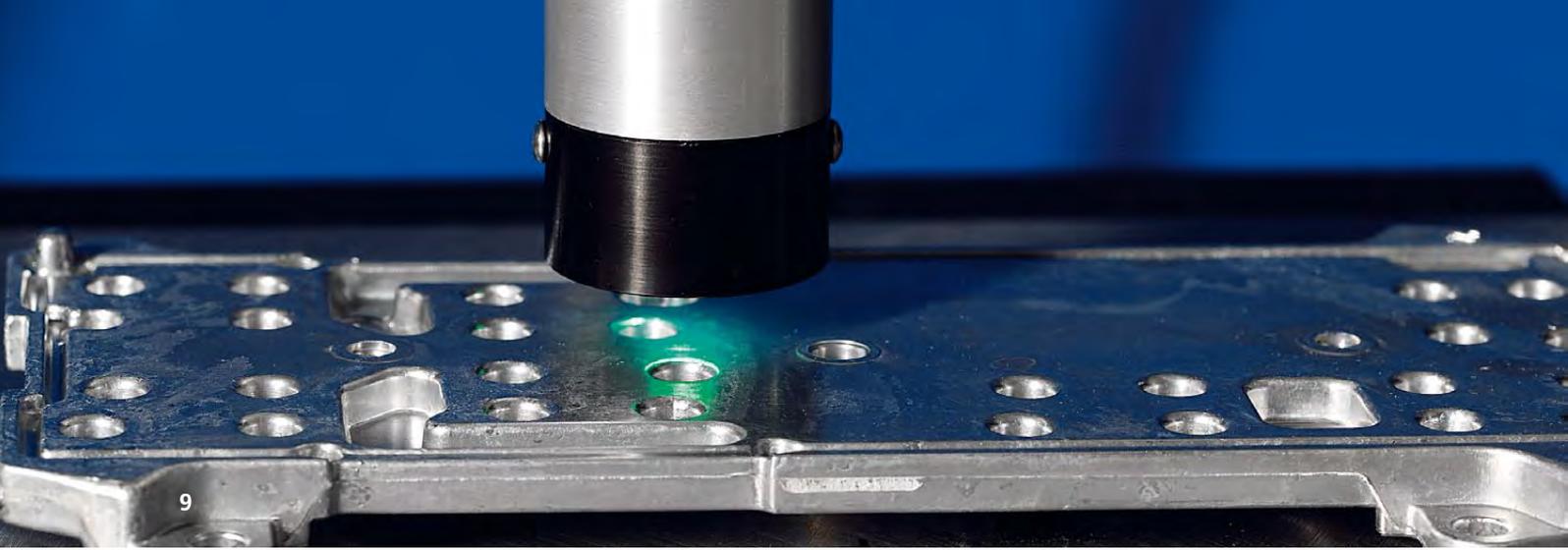
Die Wissenschaftler im Fraunhofer IFAM beschäftigen sich aber nicht nur mit Projekten, die den eigentlichen Produktionsprozess beschleunigen – sie sorgen mit ihrer Arbeit auch dafür, dass die Entwicklung neuer Materialien und Bauteile oder auch das »Design« immer weniger Zeit beanspruchen. Der Bereich der Adhäsions- und Grenzflächenforschung beispielsweise hat in den vergangenen Jahren ein umfassendes Know-how bei der Simulation aufgebaut. Die rechnerische Simulation der chemischen Eigenschaften oder der Alterungsprozesse von Materialien hilft, die herkömmlichen empirischen Test- und Prüfprozeduren erheblich abzukürzen. Durch die Simulation lassen sich heute in kürzerer Zeit viele Informationen gewinnen, für die es noch vor wenigen Jahren Testverfahren mit längeren Prüfprozeduren bedurfte (Abb. 7). Dabei löst die Simulation die Untersuchungen nicht vollständig ab; sie hat aber dazu geführt, viele Entwick-

lungsprozesse zu »verschlanen« und damit zu beschleunigen. Ein Beispiel für die experimentelle Simulation ist die wesentlich schnellere Korrosionsprüfung vieler Materialien. Im Fraunhofer IFAM wurden Testverfahren erarbeitet, die innerhalb weniger Stunden oder Tage belastbare Aussagen über das Korrosionsverhalten liefern (Abb. 8). Herkömmliche Standardtestverfahren brauchen hierfür bis zu einige Monate. Bei der Entwicklung von neuen Korrosionsschutzlacken etwa bedeutet dies einen enormen Zeitgewinn für Unternehmen.

Weil Firmen bei Produkt- oder Modellwechsellern immer bestrebt sind, die Entwicklungszeiten möglichst kurz zu halten, wird auf eine leistungsfähige Simulation zunehmend Wert gelegt. In der Automobilindustrie müssen die Strukturen heute grundsätzlich simulationsfähig sein, um beispielsweise das Crashverhalten überwiegend im Computer nachvollziehen zu können und die Anzahl teurer »realer« Crashtests zu minimieren. Für diesen Bereich der Simulation sind im Institut vor allem die Wissenschaftler von Werkstoffe und Bauweisen verantwortlich, während sich die Adhäsions- und Grenzflächenforschung primär mit den technischen Auswirkungen der auf mikroskopischer und molekularer Ebene geprägten Materialeigenschaften beschäftigt.

Die Adhäsions- und Grenzflächenforschung ist zudem an Entwicklungen beteiligt, mit denen die Fertigungsprozesse selbst beschleunigt werden können. So wurde in den vergangenen Jahren an der Entwicklung von chromatfreien nasschemischen Vorbehandlungsverfahren für Leichtmetalle gearbeitet. Bei diesem Arbeitsschritt werden Metallstrukturen vorbehandelt, um einen Korrosionsschutz zu erzielen und gleichzeitig die Haftung für den später folgenden Primer- oder Klebstoffauftrag zu verbessern. Die Experten der Adhäsions- und

- 7 *Simulation der Aufnahme eines Wassermoleküls (rot-weiß; oben links) in ein polymeres Netzwerk.*  
8 *Elektrochemische Untersuchungen zur Bewertung von Korrosionsschutzschichten.*



Grenzflächenforschung stellten hierbei sicher, dass trotz der Umstellung auf neue Verfahren oder der Verkürzung der Vorbehandlungszeiten das Material eine gleichbleibende oder sogar bessere Qualität aufwies. Bei derartigen Entwicklungen kommt es immer darauf an, die Ergebnisse aus dem Labormaßstab rasch in die industrielle Fertigungstechnik zu transferieren. Das Fraunhofer IFAM passt seine Labor- und Technikumsausrüstung ständig diesen schnellen Entwicklungsprozessen an.

Einen Beitrag zu schnelleren Härtungsprozessen von Klebstoffen und Lacksystemen hat die Adhäsions- und Grenzflächenforschung mit der Entwicklung von mikroskopisch kleinen Kapseln bis hinunter in den Nanometerbereich geleistet. Sie enthalten Wirkstoffe, die auf Kommando – zum Beispiel durch einen Temperaturimpuls – freigesetzt werden können, wodurch es zu einer schlagartigen Härtung des Klebstoffs kommt. Dafür werden auf molekularer Ebene in die Struktur von Nano-Zeolithen gezielt Härtungsreagenzien eingebaut. Nachdem die Wissenschaftler bereits mit Simulationen sehr gute Ergebnisse erzielt hatten, war es beispielsweise einem Projektpartner möglich, auf Basis dieser Berechnungen geeignete Käfigstrukturen aus Zeolithen zu designen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten der Kapselmaterialien neben der beschleunigten Härtung sind die Selbstheilung von Lacken oder der Korrosionsschutz. Hier öffnen sich die Kapseln mit den Wirkstoffen erst, wenn eine Oberflächenverletzung auftritt. Ein Anwendungsbeispiel: Bei Offshore-Windenergieanlagen auf hoher See können derartige Selbstheilungslacke oder -beschichtungen eine wichtige Grundlage für eine verlängerte Lebensdauer der Komponenten sein.

Eine erhebliche Beschleunigung von Fertigungsprozessen garantieren auch verschiedene Ansätze der Inline-Qualitätssicherung, an denen die Adhäsions- und Grenzflächenforschung beteiligt ist. Ziel ist dabei die Kontrolle der verschiedenen Stufen in der Fertigung beim klebtechnischen Fügen und beim Lackieren. Die Qualität der Fügeoberfläche oder des lackierten Materials wird hierbei direkt nach dem Bearbeitungsschritt kontrolliert (Abb. 9). Der Vorteil: Durch die produktions-

integrierte Absicherung jedes Prozessschritts kann eine Endkontrolle des fertigen Bauteils entfallen, die in den meisten Fällen bislang zerstörungsfrei nicht möglich war und deshalb nur stichprobenartig vorgenommen wurde. Die Wissenschaftler der Adhäsions- und Grenzflächenforschung untersuchen hier vor allem den chemischen Zustand oder die Rauigkeit und Struktur einer Bauteiloberfläche. Bei der Kontrolle des chemischen Zustands geht es nicht nur um das Auffinden von Verunreinigungen, sondern auch um eine Überprüfung, ob die Vorbehandlung erfolgreich gewesen ist. Dafür verwenden die Forscher verschiedene, für den jeweiligen Anwendungsfall angepasste Techniken, beispielsweise spektroskopische oder optische Verfahren.

Optische Verfahren sind insbesondere geeignet, den Benetzungszustand von Oberflächen zu charakterisieren. Diese Anwendung der Inline-Kontrolle haben die Wissenschaftler in einem Projekt optimiert, in dem es um das Kleben von Windschutzscheiben ging. Untersucht wurde der Auftrag von Primern, der mit bloßem Auge nicht mehr kontrolliert werden konnte. Das hierfür vom Fraunhofer IFAM erarbeitete Verfahren wurde so weit entwickelt, dass es für die Qualitätssicherung konkret nutzbar ist.

Ein anderes Beispiel ist die Untersuchung auf Trennmittelreste oder Fertigungsrückstände auf carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK). Dort führen bereits kleinste nicht sichtbare Verunreinigungen zu einer deutlichen Abnahme der Haftungseigenschaften. Die Adhäsions- und Grenzflächenforschung hat hier laserspektroskopische Verfahren mit einer hohen Nachweisgenauigkeit realisiert, die auch kleinste Verschmutzungen dokumentieren. Diese Methoden lassen sich sowohl zur Überprüfung großer Flächen als auch kleiner lokaler Bereiche direkt in die Produktion integrieren. Die große Herausforderung ist dabei generell, Methoden zu entwickeln, die in

9 *Nachweis von Restkontaminationen an einem Aluminiumdruckgussbauteil mittels Optically Stimulated Electron Emission (OSEE).*



der Fertigungsumgebung eine schnelle Detektion und hohe Nachweisgenauigkeit ermöglichen, gleichzeitig aber auch sehr robust sind. Die Taktzeiten dürfen durch den Einsatz der Inline-Verfahren nicht verlängert werden.

#### **Lacktechnik: Von schnellerer Trocknung zum Colour Matching**

Auch im Bereich der Lacktechnik hat das Fraunhofer IFAM vielfältige Ideen umgesetzt, um die Prozesse bei diesem bedeutenden Produktionsschritt zu beschleunigen. Ein anschauliches Beispiel resultiert aus einem Forschungsprojekt, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wurde. Zusammen mit zahlreichen Industriepartnern – vom Lackproduzenten über die Hersteller von Lackier- und Trocknungsanlagen bis zum Endanwender – haben die Lacktechnik-Experten des Instituts eine erhebliche Zeitersparnis beim Trocknungsprozess von lackierten Kunststoffbauteilen im Automobilbereich erreicht. Ansatz war hierbei die schnelle Härtung der lackierten Teile durch ultraviolette Strahlung.

Die Lacktechnik kooperierte dazu eng mit der Adhäsions- und Grenzflächenforschung. Durch die rechnerische Simulation der Lackaushärtung gelang eine gezieltere Rezepturenentwicklung für diesen Anwendungsfall. Der intensive Austausch zwischen theoretischen und praktischen Erkenntnissen führte schnell zu einem Ergebnis, das der Industrie konkrete Verbesserungen im Herstellungsprozess ermöglicht. Beim herkömmlichen Lackierprozess von Spiegeln, Stoßfängern oder Innenteilen werden die Teile nach dem Lackauftrag zwischen 20 und 60 Minuten im Ofen gehärtet. Es gelang unter anderem durch die Forschungsarbeiten am Fraunhofer IFAM, die Trockenzeit mit der UV-Härtung auf weniger als fünf Minuten zu reduzieren. Das bedeutet nicht nur eine erhebliche Zeitersparnis, sondern auch eine deutliche Verringerung des Energiebedarfs.

Ein anderer Weg, den die Lacktechnik des Fraunhofer IFAM im Hinblick auf die industrielle Anwendung untersucht, ist die sogenannte »Kältetrocknung« (Abb. 10). Im Gegensatz zu der Trocknung mit warmer Luft, bei dem das Bauteil aufgeheizt wird und der Lackfilm durch die höhere Temperatur aushärtet, wird hier mit kalter, trockener Luft gearbeitet. Wird ein mit Wasserlack benetztes Bauteil nun dieser Luft ausgesetzt, ist die trockene Luft bestrebt, wieder Wasser aufzunehmen – und entzieht es dem Lack auf dem Bauteil. Auch das Vorgehen ist nicht nur effizient, sondern zudem energiesparend, weil der Prozess des Aufheizens und Abkühlens entfällt. Energie ist lediglich für die vorhergehende Entwässerung der Luft notwendig. Dank der technologischen Verbesserungen des Fraunhofer IFAM ist dieses schon länger bekannte Verfahren zuletzt äußerst effizient geworden; die Entwässerung – und damit Trocknung – eines lackierten Bauteils ist heute in nur wenigen Minuten möglich.

Ein weiteres Beispiel für Prozessbeschleunigung im Produktionsprozess ist die Infrarottrocknung, mit der die Wissenschaftler vor allem die Lackierung großer Bauteile in wesentlich kürzerer Zeit möglich gemacht haben. Während Flugzeugbauteile, Schienenfahrzeuge oder Rotorblätter von Windenergieanlagen nach der Lackierung normalerweise sechs bis zwölf Stunden trocknen müssen, wird diese Zeit durch die Verwendung von Infrarotstrahlung auf 30 Minuten reduziert. Auch hier arbeitete die Lacktechnik intensiv an der richtigen Ausgestaltung des Prozesses – von der Auswahl der Strahler über die Definition der Wellenlängen bis zur Qualifikation der verwendeten Lacke und Materialien.

**10** Laboranlage zur effizienten und energiesparenden Trocknung wasserhaltiger Lacke mit kalter entfeuchteter Luft.

**11** Auch bei »schwierigen Lacken«: Durch das verbesserte Colour-Matching-Verfahren passen an verschiedenen Orten lackierte Fahrzeugkarosserien und Anbauteile optimal zusammen.



12

Die Automobiltechnik wiederum profitiert von einem neuen, schnelleren Farbmess-Abgleichverfahren, das im Fraunhofer IFAM konzipiert und umgesetzt wurde. Mit dem sogenannten »Colour Matching« lässt sich ein zeitintensiver Prozess aus dem Produktionsalltag der Branche erheblich abkürzen. Ausgangspunkt ist die Tatsache, dass Fahrzeugkarosserien im Werk lackiert werden, manche Anbauteile ebenfalls im Werk – aber mit anderen Lacken – und wieder andere Anbauteile bei Zulieferern. Gerade bei Effektfarbtönen wie Metallic-Lacken ergab sich dabei früher oft der Umstand, dass die vermeintlich gleichen Farbtöne nach der Montage optisch nicht zusammenpassten. Um das zu vermeiden, wurde für die Abstimmung der Farbtöne bei den unterschiedlichen Lackierern ein aufwendiger Weg beschritten: Sowohl beim Lackhersteller als auch bei den einzelnen Anwendern wurden Proben lackiert, die dann auf dem Postweg ausgetauscht und bewertet wurden. Der Lacktechnik des Fraunhofer IFAM gelang es, diesen Prozess zu beschleunigen: Sie entwickelte ein elektronisches System, das Farbe messen und in elektronische Daten umsetzen kann – an sich noch keine Besonderheit, weil das Vorgehen schon bekannt war. Doch die Lösung der Lacktechnik-Experten integrierte auch andere Aspekte in die Bewertung, beispielsweise die Grobheit der Effektlackierung oder auch den Glanz (Abb. 11). So wurde es möglich, auch »schwierige Lacke« zu erfassen, geeignete Toleranzen zu definieren, die Lackfarben virtuell zu vergleichen, sie anzupassen und am Ende beim jeweiligen Anwender final freizugeben.

---

### **Klebtechnische Fertigung: Schneller produzieren mit vorapplizierbaren PASA®-Klebstoffen**

---

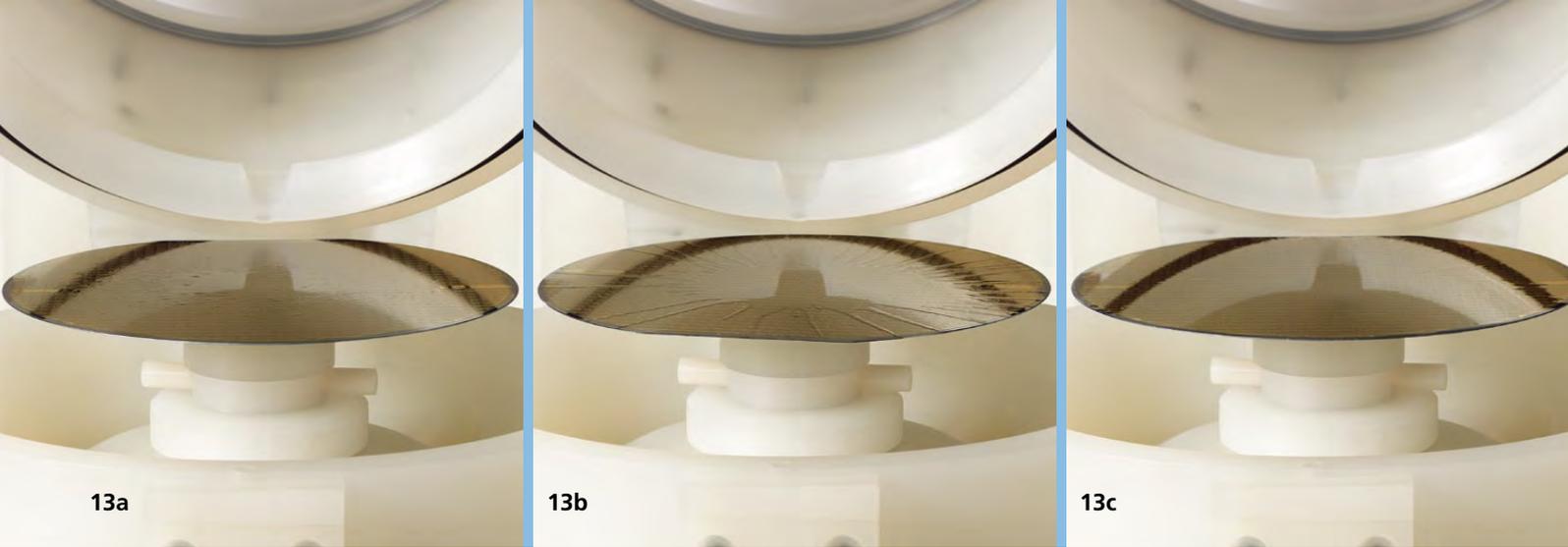
Auch auf dem Gebiet der Klebstoffe und Polymerchemie sorgen neue Erkenntnisse aus dem Fraunhofer IFAM dafür, dass industrielle Prozesse wesentlich schneller geworden sind. Bei der Klebstoffentwicklung spielt einerseits der optimierte Einsatz dieser Klebstoffe in der maschinell durchgeführten

Massenproduktion mit hohen Taktraten eine Rolle: Die Klebstoffe werden so angepasst, dass ein sicherer Einsatz in den Herstellungslinien bei immer höherem Tempo möglich ist. Andererseits lassen sich mittlerweile durch wesentlich schnellere Aushärtungen beeindruckende Geschwindigkeitsfortschritte realisieren.

Schnellhärtungsverfahren stehen heute im Mittelpunkt, wenn Industrieunternehmen eine noch höhere Taktrate erzielen wollen. Während Zwei-Komponenten-Klebstoffe aus dem Baumarkt 24 Stunden bis zum Erreichen ihrer Endfestigkeit brauchen, geht es hier um Klebungen, die innerhalb weniger Sekunden komplett aushärten. Das gelingt zum Beispiel mit Klebstoffen, die unter ultravioletter Bestrahlung (UV) blitzschnell hart werden. Weil die Festigkeit dieser Verbindungen aber nicht übermäßig groß ist, lässt sich das Verfahren beispielsweise in der Automobilbranche nicht einsetzen. Im Elektronikbereich oder auch beim Einkleben von Kanülen in Einwegspritzen ist die UV-Härtung jedoch durchaus gebräuchlich.

Eine bahnbrechende Entwicklung aus dem Fraunhofer IFAM sind vorapplizierbare Klebstoffe (»Pre-Applicable Structural Adhesives«; PASA®; Abb. 12). Der PASA®-Klebstoff wird auf Bauteile aufgebracht und dann bis zu einem bestimmten Grad vorgehärtet, sodass das Bauteil selbst trotz dieser Klebstoffbeschichtung zunächst keine Klebwirkung mehr hat. Der Vorteil: Die Komponenten – zum Beispiel Klebnägel, die im Automobilbereich als Ankerpunkte für die Inneneinrichtung des Fahrzeugs eingeklebt werden – lassen sich über einen längeren Zeitraum bei schwankenden Umgebungstemperaturen in Kartons lagern, ohne miteinander zu verkleben. Erst bei der eigentlichen Anwendung wird die vorher aufgetragene Klebschicht, die immer noch chemisch reaktiv ist, durch ein Magnetfeld in Sekundenschnelle aktiviert. Das Magnetfeld heizt für einen kurzen Zeitraum die »feste« Klebschicht auf,

**12** Vorapplizierbarer PASA®-Klebstoff auf metallischen Befestigungselementen.



wodurch sie verflüssigt und damit ihre Klebwirkung entfaltet. Vom Prinzip her ist diese Anwendung mit einem Handtuchhaken vergleichbar, bei dem die Klebschicht durch ein schützendes Papier bedeckt ist, das erst kurz vor dem Verkleben abgezogen wird. Im Fall des Klebnagels ermöglicht die blitzartige Aktivierung der Klebschicht die Verwendung in der Massenproduktion.

Die vorapplizierbaren Klebstoffe weisen den Vorteil auf, dass ihr Auftrag nicht in sensiblen Produktionsbereichen erfolgt, sondern im Vorfeld der Produktion – idealerweise nicht durch den Endanwender, sondern durch vorgelagerte Dienstleister. Dort, wo sehr viele kleine Füge­teile mit Klebstoff versehen werden müssen, kann dies sogar in einem Schritt erfolgen – beispielsweise bei Chips, die sich schon auf der Wafer-Ebene mit Klebstoff beschichten lassen (Abb. 13a–c). Erfolgreich entwickelt wurde die Beschichtungsart von den Wissenschaftlern der Klebtechnischen Fertigung des Fraunhofer IFAM am Beispiel von Transpondern mit Radiofrequenz-Identifikations-etiketten, sogenannten RFIDs. Während die Chips bisher mit heiß härtenden Klebstoffen in eine Plastikhülle eingeklebt wurden, ermöglicht es die Vorapplizierung, den Klebstoffauftrag komplett aus der Fertigungslinie herauszunehmen und die verwendeten Temperaturen herabzusetzen. Am Ende steht eine deutlich erhöhte Taktrate bei insgesamt erheblich verringertem Produktionsaufwand (siehe Seite 90; »Entwicklung neuer Klebstoffe: Unmögliche Eigenschaftskombinationen möglich gemacht«).

**13a–c** Beschichten eines prozessierten Wafers mit einem vorapplizierbaren Klebstoff mittels Spin-coating.

## KONTAKT

*Dr. Markus Brede*  
*Werkstoffe und Bauweisen*  
*Telefon +49 421 2246-476*  
*markus.brede@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. Stefan Dieckhoff*  
*Adhäsions- und Grenzflächenforschung*  
*Telefon +49 421 2246-469*  
*stefan.dieckhoff@ifam.fraunhofer.de*

*Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig*  
*Klebstoffe und Polymerchemie*  
*Telefon +49 421 2246-470*  
*andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. Dirk Niermann*  
*Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM*  
*Telefon +49 4141 78707-101*  
*dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de*

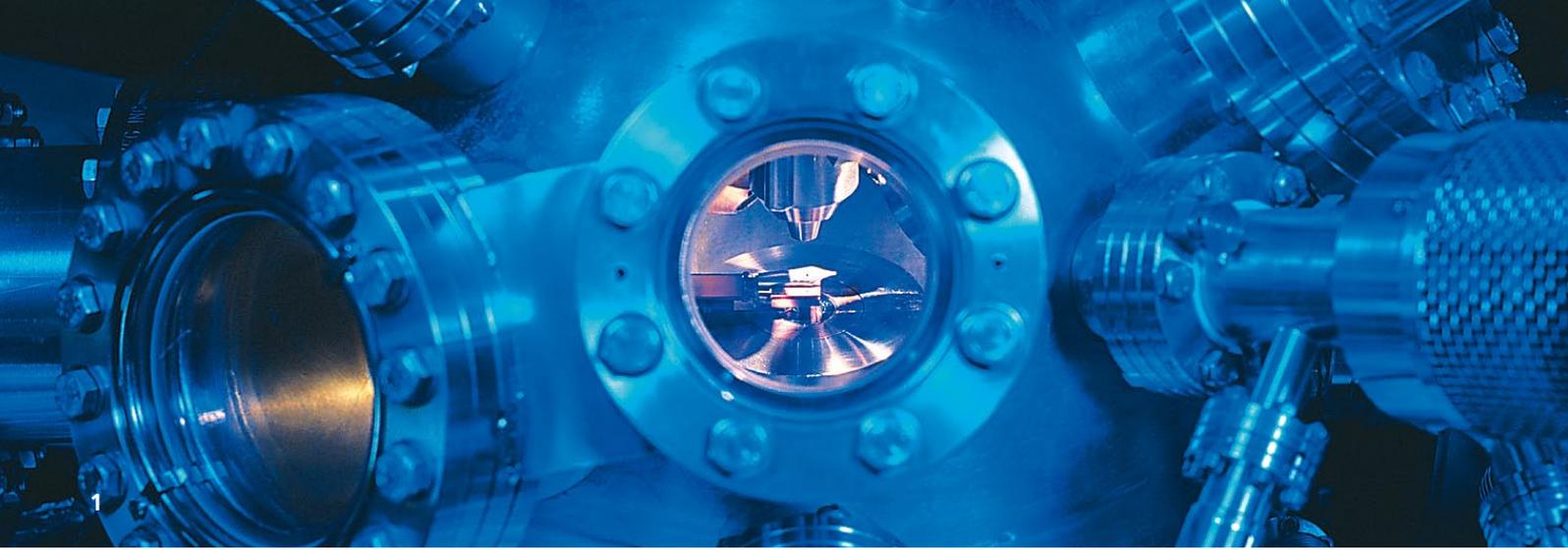
*Dipl.-Ing. Manfred Peschka MBA*  
*Klebtechnische Fertigung*  
*Telefon +49 421 2246-524*  
*manfred.peschka@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. Volkmar Stenzel*  
*Lacktechnik*  
*Telefon +49 421 2246-407*  
*volkmar.stenzel@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. Ralph Wilken*  
*Plasmatechnik und Oberflächen PLATO*  
*Telefon +49 421 2246-448*  
*ralph.wilken@ifam.fraunhofer.de*

### **Institut**

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM,  
Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen*



# ADHÄSIONS- UND GRENZFLÄCHEN- FORSCHUNG – VON ANALYSE UND SIMULATION ÜBER MATERIAL- UND PROZESSENTWICKLUNG BIS ZUR QUALITÄTSÜBERWACHUNG

Unter dem Begriff »Oberfläche« – oder umfassender »Grenzfläche« – versteht man üblicherweise die zweidimensionale Begrenzung von dreidimensionalen Objekten. Aber Grenzflächen zeichnen sich darüber hinaus durch vielfältige funktionelle Eigenschaften aus. Das zeigt sich im Alltag in Form unterschiedlichster Phänomene, beispielsweise bei der Entspiegelung von Brillengläsern oder bei der Benetzung von Oberflächen durch Wassertropfen. Weniger offensichtlich, aber von großer Bedeutung für die technologischen Fortschritte in der Welt von heute und morgen sind funktionelle Grenzflächen oder Grenzschichten in technischen Produkten. Die Eigenschaften und Funktionen vieler dieser Produkte sind einerseits durch die darin eingesetzten Werkstoffe und andererseits durch die Beschaffenheit der zugehörigen Materialoberflächen bestimmt. Das betrifft insbesondere auch die Grenzflächen bzw. Grenzschichten zwischen den verschiedenen Materialien, aus denen die Produkte aufgebaut oder mit denen sie beschichtet sind.

---

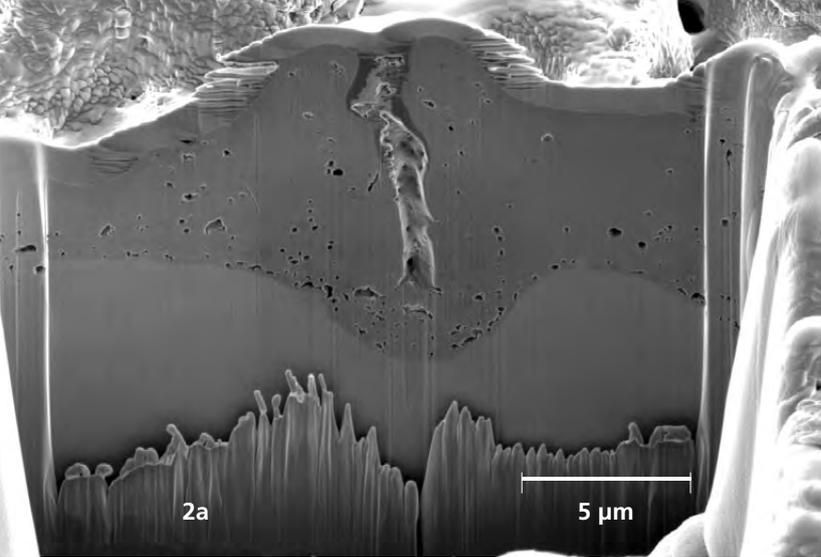
## Grenzflächen in multifunktionalen Materialien

---

Bei Klebverbindungen sind die Grenzflächen bzw. Grenzschichten sowohl für die Adhäsion als auch beispielsweise für Isolations- und Dämpfungseigenschaften zwischen zwei Füge­teilen verantwortlich. Ähnliches gilt für den mehrlagigen Schichtaufbau von Oberflächenschutzsystemen für Metallstrukturen. Diese Schichtverbunde müssen neben der Haftung der einzelnen Schichten untereinander zusätzlich Barriereeigenschaften gegenüber äußeren Einflüssen oder weitere Funktionen, z. B. Korrosionsschutz, gewährleisten. Grenzflächen spielen zudem bei zukunfts­trächtigen Composit-Materialien für Leichtbauanwendungen, beispielsweise in carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK), eine wesentliche

Rolle. Hierbei bestimmt die adhäsive Wechselwirkung zwischen den Faser­oberflächen und dem verwendeten Matrixharz die außergewöhnlichen mechanischen Eigenschaften der Material­klasse.

Im Fertigungsprozess werden Materialoberflächen durch gezielte technische Verfahren behandelt, um ihre Eigenschaften für die jeweilige Anwendung zu optimieren. Dabei ist das Ergebnis der Modifikationen in den meisten Fällen mit den menschlichen Sinnen weder zu erfassen noch zu beurteilen. Diese Oberflächeneigenschaften, die zum Beispiel für Adhäsion, Korrosionsschutz oder Gleiteigenschaften verantwortlich sind, manifestieren sich meist in einer extrem dünnen Oberflächenschicht – mit Dimensionen von wenigen Nanometern oder Moleküllagen. Dabei kommt der chemischen Zusammen-



setzung der Schichten sowie der Rauigkeit der Oberfläche eine entscheidende Bedeutung für nachfolgende Fertigungsschritte – wie Kleben oder Beschichten – zu.

### Grenzflächenspezifisches Know-how am Fraunhofer IFAM

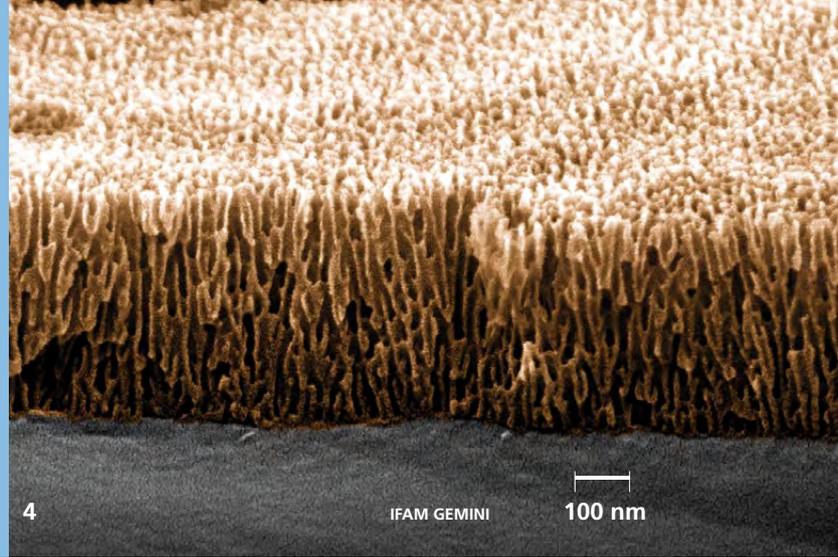
Der Nachweis und das Verständnis der technischen Auswirkungen der Eigenschaften von Oberflächen und Grenzflächen bzw. -schichten sowie die gezielte Nutzung dieses Wissens für die Entwicklung von Oberflächenbehandlungsprozessen, lack- und klebtechnischen Anwendungen sowie von neuen Materialien und Qualitätssicherungskonzepten stehen im Zentrum der Aktivitäten der Experten der Adhäsions- und Grenzflächenforschung am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM. Ihnen steht eine Vielzahl von hoch entwickelten Analyseverfahren (Abb. 1, 2a + b), computergestützten Simulationstechniken, nasschemischen Oberflächenbehandlungsverfahren sowie Test- und Prüftechniken für ihre Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Verfügung.

So können die Kunden sowohl das Expertenwissen als auch das Equipment der Tätigkeitsfelder Oberflächen- und Nanostrukturanalytik, Applied Computational Chemistry, Qualitätssicherung Oberfläche sowie Elektrochemie und Korrosionsschutz nutzen, um anwendungsorientierte Lösungskonzepte zu ihren jeweiligen Fragestellungen zu bekommen. Zudem stehen die fachspezifischen Erfahrungen anderer Abteilungen des Fraunhofer IFAM zur Verfügung, mit denen die Adhäsions- und Grenzflächenforschung eng zusammenarbeitet. Des Weiteren wird das vorhandene Know-how durch die Beteiligung an nationalen sowie internationalen Forschungsprojekten laufend aktualisiert und erweitert.

### Nasschemische Oberflächenbehandlungsverfahren – Erfolg durch material- und prozesstechnische Entwicklungen

So wurden beispielsweise – über die vorhandenen Einrichtungen zur trockenchemischen Vorbehandlung im Bereich Plasmatechnik und Oberflächen des Fraunhofer IFAM hinaus – die Möglichkeiten der nasschemischen Vorbehandlung metallischer Werkstoffe gezielt weiter ausgebaut (Abb. 3). Eine geeignete Vorbehandlung dieser Werkstoffe ist für die nachfolgende Verarbeitung durch Lackieren oder Kleben zwingend erforderlich. Sie kann durch mechanische, trocken- oder nasschemische Verfahren erfolgen. Letztere nehmen nach wie vor den größten Anteil in der industriellen Fertigung ein. Wegen Gefahren für die Gesundheit und gesetzlichen Einschränkungen kann bei nasschemischen Verfahren immer weniger auf chromathaltige (Cr(VI)-haltige) Vorbehandlungen – die ausgezeichnete Oberflächeneigenschaften bezüglich Korrosionsbeständigkeit bzw. Haftfestigkeiten von Lacken oder Klebstoffen ermöglichen – zurückgegriffen werden.

- 1** Die Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS) analysiert die Chemie von Oberflächen und Grenzflächen.
- 2a + 2b** Neueste Analysetechniken bieten Einblicke in den Mikro- und Nanokosmos – Focused-Ion-Beam-Präparation (FIB) in Kombination mit Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie (REM, TEM):
- 2a:** Querschnitt eines oxidierten Titanwerkstoffs – REM-Aufnahme. Die In-situ-Querschnittspräparation erfolgte durch FIB-Technik.
- 2b:** Querschnitt (Cryo-Bruch) durch eine kugelförmige Seewasseralge als Beispiel der Cryo-REM von biologischen Proben.



Während der Umstieg auf Cr(VI)-freie Verfahren in vielen Bereichen, z. B. dem Automobilbau, bereits abgeschlossen ist, dauert die Entwicklung in anderen Bereichen noch an. Das betrifft u. a. die Bereiche Architektur und Luftfahrt, bei denen Oberflächen mit langen Lebensdauern sowie hoher Zuverlässigkeit bereitgestellt werden müssen. Das Fraunhofer IFAM arbeitet seit vielen Jahren eng mit Partnern aus der Luftfahrtindustrie zusammen, um Cr(VI)-freie Verfahren zur Vorbehandlung von Metallen vor dem Kleben und Lackieren zu entwickeln. Hierbei stehen vor allem die Leichtmetalle Aluminium und Titan sowie Stahl im Vordergrund. Dabei wird der gesamte Vorbehandlungsprozess betrachtet; einen Schwerpunkt bilden das Beizen, Passivieren und Anodisieren (Abb. 4).

Zukünftige Arbeiten zielen zum Beispiel auf Cr(VI)-freie lokale Vorbehandlungen für Reparatur- und Nacharbeiten, die Entwicklung von Klebebändern mit integrierter Beiz- oder Anodisierfunktion, weiterentwickelte Sealingverfahren von Anodisierschichten sowie die Behandlung neuer metallischer Werkstoffe ab.

### Vorhersage von Eigenspannungen und -verformungen geklebter Bauteile durch Simulationsverfahren

Neben den Entwicklungen von Oberflächenbehandlungsprozessen, Beschichtungsmaterialien und Klebstoffen ist auch die Betrachtung von Einflüssen des Produktions- bzw. Fertigungsprozesses von besonderer Bedeutung für die Qualität der erzeugten Produkte. Die in der Entwicklungsphase eines Produkts hergestellten Muster erlauben oftmals nur einen begrenzten Ausblick auf die komplexen Einflussfaktoren, die im späteren industriellen Herstellungsprozess auftreten können.

Ein Beispiel ist das Aushärten reaktiver Klebstoffe, bei denen während der Fertigung eine Vernetzung und damit ein Schrumpfen des Volumens auftreten. Dieser »Härtungs-

schrumpf« lässt sich bisher nicht voraussagen, sondern muss durch aufwendige und zeitintensive Messreihen in seiner Auswirkung auf die Bauteileigenschaften bestimmt werden. Seine Berücksichtigung wäre aber schon bei der Auslegung der Klebungen wünschenswert, um die während der Härtung auftretenden Spannungen im Füge­teil bzw. Verschiebungen der geklebten Komponenten relativ zum restlichen Bauteil berücksichtigen zu können.

Derartige Fragestellungen – und damit ein Bedarf für entsprechende Simulationsverfahren – bestehen beispielsweise beim positionsgenauen Kleben von Linsen in optischen Geräten bzw. von Sensoren im Messtechnik- und Mikrotechnikbereich, bei denen eine hohe Präzision sowie Zuverlässigkeit der Hochleistungsklebstoffe bis hin zur Nanometerskala erreicht werden muss. Durch Verknüpfung verschiedener Simulations- und Analysemethoden konnten die Experten des Fraunhofer IFAM ein Simulationstool zur Vorhersage der Volumenänderung des entsprechenden Klebstoffs entwickeln (Abb. 5).

Dazu wurde ein makrokinetisches Reaktionsmodell für die Beschreibung der im Klebstoff ablaufenden Vernetzungsreaktionen erstellt. In Kombination mit thermokinetischen Messungen lassen sich mit diesem Modell zu jedem Zeitpunkt die Zahl der vorhandenen reaktiven Gruppen – und damit der Reaktionsumsatz – berechnen. Molecular-Modelling-Verfahren ermöglichen die Simulation der Polymernetzwerke auf molekularer Ebene und die Berechnungen der zugehörigen Dichte sowie des Polymervolumens. Bei einem Klebstoff mit bekannter Zusammensetzung lässt sich so die härtungsbedingte Volumenänderung zu einem beliebigen Zeitpunkt

- 3 *Schnell und flexibel – die Mini-Galvanik des Fraunhofer IFAM zur kundenspezifischen Entwicklung und Optimierung von Vorbehandlungsprozessen für metallische Werkstoffe.*
- 4 *Anodisierschicht auf der Oberfläche eines Aluminiumwerkstoffs. Die REM-Aufnahme der Bruchkante zeigt einen Querschnitt der nanoporigen Schichtstruktur.*

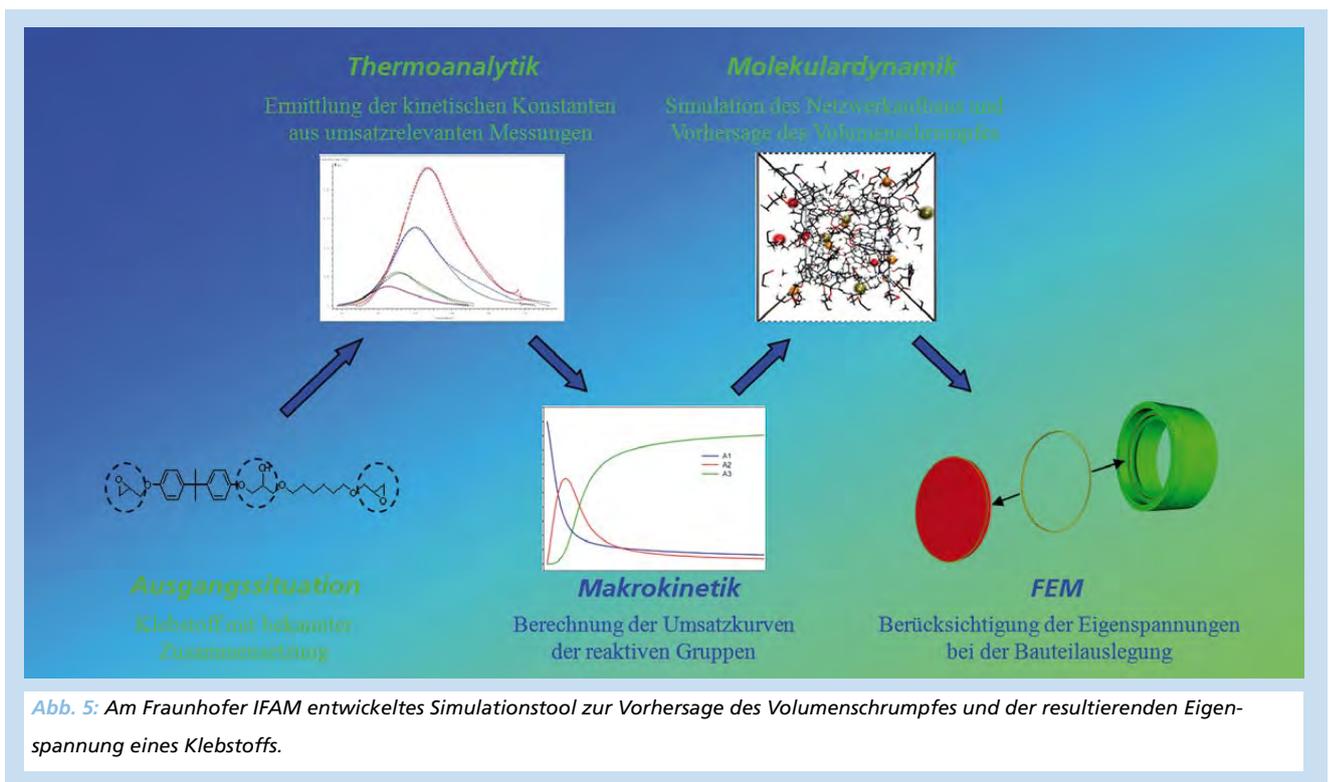


Abb. 5: Am Fraunhofer IFAM entwickeltes Simulationstool zur Vorhersage des Volumenschrumpfes und der resultierenden Eigenspannung eines Klebstoffs.

voraussagen. Die Auswirkung des Schrumpfverhaltens auf die Bauteilauslegung kann anschließend durch eine Verwendung der molekular bestimmten Kenngrößen in Finite-Elemente-Methoden vorhergesagt und bei der Auslegung eines realen Bauteils berücksichtigt werden (Abb. 6).

Dieser Ansatz ermöglicht die Zurückführung der makroskopisch erfassbaren Eigenspannungen und -verformungen geklebter Bauteile auf die Chemie der Netzwerkbildung. Das macht die Methode unabhängig von Schwindungsmessungen und für verschiedenste Klebstoffe und Anwendungen einsetzbar. Der Simulationsansatz ist neben den beschriebenen Präzisionsklebungen in kleinen Dimensionen auch für das Kleben bzw. für die Aushärtung von Matrixharzen großer Bauteile von Interesse. Daher soll diese Methode in zukünftigen Arbeiten auch auf das Fügen und die Herstellung von Großstruk-

turen – beispielsweise Rotorblätter von Windenergieanlagen, Flugzeugstrukturbauteile und Komponenten im Automobil-, Schienenfahrzeug- sowie Schiffbau – übertragen werden.

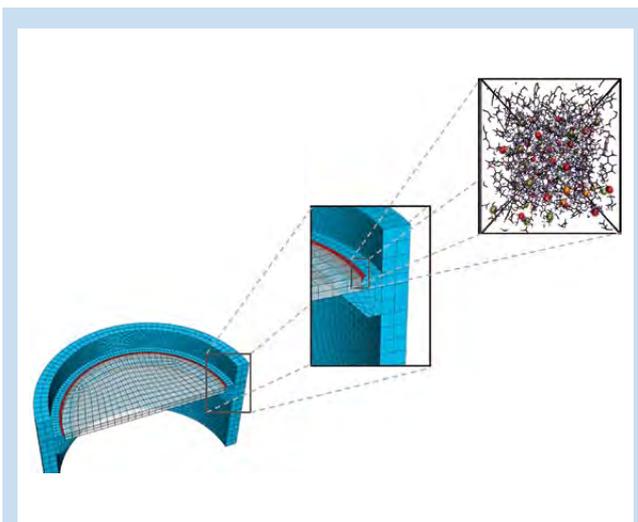


## Qualitätssicherungskonzepte

Zusätzlich zur Analyse der Auswirkungen von fertigungsbedingten Einflüssen ist eine prozessintegrierte Kontrolle von Oberflächeneigenschaften für zahlreiche Industriezweige und Produktionsbereiche von hohem Interesse. Aktivierungen und Vorbehandlungen von Werkstoffoberflächen nehmen im Transportmittelbau – Automobil, Nutzfahrzeug, Flugzeug, Schienenfahrzeug, Schiff – einen ebenso großen Raum ein wie bei der Herstellung elektronischer Baugruppen oder in der Medizintechnik. Große Windenergieanlagen, ob Onshore oder Offshore, benötigen oft hochwertige, fehlerfreie Be-

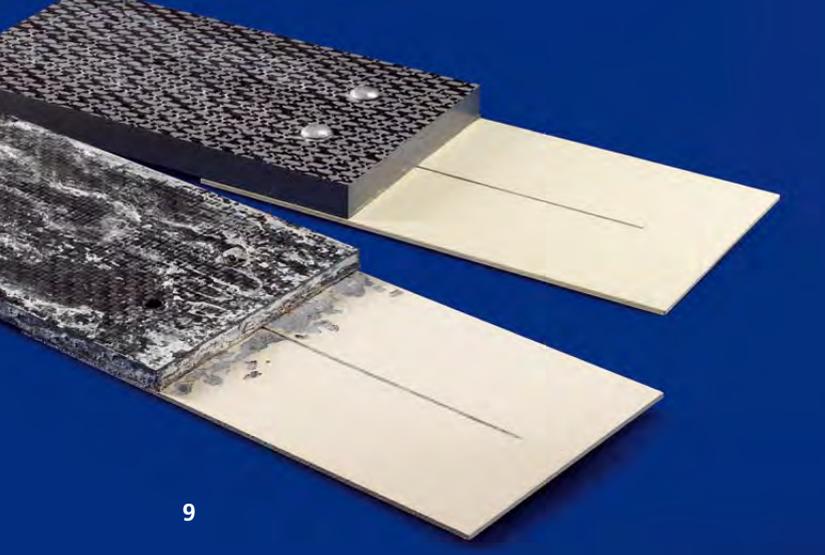
schichtungen und Lackierungen, etwa als Korrosionsschutz. Die lückenlose Überwachung der betreffenden Fertigungsprozesse ist hier ein Ziel der entwickelten Inline-Verfahren. Damit lässt sich eine durchgängige Überwachung des Zustands von Bauteiloberflächen in die individuellen Fertigungsprozesse des Kunden integrieren.

Innerhalb der Adhäsions- und Grenzflächenforschung des Fraunhofer IFAM bringen die Experten des Tätigkeitsfelds »Qualitätssicherung Oberfläche« neue innovative Verfahren der permanenten Oberflächenüberwachung im Produktionsprozess zur Anwendungsreife. Ein Beispiel für eine gelungene Anwendung von Inline-Messverfahren ist der Nachweis von fertigungsbedingten Trennmittelrückständen auf Faserverbundbauteilen mittels Laserinduzierter Plasma-Spektroskopie (LIPS), um nachfolgend schadhafte Klebungen oder Lackierungen zu vermeiden (Abb. 7). Ein weiteres Beispiel ist ein im Fraunhofer IFAM entwickelter Wasserbenetzungstest, die »Aerosol-Benetzungsprüfung«, mit dem die Qualität der Vorbehandlung großflächiger Oberflächen überprüft werden kann (Abb. 8). Speziell entwickelte Bilderfassungssysteme sowie Auswertungsroutinen ermöglichen sichere Aussagen und sind optimal in laufende Produktionsprozesse integrierbar.



**Abb. 6:** Der aus dem atomaren Strukturmodell des Klebstoffs (oben rechts) berechnete Volumenschrumpfung geht direkt als Parameter in die Auslegung des Bauteils (unten links) ein. So lassen sich Volumenänderung des Klebstoffs in der Klebfuge (Mitte, rot hervorgehoben) und die sich aufbauenden Eigenstressungen im Bauteil vorhersagen.

- 7 Laserinduzierte Plasma-Spektroskopie (LIPS) zur Untersuchung der Elementzusammensetzung der Probenoberfläche.
- 8 Untersuchung der Benetzungseigenschaften von Oberflächen mithilfe der im Fraunhofer IFAM entwickelten Aerosol-Benetzungsprüfung.



9



10

## Korrosionsschutz

Durch den zunehmenden Einsatz von Faserverbundwerkstoffen für Leichtbaukonstruktionen gilt es, für Materialverbunde zwischen CFK und metallischen Werkstoffen wirksame Schutzkonzepte zur Vermeidung von Kontaktkorrosion bereitzustellen (Abb. 9). Letztere würde sonst insbesondere bei Verbindungen zwischen CFK und Aluminiumlegierungen nicht nur unweigerlich, sondern auch rasch zu Korrosionsschäden am Aluminiumwerkstoff führen. Hier helfen sowohl klebtechnische Lösungen als auch maßgeschneiderte Korrosionsschutzkonzepte, die von den Experten für Elektrochemie und Korrosionsschutz erarbeitet werden.

Korrosion ist auch ein maßgeblicher limitierender Faktor für den Einsatz von Offshore-Windenergieanlagen (Abb. 10). Die Sicherstellung bzw. Verlängerung der Lebensdauer der Anlagen ist ein wichtiges Ziel, das durch geeignete Korrosionsschutzmaßnahmen erreicht werden soll. Hier kommt die jahrelange Erfahrung des Bereichs Elektrochemie und Korrosionsschutz zum Tragen, um geeignete Korrosionsschutzbeschichtungen zu bewerten und um Konzepte für die regelmäßige Kontrolle des »Ist-Zustands« der Schutzfunktion (»Monitoring«) sowie der Instandsetzung im Bedarfsfall zu entwickeln. Aktuell werden für Offshore-Windenergieanlagen in diesem Zusammenhang gemeinsam mit Entwicklern von Beschichtungsmaterialien, Wartungsfirmen, Anlagenbetreibern, Stahlbauern und Konstrukteuren nachhaltige Reparaturkonzepte geplant.

Als Beitrag für neue Korrosionsschutzbeschichtungen arbeitet die Adhäsions- und Grenzflächenforschung des Fraunhofer IFAM auch an der Entwicklung neuer Korrosionsinhibitoren, die die EU-Chemikalienverordnung REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of CHemicals) erfüllen. Hier werden beispielsweise im Rahmen eines öffentlich geförderten Projekts polymere Wirkstoffe mit korrosionsschützenden Eigenschaften für eine breite Palette von Metallen entwickelt und erprobt (Abb. 11).

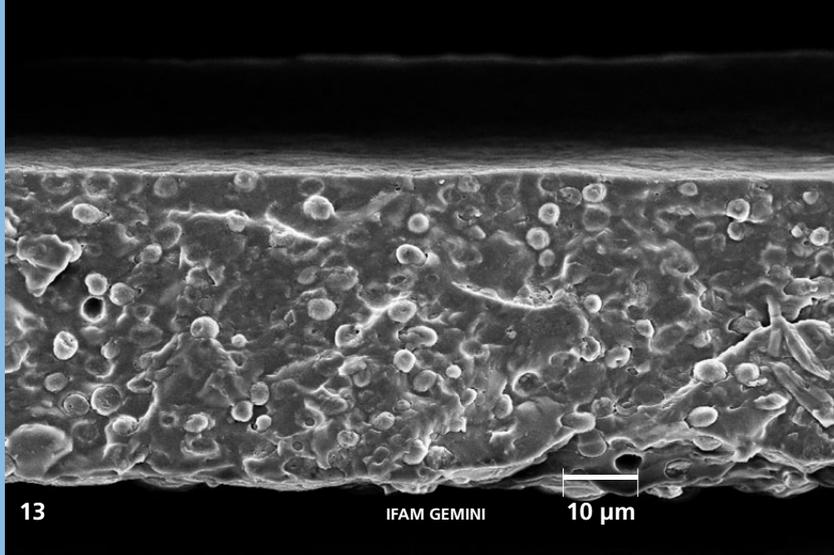
## Wirkstoffverkapselung

Darüber hinaus werden Strategien zur Verkapselung von Wirkstoffen für die Einarbeitung in polymere Materialien oder Beschichtungen erarbeitet. Diese Wirkstoffe, bei denen es sich neben Korrosionsinhibitoren auch um Substanzen zur Hemmung von Eisbildung oder um Duftstoffe handeln kann, werden bei Bedarf – d. h. aufgrund eines äußeren Reizes, in Form einer mechanischen Verletzung oder einer Temperaturänderung – gezielt aus ihren verkapselten Depots freigesetzt. Als Kapselmaterial werden dabei nanoskalige Zeolithe (Abb. 12) oder funktionelle Biokapseln (Abb. 13) verwendet. Letztere leisten als nachwachsende Rohstoffe einen Beitrag sowohl zum Umweltschutz als auch zum nachhaltigen Materialeinsatz und bieten hinsichtlich ihrer Eigenschaften bei Verarbeitung bzw. Einsatz gegenüber synthetischen Polymerkapseln Vorteile in Bezug auf Größenverteilung, Belastbarkeit sowie Speichereigenschaften.

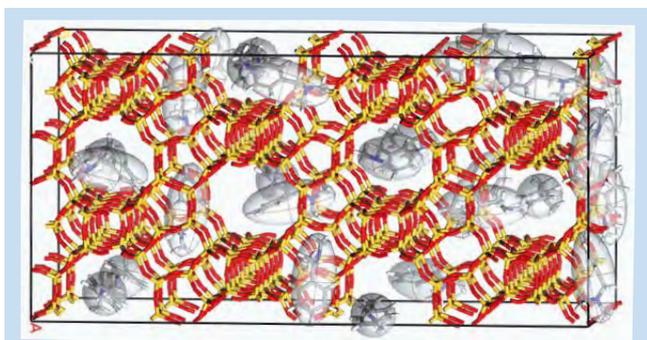
In den genannten Beispielen – wie auch bei vielen anderen Tätigkeiten der Adhäsions- und Grenzflächenforschung des Fraunhofer IFAM – ist die Beschaffenheit von Oberflächen bzw. Grenzflächen von besonderer Bedeutung für die technischen Eigenschaften und Funktionen der betrachteten Materialien, Bauteile sowie Produkte. Der Nachweis und das Verständnis dieser Zusammenhänge dienen zur gezielten Entwicklung neuer Materialien sowie Oberflächenbehandlungsprozesse, zum Einsatz maßgeschneiderter Qualitätssicherungs- und Korrosionsschutzkonzepte sowie zur fundierten Schadensanalyse. Expertenwissen, langjährige Erfahrung und

**9** Die vom Fraunhofer IFAM entwickelten Korrosionsschutzkonzepte helfen, die Kontaktkorrosion zwischen CFK und Aluminium zu vermeiden.

**10** Korrosionsschutzkonzepte für Offshore-Windenergieanlagen – die Expertise aus dem Fraunhofer IFAM (Quelle: REpower Thornton Bank 12; Foto: Christian Eiche).



hoch entwickeltes Equipment – das sind die Grundlagen für die erfolgreiche praxisorientierte Bearbeitung von oberflächen- bzw. klebtechnischen kundenspezifischen Fragestellungen.



**Abb. 12:** Abschätzung der sterischen und chemischen Anforderungen für die Einlagerung von Wirkstoffmolekülen in Zeolith-Gastsystemen sowie Bestimmung der Beladung und Verteilung mittels »Molecular Modelling«.

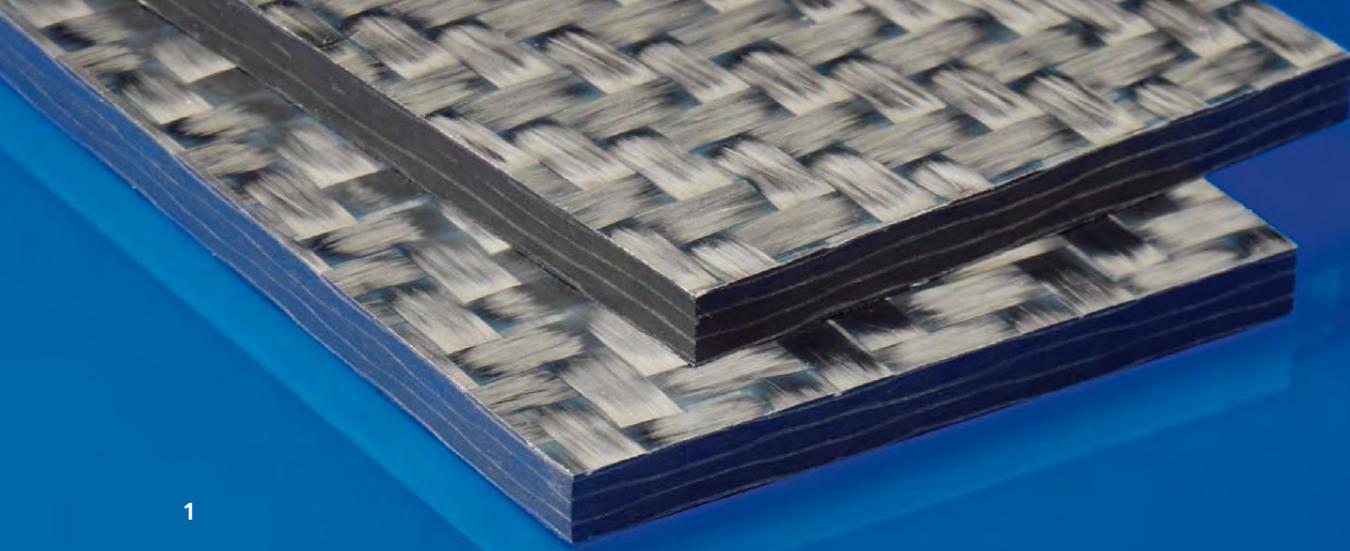
## KONTAKT

*Dr. Stefan Dieckhoff*  
*Adhäsions- und Grenzflächenforschung*  
*Telefon +49 421 2246-469*  
*stefan.dieckhoff@ifam.fraunhofer.de*

### Institut

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
 Angewandte Materialforschung IFAM,  
 Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen*

- 11** Salzsprühnebelgerät im akkreditierten Korrosionsprüflabor des Fraunhofer IFAM.
- 13** Lackschicht mit Biokapseln, die Wirkstoffbeladungen von bis zu 50 Massenprozenten enthalten können, um Lackschichten z. B. mit korrosionsinhibierender oder antimikrobieller Funktionalität auszustatten. Die REM-Aufnahme der Bruchfläche zeigt einen Lackschichtquerschnitt und die darin enthaltenen fein verteilten, einheitlich großen Biokapseln.



1

## REINIGEN UND AKTIVIEREN VOR LACKIEREN UND KLEBEN: BEI FASERVERBUNDWERKSTOFFEN KOMMT ES AUF DIE RICHTIGE OBERFLÄCHE AN

Sie haben Technologiesprünge erlaubt und der Industrie völlig neue Anwendungen ermöglicht: Mit Carbon- oder Glasfasern verstärkte Kunststoffe – Faserverbundkunststoffe (FVK) – haben in den vergangenen 25 Jahren eine bemerkenswerte »Karriere« gemacht. Wo immer es um geringes Gewicht und hohe Steifigkeit geht, sind Faserverbundkunststoffe – insbesondere carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK; Abb. 1) und glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) – heute eine naheliegende Option. Dank der Faserverbundkunststoffe hat der Leichtbau in bedeutende Industriebereiche Einzug gehalten. Der Werkstoff macht eine ressourcenschonende Produktion und damit umweltfreundliche Produkte möglich.

Im Luftfahrtbereich werden Flügelteile und Seitenleitwerke aus CFK geformt, im Automobilbereich Fahrzeugdächer, Kofferraumklappen und auch im Bereich der Windenergie gilt es, immer größere Rotorblätter aus GFK zu fertigen. Die Gewichtsreduzierung zahlt sich aus. So führt der konsequente Leichtbau zu einer höheren Effizienz und bei Transportmitteln zu einem geringeren Treibstoffverbrauch und damit zu der angestrebten Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emission. Extrem harte, steife und dennoch leichte Tennisschläger oder Rennradrahmen haben im Sport als optimales »Werkzeug« ihren Anteil zu Höchstleistungen beigetragen. Kurzum: CFK hat mittlerweile einen festen Platz in der industriellen Gegenwart – und eine glänzende Zukunft. Es wird beispielsweise nur noch wenige Jahre dauern, bis Flugzeuge mit mehr als 50 Prozent CFK-Anteil durch die Luft schweben. Neuentwicklungen wie der Airbus A 350 oder die Boeing 787 zeigen, wohin die Reise geht.

Im Automobilbau und im Luftfahrtbereich hat der Werkstoff CFK sein großes Leichtbaupotenzial bereits nachgewiesen; in vielen anderen Bereichen wird das Material seine zahlreichen

Vorteile bald verstärkt ausspielen. Wo immer FVK eingesetzt wird, muss es jedoch neben allen mechanischen Eigenschaften eine wichtige Grundvoraussetzung erfüllen: Die Anwendung muss wirtschaftlich sein. Oft ist dies nur durch die automatisierte Massenfertigung und -verarbeitung von FVK zu realisieren. Vor allem im Automobilbau sind hohe, effiziente Taktraten gefordert. Und auch im Flugzeugbau wird verstärkt versucht, trotz der Größe der Bauteile den Schritt von der Einzel- in die Serienfertigung zu vollziehen.

---

### Kontaminationen durch Trennmittel – ein notwendiges Übel?

---

In der Herstellung der FVK-Komponenten liegt eine grundlegende Herausforderung verborgen. Fast alle FVK-Bauteile

1 *Prädestiniert für den Leichtbau – carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK).*

werden in metallischen Formen hergestellt, in denen sie durch einen Aushärtungsprozess ihre endgültige Struktur und Stabilität erhalten. Damit sich die Bauteile nicht fest mit den Formen verbinden, kommen in den meisten Fällen Trennmittel zum Einsatz. Diese sollen bewirken, dass sich die zum Teil mehrere Meter langen Bauteile ohne Beschädigungen wieder aus den Formen entfernen lassen. Dabei werden jedoch auch Trennmittelreste auf das Bauteil übertragen, weshalb eine nachträgliche Reinigung der Oberflächen unumgänglich ist. Die Art, die Menge und die Methode des Auftrags des eingesetzten Trennmittels entscheiden darüber, welcher Reinigungsaufwand anschließend erforderlich ist. Die Maßgabe ist: so viel wie nötig und so wenig wie möglich.

Die Entwicklungen auf diesem Gebiet sind unterschiedlich. In den letzten Jahren wurden u. a. interne Trennmittel für FVK-Bauteile entwickelt, die das Eintrennen der Form ersetzen sollen – das Bauteil bringt quasi sein eigenes Trennmittel bereits mit. Die Trennmittel sind in den Ausgangsprodukten für die Polymermatrix eingearbeitet. Aber auch hier gilt: Damit die Bauteile sich entformen lassen, muss das Trennmittel an der Oberfläche wirken können. Dies führt wiederum dazu, dass die Trennmittel vor einer sich anschließenden Lackierung oder Klebung erst wieder »unschädlich« gemacht werden müssen.

Alternative Entformungsprozesse nutzen anstelle von Trennmitteln permanente Trennschichten (Abb. 2) oder Trennfolien, die in die Formen eingelegt werden. Dabei steigt zwar der Aufwand in der Vorbereitung der Formen, aber die Kosten für die Nachbehandlung lassen sich deutlich senken.

Mit dieser FuE-Thematik haben sich die Experten von Plasmatechnik und Oberflächen – PLATO – des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in den letzten Jahren intensiv beschäftigt. Sie entwickeln u. a. tiefziehfähige, flexible Trennfolien, durch die auf Trennmittel völlig verzichtet werden kann (siehe S. 67; »Schneller und kostengünstiger mit Qualitätsgewinn: Fraunhofer IFAM beschleunigt industrielle Prozesse«).

### Oberflächenvorbehandlung bei Faserverbundkunststoffen: Reinigung und Aktivierung

Sollte der Verzicht auf Trennmittel im Fertigungsprozess der FVK-Bauteile nicht möglich sein, so müssen sie vor einer weiteren Verarbeitung qualitätsgesichert entfernt werden. Erst dadurch lässt sich das volle Potenzial dieses Werkstoffs nutzen, um im Anschluss gute und gesicherte Kleb- und Lackhaftungsergebnisse zu erzielen. Das ist besonders wichtig, da das Kleben die ideale Füge-technik für Faserverbundwerkstoffe ist und nicht die mechanische Niettechnik. Beim mechanischen Fügen müssen zunächst aufwendig und sehr kostenintensiv Löcher in das Material gebohrt werden. Dabei kommt es nicht nur zu einem hohen Verschleiß der Werkzeuge, sondern auch zu einer lokalen strukturellen Schädigung des FVK und damit zur erheblichen Schwächung des Bauteils.

Hingegen ist die Klebtechnik eine werkstoffgerechte Fügemethode. Sie ermöglicht eine schädigungsfreie, flächige Kraftübertragung und kann so wirtschaftlicher eingesetzt werden. Darüber hinaus lässt sich bei CFK damit die Kontaktkorrosion zwischen den Carbonfasern und den metallischen Nitelementen vollständig vermeiden. Um diese Potenziale jedoch vollständig nutzen zu können, sind geeignete Oberflächen erforderlich.

Hier setzt die Arbeit der PLATO-Wissenschaftler des Fraunhofer IFAM wieder ein. Mit ihrer breiten Expertise hat die PLATO in den vergangenen Jahren in zahlreichen Projekten den Einsatz von FVK optimiert oder sogar erst möglich gemacht.

Die Herausforderung ist anspruchsvoll: Faserverbundkunststoffe müssen mit den Vorbehandlungsmethoden so auf die Weiterverarbeitung vorbereitet werden, dass darauf sowohl eine qualitätsgesicherte Klebung als auch eine fehlerfreie Lackie-

#### 2 Trennmittelfreie Entformung von FVK-Bauteilen durch permanente plasmapolymere Trennschichten.



3

rung erfolgen kann. Zeit, Kosten und Qualität sind die Parameter, an denen der Einsatz von FVK u. a. gemessen wird und an denen sich somit auch die Vorbehandlung des Werkstoffs orientiert. Im Flugzeugbau und im Bereich der Windenergie werden Komponenten bislang oft mit aufwendiger manueller Arbeit gereinigt und für die Klebung oder Lackierung vorbereitet – durch Schleifen per Hand, Abwischen mit Lösungsmitteln oder maschinell unterstützt durch das Laserstrahlen, was allerdings ebenso wie die »händische« Arbeit die Gefahr von Fehlern und Beschädigung des sensiblen Materials mit sich bringt.

Das Ziel von PLATO ist es, durch die Automatisierung der Vorbehandlungsprozesse die Sicherheit und die Qualität der FVK-Verwendung zu erhöhen und die Kosten zu senken. Je nachdem, was genau im nächsten Schritt mit dem gefertigten FVK-Bauteil geschehen soll, bieten sich unterschiedliche Prozesse an. Dank der FuE-Aktivitäten im Bereich Plasmatechnik und Oberflächen wird in Zusammenarbeit mit dem Kunden die passende, bedarfsgerechte Lösung für den jeweiligen Anwendungsfall gefunden. Von Vorteil ist dabei, dass die Arbeiten in enger Zusammenarbeit mit den anderen Fachbereichen des Fraunhofer IFAM – z. B. der Adhäsions- und Grenzflächenforschung, der Klebtechnik oder der Lacktechnik – erfolgen.

Eine weitere Herausforderung neben der Trennmittelproblematik ist, dass es thermoplastische CFK-Materialien gibt, die sich selbst im sauberen Zustand nicht gut kleben oder lackieren lassen. Noch wird der überwiegende Teil der CFK-Bauteile mit Epoxiden hergestellt; zunehmend kommen aber auch im Luftfahrt- und Automobilbereich thermoplastische Materialien zum Einsatz. Diese CFK-haltigen Kunststoffplatten lassen sich unter Wärmeeinwirkung in eine beliebige Form pressen – so, wie für Fahrzeuge beispielsweise auch Bleche gepresst werden. Der Nachteil ist, dass thermoplastische Materialien für die Haftung von Lacken und Klebstoffen zunächst nicht gut geeignet sind. Sie weisen eine wasserabweisende Oberfläche auf, die selbst bei hundertprozentiger Sauberkeit nicht kleb- oder lackierfreudig ist. Hier muss das Material also mit einer

Oberflächenvorbehandlung zusätzlich zur Reinigung auch noch aktiviert werden.

### Welche Vorbehandlung ist die richtige?

Welche Vorbehandlung passt zu welcher Kontamination und zu welchem Produktionsprozess bzw. Produktionsschritt? Dies ist die grundsätzliche Frage, die die PLATO-Experten antreibt. Die ideale Antwort kann hierbei auch sein, dass zwei Verfahren miteinander kombiniert werden, um die technisch und wirtschaftlich beste Lösung zu erreichen. Die Vorbehandlung muss so gestaltet sein, dass sie sicher ist – für die Produktion, für die Lebenszeit des Bauteils und für den Kunden.

#### CO<sub>2</sub>-Schneestrahlen – schonend und gründlich reinigen ...

Wenn in der Produktion auf den Einsatz von Trennmittel nicht verzichtet werden kann, hat sich in der jüngeren Vergangenheit vor allem die CO<sub>2</sub>-Schneestrahln-Reinigung oftmals als geeignete Vorreinigung erwiesen. Dabei wird Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) eingesetzt – ein unbrennbares, farb- und geruchloses Gas, das ein natürlicher Bestandteil der Luft ist und sich umweltfreundlich gewinnen lässt. Es wird in flüssiger Form in einem Tank gelagert und beim Einsatz durch spezielle Düsentekniken in kleine Schneekristalle umgewandelt, die mit hohem Druck auf die Bauteiloberfläche beschleunigt werden (Abb. 3).

Auf diese Weise lassen sich material- und umweltschonend Kontaminationen von Oberflächen entfernen. Weil die

3 *Schonend, gründlich und rückstandsfrei – Entfernung von Trennmitteln durch CO<sub>2</sub>-Schneestrahlen.*



4

Schneekristalle wieder in den gasförmigen Zustand übergehen und sich im wahrsten Sinne des Wortes »in Luft auflösen«, gibt es auch keine Rückstände. Das Verfahren ist für die Oberfläche äußerst schonend und verletzt die Bauteiloberfläche nicht, reinigt sie jedoch gründlich. Namhafte Automobilfirmen wie BMW setzen das CO<sub>2</sub>-Schneestrahlen bereits in der Serienproduktion vor der Kunststofflackierung ein. Damit entfällt nicht nur die aufwendige wässrige Reinigung – der Autobauer kann auch sicher sein, dass das Bauteil höchsten lacktechnischen Anforderungen entspricht. Der große Vorteil des CO<sub>2</sub>-Schneestrahlers ist somit die Reinigung. Allerdings ist ein Polymer, das von sich aus hydrophob – also wasserabweisend – ist, auch nach der CO<sub>2</sub>-Behandlung im sauberen Zustand nicht gut mit Wasser benetzbar.

#### **... in Kombination mit Atmosphärendruck-Plasma – eine optimale Grundlage für Klebung sowie Lackierung**

Um Polymere auch besser kleb- und lackierbar zu machen, bietet sich die Behandlung mit einem Atmosphärendruck-Plasma (AD-Plasma; Abb. 4) an. Ursprünglich kaum lackierbare thermoplastische Materialien – wie Polyphenylsulfid (PPS) – lassen sich durch die AD-Plasmabehandlung entscheidend modifizieren, indem man mit dieser Methode Sauerstoff in die Werkstoffoberfläche einbaut. Das macht allerdings nur bei geringen Verschmutzungen Sinn: Ein Plasma ist zwar in der Lage, organische Kontaminationen, etwa einen dünnen Ölfilm, zu entfernen. Bei größeren Verunreinigungen kann diese Vorbehandlung allerdings nicht die alleinige Methode sein: hier bietet sich eher eine Kombination von CO<sub>2</sub>-Schneestrahlen – zur Entfernung der Grobverschmutzung – und ein AD-Plasmaprozess – zur Feinstreinigung und Funktionalisierung der Oberflächen – an. Beide Prozesse lassen sich automatisiert in der Serienproduktion gut miteinander koppeln.

4 *Reinigung und Aktivierung von komplexen FVK-Oberflächen durch Atmosphärendruck-Plasma.*

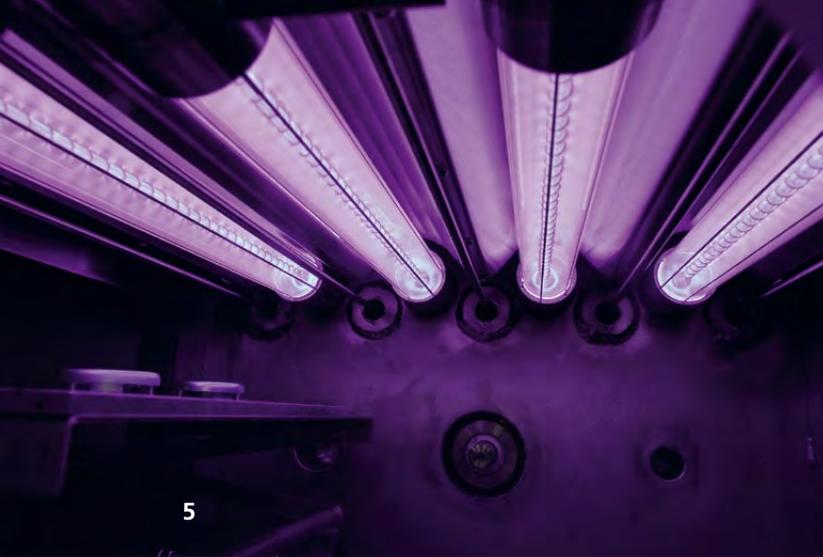
#### **Reinigung und Aktivierung mit Licht – VUV-Excimer-Technologie**

Eine relativ neue Technologie im Portfolio von PLATO ist die Reinigung, Aktivierung und Beschichtung von Oberflächen durch Vakuum-Ultra-Violett-Strahlung, kurz VUV-Strahlung. Dabei wird von sogenannten »Excimer-Lampen«, die über eine Oberfläche gefahren werden, eine Strahlung mit einer Wellenlänge von 172 Nanometern abgegeben. Durch die intensive Strahlung gelingt es auch mit diesem Verfahren, Trennmittelreste zu entfernen oder in Haftvermittler umzuwandeln. Derzeit arbeiten die PLATO-Wissenschaftler daran, die Integration von VUV-Bestrahlung in Produktionslinien zu ermöglichen und auch damit eine hochpräzise – und dennoch wirtschaftliche – Oberflächenbearbeitung zu erreichen (Abb. 5).

#### **Vakuum-Saugstrahlen – überall und partiell einsetzbar zum Reinigen sowie Abtragen ...**

Eine andere bewährte Methode zur Vorbereitung eines Bauteils auf die folgenden Kleb- und Lackierprozesse ist das Strahlen mit festen Strahlmitteln. Beim herkömmlichen Druckluftstrahlen werden Partikel mit Hochgeschwindigkeit auf das Material geblasen, wo sie eine abtragende Wirkung haben. Der Nachteil: Die Partikel verteilen sich im Raum, weshalb das Verfahren meist in Strahlkabinen eingesetzt wird.

Hier bietet sich als Alternative das Vakuum-Saugstrahlen an: Bei dem Verfahren findet das Strahlen unter einer Glocke statt, die an einen Industriestaubsauger angeschlossen ist. Dieser zieht die Luft aus der Glocke – und damit auch die Strahlpartikel. Das Verfahren ist somit gut für Räume geeignet, in denen anschließend noch lackiert werden soll. Es nutzt somit die Wirkung des klassischen Druckluftstrahlens, vermeidet jedoch Verschmutzungen und macht den Transport von Bauteilen in Strahlkabinen unnötig. So lassen sich auch sehr große Bauteile direkt in einer sensiblen Fertigungslinie vorbehandeln. Dabei werden die gebildeten Stäube sofort abge-



5



6

saugt, was auch deutliche Vorteile hinsichtlich der Umwelt- und Arbeitsplatzsicherheit bietet: Die Freisetzung von bedenklichen Epoxidstäuben bei FVK-Bauteilen kann gesichert vermieden werden.

Zudem ist mit der am Fraunhofer IFAM eingesetzten Methode auch ein partieller, lokaler Einsatz möglich. Beim Vakuum-Saugstrahlen fährt eine Düse berührungslos über die Oberfläche; der Partikelstrahl raut die Oberfläche definiert auf, was beispielsweise für anschließende Klebungen erforderlich sein kann. PLATO arbeitet konkret an Verfahren, mit denen das Vakuum-Saugstrahlen samt sicherer Absaugung über spezielle Filter für den industriellen Einsatz optimiert wird – angepasst an die individuellen Vorgaben des Kunden (Abb. 6).

### ... und zwar qualitätsgesichert

In Zusammenarbeit mit den Experten der Adhäsions- und Grenzflächenforschung wird in diesem Zusammenhang auch an integrierten Möglichkeiten des Online-Monitorings gearbeitet, sodass das Bearbeitungsergebnis im laufenden Prozess überwachbar und gegebenenfalls justierbar ist. Dabei entwickeln die Wissenschaftler robuste Methoden, die sich in der industriellen Fertigungsumgebung bewähren sollen und für den jeweiligen Einsatz angepasst und optimiert werden, um die materialtechnisch beste und ökonomisch günstigste Anwendung zu generieren (Abb. 7).

### Maßgeschneiderte Kombinationen der Oberflächenvorbehandlung

Um für jede spezifische Anwendung die ideale Lösung zu realisieren, ist oft eine Kombination von Verfahren sinnvoll. So lassen sich zum Beispiel Bauteilbereiche, die geklebt werden sollen, an den Kontaktstellen durch Laserstrahlen oder Vakuum-Saugstrahlen aufrauen. Die Bereiche, in denen die glatte CFK-Oberfläche eine hochwertige Lackierung erhalten

soll, werden eher mit CO<sub>2</sub>-Schneestrahlen oder AD-Plasma bearbeitet. Im konkreten Einsatz nimmt sich die Bearbeitungsvorrichtung in einer Roboterzelle jeweils die Werkzeuge, die es für den jeweiligen Bereich gerade benötigt. In der industriellen Serienfertigung findet dies für die verschiedenen Schritte an eigenen Stationen statt.

Bei Fertigung von großen Flugzeugbauteilen hingegen macht es durchaus Sinn, dass ein Roboter zunächst mit CO<sub>2</sub>-Schnee eine Oberfläche großflächig reinigt und anschließend mit einer Plasmadüse oder einer Vakuum-Saugstrahldüse definierte Bereiche aktiviert. Ein Beispiel dafür sind Stellen, an denen im Flugzeug kleine Bauteile – wie etwa Kabelhalter – in bestimmten Abständen anzubringen sind. Im herkömmlichen Verfahren wurden diese Stellen bislang manuell aufgeraut und mit Lösungsmittel gereinigt – eine Arbeit, die künftig auch durch zielgerichtetes Vakuum-Saugstrahlen maschinell durchführbar ist.

### Aktiv in europäischen Forschungsprojekten

Auf dem Gebiet der Oberflächenvorbehandlung hat die PLATO ihr Know-how auch in einem europäischen Projekt eingebracht: In ABITAS (Advanced Bonding Technologies for Aircraft Structures) wurde zusammen mit Airbus und weiteren Partnern aus ganz Europa versucht, die Kosten für die Entwicklung und den Betrieb neuer Flugzeuge mittel- bis langfristig um 20 bis 50 Prozent zu senken. Die Experten des Fraunhofer IFAM beschäftigten sich hierbei speziell mit der Vorbehandlung von Oberflächen mit Atmosphärendruck-Plasma. Im Vergleich mit anderen Vorbehandlungstechniken

- 5 *Reinigung und Aktivierung von Oberflächen mit VUV-Strahlung durch Excimer-Technologie.*
- 6 *Berührungsloses Vakuum-Saugstrahlen von FVK-Oberflächen vor dem Kleben.*



7 wurde nachgewiesen, dass dieses Verfahren manuelle Aktivierungen bestens ersetzen kann. PLATO untersuchte verschiedene CFK-Oberflächen und behandelte sie mit AD-Plasma vor, bezog unterschiedliche Entformungsprozesse und damit verschiedenartige Kontaminationen in die Untersuchung ein und zeigte, dass mit dieser Vorbehandlung langzeitbeständige Klebungen im Flugzeugbau möglich sind. Die Klebungen wurden auf ihre Alterungsbeständigkeit überprüft – mit ausgezeichneten Ergebnissen.

Ein bedeutendes Thema für die Forschung und Entwicklung ist auch die Reparatur von CFK-Bauteilen. Je stärker der Werkstoff eingesetzt wird, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit von Materialverletzungen im Alltagsgebrauch. Auf diesem Gebiet gilt es, die Reparatur von CFK zu verstehen und dann zielgerichtet zu entwickeln. PLATO sucht dafür nach robusten Prozessen, die in raueren Umgebungen funktionieren – zum Beispiel auf einem Flugplatz, wo Beschädigungen der CFK-Außenhaut eines Flugzeugs effizient, aber auch mit möglichst geringem Aufwand qualitätsgesichert und langzeitstabil repariert werden sollen. Dabei handelt es sich nicht um Bauteile »frisch aus der Fertigung«, sondern um Komponenten, die bereits stark beansprucht wurden, kontaminiert sind und einen Alterungsprozess durchlaufen haben. Auch hier ist PLATO im großen europäischen CleanSky-Vorhaben eng in die aktuelle Forschung und Entwicklung eingebunden. Im Teilprojekt SFWA (Smart Fixed Wing Aircraft) arbeitet das Fraunhofer IFAM mit namhaften Partnern der europäischen Luftfahrtindustrie an möglichen Verfahren.

## KONTAKT

*Dr. Jörg Ihde*

*Plasmatechnik und Oberflächen PLATO*

*Telefon +49 421 2246-427*

*joerg.ihde@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. Ralph Wilken*

*Plasmatechnik und Oberflächen PLATO*

*Telefon +49 421 2246-448*

*ralph.wilken@ifam.fraunhofer.de*

### **Institut**

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und*

*Angewandte Materialforschung IFAM,*

*Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen*

# ENTWICKLUNG NEUER KLEBSTOFFE: UNMÖGLICHE EIGENSCHAFTS- KOMBINATIONEN MÖGLICH GEMACHT

Auf dem Markt sind Tausende von Klebstoffen verfügbar. Die Frage drängt sich auf, ob wirklich noch weitere benötigt werden, vor allem, weil auch die Anzahl der zusätzlich existierenden »Hausmischungen« nicht unerheblich sein dürfte. Aber zugleich gibt es zahlreiche Fälle, in denen die verfügbaren Klebstoffe nicht geeignet sind: Sie genügen beispielsweise nicht der geforderten Alterungsbeständigkeit, sie ermöglichen nicht die benötigte Produktivität, z. B. aufgrund einer zu langsamen Härtungsgeschwindigkeit, oder sie weisen nicht die geforderte Biokompatibilität auf. Oftmals erfüllen die verfügbaren Klebstoffe die meisten Anforderungen, aber ihnen fehlt die eine, die entscheidende Eigenschaft. Und gerade in der Kombination ungewöhnlicher Eigenschaften liegt oft der Schlüssel zur Einsatzfähigkeit in der Produktion.

---

## **Klebstoffe als Schlüsselkomponente**

---

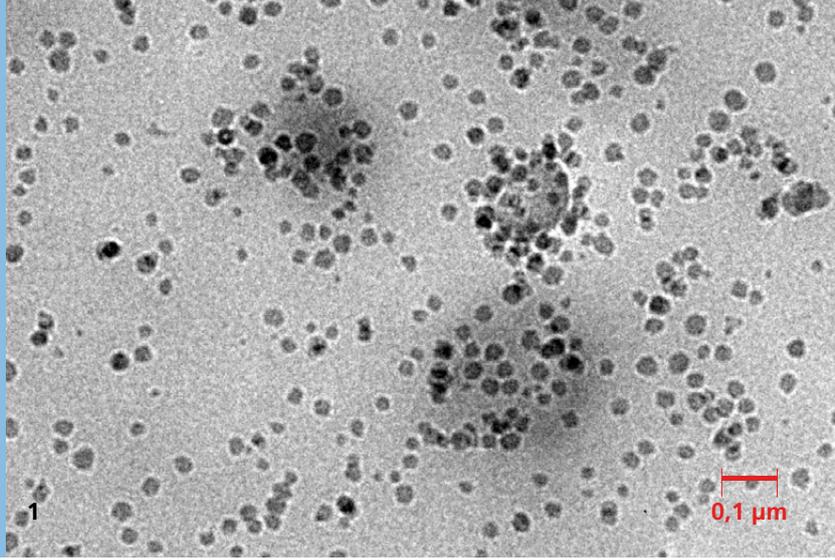
In vielen Fällen sind die benötigten Klebstoffmengen klein – manchmal umfasst der Jahresbedarf nur wenige Gramm –, zugleich ist aber die Verfügbarkeit dieser maßgeschneiderten Klebstoffe mit einer hohen Wertschöpfung beim Verarbeiter verbunden. Bei der Entwicklung solcher Spezialprodukte sind die Klebstoffexperten des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM die idealen FuE-Partner, da die Entwicklung derartiger Nischenprodukte für die Klebstoffindustrie wirtschaftlich meist nicht sinnvoll ist. Das Fraunhofer IFAM ermöglicht zudem in jedem Fall über die Entwicklung hinaus, dass das spezielle Material dem Auftraggeber auch für seine Produktion in ausreichender Menge zur Verfügung steht, beispielsweise, indem gemeinsam ein Lohnfertiger gesucht und qualifiziert wird.

---

## **Neue Klebstoffkonzepte ebnen den Weg in die Zukunft**

---

Nicht immer besteht der Forschungsauftrag darin, ein konkretes Produkt zu entwickeln. Vielmehr sind auch völlig neue Wege und Konzepte gefordert, um grundsätzliche Fragen der Klebtechnik zu beantworten. Dies ist eine häufige Aufgabe in öffentlich geförderten Projekten. Ziel ist es, die Ergebnisse im Anschluss als breite Basis für die Entwicklung von Produkten direkt durch die Industrie oder aber für die Industrie zu nutzen. Unabhängig davon, ob es sich dabei um eine konkrete Produktentwicklung oder das Aufzeigen eines neuen allgemeiner einsetzbaren Wegs handelt – im Mittelpunkt steht meist die Verbesserung der Produktivität bei der klebtechnischen Fertigung.



## Klebstoff-Schnellhärtung mit modifizierten Klebstoffen

Ein essenzieller Punkt für eine hohe Produktivität bei der klebtechnischen Fertigung ist die Härtungsgeschwindigkeit der Klebstoffe. Gleichzeitig soll die Härtung unter möglichst milden Bedingungen erfolgen, insbesondere in Bezug auf die Temperatur, und die reaktiven Klebstoffe sollen bei Umgebungsbedingungen eine hohe Lagerstabilität aufweisen. Grundsätzlich geht es darum, aus diesen entgegengesetzten Anforderungen einen immer besseren Kompromiss zu finden.

In nahezu idealer Weise werden die Forderungen nach schneller Härtung in Kombination mit langer Lagerstabilität von photohärtenden Klebstoffen erfüllt. Daher sind derartige Systeme seit Langem ein Arbeitsschwerpunkt im Bereich Klebstoffe und Polymerchemie des Fraunhofer IFAM. Aber sie sind leider nur für eine kleine Zahl von Anwendungen geeignet, da die wenigsten Klebsubstrate hinreichend transparent sind, um die härtende Strahlung zum Klebstoff hindurchzulassen.

Bei den konventionell thermisch härtenden Klebstoffen muss die Wärme auf alternativen Wegen in Bauteile und Klebstoff gebracht werden. Methoden, die dafür am Fraunhofer IFAM eingesetzt werden, sind beispielsweise Induktion, Mikrowellen, Heißluft oder IR-Strahler. Die Identifizierung der optimalen Methode zur schnellen Härtung durch Erwärmung auf eine Temperatur deutlich über der Härtungstemperatur im Ofen ist aber nur die kleinere Herausforderung. Problematischer sind die Materialeigenschaften des gehärteten Klebstoffs: Bei den meisten kommerziellen Klebstoffen erhält man ein schaumiges, mechanisch instabiles Polymerisat, wenn diese innerhalb weniger Sekunden gehärtet wurden, obwohl die gleichen chemischen Reaktionen abgelaufen sind wie bei der üblichen Ofenhärtung. Die Ursache für das Aufschäumen sind verdampfende oder sich zersetzende Komponenten. Für gute mechanische Eigenschaften ist hingegen eine definierte Morphologie erforderlich, die sich aber in der kurzen Härtungszeit nicht ausbilden kann.

Um dennoch die erforderlichen mechanischen Eigenschaften erzielen zu können, müssen zunächst Reaktivsysteme ausgewählt werden, die überhaupt in der Lage sind, hinreichend schnell miteinander zu reagieren, aber zugleich auch eine definierte Heterogenität aufweisen. Da sich Letztere nicht durch Entmischungsvorgänge ausbilden kann, müssen die Domänen, z. B. in Form von Nanopartikeln oder mikroskaligen Elastomerpartikeln, vorgegeben werden (Abb. 1). Ein Beispiel, bei dem eine thermische Schnellhärtung notwendig ist, ist der Einsatz von Bauteilen, die bereits mit Klebstoff vorbeschichtet wurden. Bei ihnen würde der aus der Vorbeschichtung resultierende Produktivitätsvorteil ohne Einsatz der Schnellhärtung oftmals wieder zunichtegemacht.

## PASA®-Technologie aus dem Fraunhofer IFAM – mit Klebstoff vorbeschichtete Bauteile

Die Montage und klebtechnische Verbindung von Bauteilen kann beschleunigt werden, wenn kein Klebstoff aufgetragen werden muss, sondern dieser sich bereits als trockene Schicht auf dem Bauteil befindet. Das ist besonders dann sinnvoll, wenn die Applikation des Klebstoffs unter den gegebenen Produktionsbedingungen ungünstig ist.

Ein Beispiel hierfür ist die lokale Verstärkung von Blechbauteilen im Presswerk in der Automobilindustrie – eine Arbeitsumgebung, in der der Umgang mit flüssigen Klebstoffen schwerlich vorstellbar ist. Abbildung 2 (a–d) zeigt diese Anwendung am Beispiel eines Motorhaubeninnenteils mit aufgeklebter Schlossverstärkung, bei der ein vorapplizierbarer Klebstoff zum Einsatz kam.

**1** *Klebstoffe mit verbesserten mechanischen Eigenschaften: Nanopartikel – z. B. eine Kombination aus kleinen anorganischen und größeren organischen Partikeln – lassen sich zur Zähelastifizierung einsetzen (Transmissionselektronenmikroskop-Aufnahme).*



Ein anderes Beispiel sind Klebbolzen, die u. a. in der Automobilindustrie benötigt werden, wenn der Aufbau der Karosserie aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) erfolgt und deshalb die üblichen Schweißbolzen nicht mehr verwendbar sind. Wenn nicht mit vorbeschichteten Bolzen gearbeitet würde, müsste eine kleine Menge flüssigen Klebstoffs auf die Bolzen aufgetragen werden. Die hierfür notwendige Applikationstechnik ist aus dem Mikrokleben bekannt, hingegen wäre

der prozesssichere Einsatz in der Automobilrohbaufertigung eine besondere Herausforderung.

Die Einsatzbereiche vorapplizierbarer Klebstoffe erstrecken sich über alle Bereiche der modernen Klebtechnik, weshalb sie im Bereich Klebtechnik und Oberflächen des Fraunhofer IFAM zu einem Arbeitsschwerpunkt geworden sind. Das Institut ließ für sie die Marke PASA® – für »Pre-Applicable Structural Adhesives« – eintragen.



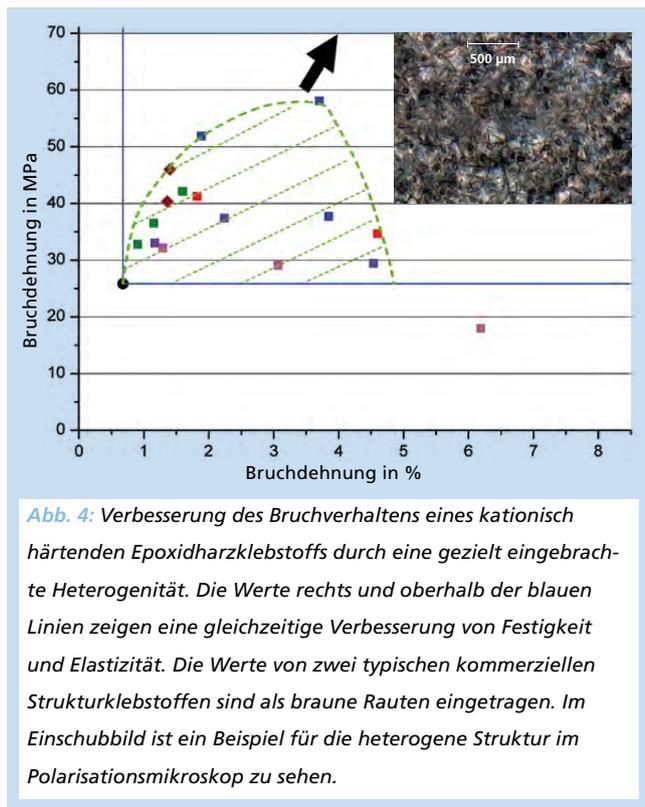
### Qualitätssicherung durch Farbreaktion

Zentrale Fragen der Qualitätssicherung in der Klebtechnik sind, ob ein Klebstoff noch nicht überlagert und ob er tatsächlich nach einem Härtingsprozess ausgehärtet ist. Um dies bei Epoxidharzen zu prüfen, wurde eine Farbreaktion entwickelt, bei der sich die Farbe ändert, wenn der Klebstoff überlagert ist. Eine zweite Farbreaktion zeigt die Aushärtung an (Abb. 3). Ideal und zukunftsweisend ist diese Art der Zustandskontrolle insbesondere für Bauteile, die mit einem bereits vorapplizierten Klebstoff ausgeliefert werden.

### Nicht nur fester, sondern auch elastischer

Oftmals gelten hohe Bruchfestigkeit und Bruchdehnung als sich einander widersprechende Forderungen. Gerade kationisch härtende Epoxidharze werden immer wieder als spröde angesehen, aber eigentlich nicht mit den Attributen fest und elastisch verbunden. Durch den Einbau einer gezielten Heterogenität ist es gelungen, Bruchfestigkeit und Bruchdehnung signifikant zu steigern, sodass die Werte typischer kommerzieller struktureller Epoxidharzklebstoffe überschritten werden (Abb. 4). Das Foto in der Abbildung zeigt die Heterogenität eines Epoxidharzes im Polarisationsmikroskop. Aufgrund des inzwischen gewonnenen Materialverständnisses sind wir uns sicher, dass in der angezeigten Pfeilrichtung in der Grafik weitere Steigerungen möglich sind.

**3** Zustandskontrolle eines Epoxidharzklebstoffs durch eine Farbreaktion: im linken Becher der frische hellrote Klebstoff, im rechten Becher der überlagerte dunkelrote Klebstoff. Der ausgehärtete bräunliche Klebstoff befindet sich auf den Fügeteilen im Vordergrund.



**Abb. 4:** Verbesserung des Bruchverhaltens eines kationisch härtenden Epoxidharzklebstoffs durch eine gezielt eingebrachte Heterogenität. Die Werte rechts und oberhalb der blauen Linien zeigen eine gleichzeitige Verbesserung von Festigkeit und Elastizität. Die Werte von zwei typischen kommerziellen Strukturklebstoffen sind als braune Rauten eingetragen. Im Einschubbild ist ein Beispiel für die heterogene Struktur im Polarisationsmikroskop zu sehen.

### Alterungsbeständigkeit

Gerade in der Mikrosystem- und Medizintechnik müssen Klebverbindungen gegen Medien und Umweltbedingungen beständig sein, die weit über die üblichen Prüfbedingungen hinausgehen. Beispielhaft seien hier neue Sterilisationsmethoden genannt, die auch gegen multiresistente Keime wirksam sind, oder Sensoren, die in heißen Ölen oder beim »Structural Health Monitoring« (SHM) von Großanlagen über lange Zeit zuverlässig funktionieren müssen. Hinzu kommt, dass bei medizinischen Geräten oftmals nur Klebfugendicken von wenigen Mikrometern gewünscht sind und die Fügeteile häufig sehr unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen. In Kombination mit den bei den meisten Sterilisationsmethoden auftretenden Temperaturwechseln resultieren hieraus



erhebliche mechanische Spannungen. Um diese Herausforderungen zu lösen, sind neue Wege zur Zähelastifizierung von Klebstoffen ein Schwerpunkt der FuE-Arbeiten im Bereich Klebstoffe und Polymerchemie des Fraunhofer IFAM.

Im Weltraum sind Klebstoffe ebenso extremen Belastungen ausgesetzt. Bei einem Entwicklungsprojekt ging es zum Beispiel darum, neue Klebstoffe für die Solarzellen von Satelliten zu entwickeln. Neben kurzfristigen Temperaturwechseln von mehreren Hundert Grad Celsius unterliegen die Materialien einer enormen Strahlenbelastung. Zudem wurde eine konstante, sehr hohe Transparenz gefordert. Durch die großen Klebflächen waren keine hohen Festigkeiten notwendig, sodass diese Aufgabe mit speziell synthetisierten Silikonen gelöst werden konnte.

### Haftklebstoffe

Desgleichen ist oft bei Haftklebstoffen keine hohe Festigkeit notwendig, aber auch hier gibt es spezielle Anforderungen, die sich mit kommerziellen Systemen nicht erfüllen lassen. Beispielsweise sollte ein Haftklebstoffsystem für eine selbstklebende Druckerrolle (Abb. 5) ohne Releasepapier entwickelt werden mit dem Ziel, selbstklebende Kassenzettel zu erhalten. Die geforderten Klebeigenschaften waren ähnlich wie bei den aus dem Büro bekannten Haftnotizen. Allerdings durfte kein Klebstoff übertragen werden, da die klebende Seite des Papiers über diverse Rollen des Druckers in der Kasse geführt werden muss. Die Aufgabe wurde mit einem nanopartikel-modifizierten Haftklebstoff gelöst – ein Prinzip, das sicher noch auf viele weitere Anwendungen übertragbar ist.

- 5 Für eine selbstklebende Kassenrolle ohne Releasepapier war die Entwicklung eines neuen Haftklebstoffs erforderlich (Quelle: Sigrid Reinichs/brandeins).

### Klebstoffe für die Medizin

Beim Kleben von Weichgeweben im medizinischen Bereich spielen hohe Festigkeiten des Klebstoffs ebenfalls eine eher untergeordnete Rolle. Wichtig hierbei ist – neben einer dem Körpergewebe angepassten Flexibilität – die Toleranz des Klebstoffs gegenüber Feuchtigkeit während und nach der Applikation. Weiterhin von entscheidender Rolle sind Biokompatibilität und biologische Abbaubarkeit des Klebstoffsystems im menschlichen Körper, um den natürlichen Heilungsprozess nicht zu stören. Ein großes Anwendungsgebiet für biokompatible Klebstoffe liegt im Bereich der dentalen Implantologie. In einem Verbundprojekt in Kooperation mit Partnern aus Medizin (Universitätsklinikum Frankfurt am Main) und Materialprüfung (Staatliche Materialprüfungsanstalt Darmstadt) wurde ein Klebstoffsystem entwickelt, das die Fixierung der Bindegewebeschicht am Titan-Implantatkörper ermöglicht. Dadurch soll u. a. das Eindringen von Bakterien – und damit das Entstehen von Entzündungen in der Insertionsstelle – vermieden werden. Ausgangspunkt für die Entwicklung bildete der Klebstoff der Miesmuschel. Es wurden Teile des proteinbasierenden Klebstoffs synthetisiert und an ein klassisches Polymer als Trägersubstanz gekoppelt. In Laborversuchen ließen sich Biokompatibilität und Eignung des entwickelten Systems nachweisen. Weitere Entwicklungsschritte folgen in Kooperation mit industriellen Partnern.

## KONTAKT

Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig  
Klebstoffe und Polymerchemie  
Telefon +49 421 2246-470  
andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de

### Institut

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM,  
Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen

# VORHERSAGE UND BEWERTUNG VON NIETPROZESSEN DURCH NEUE SIMULATIONSVERFAHREN AM BEISPIEL FLUGZEUGBAU

Das Nieten ist die am häufigsten eingesetzte mechanische Füge­technik im Flugzeugbau. Ökologische Vorgaben, neue Werkstoffe, Bauweisen und Technologien sowie hohe Produktivitätsanforderungen sind die Herausforderungen, die von der Niettechnik im Rahmen zukünftiger Anwendungen in der Luftfahrtindustrie zu berücksichtigen sind. Weitergehende Anforderungen hinsichtlich der Vorhersagbarkeit mechanischer Eigenschaften genieteter Strukturen treiben die Hersteller dazu an, ein tieferes Verständnis des Installationsprozesses zu erreichen, damit zum Beispiel bewertet werden kann, wie sich Abweichungen von vorgegebenen Spezifikationen auf das mechanische Verbindungsverhalten auswirken. Um zu verstehen, wie Beanspruchungszustände in den Verbindungselementen und der sie umgebenden Struktur etwa durch Prozessparameter wie Stauchkraft, Bohrungstoleranzen etc. beeinflusst werden, ist weiterer experimenteller und theoretischer Forschungsbedarf notwendig.

Während die experimentelle Untersuchung genieteter Strukturen für eine überschlägige und ganzheitliche Betrachtung gut geeignet ist, können mit alternativen numerischen Simulationsmethoden detailliert Fügeprozesse sowie ihre Wirkungsweisen untersucht und daraus das mechanische Verhalten der Struktur abgeleitet werden. Innerhalb der letzten drei Jahre haben die Experten von Werkstoffe und Bauweisen am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM durch den Einsatz entsprechender Simulationsmethoden die Grundlagen geschaffen, Prozessparameter für Nietprozesse im Rahmen von numerischen Fallstudien zu untersuchen und zulässige Werte zu identifizieren.

## Nietinstallation

Da Verbindungselement und Nietprozess ein rotationssymmetrisches Problem darstellen, konnte ein 2-D-Finite-Elemente-Modell (FEM; Abb. 1) entwickelt werden, um die Wirkmechanismen, die während des Installationsvorgangs auftreten, zu untersuchen. Die betrachtete Nietverbindung bestand aus einem Aluminium-Vollniet (AA7050) mit einem Nietdurchmesser von 4 mm und einem Universalkopf nach EN6081 sowie zwei je 3 mm dicken Aluminium-Fügeteilen aus AA2024-T351.

Das Materialgesetz des Nietwerkstoffs wurde in Druckversuchen ermittelt. Hierbei kamen – aus entsprechenden Verbindungselementen präparierte – Probekörper zum Einsatz. Der Einfluss der Reibung zwischen Verbindungselement, Werkzeug sowie Fügeteilen wurde untersucht und ein geeigneter Rei-

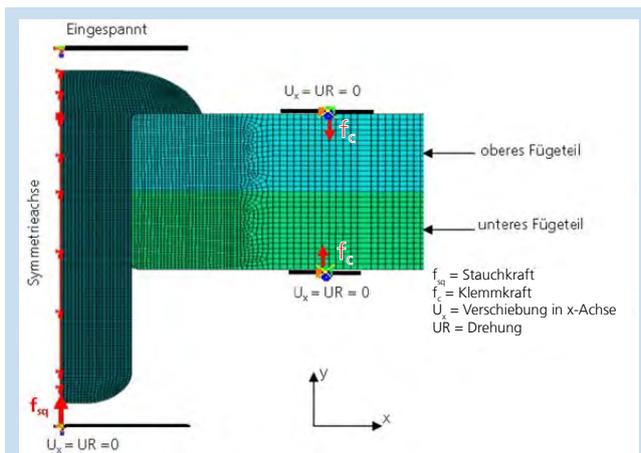


Abb. 1: FE-Modell zur Untersuchung der Nietinstallation.

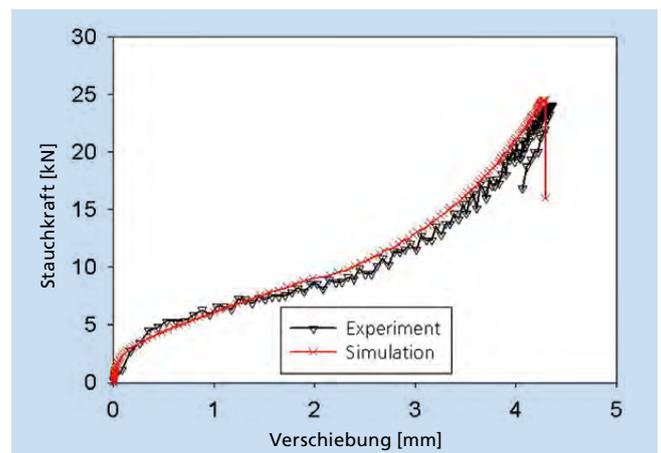


Abb. 2: Typische Stauchkraft-Weg-Verläufe – gemessen und simuliert.

bungskoeffizient bestimmt. Die Validierung des entwickelten FE-Modells zur Simulation der Nietinstallation erfolgte durch Vergleiche mit experimentellen Ergebnissen. Hierzu wurden die geometrische Gestalt des geformten Schließkopfs, Stauchkraft-Weg-Verläufe und Dehnungsverteilungen auf einem Fügeteil herangezogen. Eine typische Stauchkraft-Weg-Kurve im Vergleich zu einer simulierten Kurve ist in Abbildung 2 dargestellt.

Nachdem ein passender Reibungskoeffizient von  $\mu = 0,2$  gefunden worden war – hier lag eine gute Übereinstimmung von simulierter und beobachteter Schließkopfgeometrie vor –, wurde weiterhin das Spaltmaß zwischen Nietschaft und Bohrungswand, die Klemmlänge sowie die Stauchkraft numerisch untersucht, um deren Einfluss auf die Verbindung zu ermitteln. Dazu wurden die sich einstellenden und verbleibenden axialen Kontaktkräfte zwischen den Fügeteilen und die entsprechen-

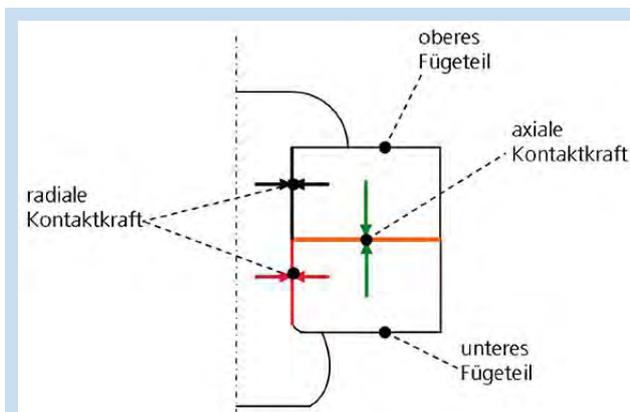
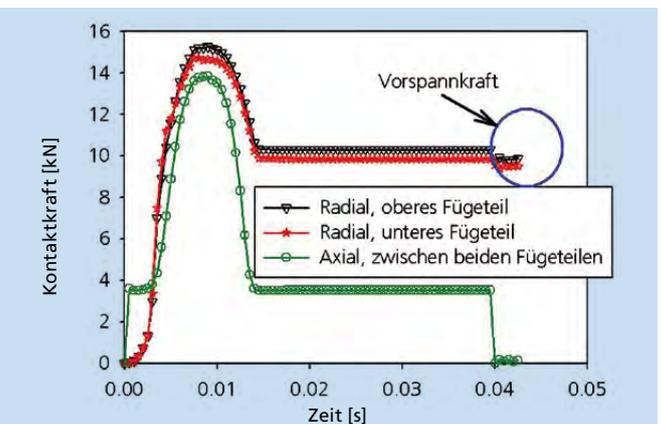


Abb. 3: Kontaktkräfte während des Installationsprozesses.



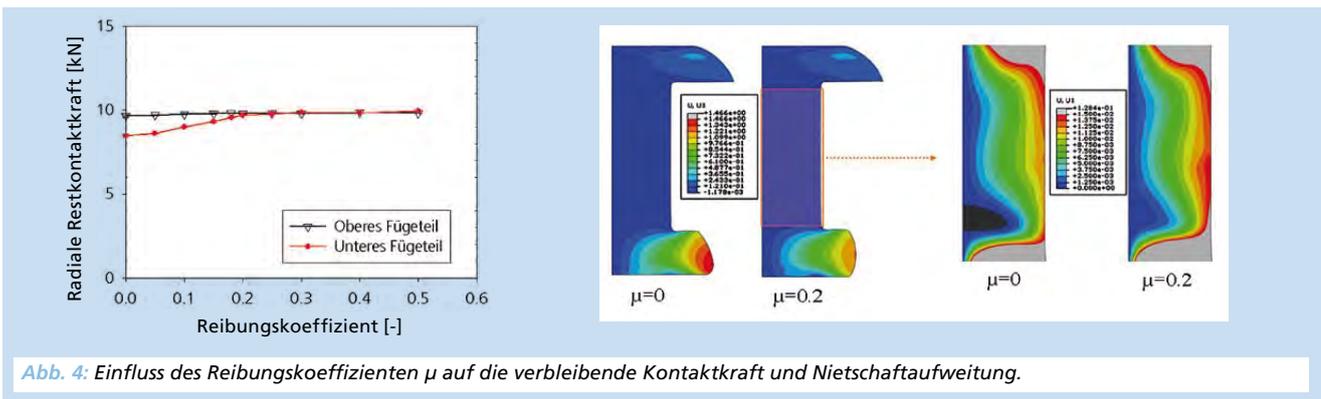


Abb. 4: Einfluss des Reibungskoeffizienten  $\mu$  auf die verbleibende Kontaktkraft und Nietschaftaufweitung.

den radialen Kräfte zwischen Nietschaft und Füge teilen ausgewertet. Typische Verläufe dieser Kontaktkräfte während des Installationsprozesses des genannten Niettyps sind in Abbildung 3 dargestellt. Der Einfluss des Reibungskoeffizienten auf die radiale Kontaktkraft und die Aufweitung des Nietschafts ist in Abbildung 4 illustriert.

**Untersuchung des mechanischen Verbindungsverhaltens unter Beachtung des Installationsprozesses**

Da der Prozess der Nietinstallation den Eigenspannungszustand in dem Verbindungselement und in der darum umgebenden Struktur wesentlich beeinflusst, war es notwendig, diesen Spannungszustand in ein geeignetes FE-Modell zu übertragen, mit dem das Verbindungsverhalten weiter untersucht werden konnte. Wie bereits oben erläutert, wurde die Simulation des Installationsprozesses mit einem 2-D-FE-Modell durchgeführt. Für die Untersuchung des Verbindungsverhaltens ist jedoch ein 3-D-Modell unverzichtbar. Aus diesem Grund wurde eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, die Ergebnisse aus der 2-D-Installations-Simulation in ein 3-D-Modell zu übertragen. Dies geschah mithilfe des sogenannten »Symmetric Model Generation«-Verfahrens (SMG-Verfahren). Wesentlicher Vorteil dieser Methode ist es, dass die Simulation

des Installationsprozesses zeitsparend und unter Ausnutzung des feinen Diskretisierungsgrads des 2-D-FE-Modells durchführbar ist.

Die Implementierung des SMG-Verfahrens zur Erzeugung eines 3-D-FE-Modells erfolgte unter Verwendung der bereits zuvor benutzten Verbindungskonfiguration, hier allerdings in Form einer einschnittig überlappten Verbindungsgeometrie, wie sie in Abbildung 5 dargestellt ist.

Das Prinzip des SMG-Verfahrens besteht darin, ein rotations-symmetrisches Problem mittels eines 2-D-Modells zu simulieren, dann mithilfe des SMG-Verfahrens durch Rotieren des 2-D-Berechnungsergebnisses – einschließlich des zugehörigen

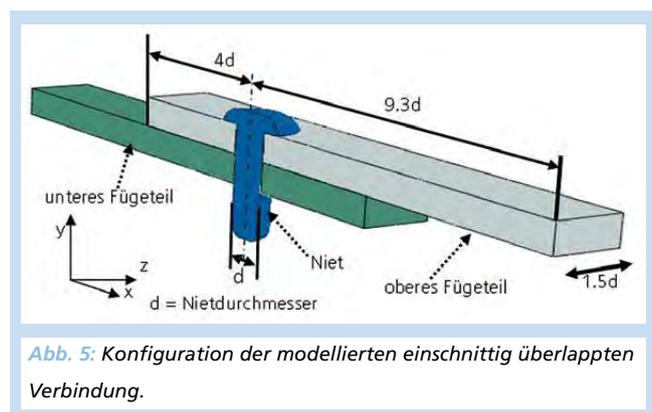
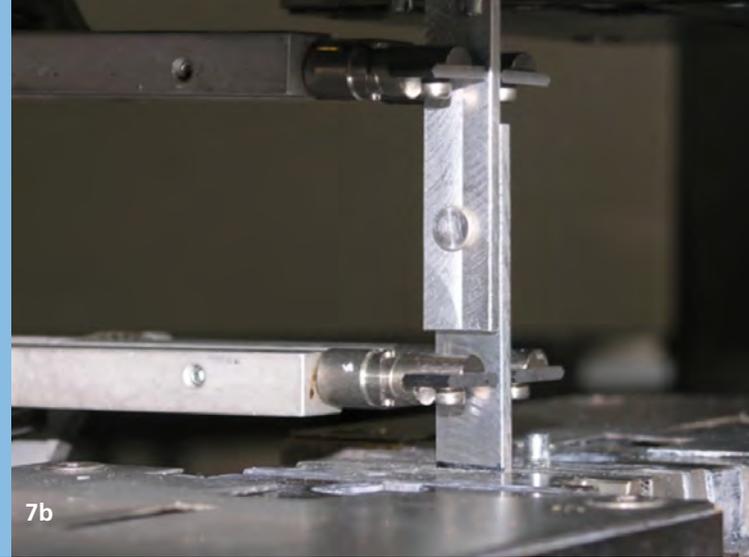


Abb. 5: Konfiguration der modellierten einschnittig überlappten Verbindung.



Spannungszustands sowie weiterer Randbedingungen – ein 3-D-Modell zu erzeugen und dieses anschließend in ein weiteres 3-D-Modell der zu untersuchenden Verbindungsgeometrie einzufügen (Abb. 6).

Die mithilfe des SMG-Verfahrens ermittelten Berechnungsergebnisse wurden mit Ergebnissen verglichen, die ausschließlich unter Verwendung von 3-D-Modellen ermittelt wurden, die derzeit Stand der Technik sind. Hierbei konnte eine gute Übereinstimmung festgestellt werden. Außerdem wurden die Berechnungsergebnisse experimentell mit Proben validiert,

die mit dem vollautomatischen Nietautomaten des Fraunhofer IFAM hergestellt wurden (Abb. 7a + 7b).

In Abbildung 8, links, sind den experimentell ermittelten Kraft-Verschiebungsdaten Ergebnisse gegenübergestellt, die auf Simulationen unter Verwendung des SMG-Verfahrens sowie vollständig durchgeführter 3-D-Simulationen beruhen. In Abbildung 8, rechts, werden experimentell ermittelte Verbindungssteifigkeiten und Fließgrenzen mit entsprechenden Simulationen verglichen. Die dargestellten Ergebnisse zeigen jeweils eine gute Übereinstimmung.

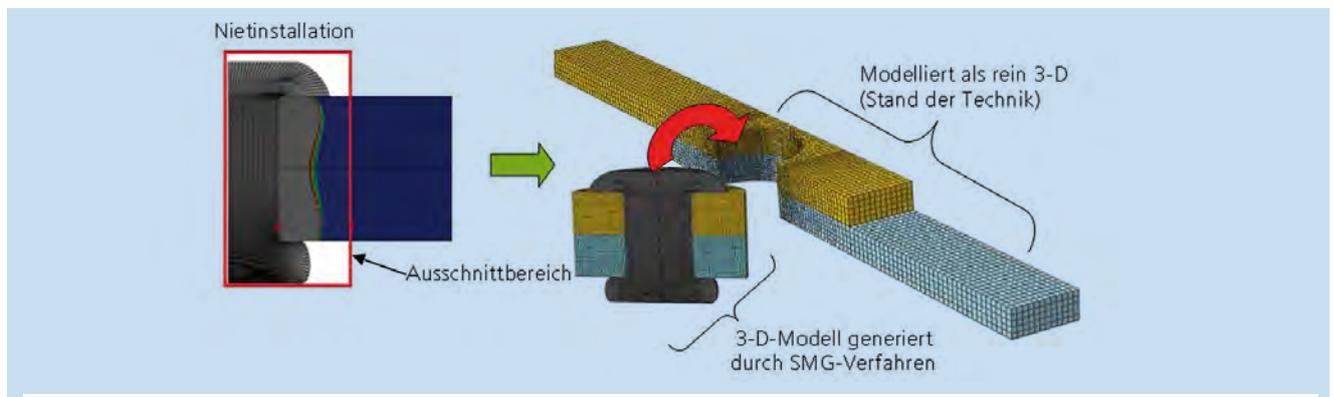


Abb. 6: Prinzip und Verwendung des SMG-Verfahrens.

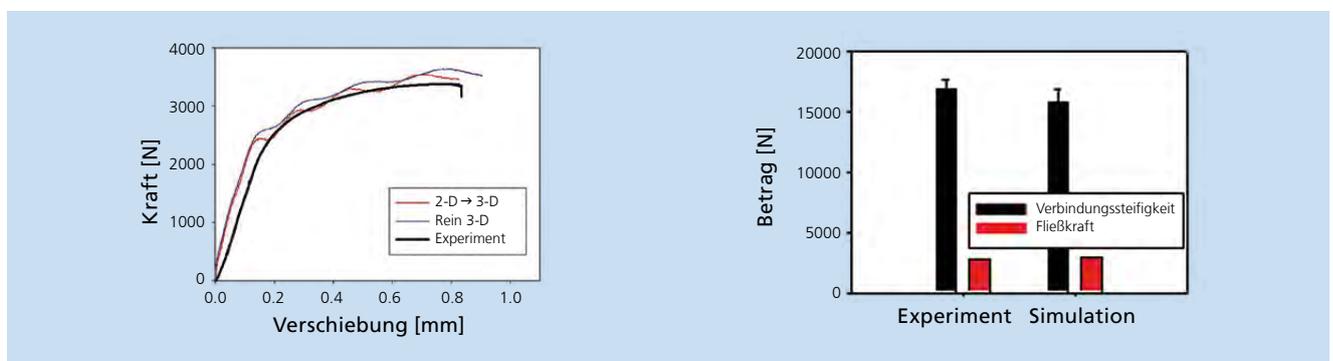
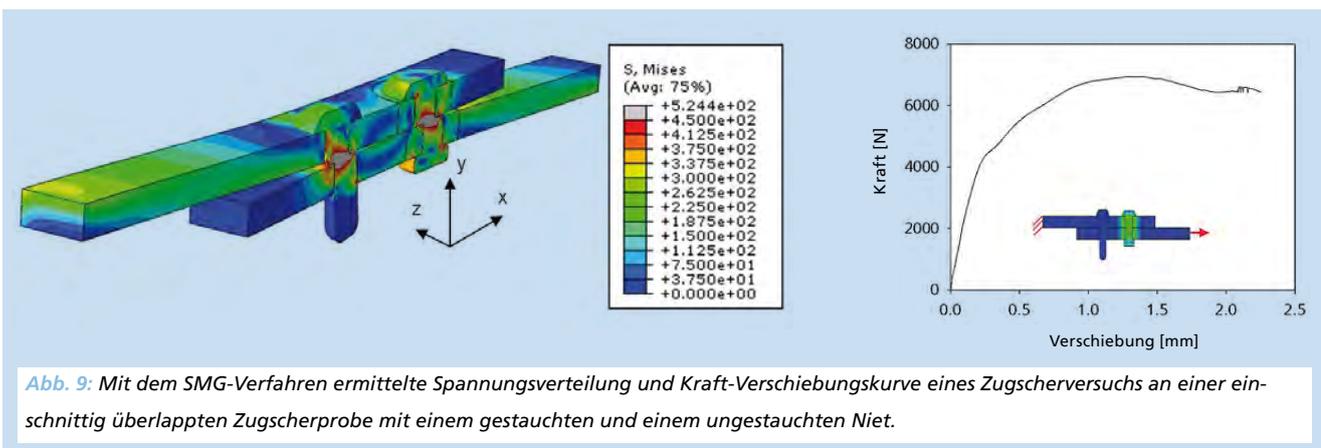


Abb. 8: Kraft-Verschiebungsverläufe (links), Verbindungssteifigkeiten und Fließgrenzen (rechts).

7a Vollautomatischer C-Bügel-Nietautomat des Fraunhofer IFAM.

7b Genietete Zugscherprobe während der Versuchsdurchführung.



**Abb. 9:** Mit dem SMG-Verfahren ermittelte Spannungsverteilung und Kraft-Verschiebungskurve eines Zugscherversuchs an einer einschichtig überlappten Zugscherversuche mit einem gestauchten und einem ungestauchten Niet.

## Fazit und Ausblick

Das im Fraunhofer IFAM entwickelte Verfahren und die damit ermittelten Ergebnisse, die hier vorgestellt wurden, zielen darauf ab, mit numerischen Methoden die Eigenschaften von mechanisch gefügten Verbindungen vorhersagen und bewerten zu können. Der Einfluss, den die Prozessparameter der Nietinstallation auf den herrschenden Eigenspannungszustand haben, sowie das sich daraus ableitende mechanische Verbindungsverhalten wurden untersucht.

Neben der Reduzierung des Berechnungsaufwands erlaubt es die SMG-Methode auf sehr einfache Art und Weise, Nietverbindungen, die aus mehreren Verbindungselementen bestehen und bei denen unterschiedliche Installationsparameter zu berücksichtigen sind, zu berechnen. In Abbildung 9 wird an einem sehr einfachen Beispiel einer 2-Elemente-Probe demonstriert, wie sich unterschiedliche Installationsbedingungen für die Verbindungselemente abbilden lassen: Während ein Verbindungselement wie üblich gestauchte wurde, blieb ein zweites nach dem Einsetzen ungestauchte. Obgleich diese Darstellung nur von geringem praktischen Nutzen ist, demonstriert sie dennoch die Möglichkeiten und Vorteile des entwickelten SMG-Verfahrens eindrucksvoll.

Weitergehende Arbeiten des Bereichs Werkstoffe und Bauweisen des Fraunhofer IFAM zielen darauf ab, bedeutsamere Anwendungen mit mehreren unterschiedlich gefügten Verbindungselementen, die demzufolge unterschiedliche Spannungszustände nach dem Installationsprozess aufweisen, zu untersuchen.

## KONTAKT

*Dipl.-Ing. Samuel Baha II*  
 Werkstoffe und Bauweisen  
 Telefon +49 421 2246-166  
 samuel.baha.II@ifam.fraunhofer.de

*Dr.-Ing. Oliver Klapp*  
 Werkstoffe und Bauweisen  
 Telefon +49 421 2246-479  
 oliver.klapp@ifam.fraunhofer.de

### Institut

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
 Angewandte Materialforschung IFAM,  
 Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen*



# INNOVATIVE KUNSTSTOFFE BIETEN ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN: WEITERBILDUNG IM FRAUNHOFER IFAM FÜR DEN FASERVERBUNDBEREICH

Der Bereich Weiterbildung und Technologietransfer des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM erweitert sein Weiterbildungsportfolio und reagiert damit auf die aktuellen Trends im ressourcen- und umweltschonenden Leichtbau. Es gilt nicht nur, Personal in der optimalen Handhabung der Klebtechnik als prädestinierte Fügetechnik für viele Leichtbauwerkstoffe zu schulen, sondern insbesondere auch, Spezialisten für Fertigung und Instandsetzung von qualitativ hochwertigen Faserverbundkunststoff-Bauteilen praxisnah zu qualifizieren.

---

## Robuster Leichtbau – nicht ohne FVK

---

Sie haben mittlerweile in vielfältigen Bereichen Einzug gehalten und erfreuen sich immer größerer Beliebtheit: Die Rede ist von Faserverbundkunststoffen, kurz FVK. Diese einzigartigen Werkstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass sie sowohl leicht als auch hoch stabil sind und sich darüber hinaus speziell auf die jeweilige Anwendung anpassen lassen. Aus diesem Grund kommt heute kaum ein zukunftsweisendes Produkt ohne sie aus.

Besonders die Gewichtsersparnis im Vergleich zu Metallen macht die Faserverbundkunststoffe für das Transportwesen interessant. Nicht nur die Luft- und Raumfahrt- oder Automobilindustrie setzt FVK ein, sondern auch der Schiff- oder Schienenfahrzeugbau, denn die Senkung des Energieverbrauchs und der Umweltschutz spielen hier eine herausragende Rolle.

Zudem wird bei der regenerativen Energieerzeugung auf innovativen Kunststoff gesetzt. Egal, ob an Land oder auf hoher See: In den Rotorblättern der Windenergieanlagen dreht sich alles um faserverstärkte Kunststoffe. Da der Trend zu immer größeren Anlagen geht, müssen die Rotorblätter entsprechend länger werden, um mehr Strom erzeugen zu können. Dies ist jedoch nur mit leistungsfähigen Materialien möglich, die sich leicht vom Wind bewegen lassen, zugleich aber starken Stürmen trotzen.

Doch so vielseitig der Einsatz des Werkstoffs ist, so vielfältig sind auch die Ausgangsmaterialien dieser Spezialkunststoffe. Einerseits kann die Kunststoffbasis, andererseits das verwendete Fasermaterial anwendungsspezifisch variiert werden. Des Weiteren lassen sich die Fasern in mehreren Lagen mit unterschiedlicher Ausrichtung in den Kunststoff einbetten. Das ändert die späteren Bauteileigenschaften und ist je nach Anforderungsprofil unterschiedlich.



2

## Ohne Qualifikation keine Qualität

Darüber hinaus spielt für die Qualität des Bauteils die Verarbeitung eine wichtige Rolle, da es sich bei den Faserverbunden um sogenannte »Prozesswerkstoffe« handelt: Der Werkstoff entsteht üblicherweise erst bei der Bauteilherstellung durch Härtung der Kunststoffmatrix mit den eingebetteten Fasern. Deshalb kommt trotz diverser Herstellungsmethoden kein Verfahren ohne qualifiziertes Personal aus, das den Prozess kontrolliert und kostenintensive Fehler verhindert. Zu viele Parameter beeinflussen während der Herstellung die späteren Eigenschaften. Daher ist der Personaleinsatz in allen Branchen nach wie vor hoch und der Automatisierungsgrad gering.

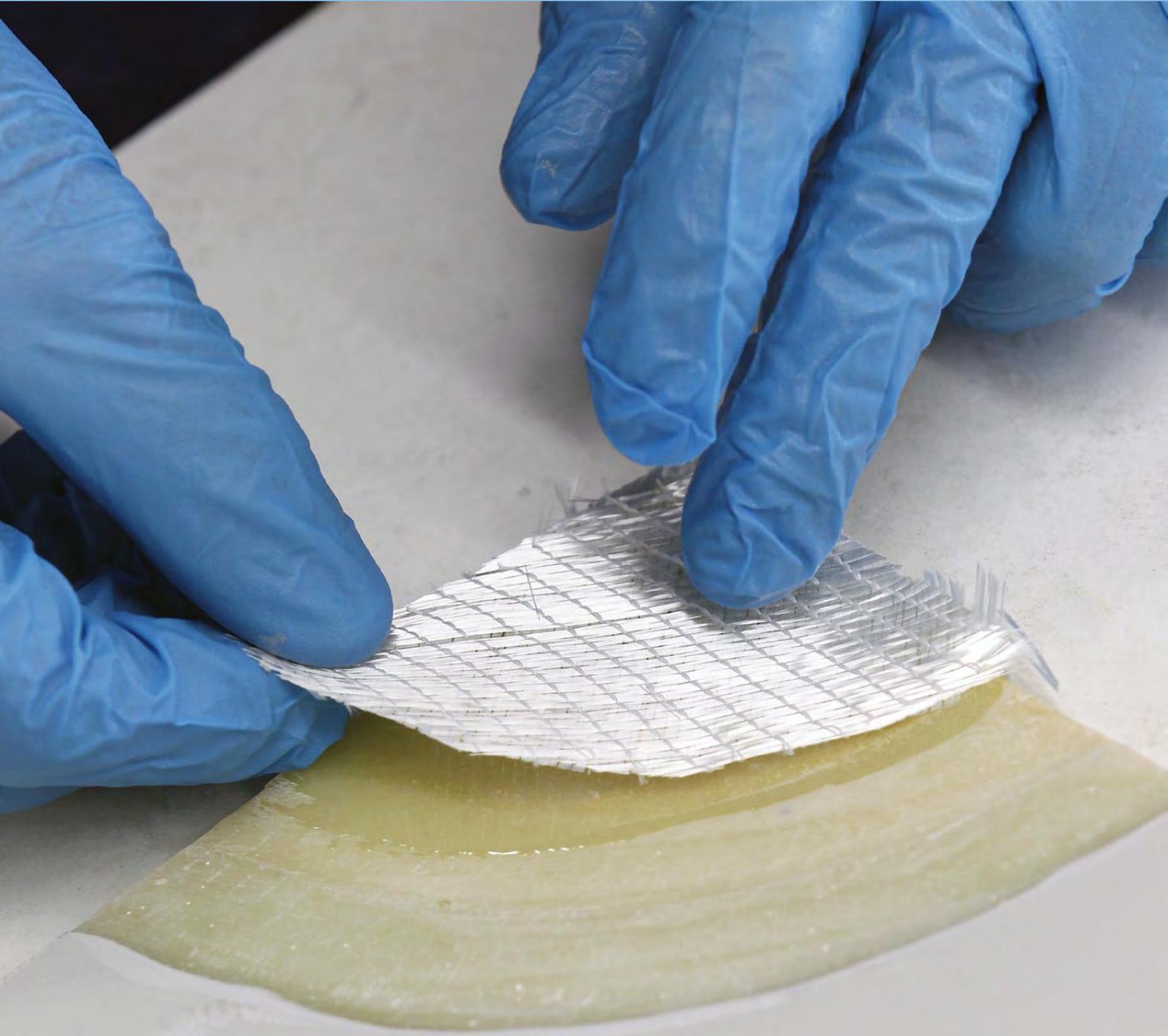
Dies führt dazu, dass in allen Bereichen, in denen FVK hergestellt werden, qualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nötig sind, um eine hohe Bauteilgüte garantieren zu können. Vor diesem Hintergrund wurde im November 2006 unter Leitung des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM mit Unterstützung des Landes Bremen (Senatorin für Arbeit und Senator für Wirtschaft) und der Fraunhofer-Gesellschaft das Kunststoff-Kompetenzzentrum in Bremen gegründet, um sowohl Arbeitssuchenden als auch Beschäftigten aus der Faserverbund-Branche eine Qualifizierung zur Herstellung von FVK zu ermöglichen. Analog zur Schweiß- und Klebtechnik wurde zunächst für die Werker-Ebene ein Angebot entwickelt und umgesetzt.

## Ausgezeichnete Weiterbildung – der FVK-Praktiker

Mit dem »Faserverbundkunststoff-Praktiker« (FVK-Praktiker) entstand ein vierwöchiger Lehrgang, der sich in vier einzelne Module gliedert und mit einer zertifizierenden Abschlussprüfung endet. Er ist überbetrieblich, branchenunabhängig und enthält einen hohen Praxisanteil, um die verschiedenen Herstellprozesse unmittelbar erfahren und das theoretische Wissen vertiefen zu können (Abb. 1).

Die Qualifizierung wurde in Zusammenarbeit mit der »Weiterbildungspartnerschaft Kunststoff« entwickelt, an der sich die Firmen SGL ROTEC GmbH & Co. KG, PowerBlades GmbH, Airbus Deutschland GmbH, bfw – Unternehmen für Bildung, HAINDL Kunststoffverarbeitung GmbH, die Stiftung Institut für Werkstofftechnik IWT sowie das Faserinstitut Bremen e.V. und das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM beteiligen. Deren Experten vermitteln persönlich in Theorie und Praxis den aktuellsten Entwicklungsstand und bringen ihr Wissen aus dem Arbeitsalltag direkt in den Lehrgang ein. Dass diese Verzahnung von Wissenschaft und Wirtschaft allen Beteiligten zugutekommt, zeigen die circa 600 Teilnehmerinnen und Teilnehmer, die seit Beginn der Lehrgänge den FVK-Praktiker-Kurs besuchten und ihr Know-how nun im Betrieb nutzen können (Abb. 2).

- 1 *Handlaminieren als Einstieg in die FVK-Fertigung – ein Bestandteil der Personalqualifizierung zum FVK-Praktiker am Fraunhofer IFAM.*
- 2 *Der hohe Praxisanteil des FVK-Praktikers festigt das übermittelte Fachwissen – hier am Beispiel Autoklavtechnik.*



Um auf den großen Fachkräftebedarf in der Windbranche zu reagieren, lag zunächst der Schwerpunkt auf der Qualifizierung von Arbeitssuchenden. Aus diesem Grund wurde der Lehrgang sowohl gemäß AZWV (Anerkennungs- und Zulassungsverordnung Weiterbildung) zugelassen – eine Voraussetzung für die Übernahme der Kosten durch die Bundesagentur für Arbeit – als auch eine Qualifizierung über acht Wochen geschaffen, in der den Teilnehmenden ohne Vorkenntnisse das nötige Basiswissen vermittelt wird. Das Angebot wurde derart stark von der Agentur für Arbeit genutzt, dass weitere Standorte im Bremer Umland hinzukamen, um der großen Nachfrage gerecht zu werden.

Die hohe Vermittlungsquote bis Ende 2009 von 70 Prozent der Arbeitssuchenden in den Arbeitsmarkt unterstreicht die Qualität des Lehrgangs und den Bedarf am Markt. Dafür wurde das Weiterbildungskonzept zum FVK-Praktiker mit dem vom Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) ausgeschriebenen Weiterbildungs-Innovations-Preis (WIP) 2009 ausgezeichnet. Die niedersächsische Kultusministerin Elisabeth Heister-Neumann und der Präsident des BIBB, Manfred Kremer, überreichten den mit 2500 Euro dotierten Preis am 12. Februar 2009 auf der Fachmesse »didacta« in Hannover an Dr. Silke Mai, die Leiterin des Kunststoff-Kompetenzzentrums, Dr. Daniela Harkensee und Prof. Dr. Andreas Groß, der den Bereich Weiterbildung und Technologietransfer am Fraunhofer IFAM leitet.

Mittlerweile hat sich die Lage auf dem Arbeitsmarkt entspannt, sodass das Kunststoff-Kompetenzzentrum unter der Leitung des Fraunhofer IFAM in Bremen den Fokus wieder auf die Qualifizierung von betrieblichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern richten kann, die in ihrer beruflichen Praxis Faserverbunde herstellen oder zukünftig herstellen sollen. Dafür werden neben den Lehrgängen im Kunststoff-Kompetenzzentrum auch Inhouse-Schulungen angeboten, falls ein Arbeitgeber eine größere Anzahl seiner Beschäftigten zur gleichen Zeit qualifizieren möchte. Dies ermöglicht obendrein, in der Weiterbildung kundenspezifische produktionsbedingte Schwerpunkte zu setzen.

### Am Puls der Zeit – der FVK-Instandsetzer

Neben der Herstellung von qualitativ hochwertigen FVK-Bauteilen spielt zunehmend auch die Reparatur dieser komplexen Werkstoffe eine wichtige Rolle (Abb. 3). Weil Faserverbunde oft sicherheitstechnische Funktionen übernehmen, sind nicht nur nach der Herstellung, sondern auch nach der Instandsetzung eines Bauteils die geforderten Materialeigenschaften zu gewährleisten.

Als Vorreiterbranche zeigt der Schienenfahrzeugbau, welche Anforderungen erfüllt sein müssen, damit die geforderten Qualitätsstandards garantiert werden können. Nachdem bereits durch das Inkrafttreten der DIN 6701 verbindliche Standards für klebtechnische Arbeiten im Schienenfahrzeugbau festgelegt wurden, stehen im Rahmen der DIN 27201 »Zustand der Eisenbahnfahrzeuge – Grundlagen und Fertigungstechnologien« nun für die Instandsetzung von Eisenbahnfahrzeugen ähnliche Regelungen kurz vor der Einführung. Die Faserverbundtechnologie mit ihren Besonderheiten bei Reparatur und Wartung spielt hier neben der Klebtechnik eine entscheidende Rolle. Der voraussichtlich 2012 erscheinende Teil 13 der DIN 27201 »Instandsetzen von Faserverbund-Bauteilen« enthält daher spezielle Anforderungen sowohl an den Instandhaltungsprozess als auch an die Qualifikation des Personals.

Zur Erfüllung dieser Qualifikationsanforderungen bietet das Fraunhofer IFAM ab 2012 zusätzlich den neuen Lehrgang zum »Faserverbundkunststoff-Instandsetzer« (FVK-Instandsetzer) an. Er richtet sich an Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus Firmen, die Bauteile aus Faserverbundkunststoffen selbstständig warten, reparieren und bearbeiten. Der Schwerpunkt

- 3 Erneuter Lagenaufbau bei der Reparatur von Glasfaserverbund-Bauteilen – ein Bestandteil der Personalqualifizierung zum FVK-Instandsetzer am Fraunhofer IFAM.**



dieser Weiterbildung liegt gezielt auf der Wiederherstellung der vollen Funktionalität von FVK-Bauteilen und umfasst verschiedene Reparaturmethoden (Abb. 4).

Damit wird das Weiterbildungsangebot des Fraunhofer IFAM strategisch ausgebaut. Es ergänzt die Qualifizierung zum FVK-Praktiker, in der die Grundlagen zur Fertigung von faserverstärkten Kunststoffen und deren Herstellungsverfahren vermittelt werden, um einen weiteren wichtigen zukunftsweisenden Baustein.

Auch künftig wird das Fraunhofer IFAM im Bereich Klebtechnik und Oberflächen sein Personalqualifizierungsangebot nicht nur marktgerecht, sondern auch praxisorientiert weiterentwickeln und ergänzen, denn Anwendungen sowie Prozesse im Faserverbundbereich ändern sich kontinuierlich – wie bei innovativen Werkstoffen und Verfahren üblich.

## KONTAKT

*Dr. Silke Mai*

*Weiterbildung und Technologietransfer*

*Telefon + 49 421 2246-625*

*silke.mai@ifam.fraunhofer.de*

### **Institut**

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und*

*Angewandte Materialforschung IFAM,*

*Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen*

# MENSCHEN UND MOMENTE





# PREMIERE FÜR FRAUNHOFER IFAM: BUNDESPRÄSIDENT UND NIEDER- SÄCHSISCHER MINISTERPRÄSIDENT INFORMIEREN SICH ÜBER F&E- AKTIVITÄTEN IN STADE

Auf 4000 Quadratmetern Hallenfläche erarbeitet und entwickelt die Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM des Fraunhofer IFAM zusammen mit Industriepartnern innovative automatisierte Montagetechnologien für Großbauteile aus faserverstärkten Kunststoffen (FVK) im XXL-Maßstab. Grund genug für den damaligen Bundespräsidenten Christian Wulff am 18. Mai 2011 gemeinsam mit dem niedersächsischen Ministerpräsidenten David McAllister das CFK-Großforschungszentrum in Stade zu besichtigen – der erste Besuch eines Staatsoberhauptes im Fraunhofer IFAM.

Im direkten Kontakt mit Unternehmen, z. B. des gesamten Transportmittelbaus – insbesondere der Flugzeugindustrie – und des Windenergieanlagenbaus, entwickelt die Fraunhofer-Projektgruppe FFM im Großforschungszentrum CFK Nord maßgeschneiderte Prozesse und Automatisierungslösungen. Hierfür erarbeiten Wissenschaftler und Techniker unter Leitung von Dr. Dirk Niermann industrialisierungsgerechte integrierte Systemlösungen sowie optimal abgestimmte Fertigungs- und Großanlagentechnik im 1:1-Maßstab. Eine Übernahme bereits verfügbarer Automatisierungslösungen ist nicht möglich, da die Großstrukturmontage aufgrund der unvermeidlichen Formabweichungen der Bauteile besondere Anforderungen an optische Messtechnik, absolute Robotergenauigkeit und permanente Anpassung der Bearbeitungsbahnen stellt.

Ziel der FuE-Arbeiten ist die Steigerung der Produktivität bei gleichzeitiger Reduzierung der Kosten. Im Arbeitsgebiet der klebtechnischen Montage lässt sich das durch präzises Aufbringen der aus tatsächlichen Spaltmaßen exakt bestimmten Klebstoffmenge erreichen, wobei bisher übliches Probefügen vermieden wird. Eine beschleunigte Klebstoffaushärtung leistet einen

weiteren Beitrag. Bei der Hochpräzisionsbearbeitung liegt der Fokus auf der Fehlervermeidung anhand von Messdaten, die aus dem laufenden Prozess gewonnen werden, sowie der simultanen Ausführung mehrerer Bearbeitungsabläufe am gleichen Bauteil (siehe Seite 67; »Schneller und kostengünstiger mit Qualitätsgewinn: Fraunhofer IFAM beschleunigt industrielle Prozesse«).

## KONTAKT

### Institut

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM,  
Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen

**1** *Institutsleiter Prof. Dr. Bernd Mayer und Leiter der Fraunhofer-Projektgruppe FFM Dr. Dirk Niermann führen dem Bundespräsidenten, dem niedersächsischen Ministerpräsidenten sowie geladenen Gästen aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft die automatisierte klebtechnische Montage an einem CFK-Flugzeugrumpf vor.*



1



2

# INLINE-PLASMABESCHICHTUNGEN FÜR EFFIZIENTEN KORROSIONSSCHUTZ: COSI INNOVATION AWARD 2011 FÜR CHRISTOPH REGULA

Für seinen Vortrag über die Entwicklung von Inline-Atmosphärendruck-(AD-)Plasmaprozessen zur Abscheidung von Korrosionsschutzschichten auf metallischen Substraten wurde der Diplom-Physiker Christoph Regula im Juli 2011 im niederländischen Nordwijk auf der 7. Coating Science International Conference (CoSi) mit dem Innovation Award prämiert. An der Konferenz nahmen mehr als 110 Vertreter aus Wissenschaft und Industrie aus 23 Ländern teil.

Der Ansatz, die AD-Plasmatechnik für die kostengünstige und umweltschonende Vorbehandlung und Beschichtung von Kupfer- und Aluminiumoberflächen zu verwenden, wurde im Bereich Plasmatechnik und Oberflächen – PLATO – des Fraunhofer IFAM entwickelt. Der Vortrag von C. Regula wurde aufgrund seiner Verknüpfung von grundlegenden Forschungsergebnissen mit der industriellen Anwendung aus über 70 Vorträgen und Postern als innovativster Beitrag der Konferenz ausgewählt.

## Korrosionsschutz im Nanometer-Bereich

Der Schutz von Metalloberflächen ist insbesondere für den langlebigen Einsatz von Elektronikbauteilen unerlässlich, da korrosive Beanspruchungen, zum Beispiel bei Automobilen, schnell zum vollständigen Ausfall führen können. Die entwickelten plasmapolymere Schichten lassen sich als effizientes und umweltfreundliches Schutzsystem einsetzen, das bei hohen Prozessgeschwindigkeiten sowie durch eine automatisierbare Applikationstechnik ohne Bäder und Trocknungsöfen realisierbar ist. Mit Schichtdicken unterhalb eines Mikrometers ist zudem – im Vergleich zu Schutzlacken – eine verbesserte Wärmeableitung aus den Bauteilen und damit eine höhere Lebensdauer gewährleistet. Der zusätzliche Einbau von

Korrosionsinhibitoren in die plasmapolymere Schichten liefert darüber hinaus einen aktiven Korrosionsschutz, der dazu führt, dass die Bauteiloberflächen sogar im Fall von Schichtverletzungen vor Korrosion geschützt werden.

Eine besondere Stärke der Technik ist die Inline-Tauglichkeit auf kleinstem Raum, die einen Einsatz in bestehenden Prozesslinien ermöglicht. Dabei können energie- und platzintensive Bad- oder Lackier-Prozesse eingespart und somit Produktionskosten sowie Lösungsmittellemissionen gesenkt werden.

## KONTAKT

### Institut

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen*

- 1 *Der CoSi-Preis 2011.*
- 2 *Christoph Regula (links) erhält den CoSi Innovation Award von Prof. Dr. Gijsberthus de With, Professor an der Technischen Universiteit Eindhoven und Co-Organisator der 7. Coating Science International Conference.*



# PLASMA-SCHUTZSCHICHT FÜR SOLAR-MODULE IN BOSTON AUSGEZEICHNET: GHTC AWARD FÜR DR. UWE LOMMATZSCH UND DR. JÖRG IHDE

Der »German High Tech Champions Award (GHTC) 2011« auf dem Gebiet Solar/Photovoltaik wurde am 15. Juni 2011 in Boston, USA, an Dr. Uwe Lommatzsch und Dr. Jörg Ihde verliehen. Beide Forscher entwickeln zusammen mit ihrem Team am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM Atmosphärendruck-(AD-)Plasma-Prozesse, durch die Materialien mit funktionellen Oberflächen ausgestattet werden können.

Die prämierte AD-Plasma-Schutzbeschichtung beugt bei Solarmodulen Korrosionsschäden vor, da sie Delaminationsprozesse und Eindringen von Wasser verhindert. Zudem weist die extrem dünne Schicht (50–300 nm), die ohne zusätzliche Härtingsprozesse appliziert wird, eine hohe UV-Stabilität auf und beeinträchtigt weder elektrische Leitfähigkeit noch optische Eigenschaften. Der Wartungsaufwand wird reduziert und die Funktionssicherheit sowie die Lebensdauer der Solarmodule verlängert.

Neben der Korrosionsschutzwirkung sind durch AD-Plasma-Beschichtungen auch schmutzabweisende Funktionen oder haftvermittelnde Eigenschaften erzielbar. Die auf die speziellen Produkthanforderungen maßgeschneiderten Beschichtungsprozesse lassen sich problemlos »inline« in Prozessketten der industriellen Fertigung integrieren. Sie sind vollständig automatisierbar und – wenn gewünscht – auch gezielt selektiv applizierbar. Der Beschichtungsprozess bei Atmosphärendruck beansprucht wenig Platz, erspart Badprozesse, ist umweltfreundlich, energieeffizient und bietet eine hohe Sicherheit am Arbeitsplatz.

AD-Plasma-Beschichtungen sind für nahezu alle Materialien, wie Metalle, Keramiken, Gläser oder Polymere, geeignet. Praktische Erfahrungen liegen bereits in zahlreichen Branchen vor – von der Automobilproduktion bis zu High-End-Produkten der Photovoltaik: Die Atmosphärendruck-Plasmatechnik bietet ein kosteneffizientes Innovationspotenzial für verbesserte bzw. neue Technologien, Materialien und Produkte für die Märkte von morgen und übermorgen.

## KONTAKT

### Institut

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen*

**1** *Weniger Korrosion und Wartungsaufwand sowie höhere Funktionssicherheit und Lebensdauer: AD-Plasma-Schutzschicht für Solarzellen aus dem Fraunhofer IFAM (Quelle: MEV-Verlag).*

1



## BERND-ARTIN WESSELS-PREIS FÜR EXZELLENT FÖRSCHEUNGSKOOPERATION

Am 16. November 2011 wurde das Forschungsteam um Dr.-Ing. Philipp Imgrund vom Fraunhofer IFAM mit dem »Bernd-Artin Wessels-Preis« der »unifreunde« Bremen ausgezeichnet. Auswahlkriterien für den Preis sind ein hoher Innovationsgrad, der Nutzen des Projekts für das Unternehmen und eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit den Partnern. Eine neuartige biokeramische Knochenschraube zur Behandlung von Kreuzbandrissen im Kniegelenk wurde innerhalb von zwei Jahren zusammen mit den Projektpartnern Prof. Dr.-Ing. Kurosch Rezwan (Universität Bremen), Prof. Dr. med. Ulrich Wagner (Medizinische Klinik Wesermünde-Seepark) und Dipl.-Ing. Martin Ellerhorst (BEGO Implant Systems GmbH & Co) erfolgreich entwickelt und getestet.

Im Gegensatz zu den heute auf dem Markt befindlichen metallischen oder kunststoffbasierten Schrauben entspricht die biokeramische Knochenschraube in ihrer chemischen Zusammensetzung nahezu vollständig dem Hauptbestandteil des Knochens, dem Calciumphosphat. Die knochenähnliche Zusammensetzung bewirkt eine biologisch optimale Integration der Schraube in den Knochen. Der Knochen ist dadurch in der Lage, die Schraube zu resorbieren, also durch körpereigene biologische Prozesse auf natürliche Weise aufzulösen. Das so freigesetzte Calcium kann direkt in den neuentstehenden Knochen integriert werden und bewirkt einen potenziell beschleunigten Heilungsverlauf. Zudem entfällt durch die Resorption der Schraube die sonst notwendige und kostenaufwendige Nachfolgeoperation zur Schraubenentfernung.

Für den Fertigungsprozess haben die Ingenieure am Fraunhofer IFAM aus den Biomaterialien ein Granulat entwickelt, das mit herkömmlichen Spritzgussverfahren präzise verarbeitet werden kann. So entfällt die bisher notwendige Nachbearbeitung, wie etwa das Fräsen. Die komplexe Geometrie kann direkt abgeformt und anschließend bei 1400 °C wärmebehandelt (gesintert) werden. Das Ergebnis ist eine robuste, dichte Schraube aus reinem Calciumphosphat. Die Eigenschaften dieses Prototypen sind sehr nah an denen des Knochens: Die Druckfes-

tigkeit liegt bei mehr als 130 Newton pro Quadratmillimeter – ein echter Knochen hält zwischen von 130 bis 180 aus.

Anhand dieser Prototypenserie konnte in den ersten Tests erfolgreich gezeigt werden, dass die hohen medizinischen, biologischen und mechanischen Anforderungen erfüllt werden können. Die bioresorbierbare Knochenschraube befindet sich gegenwärtig im Patentverfahren und verfügt über ein geschätztes globales Marktpotenzial von ca. 400 Millionen Euro.

## KONTAKT

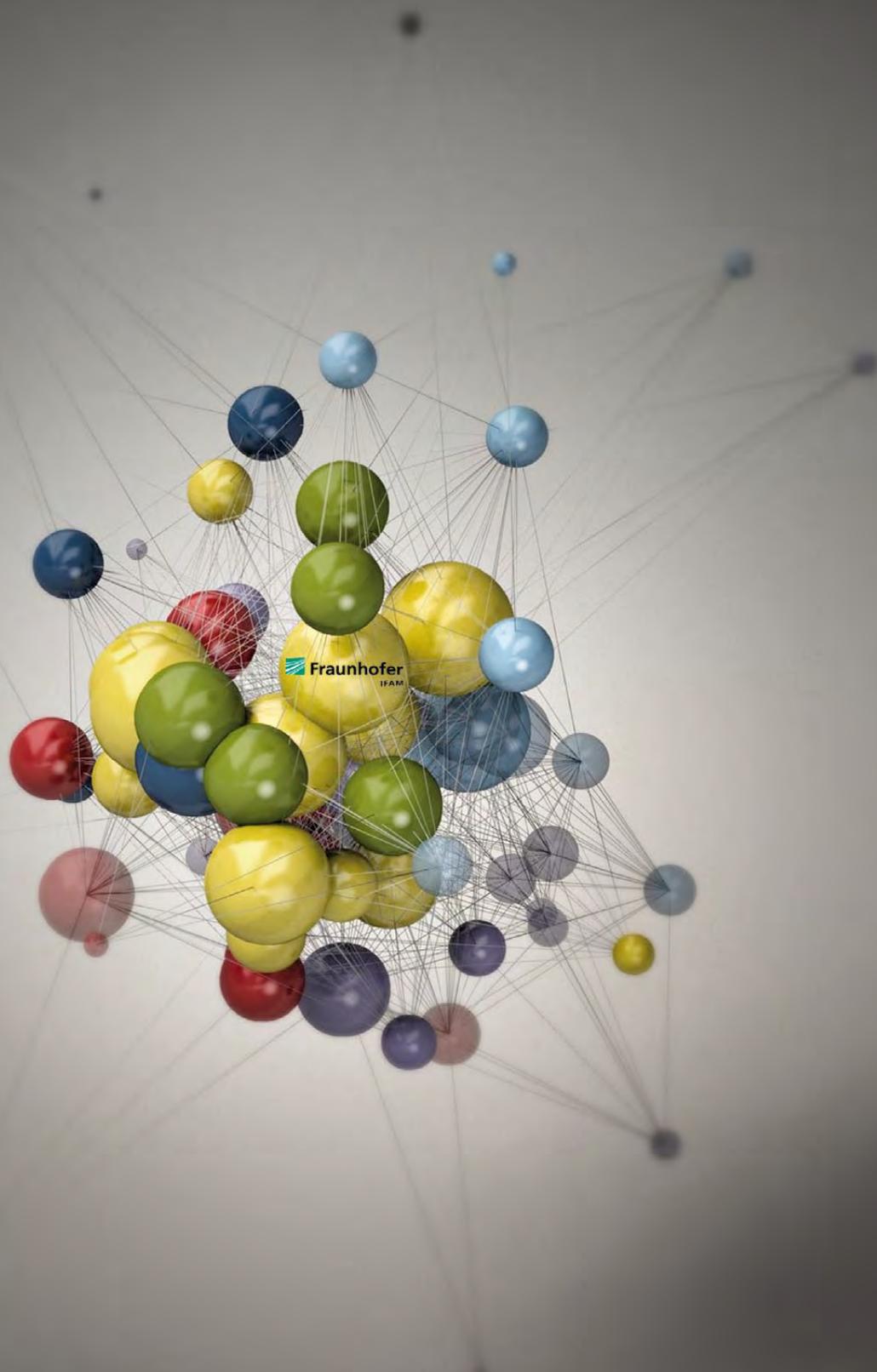
### Institut

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Bremen*

1 Die Preisträger und der Stifter: Prof. Dr. med. Ulrich Wagner, Dr.-Ing. Philipp Imgrund, Prof. Dr. h. c. Bernd-Artin Wessels, Prof. Dr.-Ing. Kurosch Rezwan (von links).

**VERBÜNDE | ALLIANZEN | ACADEMY**

**VERNETZT BEI FRAUNHOFER**



# FRAUNHOFER-VERBÜNDE

Fachlich verwandte Institute organisieren sich in Forschungsverbänden und treten gemeinsam am FuE-Markt auf. Sie wirken in der Unternehmenspolitik sowie bei der Umsetzung des Funktions- und Finanzierungsmodells der Fraunhofer-Gesellschaft mit.

## Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS bündelt die Kompetenzen der materialwissenschaftlich orientierten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft.

Fraunhofer-Materialwissenschaft und Werkstofftechnik umfasst die gesamte Wertschöpfungskette von der Entwicklung neuer und der Verbesserung bestehender Materialien über die Herstelltechnologie im industrienahen Maßstab, die Charakterisierung der Eigenschaften bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens. Entsprechendes gilt für die aus den Materialien hergestellten Bauteile und deren Verhalten in Systemen. In all diesen Feldern werden neben den experimentellen Untersuchungen in Labors und Technika gleichrangig die Verfahren der numerischen Simulation und Modellierung eingesetzt. Stofflich deckt der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS den gesamten Bereich der metallischen, anorganisch-nichtmetallischen, polymeren und aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugten Werkstoffe sowie Halbleitermaterialien ab.

Mit Schwerpunkt setzt der Verbund sein Know-how in den Geschäftsfeldern Energie und Umwelt, Mobilität, Gesundheit, Maschinen- und Anlagenbau, Bauen und Wohnen, Mikrosystemtechnik sowie Sicherheit ein. Über maßgeschneiderte Werkstoff- und Bauteilentwicklungen sowie die Bewertung des kundenspezifischen Einsatzverhaltens werden Systeminnovationen realisiert.

Schwerpunktt Themen des Verbundes sind:

- Erhöhung von Sicherheit und Komfort sowie Reduzierung des Ressourcenverbrauchs in den Bereichen Verkehrstechnik, Maschinen- und Anlagenbau
- Steigerung der Effizienz von Systemen der Energieerzeugung, Energiewandlung und Energiespeicherung
- Verbesserung der Biokompatibilität und der Funktion von medizin- oder biotechnisch eingesetzten Materialien
- Erhöhung der Integrationsdichte und Verbesserung der Gebrauchseigenschaften von Bauteilen der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik
- Verbesserung der Nutzung von Rohstoffen und Qualitätsverbesserung der daraus hergestellten Produkte

Beteiligt sind die Fraunhofer-Institute für

- Angewandte Polymerforschung IAP
- Bauphysik IBP
- Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
- Chemische Technologie ICT
- Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
- Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
- Keramische Technologien und Systeme IKTS
- Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EMI
- Silicatiforschung ISC
- Solare Energiesysteme ISE
- System- und Innovationsforschung ISI

- 1 *Kooperationen im Rahmen der Fraunhofer-internen Forschungsprogramme MAVO und WISA.*

- Werkstoffmechanik IWM
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP

Beteiligt als ständige Gäste die Institute für

- Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB
- Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

**[www.materials.fraunhofer.de](http://www.materials.fraunhofer.de)**

**Verbundvorsitzender**

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

**Stellvertretender Verbundvorsitzender**

Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner

**Geschäftsführung**

Dr. phil. nat. Ursula Eul

Telefon +49 6151 705-262

[ursula.eul@lbf.fraunhofer.de](mailto:ursula.eul@lbf.fraunhofer.de)

**Ansprechpartner Fraunhofer IFAM**

Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse

[matthias.busse@ifam.fraunhofer.de](mailto:matthias.busse@ifam.fraunhofer.de)

Prof. Dr. rer. nat. Bernd Mayer

[bernd.mayer@ifam.fraunhofer.de](mailto:bernd.mayer@ifam.fraunhofer.de)

# FRAUNHOFER-ALLIANZEN

Institute oder Abteilungen von Instituten mit unterschiedlichen Kompetenzen kooperieren in Fraunhofer-Allianzen, um ein Geschäftsfeld gemeinsam zu bearbeiten und zu vermarkten.

---

## Fraunhofer-Allianz Adaptronik

---

Die Adaptronik integriert aktorische und sensorische Funktionen in die mechanischen Lastpfade von Strukturen und verknüpft diese durch regelungstechnische »Intelligenz«. Damit lassen sich adaptive Struktursysteme realisieren, d. h. Strukturen, die sich an veränderliche Betriebsbedingungen selbstständig anpassen. Die Einbeziehung der Adaptronik in die Entwicklung technischer Systeme ist Basis für die Realisierung einer neuen Klasse intelligenter, zukunftsfähiger Produkte.

Durch die Integration aktiver mechanischer Funktionen können moderne Leichtbaustrukturen vibrations- und lärmarm sowie formstabil und selbst überwachend ausgeführt werden. Die Adaptronik bietet Optimierungspotenzial besonders in den Bereichen der Fahrzeugtechnik, des Werkzeugmaschinen- und Anlagenbaus, der Medizin, Luft- und Raumfahrttechnik, der Optik und der Verteidigungstechnik.

Dadurch können die mechanischen Eigenschaften, die Effizienz oder die Leistungsfähigkeit von Systemen verbessert werden. Dazu zählen wirtschaftlicher Materialeinsatz, Funktionserweiterung und Komfortsteigerung sowie auch Sicherheitsaspekte wie die Optimierung fahrzeugtechnischer Crasheigenschaften oder die Schadensüberwachung.

[www.adaptronik.fraunhofer.de](http://www.adaptronik.fraunhofer.de)

### Sprecher der Allianz

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

Dipl.-Ing. Franz-Josef Wöstmann

[franz-josef.woestmann@ifam.fraunhofer.de](mailto:franz-josef.woestmann@ifam.fraunhofer.de)



---

## Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion

---

Die Automobilproduktion ist mit ihren Herstellern, Zulieferern und Ausrüstern ein entscheidender Wirtschaftsfaktor in Deutschland. Globale Trends wie Ressourcenverknappung, Mobilitätsdruck, Urbanisierung und Megastädte führen zwangsläufig zu signifikanten Veränderungen des gesamten Mobilitätskonzepts. Der Wettbewerbsdruck auf die deutschen Automobilisten und deren Zulieferer nimmt auch aufgrund der Tendenz zu Low-Cost-Fahrzeugen stark zu.

Die Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion bündelt die Kompetenzen von 17 Instituten, um der deutschen Automobilbranche ein umfassender und kompetenter Partner für Forschung und Entwicklung zu sein. Durch die thematisch komplementären Forschungsschwerpunkte der einzelnen Institute werden Innovationen entlang der gesamten Prozesskette der Fahrzeugherstellung, d. h. von der Planung bis zum lackierten Fahrzeug, schnell, ganzheitlich und nachhaltig realisiert. Die Allianz stellt sich den umweltpolitischen Herausforderungen (Treibstoff- und CO<sub>2</sub>-Reduzierung; Elektromobilität; Senkung des Materialeinsatz) unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Aspekte (permanenter Druck zur Kostenreduktion).

Schwerpunktaufgaben der Allianz sind

- Konsequente Virtualisierung und durchgängige Simulation der Prozesskette
- Reduzierung der eingesetzten benötigten Materialien (Einsatz recycelbarer und langfristig verfügbarer Werkstoffe)
- Einsatz innovativer ressourcensparender Technologien
- Energiearme Anlagentechnik

[www.automobil.fraunhofer.de](http://www.automobil.fraunhofer.de)

### Sprecher der Allianz

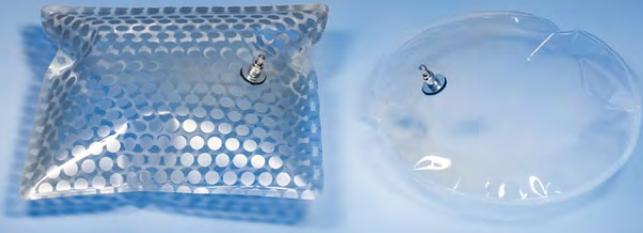
Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer

### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

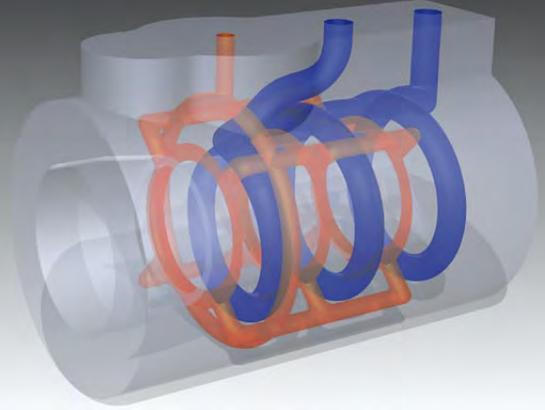
Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse

[matthias.busse@ifam.fraunhofer.de](mailto:matthias.busse@ifam.fraunhofer.de)

- 2 *Fertigungs- und Montageprozesse.*
- 3 *Geklebte Membrankissen aus Ethylen-Tetrafluorethylen-Folien (ETFE-Folien) zur Verwendung im Fassadenbau.*
- 4 *Additiv, durch selektives Laserschmelzen gefertigtes Kalibrierwerkzeug mit internen Vakuum- und Kühlkanälen.*



3



4

## Fraunhofer-Allianz Bau

Die Bauindustrie hat ein hohes Innovationspotenzial, das die in der Fraunhofer-Allianz Bau zusammengeschlossenen Institute nutzen wollen. Die Allianz bietet Bau-Kompetenz aus einer Hand durch integrale Systemlösungen. Die systematische Betrachtung von Gebäuden – vom Werkstoff, Bauteil, Raum, Gebäude bis zur Siedlung – fällt ebenso ins Portfolio wie die chronologische Betrachtung eines Gebäudes – der gesamte Lebenszyklus von der Idee bis zum Recycling. Angefangen bei der Prozesskette des Bauens, über Baumaterialien und -systeme bis hin zu Umnutzung und Rückbau von Gebäuden sind Rationalisierungsmöglichkeiten und Optimierungspotenziale vorhanden.

In Zeiten explodierender Energiepreise ist die Energieeffizienz von Gebäuden sowohl für Privat- als auch für gewerbliche Gebäude ein wesentliches Thema. Der Fokus der Allianz Bau geht aber deutlich darüber hinaus. Es gilt, Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung und Gesundheitsverträglichkeit des Bauens und Wohnens sicherzustellen und Fragestellungen wie Produkt-, System- und Prozessoptimierung zu beantworten. Die Bauforschung weist Schnittstellen zu den Fraunhofer-Kompetenzen in den Forschungsbereichen Energie, Informations- und Kommunikationstechnik, Werkstoffe und Bauteile, Life Sciences, Produktion, Mikroelektronik sowie Verteidigungs- und Sicherheitsforschung auf.

[www.bau.fraunhofer.de](http://www.bau.fraunhofer.de)

### Sprecher der Allianz

Prof. Dr. Klaus Sedlbauer

### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

Dipl.-Ing. (FH) Uwe Maurieschat M. Sc.

[uwe.maurieschat@ifam.fraunhofer.de](mailto:uwe.maurieschat@ifam.fraunhofer.de)

Dipl.-Ing. Franz-Josef Wöstmann

[franz-josef.woestmann@ifam.fraunhofer.de](mailto:franz-josef.woestmann@ifam.fraunhofer.de)

## Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung

Der Oberbegriff »Generative Fertigung« beschreibt Prozesse zur Herstellung von Modellen, Formen, Werkzeugen und funktionsfähigen Bauteilen. Generative Fertigung bietet enorme Erfolgspotenziale für die schnelle und effiziente Umsetzung von Produktinnovationen für Prototypen und kleine Fertigungsserien.

Die Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung bündelt die Kompetenzen von neun Fraunhofer-Instituten und entwickelt innovative Konzepte für die Anwendung generativer Fertigungstechnologien. Mit der Allianz ist die Fraunhofer-Gesellschaft in der Lage, ganzheitliche Lösungen in der Produktentwicklung durch die Abbildung der gesamten Prozesskette anzubieten. Neben den generativen Kernprozessen umfassen sie vor- und nachgelagerte Prozesse: die Prozessvorbereitung, inklusive das Erfassen und Aufbereiten von Daten, sowie die finale Eigenschaftsgenerierung für einsatzfähige Produkte.

Gemeinsam mit nationalen und internationalen Partnern entwickelt die Allianz individuelle Konzepte, Technologien und Prozesse zur Verbesserung der Leistungs- und Konkurrenzfähigkeit kleiner und mittelständischer Unternehmen. Die Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung ist Mitglied im Management der EU-Plattform Rapid Manufacturing in Brüssel und zuständig für die Organisation der Arbeitsgruppe »Deutschland« in der EU-Plattform.

[www.generativ.fraunhofer.de](http://www.generativ.fraunhofer.de)

### Sprecher der Allianz

Dipl.-Ing. Axel Demmer

### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

Dr.-Ing. Frank Petzoldt

[frank.petzoldt@ifam.fraunhofer.de](mailto:frank.petzoldt@ifam.fraunhofer.de)



5



6

## Fraunhofer-Allianz Leichtbau

Leichtbau bedeutet die Realisierung einer Gewichtsminde- rung bei hinreichender Steifigkeit, dynamischer Stabilität und Festigkeit. Hierbei ist zu gewährleisten, dass die entwickelten Bauteile und Konstruktionen ihre Aufgabe über die Einsatz- dauer sicher erfüllen.

Die Werkstoffeigenschaften, die konstruktive Formgebung, die Bauweise und der Herstellungsprozess bestimmen die Qualität einer Leichtbaustruktur wesentlich. Daher muss die gesamte Entwicklungskette von der Werkstoff- und Produkt- entwicklung bis über Serienfertigung und Zulassung sowie Produkteinsatz betrachtet werden.

Die in der Fraunhofer-Allianz Leichtbau zusammengeschlosse- nen Institute haben die dafür erforderlichen Kompetenzen in den Bereichen:

- Materialien bzw. Materialverbünde für den Leichtbau
- Füge- und Fertigungsverfahren im Leichtbau
- Numerische und experimentelle Simulation im Leichtbau
- Bewertung von Bauteilen und Systemen

[www.leichtbau.fraunhofer.de](http://www.leichtbau.fraunhofer.de)

### Sprecher der Allianz

Prof. Dr.-Ing. Andreas Büter

### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

Dr. Markus Brede

markus.brede@ifam.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Günter Stephani

guenter.stephani@ifam-dd.fraunhofer.de

## Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie

Nanotechnologie umfasst heute ein breites Spektrum von neuen Querschnittstechnologien mit Werkstoffen, Bauteilen und Systemen, deren Funktion und Anwendung auf den be- sonderen Eigenschaften nanoskaliger (< 100 nm) Größenord- nung beruhen.

Die Nanotechnologie ist fester Bestandteil unseres alltäglichen Lebens: Zum Beispiel sorgen Nanopartikel in Sonnencremes für den Schutz der Haut vor UV-Strahlung oder verstärken Autoreifen; durch Nanotechnologie werden pflegeleichte und kratzgeschützte Oberflächen erreicht, und ultradünne Schich- ten sind wesentliche Bestandteile z. B. von Datenspeichern. Die Technologie wird bereits quer durch Branchen und Indus- triezweige für unterschiedlichste Anwendungen genutzt und ist weltweit für einen Umsatz von 80 bis 100 Milliarden Euro verantwortlich.

Bei Fraunhofer sind fast ein Drittel aller Institute auf diesem Gebiet tätig. In der Allianz fokussieren sich die Aktivitäten auf multifunktionelle Schichten, beispielsweise für die Optik, das Design spezieller Nanopartikel als Füll- und Effektstoffe (Bio- medizin) sowie neuartige Aktuatoren auf der Basis von Koh- lenstoffnanoröhren. Auch Fragestellungen zur Toxikologie und Arbeitssicherheit beim Umgang mit Nanopartikeln werden in nationalen und europäischen Forschungsprojekten behandelt.

[www.nano.fraunhofer.de](http://www.nano.fraunhofer.de)

### Sprecher der Allianz

Dr. Karl-Heinz Hass

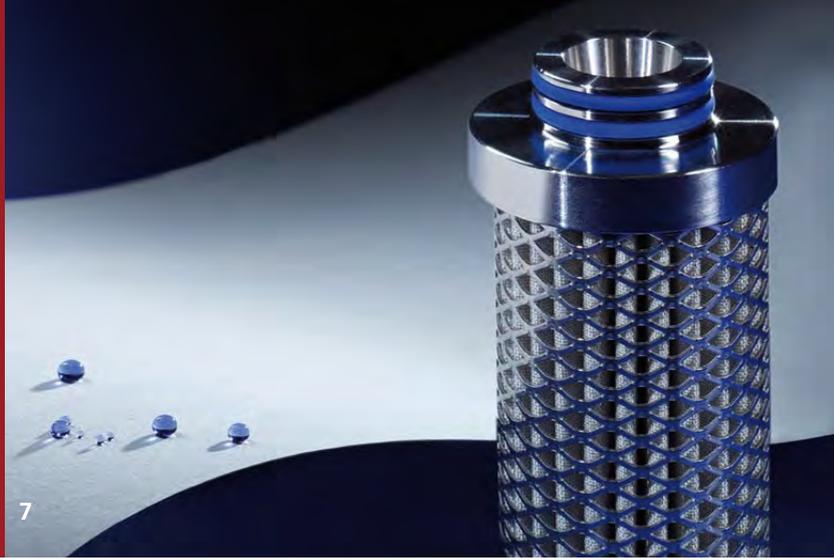
### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig

andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de

Prof. Dr. Bernd Günther

bernd.guenther@ifam.fraunhofer.de



## Fraunhofer-Allianz Photokatalyse

Photokatalytisch aktive Schichtsysteme mit selbstreinigenden, antibakteriellen, bewuchshemmenden oder beschlagsmindernden Eigenschaften stehen im Mittelpunkt der FuE-Aktivitäten der Fraunhofer-Allianz Photokatalyse.

Ziel der Allianz ist die Entwicklung neuer Material- und Schichtkonzepte für leistungsfähigere Photokatalysatoren sowie deren Applikation auf unterschiedlichsten Substraten wie Glas, Kunststoffen und Metallen.

Die Kompetenzen der acht beteiligten Institute sind breit gefächert und umfassen: Material-, Schicht- und Prozessentwicklung, Analytik und Messtechnik für die biologische Wirksamkeit sowie für ökotoxikologische Umweltauswirkungen.

[www.photokatalyse.fraunhofer.de](http://www.photokatalyse.fraunhofer.de)

### Sprecher der Allianz

Dr. Michael Vergöhl

### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

Dr. Dirk Salz

[dirk.salz@ifam.fraunhofer.de](mailto:dirk.salz@ifam.fraunhofer.de)

## Fraunhofer-Allianz Polymere Oberflächen (POLO)

Die Fraunhofer-Allianz Polymere Oberflächen POLO fasst die Kernkompetenzen von sieben Fraunhofer-Instituten auf dem Gebiet der Entwicklung von polymeren Produkten mit funktionellen Oberflächen, Grenzflächen oder dünnen Schichten strategisch sowie operativ zusammen und betreibt eine gemeinsame Vermarktung. Dadurch vermittelt die Allianz einen deutlich erweiterten Leistungsumfang gegenüber dem Angebot der einzelnen Institute.

Die Allianz erarbeitet wesentliche Vorentwicklungsergebnisse und dazugehörige Schutzrechte für Polymerprodukte mit neuen oder entscheidend verbesserten Eigenschaften. Die bereits entwickelten Produkte in den Arbeitsgebieten »Flexible Ultra-Barrieren« und »Antimikrobiell wirksame Polymeroberflächen« zielen auf Anwendungen in der optischen und optoelektronischen Industrie, der Verpackungswirtschaft, der Textilindustrie, der medizinischen Industrie, der Automobilindustrie und der Bauwirtschaft ab.

[www.polo.fraunhofer.de](http://www.polo.fraunhofer.de)

### Sprecherin der Allianz

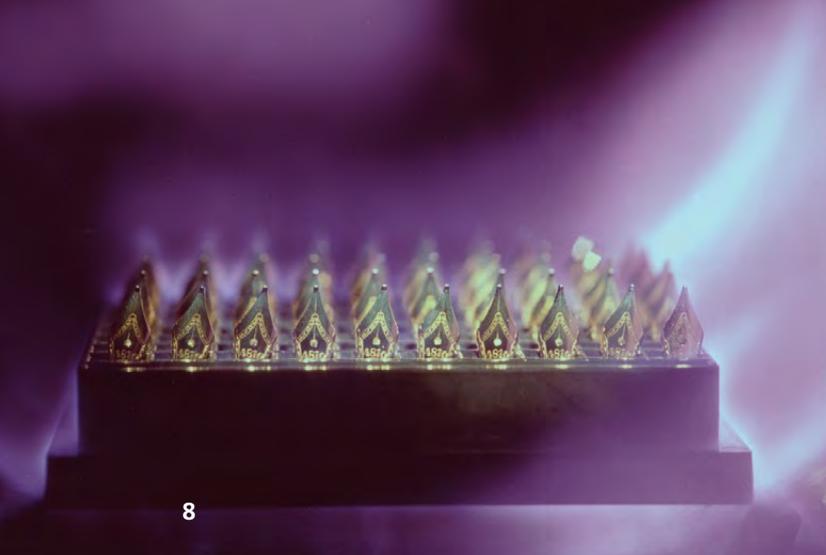
Dr. Sabine Amberg-Schwab

### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

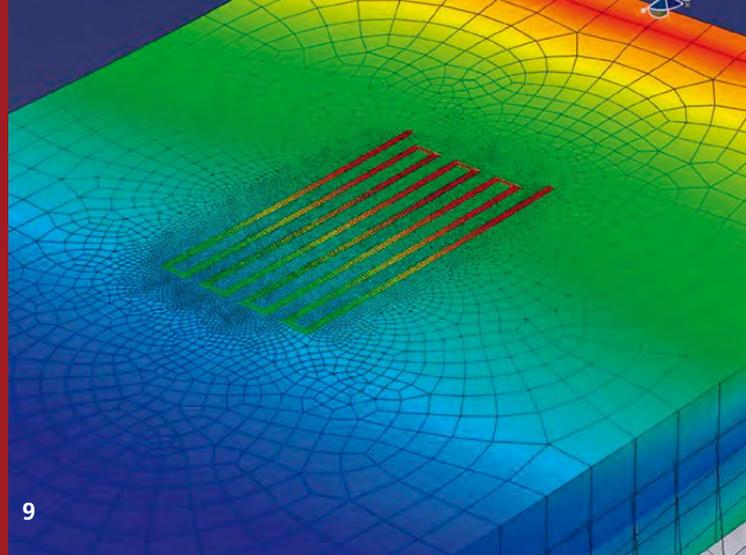
Dr. Uwe Lommatzsch

[uwe.lommatzsch@ifam.fraunhofer.de](mailto:uwe.lommatzsch@ifam.fraunhofer.de)

- 5 Geklebter Träger aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) zum Nachweis der Schwingfestigkeit von Rotorblattmaterialien.
- 6 Verbesserung der Dispergierbarkeit von Farbnanopartikeln durch Atmosphärendruck-Plasmabehandlung (rechts behandelt).
- 7 Filtermaterial mit verbesserter Chemikalienbeständigkeit und erhöhter Lebensdauer durch ultradünne plasmapolymere Beschichtung.



8



9

---

### Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik

---

Die Reinigung von Oberflächen ist in einer Reihe inhaltlich unterschiedlich ausgerichteter Fraunhofer-Institute Forschungsgegenstand. Kein Institut beschäftigt sich ausschließlich mit der Reinigungstechnik. In der Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik werden die Kompetenzen der einzelnen Institute gebündelt, sodass die gesamte Prozesskette der Reinigung angeboten werden kann. Diese umfasst neben unterschiedlichen Reinigungsverfahren die vor- und nachgelagerten Prozesse.

Vorgelagerte Prozesse beschäftigen sich mit Fragestellungen der Prozessanalyse, um Verunreinigungen zu vermeiden oder den Reinigungsaufwand zu vermindern. Nachgelagerte Prozesse sind die Kontrolle des Reinigungserfolgs in der Qualitätssicherung, die Trocknungstechnologie bei nasschemischen Reinigungsverfahren sowie die Entsorgung der Verunreinigungen und der Reinigungshilfsstoffe im Rahmen des Umweltschutzes.

[www.allianz-reinigungstechnik.de](http://www.allianz-reinigungstechnik.de)

#### Sprecher der Allianz

Dipl.-Ing. (FH) Martin Bilz, M.Sc.

#### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

Dipl.-Ing. (FH) Sascha Buchbach  
[sascha.buchbach@ifam.fraunhofer.de](mailto:sascha.buchbach@ifam.fraunhofer.de)

---

### Fraunhofer-Allianz Simulation

---

In der Allianz Numerische Simulation von Produkten und Prozessen bündeln Fraunhofer-Institute ihre Kompetenzen, die sich mit der Entwicklung und Verbesserung von Simulationsverfahren beschäftigen.

Die Simulation von Produkten und Prozessen spielt heute eine entscheidende Rolle in allen Phasen des Lebenszyklus eines Produkts, von der modellgestützten Materialentwicklung über die Simulation des Herstellprozesses bis zum Betriebsverhalten und der Platzierung des Produkts am Markt.

Das Ziel der Allianz ist es, institutsübergreifende Aufgabenstellungen aufzugreifen und als Ansprechpartner für öffentliche und industrielle Auftraggeber die Interessen der in der Allianz zusammengeschlossenen Institute zu vertreten. Insbesondere die Bündelung der Kompetenzen aus dem IuK-Bereich mit dem Werkstoff- und Bauteil-Know-how sowie mit der Oberflächentechnik, Produktionstechnik und Mikroelektronik verspricht innovative Ergebnisse.

[www.simulation.fraunhofer.de](http://www.simulation.fraunhofer.de)

#### Sprecher der Allianz

Andreas Burbliès

#### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

Andreas Burbliès  
[andreas.burbliès@ifam.fraunhofer.de](mailto:andreas.burbliès@ifam.fraunhofer.de)

8 *Feinreinigung von Schreibfedern.*

9 *Numerische Spannungssimulation eines Dehnungsmessstreifens.*

---

## Fraunhofer-Allianz Verkehr

---

Die Fraunhofer-Allianz Verkehr entwickelt technische und konzeptionelle Lösungen für öffentliche und industrielle Auftraggeber und überführt diese in die Anwendung. Dazu identifiziert die Allianz zukünftige Entwicklungen und nimmt Einfluss auf die FuE-Ausrichtung von Förderprogrammen.

Die Allianz Verkehr analysiert den Marktbedarf und entwickelt institutsübergreifende Systemangebote. Zudem sammelt und vermarktet sie verkehrsrelevante Kompetenzen ihrer Mitglieder. Ein enger Branchenbezug wird durch Arbeitsgruppen wie Automotive, Rail, Aviation und Waterborne gewährleistet. Durch internationale Forschungsprogramme und -aufträge sind die Mitgliedsinstitute weltweit mit verkehrsrelevanten Wirtschafts- und Forschungsunternehmen vernetzt. Die Geschäftsstelle der Allianz vermittelt die richtigen Partner.

[www.verkehr.fraunhofer.de](http://www.verkehr.fraunhofer.de)

### Sprecher der Allianz

Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen

### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

Dr.-Ing. Gerald Rausch  
[gerald.rausch@ifam.fraunhofer.de](mailto:gerald.rausch@ifam.fraunhofer.de)

---

## Fraunhofer Academy – Forschungs-Know-how für Ihren Erfolg

---

Die Fraunhofer Academy bündelt die Weiterbildungsangebote der Fraunhofer-Gesellschaft unter einem Dach und bietet für Fach- und Führungskräfte in der Wirtschaft exzellente Fortbildungsmöglichkeiten an. In alle Angebote fließen neueste Erkenntnisse aus Wissenschaft und Forschung in die Lehrinhalte ein – ein echter Pakt für Forschung und Innovation. Eine erstklassige Ausbildung legt das Fundament für eine Karriereaufbahn – lebenslange Weiterbildung ist ein »Muss«, um am Ball zu bleiben.

### ■ Industrielle Klebtechnik – Personalqualifizierung im Klebtechnischen Zentrum Bremen

Klebtechnik entwickelt sich zur Verbindungstechnik Nr. 1 des 21. Jahrhunderts. Die Übersetzung des gesamten Potenzials der Klebtechnik in die betriebliche Anwendung erfolgt durch gezielte, maßgeschneiderte Weiterbildung zum Klebpraktiker, zur Klebfachkraft oder zum Klebfachingenieur im Klebtechnischen Zentrum des Fraunhofer IFAM im Bremen.

### ■ Faserverbund-Technologie – Personalqualifizierung im Kunststoff-Kompetenzzentrum

Der mit dem Weiterbildungs-Innovations-Preis ausgezeichnete Lehrgang zum Faserverbundkunststoff-Praktiker ist für multifunktionale Produkte und Leichtbau – somit insbesondere für Transportmittel- und Windenergieanlagenbau – von zukunftsweisender Bedeutung. Ab 2012 ergänzt die Weiterbildung zum Faserverbundkunststoff-Instandsetzer das Portfolio des Kunststoff-Kompetenzzentrums des Fraunhofer IFAM.

[www.academy.fraunhofer.de](http://www.academy.fraunhofer.de)

### Geschäftsführer Fraunhofer Academy

Dr. Roman Götter

### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

Prof. Dr. Andreas Groß  
[andreas.gross@ifam.fraunhofer.de](mailto:andreas.gross@ifam.fraunhofer.de)  
[www.kleben-in-bremen.de](http://www.kleben-in-bremen.de) | [www.kunststoff-in-bremen.de](http://www.kunststoff-in-bremen.de)

# NAMEN | DATEN | EREIGNISSE



KONFERENZEN | TAGUNGEN | WORKSHOPS

Konferenzen, Tagungen und Workshops	122
-------------------------------------	-----

WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN

Promotionen	123
Vorlesungen	124
Veröffentlichungen	126
Vorträge und Poster	132

PATENTE

Erteilungen	145
-------------	-----

EHRUNGEN UND PREISE

Ehrungen und Preise	146
---------------------	-----

Konferenzen | Tagungen | Workshops

- |   |   |
|---|---|
| <p>Workshop<br/> <b>Funktionsintegrierte Bauteile durch 2K-Pulverspritzgießen</b><br/>                 Fraunhofer IFAM, Bremen<br/>                 24./25.5.2011</p> <p>Industrietag<br/> <b>Hochdämpfende Werkstoffe im Maschinen- und Gerätebau</b><br/>                 Fraunhofer IFAM, Dresden<br/>                 16.6.2011</p> <p>Workshop<br/> <b>10. Bremer Klebtage Klebtechnische Fortbildung im Rahmen der DVS®/EWF-Personalqualifizierung</b><br/>                 Fraunhofer IFAM, Bremen<br/>                 21./22.6.2011</p> <p>Seminar<br/> <b>Summer School EPMA Powder Metallurgy Summer School 2011</b><br/>                 Fraunhofer IFAM, Dresden<br/>                 27.6.–1.7.2011</p> | <p>Workshop<br/> <b>Abschlussveranstaltung Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität</b><br/>                 Papenburg, ATP Prüfgelände<br/>                 2./3.9.2011</p> <p>Fachtagung<br/> <b>Fachtagung Elektromobilität: Erfahrungen – Entwicklungen – Erwartungen</b><br/>                 Park Hotel, Bremen<br/>                 14./15.9.2011</p> <p>Workshop<br/> <b>Bioinspired and Biobased Materials</b><br/>                 Fraunhofer IFAM, Bremen<br/>                 27.10.2011</p> <p>Workshop<br/> <b>4. Workshop Innovationscluster »MultiMaT«</b><br/>                 Fraunhofer IFAM, Bremen<br/>                 7.12.2011</p> |
|---|---|

Wissenschaftliche  
Veröffentlichungen

Promotionen

**S. N. Shirazi**

Wet chemical surface modifications of titanium and Ti6Al4V alloy and their effect on the hydrothermal aging mechanisms and adhesion properties  
Universität Bremen

Gutachter:  
Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig  
Prof. Dr. Petra Swiderek  
Datum der Prüfung:  
21.1.2011

**M. Müller**

Herstellung und Charakterisierung von gemahlene CuNi- und NiCr-Legierungssuspensionen für das Aerosol-druckverfahren  
Universität Bremen

Gutachter:  
Prof. Dr.-Ing. M. Busse  
Prof. Dr.-Ing. W. Lang  
Datum der Prüfung: 6.4.2011

**D. Yu**

Improvements of flame retardancy and heat resistance of epoxy composites with additives containing phosphorus and silicon  
Chinese Academy of Sciences, Guangzhou Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Tianhe District, 510650 Guangzhou, China

Gutachter:  
Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig  
Prof. Dr. Wie Qu Liu  
Datum der Prüfung:  
17.5.2011

**D. Kolacyak**

Funktionalisierung mehrwandiger Kohlenstoffnanoröhren mit Atmosphärendruckplasma  
Universität Bremen

Gutachter:  
Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig  
Prof. Dr. Franz-Peter Montforts  
Datum der Prüfung:  
27.5.2011

**G. Benedet Dutra**

Thermodynamic and one-dimensional kinetic simulations applied to material interfaces produced via powder metallurgy processes  
Universität Bremen

Gutachter:  
Prof. Dr.-Ing. M. Busse  
Prof. Dr.-Ing. F. Hoffmann  
Datum der Prüfung:  
30.6.2011

**S. Schrübbers**

Gezielt abbaubare Polymersysteme – Synthese und Degradationsmechanismen  
Universität Bremen

Gutachter:  
Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig  
Prof. Dr. Dieter Wöhrle  
Datum der Prüfung:  
22.8.2011

**C. Drescher**

Einfluss der Herstellungsparameter auf die Eigenschaften gedruckter Dickschicht-Thermoelemente und -Dehnungsmessstreifen aus pulvergefüllten Pasten  
Universität Bremen

Gutachter:  
Prof. Dr.-Ing. M. Busse  
Prof. Dr.-Ing. W. Tillmann  
Datum der Prüfung:  
13.9.2011

**C. Regula**

Schichtbildung von Plasma-polymeren bei Atmosphärendruck am Beispiel von Hexamethyldisiloxan (HMDSO) als Monomer  
Universität Bremen

Gutachter:  
Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig  
Prof. Dr. Dieter Wöhrle  
Datum der Prüfung:  
16.12.2011

**Vorlesungen**

**M. Busse**

Forschung und Entwicklung  
im Automobilbau  
Universität Bremen  
SoSe 2011

**M. Busse**

Leadership im Automobilbau  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

**S. Dieckhoff**

Oberflächentechnik  
Fachhochschule Bremerhaven  
SoSe 2011

**H. Fricke**

Simultaneous engineering  
and rapid prototyping  
Hochschule Bremen  
WiSe 2011/2012

**I. Grunwald**

Analytische Chemie  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

**I. Grunwald**

Einführung in die Chromato-  
graphie  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

**I. Grunwald**

Praktikum Chromatographie  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

**I. Grunwald, R. Dringen**

Bioorganic chemistry  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

**B. Günther, M. Busse**

Funktionswerkstoffe im Auto-  
mobilbau  
Universität Bremen  
SoSe 2011

**A. Hartwig**

Makromolekulare Chemie –  
Grundlagen  
Universität Bremen  
SoSe 2011

**A. Hartwig**

Vertiefung Makromolekulare  
Chemie  
Universität Bremen  
SoSe 2011

**A. Hartwig**

Vertiefungspraktikum Makro-  
molekulare Chemie  
Universität Bremen  
SoSe 2011

**A. Hartwig**

Polymere Funktionsmaterialien  
Universität Bremen  
SoSe 2011

**A. Hartwig**

Moderne Schwingungsspek-  
troskopie – mehr als der Nach-  
weis von Carbonylgruppen  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

**A. Hartwig**

Vernetzte Funktionspolymere  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

**A. Hartwig**

Forschungspraktikum  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

**A. Hartwig**

Ringvorlesung/Übung Analytik  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

**A. Hartwig**

Oberflächen und Polymere  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

**A. Hartwig, J. Beckmann,  
F.-P. Montforts, M. Hesse**

Integriertes Synthesepraktikum  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

**B. Kieback**

Festkörperchemie II  
Technische Universität Dresden  
SoSe 2011

**B. Kieback, T. Schubert**

Verbundwerkstoffe  
Technische Universität Dresden  
SoSe 2011

**B. Kieback, T. Weißgärber**

Pulvermetallurgie und  
Sinterwerkstoffe I  
Technische Universität Dresden  
WiSe 2011/2012

**B. Kieback**

Technologien zur Werkstoff-  
herstellung und -verarbeitung  
Technische Universität Dresden  
WiSe 2011/2012

**B. Kieback**

Festkörperchemie I  
Technische Universität Dresden  
WiSe 2011/2012

**B. Kieback, T. Weißgärber**

Pulvermetallurgie und  
Sinterwerkstoffe II  
Technische Universität Dresden  
SoSe 2011

**U. Lommatzsch**

Oberflächentechnik  
Hochschule Bremerhaven  
SoSe 2011

**S. Lösch**

Technische Mechanik  
Hochschule Bremen  
WiSe 2011/2012

**B. Mayer**

Kleben und Hybridfügen  
Universität Bremen  
SoSe 2011

**B. Mayer**

Polymere  
Universität Bremen  
SoSe 2011

**B. Mayer**

Werkstofftechnik Polymere  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

**J. Meinert**

Technische Thermodynamik  
Dresden International  
University  
SoSe 2011

**J. Meinert**

Grundkonzepte der Energietechnik – Kraftwerkstechnik I  
Hochschule Zittau/Görlitz  
SoSe 2011

**U. Meyer**

Festigkeitslehre II  
Hochschule Bremen  
SoSe 2011

**U. Meyer**

Angewandte Mathematik  
Hochschule Bremen  
SoSe 2011

**U. Meyer**

Festigkeitslehre I  
Hochschule Bremen  
WiSe 2011/2012

**U. Meyer**

Angewandte Mathematik  
Hochschule Bremen  
WiSe 2011/2012

**M. Noeske, M. Popp**

Klebtechnik  
Hochschule Bremerhaven  
SoSe 2011

**F. Petzoldt**

Endformnahe Fertigungstechnologien II  
Universität Bremen  
SoSe 2011

**F. Petzoldt**

Endformnahe Fertigungstechnologien I  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

**F. Petzoldt**

Produktionsorientierte medizinische Prozessketten  
Hochschule Bremerhaven  
WiSe 2011/2012

**P. Plagemann**

Elektrochemie  
Universität Bremen  
SoSe 2011

**P. Plagemann**

Korrosion  
Hochschule Bremerhaven  
SoSe 2011

**M. Popp**

Strukturelles Kleben  
Hochschule Bremerhaven  
WiSe 2011/2012

**J. Weise, S. Lösch**

Werkstoffwissenschaft/  
Mechanik  
Hochschule Bremen  
WiSe 2011/12

**T. Weißgärber, B. Kieback**

Werkstoffe der Energietechnik II  
Technische Universität  
Dresden  
WiSe 2011/2012

**R. Woltmann, M. Busse**

Bauteilentwicklung für automobiler Gusskomponenten  
Universität Bremen  
SoSe 2011

**R. Woltmann, M. Busse**

Leichtmetallgießen im Automobilbau  
Universität Bremen  
WiSe 2011/2012

Veröffentlichungen

**A. Antonello, G. Brusatin, M. Guglielmi, V. Bello, G. Perotto, G. Mattei, M. Maiwald, V. Zöllmer, A. Chiasera, M. Ferrari, A. Martucci**

Novel multifunctional nanocomposites from titanate nanosheets and semiconductor quantum dots  
Optical Materials 33 (12), 2011, 1839–1846

**S. Baha II, S. Marzi, O. Klapp, O. Hesebeck**

Numerical and experimental investigation of the mechanical properties of riveted joints considering the installation process  
SAE International, Journal Aerospace, ISSN 0148-7191, 2011, 11ATC-0394

**G. Benedet Dutra**

Thermodynamic and one-dimensional kinetic simulations applied to material interfaces produced via powder metallurgy processes  
Shaker Verlag ISBN 978-3-8440-0293-5

**G. Benedet Dutra, M. Mulser, F. Petzoldt**

Interface formation and diffusion of alloying elements during cosintering of MIM 316L/17-4PH stainless steel parts: experiments and simulation  
Powder Metallurgy, Vol. 54 No. 5, 2011, 614–619

**J. Birkenstock, M. Kleemeier, C. Vogt, M. Wendschuh, A. Hartwig, R. X. Fischer**

Influence of sodium bromide on the thermal decomposition of tetraphenylphosphonium montmorillonite  
Appl. Clay Sci, 2011, 54, 144–150

**S. Buchbach, A. Momber, P. Plagemann**

Untersuchungen zum Korrosionsschutz von Kanten an Stahlkonstruktionen – Problemstellung und Versuchsdurchführungen (Teil 1)  
Stahlbau, 80. Jahrgang, Januar 2011, Heft 1, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG

**M. Busse, F.-J. Wöstmann, M. Gröninger, F. Horch, A. Kock, H. Pleteit, D. Schmidt**

Elektromobilität bewegt – powered by casting technology?  
Gießerei, 98, 2011, 130–133

**A. Butenuth, G. Moras, J. Schneider, M. Koleini, S. Köppen, R. Meißner, L. B. Wright, T. R. Walsh, L. C. Ciacchi**

Ab-initio derived force-field parameters for molecular dynamics simulations of deprotonated amorphous-SiO<sub>2</sub>/water interfaces  
Physica status solidi (b), 2011, Issue »Large scale atomistic simulations of materials: from bio-nano to solids« DOI: 10.1002/pssb.201100786

**C. Drescher, G. Veltl, F. Petzoldt, M. Busse**

Dickschicht-Sensorik – gedruckte Thermoelemente; Tagungsband zum 18. DGM-Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, Band 41 (2011), 325–330

**J. Farack, C. Wolf-Brandstetter,**

**S. Glorius, B. Nies, G. Standke, P. Quadbeck, H. Worch, D. Scharnweber**  
The effect of perfusion culture on proliferation and differentiation of human mesenchymal stem cells on biocorrodible bone replacement material  
Materials Science & Engineering B, Vol. 176, Issue 20, 2011, 1767–1772

**H. Fricke, M. Israel**

Simulation von Hybridfügeprozessen – Unterschiedliche Werkstoffe prozesssicher verbinden  
adhäsion Kleben & Dichten, 7–8, 2011, Vieweg+Teubner Verlag

**H. Fricke, M. Israel, R. Neugebauer, B. Mayer**

Qualitätssicherung beim Hybridfügen  
Europäische Forschungsgesellschaft für Blechbearbeitung e. V., Forschungsbericht Nr. 330, ISBN 978-3-86776-369-1, Hannover, 2011

**M. Geppert,**

**M. C. Hohnholt, K. Thiel,**

**S. Nürnberger,**

**I. Grunwald, K. Rezwan,**

**R. Dringen**

Uptake of dimercaptosuccinate-coated magnetic iron oxide nanoparticles by cultured brain astrocytes  
Nanotechnology, 22, 2011, 145101

**S. Glorius, B. Nies,**

**J. Farack, P. Quadbeck,**

**R. Hauser, G. Standke,**

**S. Röbler, D. Scharnweber,**

**G. Stephani**

Metal foam – bone cement composites: mechanical and biological properties and perspectives for bone implant design  
Advanced Engineering Materials 2011, Vol. 13, No. 11, 2011, 1019–1023

**D. Godlinski, M. Maiwald,**

**C. Werner, V. Zöllmer**

Functional Printing – Impulse für die gedruckte Sensorik, Produktion von Leiterplatten und Systemen, Bd. 13, Nr. 11, 2011, 2663–2668

**A. Groß**

Qualitätsanforderungen in der Klebtechnik – Betrieb, Personal, Einrichtungen  
Jahrbuch Schweißtechnik 2012, DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren, Düsseldorf

**R. Grupp, M. Nöthe,**

**B. Kieback, J. Banhart**

Cooperative material transport during the early stage of sintering  
Nature Communications 2, 2011, 298

**R. Gutt, M. Himmerlich,**

**M. Fenske, S. Müller,**

**T. Lim, L. Kirste,**

**P. Waltereit, K. Köhler,**

**S. Krieschok, T. Fladung**

Comprehensive surface analysis of GaN-capped AlGaIn/GaN high electron mobility transistors: Influence of growth method  
J. Appl. Phys., 110, 083527, 2011, DOI: 10.1063/1.3653825

**T. Hartwig, R. Müller  
Schroeder**

Analyse des Entbinderns und Sinterns von MIM-Teilen mittels Massenspektroskopie  
Pulvermetallurgie in Wissenschaft und Praxis, Band 27 (2011), 273–284

**R. Hauser, S. Prasse,**

**G. Stephani, B. Kieback**

Hochtemperaturoxidationsbeständige PDC-Schichten für Metallstrukturen  
Tagungsband der 5. Fachtagung Dampferzeugerkorrosion, 2011, 197–204

**C. Heintze, F. Bergner,**

**A. Ulbricht,**

**M. Hernandez-Mayoral,**

**U. Keiderling,**

**R. Lindau, T. Weißgärber**

Microstructure of oxide dispersion strengthened Eurofer and iron-chromium alloys investigated by means of small-angle neutron scattering and transmission electron microscopy  
Journal of Nuclear Materials, Vol. 416, 2011, 35–39

**W. Hintze, J. Wollnack,**

**S. Backhaus, S.-M. Kothe,**

**M. Neuendorf**

Process monitoring for reliable machining of CFRP structures  
Berichte aus der Luft- und Raumfahrttechnik, Shaker Verlag, Aachen, 2011, 413–424

**F. Horch, H. Pleteit,**

**M. Busse**

Motor auf Rädern  
Internationales Verkehrswesen (63), Ausgabe 4/2011, 28–29

**T. Hutsch, T. Weißgärber,**

**B. Kieback, B. Lenczowski,**

**A. Leonhardt, S. Hampel,**

**J. Freudenberger**

Herstellung und mechanische Eigenschaften von Kohlenstoffnanoröhren/Metall-Verbundwerkstoffen  
Proceedings 18. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, 2011, 97–102

**T. Hutsch, T. Schubert,  
T. Weißgärber, B. Kieback**

Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe für funktionelle Anwendungen  
Proceedings 18. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, 2011, 78–84

**P. Imgrund**

Mit Metallpulverspritzguss Implantate fertigen  
Devicemed 7, 2011, Nr. 6, 24–25

**P. Imgrund, I. Grunwald**

A healthy dialogue  
European Science and Technology 13, 2011, 96–97

**P. Imgrund, S. Hein,  
A. Reindl, A. Kirsch**

Preparation and processing of resorbable composites for implants with enhanced mechanical properties  
Proceedings of EuroPM 2011, Band 2, 447–452

**S. Kalinichenka,  
L. Röntzsch, T. Riedl,  
T. Weißgärber, B. Kieback**

Hydrogen storage properties and microstructure of melt-spun Mg<sub>90</sub>Ni<sub>8</sub>RE<sub>2</sub> (RE = Y, Nd, Gd)  
International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 36, Issue 17, 2011, 10808–10815

**S. Kalinichenka,  
L. Röntzsch, T. Riedl,  
T. Gemming,  
T. Weißgärber, B. Kieback**

Microstructure and hydrogen storage properties of melt-spun Mg-Cu-Ni-Y alloys  
International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 36, Issue 2, 2011, 1592–1600

**S. Kalinichenka,  
L. Röntzsch, C. Baehtz,  
T. Weißgärber, B. Kieback**

Hydrogen desorption properties of melt-spun and hydrogenated Mg-based alloys using in situ synchrotron X-ray diffraction and TGA  
Journal of Alloys and Compounds Vol. 509S, 2011, 629–632

**B. Kieback, J. Trapp**

Grundlegende Prozesse beim Spark-Plasma-Sintern  
Pulvermetallurgie in Wissenschaft und Praxis, Band 27, Heimdall Verlag, 2011, ISBN 978-3-939935-70-4, 47–75

**A. Kirchner, B. Kieback**  
Thermodynamic model of alloy grain boundaries  
Scripta Materialia 64, 2011, 406–409

**D. Kolacyak, J. Ihde,  
C. Merten, A. Hartwig,  
U. Lommatzsch**

Fast functionalization of multi-walled carbon nanotubes by an atmospheric pressure plasma jet  
Journal of Colloid and Interface Science, Volume 359, Issue 1, 1.7.2011, 311–317

**D. Kolacyak, J. Ihde,  
U. Lommatzsch**

Carbon nanotube functionalization by atmospheric pressure plasma and post-plasma reactions  
Surface & Coatings Technology, Volume 205, Supplement 2, S605–S608, DOI: 10.1016/j.surfcoat.2011.02.028, 25.7.2011

**J. Kolbe, M. Stuve**

Deutliche Einsparungen dank vorapplizierbarer Klebstoffe  
adhäsion Kleben & Dichten, 1–2, 2011, Vieweg+Teubner Verlag, 19–22

**J. Kolbe, M. Stuve**

Considerable savings due to pre-applicable adhesives  
Adhesion Adhesives & Sealants, 2, 2011, Vieweg+Teubner Verlag, 18–21

**M. Kohl, G. Veltl,  
F. Petzoldt**

Herstellung magnetischer Sensorelemente in Dickschichttechnologie  
Tagungsband zum 18. DGM-Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, Band 41, 2011, 319–324

**S. K. Lee, S. H. Yoon,  
I. D. Chung, A. Hartwig,  
B. K. Kim**

Waterborne polyurethane nanocomposites having shape memory effects  
J. Polym. Sci. A. Poly. Chem., 49, 2011, 634–641

**M.-Z. Li, G. Stephani,  
K.-J. Kang**

New cellular metals with enhanced energy absorption  
Advanced engineering materials 13, No. 1/2, 2011, 33–37

**S. Lösch, G. N. Iles,  
B. Schmitz, B. H. Günther**

Agglomeration of Ni-nanoparticles in the gas phase under gravity and microgravity conditions  
Journal of Physics Conference Series, Material Science and Engineering, Vol. 25, 2011

**S. Markus, C. Tornow, S. Dieckhoff, M. Boustie, R. Ecault, L. Berthe, C. Bockenheimer**

Extended non-destructive testing of composite bonds  
SAE International, Paper-No.: 2011-01-2514, 2011, DOI: 10.4271/2011-01-2514

**A. Marquardt, C. Recknagel, I. Langer, S. Müller, B. Kieback**

Improved mechanical properties of low alloyed sintered steels through Fe-Mn-Si master alloys  
Proceedings EuroPM 2011, Vol. 1, 2011, 107–112

**S. Marzi, A. Biel, U. Stigh**

On experimental methods to investigate the effect of layer thickness on the fracture behavior of adhesively bonded joints  
Int. J. Adhes. Adhes., 31, 2011, 840–850

**V. Menz, M. Schwake, K. Vissing, H. Klyszcz-Nasko, P. Prochnow**

Trennschicht statt Trennmittel  
Kunststoffe, 9, 2011, 102–104

**J. Meinert, B. Kieback**

Wärmespeichertechnologien  
Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule Mittweida, Nr. 6, 2011, 30–33

**J. Meinert, G. Stephani**

Zellulare metallische Werkstoffe für innovative Latentwärmespeichertechnologien  
Aktuelle Beiträge zur Technischen Thermodynamik, Energietechnik und Fernwärmeversorgung, Sonderheft der AGFW, 2011, 13–20

**C. Merten, L. D. Barron, L. Hecht, C. Johannessen**

Determination of the helix screw sense and side-group chirality of a synthetic chiral polymer from raman optical activity  
Angew. Chem. Int., Ed. 50, 2011, DOI: 10.1002/anie.201104345

**C. Merten, L. D. Barron, L. Hecht, C. Johannessen**

Bestimmung des helikalen Drehsinns und der Seitengruppenchiralität eines synthetischen chiralen Polymers durch den optisch aktiven Raman-Effekt  
Angew. Chem., 123, 2011, DOI: 10.1002/ange.201104345

**C. Merten, C. Johannessen, L. Hecht**

Comparative study of measured and computed raman optical activity of a chiral transition metal complex  
ChemPhysChem, 12, 2011, 11635–11641

**M. Minnermann, S. Pokhrel, K. Thiel, R. Henkel, J. Birkenstock, T. Laurus, A. Zargham, J. Felge, V. Zielasek, E. Piskorska-Hommel, J. Falta, L. Mädler, M. Bäumer**

Role of palladium in iron based Fischer-Tropsch catalysts prepared by flame spray pyrolysis  
J. Phy. Chem. C., 115, 2011, 1302–1310

**S. Müller, T. Schubert, F. Fiedler, R. Stein, B. Kieback, L. Deters**

Properties of sintered P/M aluminium composites  
Proceedings EuroPM 2011, Vol. 2, 2011, 325–330

**C. Müller-Reich, R. Wilken, S. Kaprolat**

Kleben von Kunststoffen – Trotz Trennmittelrückständen bestens verbunden  
adhäsion Kleben & Dichten, 6, 2011, Vieweg+Teubner Verlag

**M. Mulser, F. Petzoldt, M. Lipinski, E. Hepp**

Influence of the injection parameters on the interface formation of co-injected PIM parts  
Proceedings of the PM2011 Conference, Vol. 2, 2011, 159–164

**I. Neumann, H. Fricke, S. Menzel, R. Neugebauer, B. Mayer**

Falzklebeprozesse im automobilen Rohbau  
Europäische Forschungsgesellschaft für Blechbearbeitung e. V., Forschungsbericht Nr. 320, ISBN 978-3-86776-356-1, 2011, Hannover

**V. Pacheco, R. Cardoso-Gil, L. Tepech-Carrillo, Y. Grin**

Corrosion behaviour of thermoelectric clathrates alpha and beta-Eu<sub>8</sub>Ga<sub>16-x</sub>Ge<sub>30+x</sub> in air  
Corrosion science 53, No. 7, 2011, 2368–2373

**E. Pál, V. Zöllmer,  
D. Lehmhus, M. Busse**

Synthesis of  
Cu<sub>0.55</sub>Ni<sub>0.44</sub>Mn<sub>0.01</sub> alloy  
nanoparticles by solution  
combustion method and their  
application in aerosol printing  
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering  
Aspects, Volume 384, Issue  
1–3, 5 July 2011, 661–667

**C. Pohlmann**

Pelletized hydride-graphite-  
composites: heat transfer,  
microstructure and gas per-  
meability during cyclic hydro-  
genation  
2<sup>nd</sup> Workshop of the ECCEP  
International Graduate  
School, Berichtband, 2011,  
173–186

**C. Pohlmann, L. Röntzsch,  
S. Kalinichenka, T. Hutsch,  
T. Weißgärber, B. Kieback**

Hydrogen storage properties  
of compacts of melt-spun  
Mg<sub>90</sub>Ni<sub>10</sub> flakes and ex-  
panded natural graphite  
Journal of Alloys and Com-  
pounds, Vol. 509S, 2011,  
625–628

**P. Quadbeck, R. Hauser,  
G. Standke, J. Heineck,  
B. Wegener, G. Stephani,  
B. Kieback**

An exercise in osteoinnova-  
tion  
Medical Device Technology,  
Vol. 2, No. 6, 2011

**P. Quadbeck, K. Kümmel,  
R. Hauser, G. Standke,  
J. Adler, G. Stephani,  
B. Kieback**

Structural and material  
design of open-cell powder  
metallurgical foams  
Advanced Engineering Mate-  
rials, Vol. 13, No. 11, 2011,  
1024–1030

**C. Recknagel, A. Marquardt,  
I. Langer, S. Müller,  
B. Kieback**

Higher densities of pm-steels  
by warm secondary compac-  
tion and sizing  
Proceedings EuroPM 2011,  
Vol. 3, 2011, 33–38

**C. Regula, J. Ihde,  
U. Lommatzsch, R. Wilken**

Corrosion protection of copper  
surfaces by an atmospheric  
pressure plasma jet treatment  
Surface & Coatings Tech-  
nology, Volume 205,  
Supplement 2, S355–S358,  
DOI: 10.1016/j.surf-  
coat.2011.03.16, 25.7.2011

**C. Regula, T. Lukasczyk,  
J. Ihde, T. Fladung,  
R. Wilken**

Corrosion protection of metal  
surfaces by atmospheric pres-  
sure plasma jet treatment  
Progress in Organic Coatings,  
special issue for Coating  
Science International 2011,  
in Druck

**M. Reinfried, G. Stephani,  
F. Luthardt, J. Adler,  
M. John, A. Kromholz**

Hybrid foams – a new ap-  
proach for multifunctional  
applications  
Advanced Engineering Mate-  
rials, Vol. 13, No. 11, 2011,  
1031–1036

**J. Roose, K. Rischka,  
K. Thiel, A. Hartwig**

Structural manipulation of  
colloidal silica  
Nanoscale, 3, 2011, 2329–  
2335, DOI: 10.1039/c0n-  
r00938e

**S. Roy, A. Wanner, T. Beck,  
T. Studnitzky, G. Stephani**

Mechanical properties of  
cellular solids produced from  
hollow stainless steel spheres  
Journal of Materials Science  
46, 2011, 5519–5526

**B. Schartel, A. Weiß,  
H. Sturm, M. Kleemeier,  
A. Hartwig, C. Vogt,  
R. X. Fischer**

Layered silicate epoxy nano-  
composites: Formation of the  
inorganic-carbonaceous fire  
protection layer  
Polym. Adv. Technol., Vol. 22,  
Iss. 12, 2011, 1581–15912

**J. Schmidt, A. Knotte,  
M. Armbruster,**

**T. Weißgärber, B. Kieback**  
Spark plasma sintering of  
diamond impregnated wire  
saw beads  
Diamante, Applicazioni &  
Tecnologia, Anno 17, N°64,  
2011, 35–40

**T. Schmidt, L. Röntzsch,  
T. Weißgärber, B. Kieback**  
Reversible hydrogen storage  
in Ti–Zr-codoped NaAlH<sub>4</sub>  
under realistic operation con-  
ditions: Part 2  
Journal of Alloys and Com-  
pounds Vol. 509S, 2011,  
740–742

**T. Schubert, T. Weißgärber, B. Kieback, L. Weber, R. Tavangar**

Thermische Ermüdung von CuB/Diamant-Verbundwerkstoffen  
Proceedings 18. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, 2011, 85–90

**P. Schütte, H. Moll, W. Theisen, J. Schmidt**

Recycling of tungsten carbide reclaim powder and ferro-titanit cromoni chips with the current supported sintering techniques SPS and EDS  
proceedings EuroPM 2011, Vol. 3, 2011, 135–140

**A. Simchi, D. Godlinski**

Densification and microstructural evolution during laser sintering of A356/SiC composite powders  
Journal of Materials Science, Vol. 46 No. 5, 2011, 1446–1454

**V. Stenzel, N. Rehfeld**

Functional coatings  
Vincentz Network, 2011, Hannover

**A. Stolle, B. Ondruschka, I. Morgenthal, O. Andersen, W. Bonrath**

Metallic short fibers for liquid-phase oxidation reactions  
Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 335, 2011, 228–235

**T. Studnitzky, O. Andersen, I. Morgenthal, G. Stephani, B. Kieback**

Sintering of aluminium and magnesium alloy fiber structures  
Proceedings EuroPM 2011, Vol. 2, 2011, 345–350

**T. Studnitzky, A. Heinzel**

Neues Verfahren zur Brennstoffzellenfertigung: 3-D-Siebdruck von metallischen Bipolarplatten  
HZwei. Das Magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen 11, Nr. 1, 2011, 24–25

**T. Studnitzky, A. Strauß**

Präzisionsbauteile durch Siebdruck hoch drei  
Industrieanzeiger, Nr. 18, 133. Jahrgang, 2011, 32–33

**T. Studnitzky, A. Strauß, O. Andersen, J. Wartmann, P. Helm**

3D screen printing: a new method for manufacturing microstructured bipolar plates  
Proceedings Thermec 2011

**W. Tillmann, C. Kronholz, M. Ferreira, A. Knote, W. Theisen, P. Schütte, J. Schmidt**

Diamond-metal matrix interaction in tools fabricated by conventional and current-induced sintering  
International Journal of Powder Metallurgy, Vol. 47, Issue 4, 2011, 29–36

**G. Veltl, M. Kohl, C. Drescher, F. Petzoldt**

Beschichtung und Strukturierung von Bauteiloberflächen mit Hilfe pulvergefüllter Pasten  
Tagungsband zum 18. DGM-Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, Band 41, 2011, 622–627

**X. Wang, P. Sonström, D. Arndt, J. Stöver, V. Zielasek, H. Borchert, K. Thiel, K. Al-Shamery, M. Bäumer**

Heterogeneous catalysis with supported platinum colloids: A systematic study of the interplay between support and functional ligands  
J. Catal., 278, 2011, 143–152

**X. Wang, J. Stöver, V. Zielasek, L. Altmann, K. Thiel, K. Al-Shamery, M. Bäumer, H. Borchert, J. Parisi, J. Kolny-Olesiak**

Colloidal synthesis and structural control of PtSn bimetallic nanoparticles  
Langmuir, 27 (17), 2011, 11052–11061

**B. Wegener, B. Sievers, S. Utzschneider, P. Müller, V. Jansson, S. Rößler, B. Nies, G. Stephani, B. Kieback, P. Quadbeck**

Microstructure, cytotoxicity and corrosion of powder-metallurgical iron alloys for biodegradable bone replacement materials  
Materials Science and Engineering B, Vol. 176, Issue 20, 2011, 1789–1796

**J. Weise**

Innovative metal foam structures – chances for the improvement of crash behaviour  
Bahntechnik aktuell 32, 2011, 83–91

**T. Weißgärber, T. Schubert, T. Hutsch, B. Kieback**

Advanced powder metallurgical technologies to manufacture metal matrix composites  
Proceedings of Materials Science & Technology, 2011, 1612–1622, Ohio, USA, 16.–20.10.2011

**T. Weißgärber, T. Schubert, T. Hutsch, B. Kieback**

Carbon-reinforced metal composites with tailored thermophysical and damping properties  
Proceedings PowderMet 2011, San Francisco, USA, 18.–21.5.2011

**R. Wilken**

Aspekte zum qualitätsgesicherten Kleben von CFK-Komponenten  
Lightweight design, 3, 2011, 33–37

**M. Wirts-Rütters, B. Denkana, B. Schneider, B. Konopatzki, R. Wloka**

Kleben von Schleifsegmenten auf Trennscheiben für die Gesteinsbearbeitung  
DIHW-Diamant Hochleistungswerkzeuge, Heft 1, 2011, 30–39

**M. Wirts-Rütters, B. Schneider, B. Denkana, B. Konopatzki, R. Wloka**

Wärmearmes Fügen von segmentierten Werkzeugen mit Hilfe der Klebtechnik  
HTM Journal of Heat Treatment and Materials, Heft 66, 2011, 44–51

**G. M. Wu, B. Schartel,**

**M. Kleemeier, A. Hartwig**  
Flammability of layered silicate epoxy nanocomposites combined with low-melting inorganic ceepree glass  
Polymer Engineering & Science, 2011, DOI: 10.1002/pen.22111, 22.9.2011

**D. Yu, M. Kleemeier, G. M. Wu, B. Schartel, W. Q. Liu, A. Hartwig**

A low melting organic-inorganic glass and its effect on flame retardancy of clay/epoxy composites  
Polymer, 52, 2011, 2120–2131

**D. Yu, M. Kleemeier, G. M. Wu, B. Schartel, W. Q. Liu, A. Hartwig**

Phosphorous and silicon containing low-melting organic-inorganic glasses improve flame retardancy of epoxy/clay composites  
Macromol. Mat. Eng., 296, 2011, 952–964, DOI: 10.1002/mame.201100014

**D. Yu, M. Kleemeier, G. M. Wu, B. Schartel, W. Q. Liu, A. Hartwig**

The absence of size-dependency in flame retarded composites containing low-melting organic-inorganic glass and clay: Comparison between micro- and nanocomposites  
Polym. Degr. Stab, 96, 2011, 1616–1624

**A. Zivelonghi, A. Brendel, S. Lindig, S. Nawka, B. Kieback, J. H. You**

Microstructure-based analysis of thermal- and mechanical behaviors of W/CuCrZr composites and porous W coating  
Journal of Nuclear Materials, Vol. 417, Issues 1–3, 2011, 536–539

**Vorträge und Poster**

**M. Albiez, H. Fricke, Ö. Bucak, T. Ummerhofer**

Cast steel-steel bonded joints: State of the art and new research approaches  
Eurosteel 2011  
Budapest, Ungarn  
31.8.–2.9.2011

**M. Amkreutz, M. Hoffmann, Y. Wilke, A. Zilke, E. Beck**

Relating the mechanical properties of UV-cured coatings to the molecular network – A new approach to predict the cross-linking of coatings  
European Coatings Conference »Coil and can coatings«  
Berlin  
12.10.2011

**M. Amkreutz, M. Hoffmann, Y. Wilke, A. Zilke, E. Beck**

Relating the mechanical properties of UV-cured coatings to the molecular network – A new approach to predict the cross-linking of coatings  
RadTech Europe 2011  
Basel, Schweiz  
18.10.2011

**O. Andersen**

Entwicklungstrends im  
Werkstoffbereich  
1. Forum »Industrie« –  
Branchentag Metall  
Meerane  
12.4.2011

**O. Andersen**

R&D in short metal fibers and  
fiber structures – perspectives  
from Germany  
Materials KTN Workshop  
London, England  
9.6.2011

**O. Andersen,  
I. Morgenthal,  
T. Studnitzky**

Corrosion behaviour of de-  
gradable implant material  
made from sintered magne-  
sium alloy fibers  
Thermec 2011  
Quebec, Kanada  
1.–5.8.2011

**O. Andersen**

Herstellung, Eigenschaften  
und Anwendungspotenzial  
poröser Leichtmetalle auf  
Basis schmelzextrahierter  
Kurzfasern  
DGM-Fachausschuss Zellulare  
Werkstoffe  
Berlin  
30.9.2011

**O. Andersen, J. Meinert,  
T. Studnitzky, G. Stephani,  
B. Kieback**

Highly heat conductive open-  
porous aluminium fibre based  
parts for advanced heat  
transfer applications  
Euro ECAA 2011  
Bremen  
5.–7.10.2011

**O. Andersen**

Werkstofftechnik als Innovati-  
onsträger im Ingenieurbereich  
Festveranstaltung 20 Jahre  
VDI Bezirksverein Dresden  
Dresden  
10.10.2011

**S. Baha II, S. Marzi**

Further use of the results of a  
2-D-axissymmetric simulation  
in a full 3-D-simulation  
by taking the example of  
lap-shear tests with riveted  
samples  
Deutsche Simula-Konferenz  
Bamberg  
20.9.2011

**S. Baha II, S. Marzi,  
O. Hesebeck, O. Klapp**

Numerical and experimental  
investigation of the mechani-  
cal properties of riveted joints  
considering the installation  
process  
SAE AeroTech Conference &  
Exhibition  
Toulouse, Frankreich  
20.10.2011

**J. Baumeister, J. Weise,  
J. Weigmann**

Open porous Mg-foams as a  
biodegradable implant  
material  
Euro BioMat 2011 –  
European Symposium on  
Biomaterials  
Jena  
13./14.4.2011

**J. Baumeister, J. Weise,  
J. Weigmann**

Offenporige Magnesium-  
schäume als biodegradierba-  
res Implantatmaterial  
2. Workshop Neue Horizonte  
für metallische Biomaterialien  
Geesthacht  
2./3.5.2011

**J. Baumeister, J. Weise**

Innovative metal foam struc-  
tures – energy absorption at  
high strain rates  
Vehicle Survivability 2011 –  
International Conference  
Berlin  
28.11.–1.12.2011

**G. Benedet Dutra,  
C. Drescher, G. Veltl**

Printed powder metallurgical  
sensors  
PTech 8<sup>th</sup> International Latin-  
American Conference on  
Powder Technology  
Florianopolis, Brasilien  
6.–9.11.2011

**G. Benedet Dutra,  
M. Mulser, R. Calixto,  
F. Petzoldt**

Investigation of material com-  
binations processed via two-  
component metal injection  
moulding (2C-MIM)  
PTech 8<sup>th</sup> International Latin-  
American Conference on  
Powder Technology  
Florianopolis, Brasilien  
6.–9.11.2011

**C. Borrmann, J. Wollnack**  
Adaptive Bearbeitung von Faserverbund-Großbauteilen mit Industrierobotern  
Composites Roadshow 2011  
Stade  
11.5.2011

**S. Buchbach**  
Neue innovative Lacksysteme mit neuen Funktionseigenschaften  
NRW Infoforum Energieeffizienz  
Paderborn  
19.10.2011

**S. Buchbach, H. Fricke**  
Strömungssimulation lacktechnischer Komponenten  
DFO Qualitätstage  
29./30.11.2011  
Köln

**S. Buchbach, H. Kordy**  
HAI-Tech – Strömungsgünstige Oberflächen durch Lacksysteme  
BMW-Status-Tagung Schifffahrt und Meerestechnik  
Rostock  
1.12.2011

**J. Clausen, U. Specht, M. Haesche, F.-J. Wöstmann, J. Ihde, M. Busse, B. Mayer**  
Transition structures for CFRP-aluminium  
European Aluminium Congress (EAC)  
Düsseldorf  
22.–23.11.2011

**C. Dölle, R. Wilken**  
Licht als Werkzeug: Einsatz von Vakuum-UV-Excimerstrahlung zur Aktivierung von Polymeren – ExAkt –  
11. Dechema-Kolloquium  
Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik  
Frankfurt am Main  
22./23.2.2011

**C. Dölle, D. Salz, C. Schmäuser, K. Vissing, M. Ott**  
Technical concepts for plasma hybrid coating  
2<sup>nd</sup> International Symposium on Functional Surfaces  
Aachen  
14./15.9.2011

**C. Dölle**  
Licht als Werkzeug: Einsatz von Vakuum-UV-Excimerstrahlung zur Aktivierung von Polymeren  
Fachtagung Applikations- und Prozesstechnik für Kleb- und Dichtstoffe  
Essen  
20./21.9.2011

**C. Drescher, G. Veltl, F. Petzoldt, M. Busse**  
Dickschicht-Sensorik – gedruckte Thermoelemente  
18. DGM-Symposium  
Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde  
Chemnitz  
30.3.–1.4.2011

**C. Drescher**  
Sensors produced by powder-filled pastes  
LOPE-C  
Frankfurt am Main  
28.–30.6.2011

**D. Fenske, F. Andre**  
Sputtered noble metal catalysts for lithium-oxygen batteries  
4<sup>th</sup> Symp. on Energy Storage: Beyond Lithium Ion  
Pacific Northwest Natl. Lab., Richland, USA  
7.–9.6.2011

**D. Fenske, F. Andre, S. Lepper**  
Catalysts for lithium-air batteries  
GDCh-Wissenschaftsforum Chemie  
Bremen  
4.–7.9.2011

**H. Fricke, M. Peschka**  
Simulation in der klebtechnischen Fertigung  
11. Dechema-Kolloquium  
Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik  
Frankfurt am Main  
22./23.2.2011

**H. Fricke, M. Peschka**  
Applikations- und Prozesstechnik für Kleb- und Dichtstoffe – Numerische Simulation, ein hilfreiches Werkzeug  
Fachtagung Applikations- und Prozesstechnik für Kleb- und Dichtstoffe  
Essen  
20./21.9.2011

**H. Fricke, S. Buchbach**  
Strömungssimulation lacktechnischer Komponenten  
DFO Qualitätstage 2011  
Köln  
29./30.9.2011

**H. Fricke, M. Israel**

Qualitätssicherung beim Hybridfügen  
1. Fügetechnisches Gemeinschaftskolloquium, Gemeinsame Forschung in der Mechanischen Fügetechnik Garbsen  
6./7.12.2011

**V. Friederici, P. Imgrund, M. Bitar, V. Zell, C. Brose, A. Bruinink**

Interdisciplinary investigation of metal injection moulded regular implant surface patterns  
Euro BioMat 2011  
Jena  
13./14.4.2011

**V. Friederici**

Interdisciplinary investigation of regular implant surface patterns produced via »Nano-MIM« – a special metal injection moulding technique developed for nano-micro-powder mixtures  
2<sup>nd</sup> International Symposium on Functional Surfaces  
Aachen  
15.9.2011

**M. Fröhlich, S. Bornholdt, S. Wrehde, C. Regula, J. Ihde, H. Kersten**

Energiestrommessungen an Atmosphärendruck-Plasma-Jet-Quellen  
Frühjahrstagung der DPG, Fachverband Physik  
Kiel  
30.3.2011

**J. Fu, L. Röntzsch, T. Schmidt, T. Weißgärber, B. Kieback**

Hydrogen storage properties of transition metal-doped lithium alanate  
Euromat 2011  
Montpellier, Frankreich  
12.–15.9.2011

**A. Groß**

Materialmix: Die Rolle von Klebtechnologie in zukünftigen Leichtbau-Konzepten  
4. Materialica Metall-Leichtbau Kongress – Elektromobilität als Impulsgeber – Metall bleibt!  
München  
20.10.2011

**B. Günther**

Entwicklung aktueller und zukünftiger Batteriesysteme  
Roadshow des Forums Elektromobilität e. V.  
Bremen  
23.3.2011

**B. Günther**

Metall/Luft-Batterien als Range Extender in BEVs – Vision oder Fiktion?  
Kolloquiumsvortrag TU-BS Braunschweig  
9.6.2011

**T. Hartwig, R. Müller Schroeder**

Analyse des Entbinderns und Sinterns vom MIM-Teilen mittels Massenspektroskopie  
30. Hager Symposium  
Hagen  
24./25.11.2011

**R. Hauser, S. Prasse, T. Hutsch, G. Stephani, B. Kieback**

Hochtemperaturoxidationsbeständige PDC – Schichten für Metallstrukturen  
Tagung Arbeitskreis Hochtemperaturkorrosion der GfKorr  
Frankfurt am Main  
28.6.2011

**R. Hauser**

Functional ceramic coatings for cellular metals  
Workshop Funktionelle Materialien für die chemische Technik  
Dresden  
6.10.2011

**R. Hauser, S. Prasse, G. Stephani, B. Kieback**

Hochtemperaturoxidationsbeständige PDC – Schichten für Metallstrukturen  
5. Fachtagung Dampferzeugerkorrosion in Freiberg  
Freiberg  
20./21.10.2011

**S. Hein**

Thermoplastic chitosan – Conventional processing of an innovative biomaterial  
Euro BioMat 2011  
Jena  
13.4.2011

**S. Hein**

Powder processing of polymer ceramic composites for bone scaffolds  
Euromat 2011  
Montpellier, Frankreich  
12.9.2011

**S. Hein**

Powder processing of polymer ceramic composites for bone scaffolds  
Forum High-tech for Medical Devices, CompaMed 2011  
Düsseldorf  
16.11.2011

- M. Herrmann, M. Wirts-Rütters, J. Kolbe, J. Jonuscheit, R. Beigang**  
THz spectroscopy of adhesives  
International Terahertz Conference 2011  
Villach, Österreich  
24./25.11.2011
- T. Hutsch, T. Schubert, T. Weißgärber, B. Kieback, H. Graafsma, K. Hansen, H. Hirsemann, C. B. Wunderer**  
Metal-graphite-composites for passive cooling  
Dresdner Barkhausen Poster  
Preis 2010 für Studenten und Nachwuchswissenschaftler  
4.2.2011
- T. Hutsch, T. Schubert, T. Weißgärber, B. Kieback**  
Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe für funktionelle Anwendungen  
18. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde  
Chemnitz  
30.3.–1.4.2011
- T. Hutsch, T. Weißgärber, B. Kieback, B. Lenczowski, A. Leonhardt, S. Hampel, J. Freudenberg**  
Herstellung und mechanische Eigenschaften von Kohlenstoffnanoröhren-Metall-Verbundwerkstoffen  
18. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde  
Chemnitz  
30.3.–1.4.2011
- T. Hutsch, T. Schubert, T. Weißgärber, B. Kieback**  
Carbon reinforced metal composites with tailored physical properties  
Euromat 2011  
Montpellier, Frankreich  
12.–15.9.2011
- J. Ihde, R. Wilken, S. Wrehde, T. Wübben, S. Markus**  
Einsatz von Plasma-Jet-Quellen zur Behandlung von CFK-Großstrukturen  
Workshop Atmosphärendruck – Plasmatechnologien zur Großflächenbehandlung  
Dresden  
27.1.2011
- J. Ihde, U. Lommatzsch, C. Müller-Reich, R. Wilken**  
Vorbehandlung mittels AD-Plasma für langzeitstabile Klebverbindungen  
Workshop Optimierung von Klebprozessen durch den Einsatz von Atmosphärendruckplasma  
Jena  
17.3.2011
- J. Ihde, U. Lommatzsch, A. Baalman, R. Wilken**  
Korrosionsschutz durch polymere Beschichtungen mit Niederdruck- und Atmosphärendruck-Plasmen  
OTTI-Kolleg Metallkorrosion – eine vermeidbare Materialzerstörung!  
Regensburg  
7.4.2011
- J. Ihde**  
Reinigung und Aktivierung mit Plasma-Verfahren  
Otti-Fachtagung Reinigen und Vorbehandeln vor der Beschichtung  
Neu-Ulm  
19.5.2011
- J. Ihde, U. Lommatzsch, T. Lukasczyk, C. Regula, R. Wilken**  
Plasmapolymere Beschichtungen bei Atmosphärendruck – von den Grundlagen  
Workshop Plasmaquellen und Anlagentechnik der Atmosphärendruck-Plasmatechnologien  
Wörlitz  
7.6.2011
- J. Ihde**  
Plasmareinigung und Aktivierung  
Grundlagenseminar Reinigungstechnik – Reinigung in der Produktion  
Dresden  
8.6.2011
- J. Ihde, S. Buchbach, R. Wilken, T. Wübben, S. Markus**  
Automatisierte Vorbehandlung von CFK-Oberflächen  
DFO-Tagung Kunststofflackierung 2011  
Landshut  
27.9.2011

**J. Ihde, U. Lommatzsch,  
C. Regula, R. Wilken**

Reinigen, Aktivieren und Beschichten mit Plasmen  
Otti-Fachforum Kleben in der Mikrofertigung  
Regensburg  
19.10.2011

**J. Ihde, U. Lommatzsch,  
T. Lukasczyk, C. Regula,  
R. Wilken**

Abscheidung von plasmapolymere Korrosionsschutz- und Haftvermittlerschichten mit AD-Plasma-Jet-Quellen  
V2011  
Dresden  
20.10.2011

**P. Imgrund, S. Hein,  
A. Mader, K. Rezwani**

Novel consolidation routes for polylactide/hydroxyapatite composites for bone tissue engineering  
Euro BioMat 2011  
Jena  
13./14.4.2011

**P. Imgrund, S. Hein,  
A. Kirsch**

New preparation and processing routes for hydroxyapatite/poly lactide based composites  
24<sup>th</sup> European Conference on Biomaterials  
Dublin, Irland  
4–8.9.2011

**P. Imgrund**

Processing of metallic and composite materials for medical instruments and implants by powder technologies  
OrthoTec Europe  
Zürich, Schweiz  
12./13.9.2011

**P. Imgrund**

Processing of metallic biomaterials by innovative powder technologies  
EuroPM 2011  
Barcelona, Spanien  
16.–19.9.2011

**U. Jasna, F. Roland,  
M. Krause, S. Buchbach**

Development of a solid state laser technology for manufacturing of proper coatable edges in shipbuilding  
Nolamp Conference on Laser Materials Processing in the Nordic Countries  
Trondheim, Norwegen  
27.–29.6.2011

**U. Jasna, M. Krause,  
F. Roland, S. Buchbach**

Entwicklung einer Technologie für die Herstellung beschichtungsgerechter Kanten im Schiffbau unter Nutzung eines Festkörperlasers  
DVS Congress  
Hamburg  
26.–29.9.2011

**U. Jehring, P. Quadbeck,  
G. Stephani, B. Kieback**

Schwingungsdämpfung und Leichtbau – kein Gegensatz mehr!  
Innomateria 2011  
Köln  
16.3.2011

**S. Kaina, B. Kieback,  
W. Hufenbach, C. Cherif,  
G. Hoffmann, C. Kowtsch,  
R. Boehm, M. Thieme,  
A. Gruhl, D. Weck**

Textilbasierte metallische Leichtbaustrukturen und Verbundmaterialien im Multimaterialdesign  
Dresdner Werkstoff-symposium 2011  
Dresden  
8./9.12.2011

**S. Kalinichenka,  
L. Röntzsch, C. Baehtz,  
T. Riedl, T. Gemming,  
T. Weißgärber, B. Kieback**  
In-situ analysis of hydrogen desorption of melt-spun and hydrogenated Mg-Ni-X (X = RE; Y) alloys  
14<sup>th</sup> International Conference on Rapidly Quenched & Metastable Materials  
Salvador, Brasilien  
28.8.–2.9.2011

**B. Kieback**

Powder metallurgy research and development in germany and europe  
University of Waikato  
Hamilton, Neuseeland  
8.6.2011

**B. Kieback**

Powder metallurgy industry advances including medical, industrial, aerospace and automotive  
Bay of Plenty Polytechnic  
Hamilton, Neuseeland  
9.6.2011

**B. Kieback**

Rapid prototyping applications in the area of powder metallurgy  
Auckland Institute of Technology (AUT)  
Tauranga, Neuseeland  
10.6.2011

**B. Kieback**

Liquid phase sintering  
EPMA Summer School  
Dresden  
28.6.2011

**B. Kieback**

Sintering principles  
EPMA Summer School  
Dresden  
28.6.2011

**B. Kieback, M. Nöthe,  
R. Grupp, J. Banhart,  
T. Rasp, T. Kraft**

Analysis of particle rolling and intrinsic rotations in copper powder during sintering  
Sintering 2011  
Jeju, Südkorea  
28.8.2011

**B. Kieback, J. Trapp**

Grundlegende Prozesse beim Spark-Plasma-Sintern  
Hagener Symposium 2011  
Hagen  
24.11.2011

**B. Kieback**

Sinterwerkstoffe für die Verminderung von Emissionen von Verbrennungsmotoren  
2. Dresdner Werkstoffsymposium – Werkstoffe für die Mobilität  
Dresden  
8.12.2011

**B. Klöden**

Metallische Schäume als PM-Produkt für die Automobil- und Energietechnik  
3. Thale PM Symposium  
Thale  
19./20.10.2011

**A. Kock**

Aspekte der Auslegung fehlertoleranter Antriebe  
Leistungselektronisches Kolloquium  
Erlangen  
21.2.2011

**A. Kock, M. Gröniger,  
H. Pleteit, F. Horch,  
F.-J. Wöstmann**

Concept of a wheel hub drive with integrated converter  
ECPE-Workshop: Converter-Drive Interactions  
Hamburg  
3.5.2011

**A. Kock, M. Gröniger,  
F. Horch, H. Pleteit,  
D. Schmidt, F.-J. Wöstmann**

Casting production of coils for electrical machines  
Electric Drives Production Conference  
Nürnberg  
28./29.9.2011

**M. Kohl, G. Veltl,  
F. Petzoldt**

Herstellung magnetischer Sensorelemente in Dickschichttechnologie  
18. DGM-Symposium  
Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde  
Chemnitz  
30.3.–1.4.2011

**J. Kolbe**

Joining dies to RFID transponders via pre-applied adhesives  
European Microelectronics and Packaging Conference 2011  
Brighton, Großbritannien  
12.9.–15.9.2011

**T. Kowalik**

Accelerated aging of PSA tapes – Possibilities and working strategies  
Afera Technical Seminar  
Brüssel, Belgien  
13.–15.4.2011

**C. Kügeler, M. Schmerling,  
F. Peters, F. Andre,  
A. Struck**

Nanostructured silicon for next generation battery anodes  
GDCh-Wissenschaftsforum  
Chemie  
Bremen  
4.–7.9.2011

**W. Leite Cavalcanti,  
S. Buchbach, M. Noeske**

Computational nanotechnology and development of functional smart coatings for large structures  
Abrafati Conference  
Sao Paulo, Brasilien  
21.–23.11.2011

**B. Lenczowski, J. Stein,  
A. Leonhardt, S. Hampel,  
D. Haase, T. Hutsch,  
T. Weißgärber, M. Ritschel,  
B. Buechner**

Functionalised CNT for homogeneous CNT-reinforced metal matrix composites  
Inno.CNT Jahreskonferenz 2011  
Dresden  
25.1.–27.1.2011

**U. Lommatzsch,  
K. Albinsky, K. Brune,  
S. Dieckhoff, O. Hesebeck,  
S. Markus, F. Mohr,K. Tsyganenko, R. Wilken**

Herausforderung und Lösungswege für das Kleben von CFK-Strukturen im Luftfahrtbereich  
11. Dechema-Kolloquium  
Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik  
Frankfurt am Main  
22./23.2.2011

**U. Lommatzsch, K. Brune,  
S. Dieckhoff, O. Hesebeck,  
S. Markus, K. Tsyganenko,  
R. Wilken**

Challenges and solutions for bonded repair of CFRP primary aerospace structures  
International Conference MRO Maintenance, Repair and Overhaul  
Berlin  
24./25.3.2011

**U. Lommatzsch,  
D. Kolacyak, R. Wilken,  
J. Ihde**

Improving eco- & energy-ef-  
ficiency in the transportation  
sector by atmospheric pres-  
sure plasma jet treatment:  
Nanocoatings and carbon  
nanotubes  
Euronanoforum 2011 – Lead-  
ing the nanotechnology era  
Budapest, Ungarn  
30.5.–1.6.2011

**U. Lommatzsch, J. Ihde**

Adding lifetime to your  
photovoltaic modules (in  
connection with the German  
High Tech Champion Award  
Session)  
5<sup>th</sup> Annual Clean Technology  
Conference & Expo  
Boston, USA  
13.–16.6.2011

**U. Lommatzsch,  
D. Kolacyak, J. Ihde**

Water-free, high-throughput  
surface functionalization of  
MWCNTs by atmospheric  
pressure plasma jet treatment  
Euromat 2011  
Montpellier, Frankreich  
12.–15.9.2011

**S. Lösch, G. N. Iles,  
B. Schmitz, B. H. Günter**

Agglomeration of Ni-nano-  
particles in the gas phase  
under gravity and microgravi-  
ty conditions  
4<sup>th</sup> International Symposium  
on Physical Sciences in Space  
(ISPS-4)  
Bonn  
11.–15.7.2011

**A. Lühring, M. Peschka**

Entwicklung einer Prozess-  
kette zur Herstellung partiell  
verstärkter Blechstrukturen  
durch neuartige Basiskleb-  
stoffe und daran angepasste  
Verarbeitungstechniken  
11. Dechema-Kolloquium  
Gemeinsame Forschung in  
der Klebtechnik  
Frankfurt am Main  
22./23.2.2011

**S. Marzi, C. Nagel,  
L. Ramon-Villalonga,  
A. Schick, F. Kleiner**

Prediction of the mechani-  
cal behavior of adhesively  
bonded car bodies using the  
finite element method  
Automotive Circle Interna-  
tional, Absicherung der Fahr-  
zeugeigenschaften  
Bad Nauheim  
7.9.2011

**S. Marzi, T. Gesang**

Einsatzmöglichkeiten von  
faserverstärkten Leichtbauma-  
terialien und biokompatibler  
Klebtechnik im Hinblick auf die  
orthopädische Medizintechnik  
7. Stuttgarter Gespräche über  
Technologien für die Ortho-  
pädiertechnik  
Stuttgart  
14.10.2011

**B. Mayer**

Innovative technologies for  
surface treatment and adhe-  
sive bonding  
Eisenmann Technology Forum  
2011  
Holzgerlingen  
23.2.2011

**B. Mayer**

Innovative Klebtechnologien  
für Leichtbaukonzepte  
VDI-Konferenz Leichtbaustra-  
tegien für den Automobilbau  
Ludwigsburg  
7./8.7.2011

**B. Mayer**

Innovative Technologien für  
Oberflächentechnik, Kleben  
und Faserverbundwerkstoffe  
Kolloquium Werkstofftechnik  
der Bundesanstalt für Materi-  
alforschung und -prüfung  
Berlin  
29.9.2011

**B. Mayer**

Driving innovation by new  
joining techniques  
European Science and  
Technology Conference  
Brüssel, Belgien  
24.11.2011

**J. Meinert**

Wärmespeicherung  
Preisverleihung »Grünes Haus  
Wärme 2011«  
Berlin  
3.2.2011

**J. Meinert, G. Stephani,  
T. Weißgärber, B. Kieback**

Material innovations in  
energy management  
Dutch-German Seminar on  
Energy Innovations  
Dresden  
14.4.2011

**J. Meinert**

Wärme- und strömungstech-  
nische Simulation  
ECEMP-Doktorandenseminar  
Dresden  
15.4.2011

**J. Meinert**

Material innovations in  
energy management  
Konferenz Zukunft Energie  
Dresden  
11.–13.5.2011

**J. Meinert, O. Andersen,  
P. Quadbeck**

Zellulare Metalle für maß-  
geschneiderte thermische  
Speicher  
Workshop Funktionelle Ma-  
terialien für die chemische  
Technik  
Dresden  
6.10.2011

**J. Meinert, B. Kieback,  
S. Synowzik**

Vergleichende Betrachtung  
zu thermischen Speicher-  
anlagen  
Tagung Nachhaltiges Bauen  
und Energieeffizienz  
21. Wissenschaftliche Kon-  
ferenz an der Hochschule  
Mittweida  
Mittweida  
27.10.2011

**R. Meißner**

A reactive forcefield (REAxFF)  
for systems containing silicon,  
oxygen and hydrogen – Func-  
tional form and applications  
of REAxFF  
ADGLASS General Assembly  
Triest, Italien  
13.5.2011

**A. Momber, S. Buchbach,  
P. Plagemann**

Effects on the edge corrosion  
protection capacity of organic  
coatings  
SSPC Conference  
Las Vegas, USA  
31.1.–3.2.2011

**M. Monno, M. Goletti,  
V. Mussi, J. Baumeister,  
J. Weise**

Dynamic behavior of hybrid  
APM and aluminum foam  
filled structures  
7<sup>th</sup> International Conference  
on Porous Metals and Metal-  
lic Foams Metfoam 2011  
Busan, Korea  
18.–21.9.2011

**T. Müller**

Elektromobilität 2020: Stand  
der Technik; Potenziale für  
die Zukunft; Gefährdung  
oder Chance?  
7. Symposium Verkehrs-  
sicherheit  
Bremen  
9.11.2011

**C. Nagel**

Fatigue life evaluation of  
adhesive joints in rotor blades  
for wind energy converters  
European Coatings Confer-  
ence  
Berlin  
8./9.2.2011

**C. Nagel, M. Brede**

Bonded inserts as blade to  
hub connections for wind  
energy converters  
34<sup>th</sup> Annual Meeting of the  
Adhesion Society  
Savannah, USA  
13.–16.2.2011

**C. Nagel, M. Brede,  
F. Kleiner**

Fatigue modelling and testing  
of adhesive joints in automo-  
tive structures  
34<sup>th</sup> Annual Meeting of the  
Adhesion Society  
Savannah, USA  
13.–16.2.2011

**C. Nagel**

Geklebte Blattanschlussbol-  
zen für Windenergieanlagen  
Bremer Klebtage  
Bremen  
21./22.6.2011

**I. Neumann, H. Fricke,  
R. Mauermann, S. Menzel**

Falzklebprozess im automobi-  
len Rohbau  
11. Dechema-Kolloquium  
Gemeinsame Forschung in  
der Klebtechnik  
Frankfurt am Main  
23.2.2011

**D. Niermann**

Herausforderungen für die  
Montage der nächsten Gene-  
ration von Großflugzeugen  
Bremer Klebtage  
Bremen  
21./22.6.2011

**B. Oberschachtsiek,  
D. Lemken, A. Heinzel,  
L. Röntzsch, S. Mauermann**

Metal hydride heat storage  
system for concentrated solar  
power  
6. Internationale Konferenz  
und Ausstellung zur Speiche-  
rung Erneuerbarer Energien  
(IRES 2011)  
Berlin  
30.11.2011

**M. Ott, C. Dölle, V. Danilov,  
J. Meichsner, D. Salz,  
C. Schmäser, O. Schorsch,  
H. Wagner, K. Vissing**

Funktionelle Oberflächen mit-  
tels Plasma-Nanotechnologie  
15. Fachtagung für Plasma-  
technologie – PT15  
Stuttgart  
28.2.–2.3.2011

- M. Ott, C. Dölle, J. H. Bredehöft, V. Danilov, A. Hartwig, E. Jolondz, J. Meichsner, P. Swiderek, D. Salz, C. Schmüser, M. Sebald, O. Schorsch, H. Wagner, K. Vissing**  
 Plasma hybrid coating – Functional surfaces by plasma supported nano technology  
 2<sup>nd</sup> International Symposium on Functional Surfaces  
 Aachen  
 14./15.9.2011
- A. Paul**  
 Kleben in der Elektronik – Grundlagen  
 OTTI-Fachforum Kleben in der Elektronik – Grundlagen, Herausforderungen und Lösungen  
 Regensburg  
 28.2.2011
- A. Paul**  
 Kleben & Dichten: Grundlagen, Einsatzbereiche und Anwendungsgrenzen von am Bauteil härtenden Kleb- und Dichtsystemen  
 Isgatec GmbH  
 Mannheim  
 6.4.2011
- A. Paul**  
 Kleben & Dichten: Grundlagen, Einsatzbereiche und Anwendungsgrenzen von am Bauteil härtenden Kleb- und Dichtsystemen  
 Isgatec GmbH  
 Mannheim  
 21.9.2011
- A. Paul**  
 Voraussetzungen für das Kleben  
 Polytec PT-Seminar Kleben in der Mikroelektronik  
 Waldbronn  
 28.9.2011
- A. Paul**  
 Kleben – aber sicher!  
 Composites Europe  
 Stuttgart  
 29.9.2011
- A. Paul**  
 Kleben – aber sicher!  
 Bondexpo  
 Stuttgart  
 13.10.2011
- D. Paulkowski, K. Vissing**  
 Tribological improvement of elastomers using plasmapolymeric coatings  
 52. GfT-Fachtagung – Reibung, Schmierung und Verschleiß  
 Göttingen  
 27.9.2011
- L. Peroni, M. Scapin, M. Avalle, J. Weise, D. Lehmhus**  
 Dynamic mechanical behaviour of syntactic iron foams with micro glass bubbles  
 3<sup>rd</sup> International Conference on Impact Loading of Lightweight Structures (ICILLS' 2011)  
 Valenciennes, Frankreich  
 28.6.–1.7. 2011
- C. Pohlmann, L. Röntzsch, S. Kalinichenka, T. Hutsch, T. Weißgärber, B. Kieback**  
 Pelletized composites of melt-spun Mg-Ni alloys and graphite for hydrogen storage applications  
 Euromat 2011  
 Montpellier, Frankreich  
 12.–15.9.2011
- C. Pohlmann, L. Röntzsch, S. Kalinichenka, T. Hutsch, T. Weißgärber, B. Kieback**  
 Pelletized hydride-graphite-composites: optimized heat transfer & increased hydrogen storage capacity  
 Hydrogen and Fuel Cells Conference 2011  
 Xcaret, Mexiko  
 1.–5.12.2011
- C. Pohlmann, L. Röntzsch, S. Kalinichenka, T. Hutsch, T. Weißgärber, B. Kieback**  
 Metal hydrides for thermochemical energy storage in automotive systems  
 Dresdner Werkstoff-symposium 2011  
 Dresden  
 8./9.12.2011
- R. Poss, G. Walther, B. Klöden, B. Kieback, K. Oh, E. Lee, J. Seok Bae, M. Jang**  
 Large scale production and applications of alloy metal foam  
 MetFoam 2011  
 Busan, Korea  
 18.–21.9.2011

**P. Quadbeck**

Gasanalyse im Sinterprozess  
3. Thale PM Symposium  
Thale  
19./20.10.2011

**C. Regula, T. Lukasczyk,  
J. Ihde, T. Fladung,  
R. Wilken**

Corrosion protection of metal  
surfaces by atmospheric pres-  
sure plasma jet treatment  
7<sup>th</sup> CoSi Coatings Science  
International  
Noordwijk, Niederlande  
1.7.2011

**N. Rehfeld, A. Stake,  
S. Sell, V. Stenzel**

Anti-icing: Surfaces, technical  
approaches and status  
Winterwind 2011  
Umeå, Schweden  
9./10.2.2011

**A. Reindl, N. Salk**

Material developments and  
manufacturing of implants  
for the health sector  
Innovationsforum MicroTech-  
nology 2011  
Villingen-Schwenningen  
2.2.2011

**A. Reindl**

Hochgefüllte Hydroxylapatit-  
Polylactid-Komposite als de-  
gradierbarer Knochenersatz  
Innovationsforum Medizin-  
technik 2011  
Tuttlingen  
19.10.2011

**A. Reindl, S. Hein,  
P. Imgrund**

Biomimetic hydroxyapatite-  
polylactide composites as  
degradable bone substitute  
materials  
Jahrestagung der Deutschen  
Gesellschaft für Biomaterialien  
2011  
Gießen  
10.–12.11.2011

**K. Rischka, M. Steuter**

Funktionalisierung von Silika-  
Nanopartikeln zur Immobili-  
sierung von Peptiden  
Würzburger Tage  
Würzburg  
24./25.3.2011

**K. Rischka, M. Amkreutz,  
G. Diaconu, K. Richter**

Adsorption properties of  
mussel based peptide  
sequences  
COST-Meeting TD0906 Biolo-  
gical adhesives: From biology  
to biomimetics  
Mons, Belgien  
18.–20.5.2011

**K. Rischka, R. Sader**

BioClou – Ein Hybridklebstoff  
für dentale Implantate auf  
der Basis von Muschelpro-  
teinen  
Bionik im Betrieb  
Darmstadt  
30.8.2011

**K. Rischka, S. Ghanaati,  
M. Mularczyk, M. Kozielec,  
B. Saldaamli, R. Sader**

Hybrid-Feuchtklebstoff auf  
Basis von adhäsiven Muschel-  
proteinen für die dentale  
Implantologie  
Thüringer Biomaterial-Kollo-  
quium  
Zeulenroda  
15.9.2011

**K. Rischka, S. Ghanaati,  
M. Mularczyk, M. Kozielec,  
B. Saldaamli, R. Sader**

Entwicklung eines Mies-  
muschel-inspirierten Hybrid-  
Klebstoffs für die dentale  
Implantologie  
Jahrestagung der deutschen  
Gesellschaft für Biomaterialien  
Gießen  
10.–12.11.2011

**L. Röntzsch, S. Kalinichenka,  
C. Baetz, T. Riedl,  
C. Pohlmann,**

**T. Weißgärber, B. Kieback**  
Tailoring hydrogen storage  
properties of nanocrystalline  
magnesium alloys  
H2Expo 2011  
Hamburg  
8./9.6.2011

**L. Röntzsch, S. Mauermann,  
T. Schmidt,  
B. Oberschachtsiek,  
D. Lemken**

Metal hydride heat storage  
system for continuous solar  
power generation  
E.ON International Research  
Initiative Conference  
Birmingham, Großbritannien  
5./6.7.2011

**L. Röntzsch, S. Kalinichenka,  
C. Baetz, T. Riedl,  
C. Pohlmann,**

**T. Weißgärber, B. Kieback**  
Nanocrystalline magnesium  
alloys for hydrogen storage  
applications  
Euromat 2011  
Montpellier, Frankreich  
12.–15.9.2011

**L. Röntzsch, S. Kalinichenka, C. Pohlmann, K. Herbrig, T. Weißgärber, B. Kieback**  
Fast and compact hydrogen storage in hydride-graphite composite materials  
f-cell 2011  
Stuttgart  
26./27.9.2011

**L. Röntzsch, S. Kalinichenka, C. Pohlmann, K. Herbrig, T. Weißgärber, B. Kieback**  
Magnesium alloys for hydrogen storage and thermochemical applications  
19. Magnesium Seminar der Europäische Forschungsgemeinschaft Magnesium  
Aalen  
6.10.2011

**L. Röntzsch, S. Kalinichenka, C. Pohlmann, K. Herbrig, T. Weißgärber, B. Kieback**  
Wasserstoff- und Wärmespeicherung mit Metallhydriden  
Sächsischer Brennstoffzellentag  
Leipzig  
10.11.2011

**L. Röntzsch, C. Pohlmann, S. Kalinichenka, K. Herbrig, S. Mauermann, T. Weißgärber, B. Kieback**  
Materialien zur Wasserstoffspeicherung in der Mobilität  
Dresdner Werkstoff-symposium 2011  
Dresden  
8./9.12.2011

**D. Salz, V. Danilov, C. Dölle, A. Hartwig, J. Meichsner, C. Schmüser, M. Sebald, O. Schorsch, H. Wagner, M. Ott**  
Photocatalytic TiO<sub>2</sub> layers by plasma hybrid coating  
2<sup>nd</sup> International Symposium on Functional Surfaces  
Aachen  
14./15.9.2011

**D. Salz, M. Ott, C. Dölle, K. Vissing, H. Wagner, J. Meichsner, C. Schmüser, O. Schorsch**  
Nanokompositschichten mit photokatalytischen Eigenschaften  
19. Neues Dresdner Vakuum-technisches Kolloquium  
Dresden  
19./20.10.2011

**P. Schiffels, M. Noeske, S. Buchbach, W. Leite Cavalcanti**  
Development of functional nanofillers with controlled release properties for innovative adhesive formulations  
Abrafati Conference  
Sao Paulo, Brasilien  
21.–23.11.2011

**T. Schubert, T. Weißgärber, B. Kieback, L. Weber, R. Tavangar**  
Thermische Ermüdung von CuB/Diamant-Verbundwerkstoffen  
18. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde  
Chemnitz  
30.3.–1.4.2011

**T. Schubert, L. Röntzsch, A. Schmidt, T. Weißgärber, B. Kieback**  
Rapidly solidified iron-base alloys as electrode materials for water electrolysis  
14<sup>th</sup> International Conference on Rapidly Quenched & Metastable Materials  
Salvador, Brasilien  
28.8.–2.9.2011

**T. Schubert, P. Kumar, B. Kieback, R. Kumar N.V.**  
Age hardening of Al-Si-Cu-Mg high pressure die casting component  
Euro ECAA 2011  
Bremen  
5.–7.10.2011

**T. Schubert**  
Leichtmetall in der Pulvermetallurgie  
3. Thale PM Symposium  
Thale  
19./20.10.2011

**T. Schubert, P. Kumar, B. Kieback, R. Kumar N.V.**  
Age hardening of Al-Si-Cu-Mg high pressure die casting component  
Dresdner Werkstoff-symposium 2011  
Dresden  
8./9.12.2011

**J. Schwenzel**  
Energiespeicher für die Elektromobilität – Entwicklungstrends  
Fachtagung Elektromobilität: Erfahrungen – Entwicklungen – Erwartungen  
Bremen  
15.9.2011

**S. Sell, A. Brinkmann,  
A. Stake, A. Kreider,  
N. Rehfeld, V. Stenzel**

Anti-Eis-Funktionsoberflächen mit innovativen Polymeren – Lösungsansätze für eisabweisende Beschichtungssysteme  
76. Jahrestagung der Fachgruppe GDCh-Lackchemie  
Perfekte Oberflächen durch innovative Lacksysteme  
Münster  
22.9.2011

**S. Sell, G. Patzelt,  
N. Rehfeld, Y. Wilke,  
A. Brinkmann, S. Scharf,  
A. Stake, M. Jordan,  
S. Buchbach, V. Stenzel**

Development of functional coatings  
4. Nano und Material Symposium Niedersachsen  
Salzgitter  
16./17.11.2011

**S. N. Shirazi, K. Vogel,  
M. Burchardt, K. Thiel,  
I. Grundwald, S. Dieckhoff**

Optimierung der biokompatiblen Eigenschaften von Titanoberflächen durch eine Kombination von nasschemischen und plasmaunterstützten Verfahren  
Thüringer Biomaterial-Kolloquium  
Zeulenroda  
15.9.2011

**V. Stenzel**

Einsatzmöglichkeiten und Grenzen neuer funktioneller Schichten in der Automobilserienlackierung  
18. DFO-Automobiltagung – European Automotive Coating  
Heidelberg  
10./11.5.2011

**V. Stenzel**

Tutorial: Basics of aircraft coating  
IntAIRcoat 2011  
Amsterdam, Niederlande  
18./19.5.2011

**V. Stenzel, S. Sell,  
N. Rehfeld, A. Stake**

Anti-Ice – Effektlacke mit innovativen Polymeren  
GDCh-Wissenschaftsforum 2011  
Neuartige Polymere in Lacken und Beschichtungen  
Bremen  
5.9.2011

**V. Stenzel**

Aktuelle Entwicklungen, Einsatzmöglichkeiten in der Industrielackierung und deren Grenzen  
JOT-Fachtagung 2011  
Stuttgart  
23.11.2011

**G. Stephani**

Metal hollow sphere structures – status and prospects  
MetFoam 2011  
Busan, Korea  
18.–21.9.2011

**A. Struck, C. Kügeler**

Avoiding mechanical stress in present and next generation battery electrodes  
GDCh-Wissenschaftsforum Chemie  
Bremen  
4.–7.9.2011

**T. Studnitzky, A. Strauß**

Dreidimensionaler Siebdruck zur Bauteilherstellung  
Workshop Funktionelle Materialien für die chemische Technik  
Dresden  
6.10.2011

**S. Vasić, B. H. Günther,  
S. Meier, G. Garnweitner**

Gas flow sputtering of platinum-based catalysts for fuel cell applications  
Particles 2011  
Berlin  
9.–12.7.2011

**G. Veltl, M. Kohl,**

**C. Drescher, F. Petzoldt**  
Beschichtung und Strukturierung von Bauteiloberflächen mit Hilfe pulvergefüllter Pasten  
18. DGM-Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde Chemnitz  
30.3.–1.4.2011

**K. Vissing**

$\mu$ -finish<sup>PLAS</sup> – ein vielseitiges Beschichtungssystem  
SKZ-Seminar Modifikation der Kratzfestigkeit von Kunststoffen  
Peine  
23.2.2011

**K. Vissing**

Plasmapolymere Trennschichten für die PUR-Verarbeitung  
PUR-Forum Trennmittel – Wohin geht die Reise?  
Leipzig  
11.5.2011

**G. Walther, L. Thompson,  
B. Klöden, D. Han,  
B. Kieback**

Supercapacitor based on metal foam electrodes and nanostructured transition metal nitrides  
Konferenz Zukunft Energie  
Dresden  
11.–13.5.2011

**G. Walther**

Pm technologies, high temperature materials and tribology  
EPMA Summer School  
Dresden  
27.6.–1.7.2011

**G. Walther, T. Büttner**

Pulvermetallurgische Sonderbeschichtungsverfahren am Beispiel ausgewählter Entwicklungsaufgaben  
3. Thale PM-Symposium  
Thale  
19./20.10.2011

**J. Weise, J. Baumeister, N. Salk,**

**F. Possamai de Souza**  
Syntactic foams based on invar alloy with integrated micro hollow glass spheres  
18. DGM-Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde Chemnitz  
30.3.–1.4.2011

**J. Weise, J. Baumeister**

Innovative metal foam structures – chances for the improvement of crash behaviour  
8<sup>th</sup> International Symposium on Passive Safety of Railway Vehicles 2011  
Berlin  
10./11.2.2011

**J. Weise, N. Salk, U. Jehring, J. Baumeister, D. Lehmus, M. A. Bayoumi**

Influence of the powder size upon the properties of syntactic invar foams produced by means of metal injection moulding  
7<sup>th</sup> International Conference on Porous Metals and Metallic Foams Metfoam 2011  
Busan, Korea  
18.–21.9.2011

**T. Weißgärber**

PM Light Metals  
EPMA Summer School  
Dresden  
27.6.–1.7.2011

**A. Wiltner, B. Klöden, T. Weißgärber**

High-temperature materials  
2. Brazilian-German Frontiers of Science and Technology Symposium  
Potsdam  
8.9.–11.9.2011

**M. Wirts-Rütters**

Kleben von Schneidsegmenten an Trennscheiben für die Gesteinsbearbeitung  
11. Dechema-Kolloquium Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik  
Frankfurt am Main  
22.2.2011

**M. Wirts-Rütters**

Low temperature joining of segmented tools for cut-off grinding by adhesive bonding technology  
1<sup>st</sup> International Conference on Stone and Concrete Machining  
Hannover  
24.11.2011

**S. Wrehde, J. Ihde, R. Wilken, T. Wübben, S. Kaprolat, H. Hildebrandt,**

**S. Stepanov, S. Markus**  
Qualitätsgesicherte Vorbehandlung von Faserverbundstrukturen für Klebung  
8. Workshop des Anwenderkreises Atmosphärendruckplasma (ak-adp):  
Optimierung von Klebprozessen durch den Einsatz von Atmosphärendruckplasma  
Jena  
17.3.2011

Patente

Erteilungen

D. Salz, K. Vissing, P. Steinrücke, M. Wagener  
**Antimikrobielles Schichtmaterial**

EP 1 790 224 B1  
12.1.2011

V. Stenzel, M. Kaune, H. Lohner, O. Schramm

**Polyurethanlacke als Scheuerschutz-Beschichtungen**

EP 1 931 565 B1  
2.3.2011

J. Weise, D. Schmidt, M. Haesche

**Verfahren zur Bildung und zum Entformen einer Form und/oder eines Kerns beim Formguss**

DE 10 2009 024 182  
3.3.2011

K. Vissing, M. Ott, C. Dölle, G. Neese

**Schmutzverbergende Beschichtungen**

EP 1 891 170 B1  
18.5.2011

M. Peschka, M. Wolf  
**Device and method for repairing pipeline**  
 US 7,950,418 B2  
 31.5.2011

J. Adler, G. Standke,  
 P. Quadbeck, R. Hauser,  
 G. Stephani  
**Offenzellige Titan-Metallschäume**  
 DE 10 2009 054 605 B3  
 16.6.2011

K. Vissing, M. Ott, C. Dölle  
**Funktionsschichtübertragungsanordnung**  
 DE 10 2007 040 655 B4  
 14.7.2011

D. Salz, J. Ihde,  
 U. Lommatzsch,  
 C. Müller-Reich,  
 J. Degenhardt  
**Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen einer Trennschicht**  
 DE 10 2005 059 706 B4  
 18.8.2011

A. Brinkmann, M. Kaune,  
 V. Stenzel, Y. Wilke  
**Stabilisierte Suspensionen von SiO<sub>2</sub>-Partikeln**  
 EP 1 947 141 B1  
 5.10.2011

R. Wilken, S. Dieckhoff,  
 A. Hartwig, M. Kleemeier  
**Rückstandsfrei abnehmbares Beizmittel**  
 EP 1 913 180 B1  
 19.10.2011

Th. Hutsch, B. Kieback,  
 Th. Weißgärber, J. Schmidt  
**Werkstoff mit verbesserten Dämpfungseigenschaften**  
 DE 10 2008 034 257 B4  
 8.12.2011

S. Dieckhoff, P. Plagemann,  
 P. Vulliet, M. Nachbar-Zielinski  
**Handgerät sowie Verfahren zum Untersuchen eines korrosionsanfälligen metallischen Gegenstandes auf Korrosion**  
 DE 10 2010 030 131 B4  
 29.12.2011

### Ehrungen und Preise

U. Lommatzsch, J. Ihde  
**German High Tech Champions (GHTC) im Rahmen des Verbundprojekts »Internationales Forschungsmarketing«**  
**Thema: Inline-AD-Plasma-Schutzbeschichtungen erhöhen Lebensdauer und Effizienz von Solaranlagen**  
 15.6.2011, Boston, USA

C. Regula  
**Innovation Award 7<sup>th</sup> CoSi Coatings Science International 2011**  
**Thema: Corrosion protection of metal surfaces by atmospheric pressure plasma jet treatment**  
 1.7.2011, Noordwijk, Niederlande

H. Pleteit, F.-J. Wöstmann,  
 M. Bickdache  
**GIFA Award GIFA/Newcast Gießereifachmesse**  
 2.7.2011, Düsseldorf

P. Imgrund  
**Wessels-Preis 2011 für exzellente Forschungs-kooperation zwischen Wissenschaft und mittelständischer Wirtschaft**  
 Jahreshauptversammlung der Unifreunde  
 16.11.2011, Bremen

# IMPRESSUM

---

## Institutsleitung

---

Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse  
Formgebung und Funktionswerkstoffe  
Telefon +49 421 2246-100  
Telefax +49 421 2246-300  
info@ifam.fraunhofer.de

Prof. Dr. rer. nat. Bernd Mayer  
Klebtechnik und Oberflächen  
Telefon +49 421 2246-419  
Telefax +49 421 2246-430  
ktinfo@ifam.fraunhofer.de

---

## Standort Bremen

---

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM  
Wiener Straße 12  
28359 Bremen  
Telefon +49 421 2246-0  
www.ifam.fraunhofer.de

---

## Standort Dresden

---

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM  
Winterbergstraße 28  
01277 Dresden  
Telefon +49 351 2537-300  
www.ifam-dd.fraunhofer.de

---

## Herausgeber

---

© Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM

ISSN 1439-6009 | Alle Rechte vorbehalten.  
Nachdruck nur mit Genehmigung der Redaktion.

---

## Koordination und Redaktion

---

Anne-Grete Becker  
Karsten Hülsemann  
Cornelia Müller  
Martina Ohle  
Stephanie Uhlich

---

## Externe Dienstleister

---

### Foto

PR Fotodesign: Britta Pohl, Jochen Röder; Dirk Mahler;  
GfG Bremen: Thomas Kleiner

### Satz und Layout

Gerhard Bergmann, SOLLER Werbestudios GmbH

### Druck und Verarbeitung

ASCO STURM DRUCK GmbH

---

## Bildquellen

---

© Fraunhofer IFAM oder Quellenangabe



WWW.IFAM.FRAUNHOFER.DE



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR  
FERTIGUNGSTECHNIK UND  
ANGEWANDTE MATERIALFORSCHUNG IFAM  
WIENER STRASSE 12  
28359 BREMEN  
INFO@IFAM.FRAUNHOFER.DE