



JAHRESBERICHT  
**2009/2010**

# VORWORT

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

gestärkt aus der Krise hervorgehen, neue Wege beschreiten, Chancen nutzen – das waren die Schlagworte, als es 2009 um die Bewältigung der größten Finanzmarkt- und Wirtschaftskrise seit Jahrzehnten ging. Als Forschungsdienstleister für Industrie und öffentliche Hand blieb das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM von den ökonomischen Verwerfungen nicht unberührt. Die Auswirkungen waren auf vielen Ebenen spürbar. Umso glücklicher sind wir, für das zurückliegende Geschäftsjahr dennoch eine äußerst positive Bilanz ziehen zu können: Wir gehen gestärkt aus der Krise hervor, wir beschreiten neue Wege, wir nutzen sich bietende Chancen. Auch 2009 war für das Institut wieder ein erfolgreiches Jahr.

Ihren Ausdruck fand die angespannte Wirtschaftslage vor allem in der gedämpften Investitionsbereitschaft vieler Unternehmen. Die Zahl der Industriaufträge war daher rückläufig. Dieser Rückgang wurde jedoch an anderer Stelle mehr als ausgeglichen: Das Fraunhofer IFAM ist an zahlreichen aktuellen Forschungsprogrammen beteiligt, die durch öffentliche Mittel finanziert werden. Die Strategie der Politik, über die Konjunkturprogramme I und II die Wachstumskräfte des Landes zu stärken und seine Modernisierung voranzutreiben, bedeutete auch eine Stärkung für die anwendungsorientierte Forschung. Bei uns wird das Wissen generiert, das sich schnell in zukunftsfähige, konkurrenzfähige Produkte umwandeln lässt. Deshalb konnte das Fraunhofer IFAM dank seiner breiten Aufstellung und umfassenden Kompetenz bei vielen öffentlichen Ausschreibungen Mittel akquirieren. Weil daneben zahlreiche Projekte mit langjährigen Partnern weiter bearbeitet wurden, ist das Fraunhofer IFAM auch 2009 erneut gewachsen.

Das Wachstum hält bereits seit vielen Jahren an und ist ein Kennzeichen für unseren Erfolg. Dadurch stoßen wir aber erneut an die Grenzen unserer räumlichen Kapazität. Neben dem vorübergehenden Anmieten externer Flächen beschleunigen wir den geplanten Bau weiterer Institutsabschnitte. Bei aller Expansion wird personeller Zuwachs von uns jedoch mit Augenmaß betrieben. Uns ist wichtig, ihn nachhaltig zu gestalten – wir wollen neue Arbeitsplätze mit langfristigen Perspektiven absichern.



Die Elektromobilität ist eines der großen Themen, die das Fraunhofer IFAM beschäftigt. Der Institutsteil Formgebung und Funktionswerkstoffe ist dabei in vielen Bereichen federführend aktiv. Beispielsweise im Projekt »Systemforschung Elektromobilität«: 34 Fraunhofer-Institute erforschen gemeinsam, wie alle Wertschöpfungsstufen der Elektromobilität aufeinander abgestimmt entwickelt werden können. Das Fraunhofer IFAM koordiniert dabei unter anderem den Bau von Prototypen und die Entwicklung von Radnabenmotoren. Ein anderer Schwerpunkt ist die Arbeit in der »e-Mobility-Modellregion NordWest Bremen/Oldenburg« – einer von acht Modellregionen, die das Bundesverkehrsministerium unter 130 Bewerbungen ausgewählt hat. In der Modellregion soll nun eine Flotte von Elektromobilen aufgebaut werden – vom E-Fahrrad über mehrsitzige Pendlerfahrzeuge bis hin zu Hybridbussen. Seit Anfang Januar 2010 gibt es zudem eine IFAM-Arbeitsgruppe in Oldenburg, die zusammen mit Partnern die Leistungsfähigkeit von Batterien für Elektromobile – eines der Schlüsselthemen auf diesem Sektor – weiterentwickelt.

All dies zeigt: Das Institut hat mit der Elektromobilität ein neues, zukunftssträchtiges Arbeitsgebiet erschlossen, in dem es sein Know-how voll ausspielen kann. Die Expertise des Institutsteils Klebtechnik und Oberflächen, insbesondere aus dem Bereich Elektrochemie, wird dabei einbezogen. Zudem gibt es deutliche Synergiepotenziale zu den bereits vorhandenen IFAM-Tätigkeitsfeldern im Kontext Meerestechnologien und Windenergie.

Ein weiterer Schwerpunkt war auch 2009 die Arbeit im Innovationscluster »Multifunktionelle Materialien und Technologien« (MultiMaT). In den fünf Pilotprojekten werden gemeinsam mit Industrieunternehmen die Integration von Sensorik, funktionelle Oberflächen sowie Fragestellungen des Fügens von Faserverbundstrukturen bearbeitet und in konkreten Anwendungen realisiert. Alle Vorhaben sind dabei planmäßig vorangekommen. Zunehmend werden dabei auch überregionale Partner einbezogen. Da sich Industrieunternehmen mit ihrem Engagement in die Forschung etwas zurückhielten, war für den Aufbau von Netzwerken und die Gewinnung weiterer Partner 2009 jedoch auch viel Überzeugungsarbeit notwendig.

Die Aktivitäten im Rahmen des europäischen Luftfahrt-Forschungsprogramms »Clean Sky« waren und sind eine der herausragenden Aufgaben für das Fraunhofer IFAM – insbesondere für den Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen. Die Mitarbeit in den verschiedenen Projekten zur nachhaltigen Förderung der Umweltverträglichkeit und Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Luftfahrt hat zu einer noch stärkeren Vernetzung mit dieser Industriebranche geführt. Dadurch gelang es, neben der engen und bewährten Kooperation mit Airbus auch neue Kontakte zu weiteren Flugzeugbauern und Teileherstellern aufzubauen bzw. zu vertiefen. Das Akquisitionspotenzial hat sich durch die Kontakte spürbar verbreitert. Erfolgreich ist



darüber hinaus die Zusammenarbeit mit Partnern aus der Windenergiebranche. Über die Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES in Bremerhaven sowie durch die umfassenden Detailkenntnisse auf vielen Gebieten, die den Bau und Betrieb von On- und Offshore-Windkraftanlagen berühren, besteht zu dieser Branche eine große Nähe. Wie das Know-how des Bereichs Klebtechnik und Oberflächen auch für neue Industriezweige nutzbar werden kann, zeigt die erfolgreiche Zusammenarbeit mit der Meerestechnik. So ist es beispielsweise Ziel des Projekts »HAI-TECH«, den Strömungswiderstand von Schiffen durch funktionelle Lackierungen zu reduzieren.

Von großer Bedeutung für den Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen ist auch der Aufbau des Forschungszentrums CFK Nord in Stade, das Mitte 2010 seine Arbeit aufnimmt. Erstmals werden hier Großbauteile aus kohlefaserverstärkten Kunststoffen für den Flugzeugbau im 1:1-Maßstab gefügt, montiert, bearbeitet und zerstörungsfrei geprüft. Dabei steht die Entwicklung neuer Produktionsprozesse und -anlagen – auch für weitere Branchen wie Transportmittelbau und Windenergieanlagenhersteller – im Mittelpunkt. Für das Forschungszentrum in Stade hat das Fraunhofer IFAM bereits eine eigene Projektgruppe Fügen und Montieren FFM gegründet.

Der in Dresden beheimatete Institutsteil für Pulvermetallurgie und Verbundwerkstoffe ist ebenfalls weiter gewachsen. Über das Förderprogramm »Fraunhofer Attract« ist es beispielsweise gelungen, hervorragende Nachwuchswissenschaftler für eine neue Arbeitsgruppe zu gewinnen. Sie beschäftigt sich unter anderem mit der Speicherung von Wasserstoff. Dies ist sowohl für stationäre als auch für mobile Anwendungen interessant, womit wiederum der Bogen zur Elektromobilität geschlagen wird.

Ausgebaut wurde 2009 die fruchtbare Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Instituten im Technologiepark und in der Universität Bremen. Die interdisziplinäre Forschung zum Thema »sensorial materials« ist seit Mai 2009 in der neu gegründeten Zentralen Wissenschaftlichen Einheit (ZWE) »Integrated Solutions in Sensorial Structure Engineering« (ISIS) gebündelt. Wissenschaftler aus dem Fraunhofer IFAM sind daran maßgeblich beteiligt. Die Gesamtkoordination von ISIS erfolgt in Personalunion durch den geschäftsführenden Institutsleiter des Fraunhofer IFAM. Eines der Ziele ist dabei, das bremische Know-how in dem Sektor so zu konzentrieren und auszugestalten, dass eine umfassendere öffentliche Förderung für dieses hochinteressante Zukunftsthema erreicht wird.

Eine Vertiefung der Zusammenarbeit mit der Universität ergibt sich für das Fraunhofer IFAM zukünftig auch durch die Neubesetzung der Institutsleitung im Bereich Klebtechnik und Ober-

flächen im Laufe des Jahres 2010, der wir mit Freude entgegensehen. Mit der Position ist eine Universitätsprofessur in der Produktionstechnik verbunden.

Konzentrierte und erstklassige Arbeit unter verschärften Rahmenbedingungen zu leisten – genau das gelingt den Menschen bei uns Tag für Tag. Beim Sport ist es manchmal die Bereitschaft zu einem Schritt mehr, der einer Mannschaft am Ende zum Sieg verhilft. Auch in unseren Teams ist es oft die bewundernswerte Einsatzbereitschaft, die letztlich den Erfolg bringt. Deshalb gilt unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, über deren Aktivitäten Sie die Projekt- und Trendberichte dieser Publikation informieren, einmal mehr unser ganz besonderer Dank.

Viel Spaß beim Lesen unseres Jahresberichts wünschen



Matthias Busse



Andreas Hartwig

**1** *Institutsleitung*

*Formgebung und Funktionswerkstoffe*

*Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse.*

**2** *Institutsleitung*

*Klebtechnik und Oberflächen*

*Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig.*

# INHALT

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

## DAS INSTITUT IM PROFIL

Das Institut im Profil	8
Kurzporträt und Organigramm	10
Das Institut in Zahlen	11
Forschung für Schlüsseltechnologien in strategischen Verbänden	16
Das Kuratorium des Instituts	17
Die Fraunhofer-Gesellschaft	18

## FORMGEBUNG UND FUNKTIONSWERKSTOFFE

Kompetenzen und Know-how	21
Arbeitsgebiete und Ansprechpartner	24
Ausstattung	26

## ERGEBNISSE AUS FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Elektromobilität bewegt	29
Anziehende Wirkung: Dank einer Oberflächen-funktionalisierung wachsen Zellen besonders gut am Implantatwerkstoff an	36
Sichere Produktion: Qualitätssicherung für den Metallpulverspritzguss	40
Simulation – virtuelle Realität zur Vorhersage von Formfüllvorgängen bei Gießprozessen	46
Starkes Licht aus dem Drucker	51
Mit nanoskaligen Katalysatoren gelingen neue Ansätze zur Verringerung der Emissionen in Verbrennungsmotoren	54
Neue Technologien für zelluläre metallische Strukturen	58
Thermoelektrische Sinterwerkstoffe für das Energy Harvesting	62
Hochdämpfende PM-Werkstoffe – an jeder Stelle der richtige Werkstoff	66



## KLEBTECHNIK UND OBERFLÄCHEN

Kompetenzen und Know-how	71
Arbeitsgebiete und Ansprechpartner	74
Ausstattung	77

Wandel und Kontinuität gehen Hand in Hand: Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig löst Dr.-Ing. Helmut Schäfer in der Institutsleitung ab	80
---	----

## ERGEBNISSE AUS FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Eine besondere Beziehung: Das Fraunhofer IFAM forscht seit Jahrzehnten für die Luftfahrtindustrie Zukunft in Niedersachsen mit Fraunhofer FFM: Roboter montieren und kleben CFK-Flugzeuge	84
Alle Kompetenzen unter einem Dach: Mit Faserverbundwerkstoffen kennt sich das Fraunhofer IFAM aus	92
Von der modernen Fassadengestaltung bis zum Brückenbau: Das Bauwesen entdeckt die Fügetechnik Kleben	100
Heterogenität – der Schlüssel für Materialien mit herausragenden Eigenschaften	105
Plasmabehandlung von Mikro- und Nanopartikeln unter Atmosphärendruck ermöglicht neue Werkstoffe und Anwendungen	109
Erhöhte Sicherheit durch verbesserten Korrosionsschutz im Schiffbau – Laborprüfungen für neue Technologien aus dem Fraunhofer IFAM	114
Simulation des Härtungsschrumpfes von Klebstoffen zur Berücksichtigung bei der Bauteillegung	118
»Anerkannte Stelle« für das EBA – Erfolgsgeschichte und Herausforderung zugleich	126
Der wissenschaftliche Nachwuchs für morgen	130

## MENSCHEN UND MOMENTE

Weiterbildungs-Innovations-Preis 2009 für den »Faserverbundkunststoff-Praktiker«	135
Skaupy-Preis 2009 für Dr.-Ing. Frank Petzoldt	137

## VERBÜNDE | ALLIANZEN | ACADEMY

### VERNETZT BEI FRAUNHOFER

Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS	139
Fraunhofer-Allianz Adaptronik	140
Fraunhofer-Allianz Bau	141
Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung	141
Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie	142
Fraunhofer-Allianz Photokatalyse	142
Fraunhofer-Allianz Polymere Oberflächen (POLO)	143
Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik	143
Fraunhofer-Allianz Simulation	144
Fraunhofer-Allianz Verkehr	144
Fraunhofer Academy – Forschungs-Know-how für Ihren Erfolg	145

## NAMEN | DATEN | EREIGNISSE

INHALT	147
Kooperation mit ausländischen Instituten	148
Mitarbeit in Gremien	150
Technietransfer und Personalqualifizierung	156
Konferenzen   Tagungen   Messebeteiligungen	158
Wissenschaftliche Veröffentlichungen	162
IFAM-Seminarvorträge	182
Patente	185
Ehrungen und Preise	187

IMPRESSUM	188
-----------	-----

# DAS INSTITUT IM PROFIL

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

---

## Formgebung und Funktionswerkstoffe

---

Der Institutsbereich Formgebung und Funktionswerkstoffe konzentriert sich an den Standorten Bremen und Dresden 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.

Im Themenfeld Formgebung stehen Entwicklungen zur wirtschaftlichen und ressourcenschonenden Fertigung von immer komplexer werdenden, teilweise miniaturisierten Präzisionsbauteilen im Fokus des Interesses. Mit modernsten pulver- und gießtechnologischen 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 durch Druck- oder

Sputterprozesse auf Oberflächen appliziert werden. Sie verleihen dem Bauteil zusätzliche oder ganz neue Eigenschaften, wie beispielsweise elektronische oder sensorische Funktionen. Auch die spezifischen Eigenschaften zellulärer Werkstoffe werden genutzt, um verschiedenste Funktionen in Anwendungen im Bereich der Energieabsorption, der Schallabsorption oder des Wärme- und Stofftransports zu realisieren. Einen weiteren Forschungsschwerpunkt bilden Biomaterialien aus Metall, Keramik oder Polymeren und deren biologische Wechselwirkung mit ihrer Umgebung.

Basierend auf diesen beiden Themenfeldern wird als neues Anwendungsgebiet die Elektromobilität, insbesondere mit den Bereichen Energiespeicher und elektrische Antriebstechnik, bearbeitet. Prüfen, Testen, Bewerten und Optimieren des Gesamtsystems stehen im Fokus der Arbeiten.

---

## Klebtechnik und Oberflächen

---

Der Institutsbereich Klebtechnik und Oberflächen bietet der Wirtschaft qualifizierte Entwicklungen für die Klebtechnik, Plasmatechnik und Lacktechnik 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 Verpackungs-, Textil- und Elektroindustrie sowie Mikrosystem- und Medizintechnik.

Das Arbeitsgebiet Klebtechnik gliedert sich in die Tätigkeitsfelder Klebstoffe und Polymerchemie (synthetische Materialien, Proteinwerkstoffe), 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 sowie die Anerkannte Stelle des Eisenbahn-Bundesamts nach DIN 6701-2.

Die Plasmatechnik mit ihren Arbeitsgruppen Niederdruck-Plasmatechnik, Atmosphärendruck-Plasmatechnik und Anlagentechnik/Anlagenbau sowie die Lacktechnik mit ihren Bereichen Entwicklung von Beschichtungsstoffen und 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.

Ein Angebot, das die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ergänzt und von allen Branchen genutzt wird, ist die zertifizierende Weiterbildung im Bereich der Klebtechnik. 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 weltweit für multinational tätige Unternehmen angeboten. Das Weiterbildungsangebot des Kunststoff-Kompetenzzentrums zur Faserverbundtechnologie rundet das Profil ab.

## Kompetenznetzwerk am Fraunhofer IFAM

### Formgebung und Funktionswerkstoffe

- Biomaterial-Technologie
- Elektrische Energiespeicher
- Elektrische Systeme
- Funktionsstrukturen
- Gießertechnologie und Komponentenentwicklung
- Materialographie und Analytik
- Pulvertechnologie
- Sinter- und Verbundwerkstoffe
- Zellulare metallische Werkstoffe

### Klebtechnik und Oberflächen

- Anerkannte Stelle des Eisenbahn-Bundesamts nach DIN 6701-2
- Adhäsions- und Grenzflächenforschung
- Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM
- Geschäftsfeld Entwicklung
- Klebstoffe und Polymerchemie
- Klebtechnische Fertigung
- Lacktechnik
- Plasmatechnik und Oberflächen PLATO
- Prozessreviews
- Technologietransfer und Personalqualifizierung
- 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 die Lehrstühle im Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen berufen. Das Institut hat Standorte in Bremen und Dresden.

Seit 2003 leitet Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse als Mitglied der Institutsleitung den Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe.

Von 2007 bis Mai 2009 war Dr.-Ing. Helmut Schäfer Mitglied der Institutsleitung und leitete den Bereich Klebtechnik und Oberflächen.

Im Juni 2009 übernahm Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig, der die stellvertretende Institutsleitung seit 2007 innehatte, die Leitung des Institutsteils Klebtechnik und Oberflächen und ist seitdem Mitglied der Institutsleitung.

In den Arbeitsgebieten Formgebung und Funktionswerkstoffe sowie Klebtechnik und Oberflächen zählt das Institut als neutrale, unabhängige Einrichtung zu den größten in Europa. 2009 betrug der Gesamthaushalt des Fraunhofer IFAM rund 29,5 Millionen Euro, beschäftigt waren 422 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, davon 91 Prozent im wissenschaftlich-technischen Bereich.

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

## Formgebung und Funktionswerkstoffe

**Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse**

(geschäftsführend)

Leitung Formgebung und Funktionswerkstoffe

**Dr.-Ing. Frank Petzoldt**

Stellvertreter

**Prof. Dr.-Ing. Bernd Kieback**

Standort Dresden

## Klebtechnik und Oberflächen

**Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig**

Leitung Klebtechnik und Oberflächen

**Dr. Stefan Dieckhoff**

Stellvertreter

**Dipl.-Oec. Alexander Busk**

Verwaltungsleitung

## DAS INSTITUT IN ZAHLEN

Der Gesamthaushalt des Fraunhofer IFAM (Aufwendungen und Investitionen) im Jahr 2009 setzte sich zusammen aus den Haushalten der beiden Institutsteile Formgebung und Funktionswerkstoffe sowie Klebtechnik und Oberflächen. Da das Fraunhofer CWMT seit dem Jahr 2009 als eigenständiges Institut auftritt (Fraunhofer IWES), ist der Haushalt des Fraunhofer IFAM erstmalig ohne dessen Ergebnisse dargestellt.

### Haushalt

Das vorläufige Haushaltsergebnis betrug insgesamt 29,5 Millionen Euro. Die einzelnen Institutsteile erreichten nachstehende Ergebnisse:

#### Formgebung und Funktionswerkstoffe Bremen

Betriebshaushalt (BHH)	6,9 Mio Euro
eigene Erträge	4,4 Mio Euro
davon	
Wirtschaftserträge	2,0 Mio Euro
Bund/Land/EU/Sonstige	2,4 Mio Euro
Investitionshaushalt (IHH)	0,6 Mio Euro

#### Formgebung und Funktionswerkstoffe Dresden

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

### Klebtechnik und Oberflächen Bremen

Betriebshaushalt (BHH)	15,7 Mio Euro
eigene Erträge	11,5 Mio Euro
davon	
Wirtschaftserträge	6,5 Mio Euro
Bund/Land/EU/Sonstige	5,0 Mio Euro
Investitionshaushalt (IHH)	2,1 Mio Euro

# INVESTITIONEN

Im Fraunhofer IFAM wurden 2009 Investitionen in Höhe von 6,1 Millionen Euro getätigt. Sie verteilen sich wie angegeben auf die verschiedenen Institutsteile. Die wichtigsten Anschaffungen sind aufgeführt. Durch Zuwendungen aus dem Konjunkturprogramm konnten im Institutsteil Formgebung und Funktionswerkstoffe Bremen Investitionen in Höhe von 1,4 Millionen Euro und in Dresden Investitionen in Höhe von 1,6 Millionen Euro getätigt werden.

## Formgebung und Funktionswerkstoffe Bremen IHH (0,6 Mio Euro)

- Extruder für leitfähige Kunststoffe
- Schäumwerkzeug aus Aluminium für Polystyrol
- Mikrospritzgussformen für geometrische Formkörper
- Werkzeug zur Herstellung von Implantaten
- Klimaschrank für Untersuchungen der Langzeitstabilität gedruckter Sensorstrukturen

## Investitionen aus dem Konjunkturpaket (1,4 Mio Euro)

- Hystereseschreiber
- Prüfstand elektromotorischer Antriebsstrang
- Inertgassystem Glovebox

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

- Regeneration eines Molybdän-Hochtemperatur-Vakuumofens
- Universalprüfmaschine
- Labormischer

## Investitionen aus dem Konjunkturpaket (0,9 Mio Euro)

- Spark-Plasma-Sinteranlage
- Transistor-Hochfrequenzgenerator
- Seebeck-Messplatz

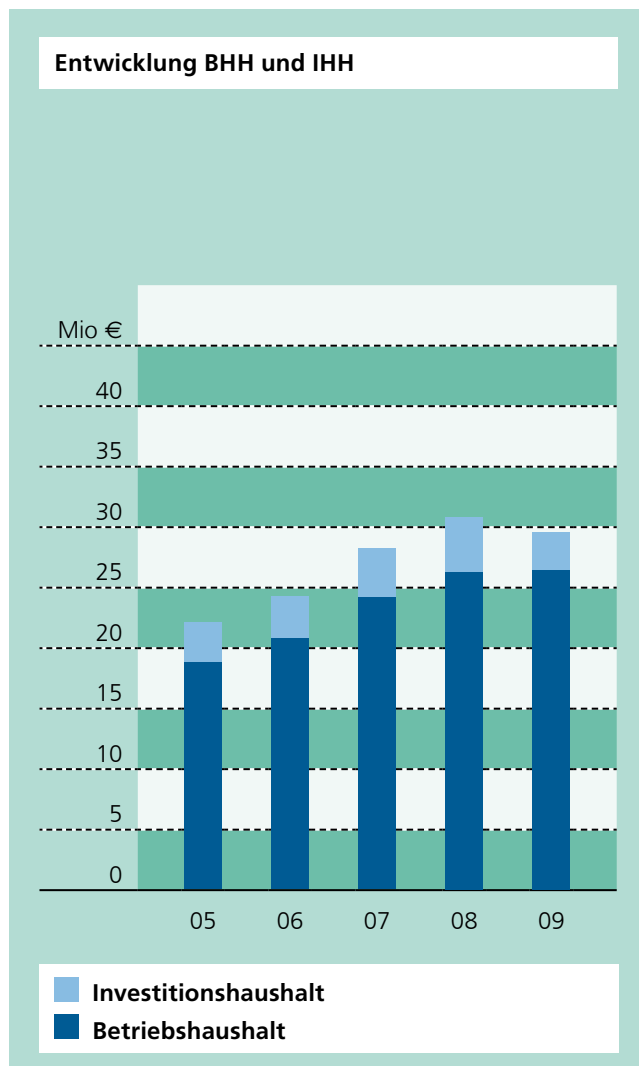
## Investitionen aus EFRE-Mittel Sachsen (0,7 Mio EUR)

- Q-MACS Quantenkaskadenlaser
- Gasanalytiksystem
- FTIR Gasanalysator
- Röntgendiffraktometer

## Klebtechnik und Oberflächen Bremen IHH (2,1 Mio Euro)

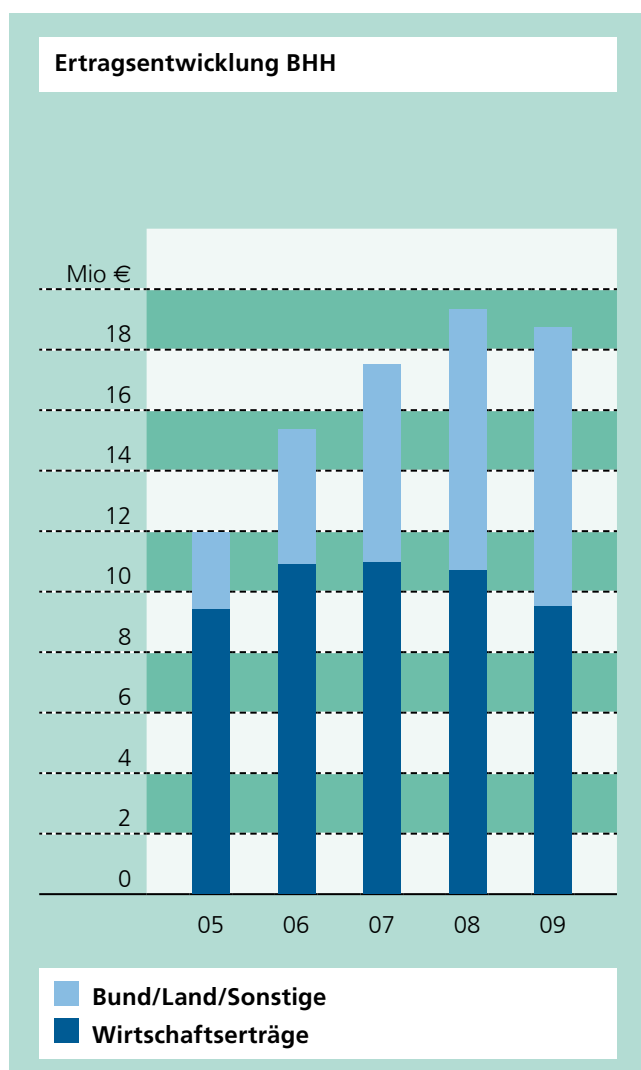
- Olympus OmniScan MX PA Ultraschallmessgerät
- Plasmaanlage für Dickschichtabscheidungen auf Bahnware
- Hochvakuumreaktor zur Plasmaaktivierung
- Mobile Lasereinheit zur Oberflächenvorbehandlung
- CO<sub>2</sub>-Schneestrahlanlage zur Oberflächenvorbehandlung
- Konfokales Lasermikroskop
- Mehrfachpotentiostat
- IR-Handgerät (Exoscan)

# ENTWICKLUNG BETRIEBSHAUSHALT UND INVESTITIONSHAUSHALT





# ERTRAGSENTWICKLUNG BETRIEBSHAUSHALT

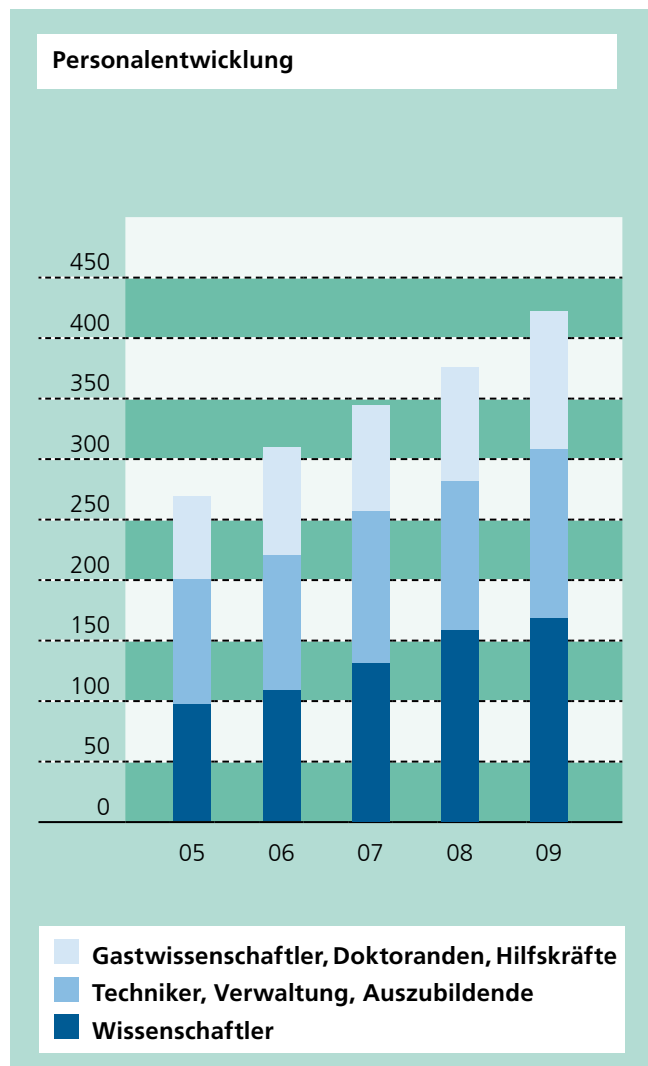


# PERSONALENTWICKLUNG

Am 31. Dezember 2009 waren am Fraunhofer IFAM insgesamt 422 Personen (davon 91 Prozent im wissenschaftlich-technischen Bereich) tätig. Im Vergleich zum Vorjahr konnte das Institut bei der Zahl der fest angestellten Mitarbeiter einen Zuwachs von 6,6 Prozent verzeichnen.

## Personalstruktur 2009

Wissenschaftler	168
Technische Mitarbeiter	102
Verwaltung/Interne Dienste und Azubis	38
Doktoranden, Praktikanten und Hilfskräfte	114
insgesamt	422



*Anmerkung:* Das Fraunhofer CWMT (jetzt Fraunhofer IWES) ist seit dem 1.1.2009 selbstständig und wurde bis zum 31.12.2008 mit 19 Mitarbeitern berücksichtigt. Der Zuwachs von 6,6 Prozent wurde ohne das Fraunhofer CWMT berechnet. Im Jahr 2009 wurde die Arbeitsgruppe FFM Stade aufgebaut, die ab 1.1.2010 als Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM Stade geführt wird.



## FORSCHUNG FÜR SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN IN STRATEGISCHEN VERBÜNDE

Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM setzte im Jahr 2009 den seit Jahren anhaltenden positiven Trend fort und befindet sich auf einem Erfolgskurs, der sich wohltuend von der allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung des vergangenen Jahres in Deutschland abhebt.

Diese überaus positive Situation ist das Ergebnis eines kontinuierlichen und konsequenten Ausbaus der Forschungsaktivitäten in allen Institutsteilen und einer verstärkten strategischen Ausrichtung des Instituts auf zukünftige Schlüsseltechnologien. Ein schönes Beispiel hierfür sind die begonnenen Projekte auf dem Gebiet neuer elektrischer Antriebssysteme und der Elektromobilität. Die Erforschung und Nutzbarmachung der hierfür benötigten Technologien sind für den Standort Deutschland von überaus großer Bedeutung und es ist beispielhaft, dass durch die Initiative und die maßgebliche Rolle des Fraunhofer IFAM leistungsfähige und zukunftsgerichtete Kompetenzcluster in Norddeutschland entstehen, die wichtige zukünftige Geschäftsfelder eröffnen können.

Im industriellen Umfeld war das Jahr 2009 durch starke Umsatzrückgänge und daraus resultierende harte Einschnitte gekennzeichnet. Gerade in dieser Phase wurde deutlich, dass eine nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit nur durch intensive Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sowie durch langfristig wirkende Strategien und Investitionen sichergestellt werden können. Seitens der Politik wurde das Ausmaß der Finanzmarkt- und Wirtschaftskrise frühzeitig erkannt, was die Verabschiedung umfangreicher Förderprogramme, wie z. B. die Konjunkturpakete I/II, beflügelt hat. Aufgrund der kurzen Ausschreibungsfristen war seitens der Forschungsstellen schnelles Handeln gefordert, sodass vor allem diejenigen Antragsteller erfolgreich waren, die bereits gemeinsam mit Wirtschaftsunternehmen themenspezifische

Cluster gebildet und überzeugende Konzepte entwickelt hatten. Das Fraunhofer IFAM konnte sich hier im Verbund mit seinen wissenschaftlichen und industriellen Partnern gleich mit mehreren Großprojekten erfolgreich und sichtbar positionieren. So wurde die »Modellregion NordWest« als eine von acht deutschen Regionen vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) ausgewählt, um ganzheitliche Mobilitätskonzepte auf Basis von Elektrofahrzeugen zu erforschen. Diese maßgeblich vom Fraunhofer IFAM koordinierte Initiative stellt eine wichtige strategische Erweiterung des Tätigkeitsfelds dar, weil sie eine ideale Plattform für den Transfer und die Erprobung von Technologien ist, die im Rahmen der im Jahr 2009 begonnenen »Fraunhofer-Systemforschung Elektromobilität« in einem Verbund von mehr als 30 Fraunhofer-Instituten erforscht werden. Ein weiteres Highlight des Jahres 2009 war in diesem Zusammenhang der Startschuss für die IFAM-Projektgruppe zur Entwicklung elektrischer Energiespeicher als strategische Partnerschaft mit dem EWE-Forschungszentrum und der Universität Oldenburg. Dieser Verbund wird neue technologische Impulse geben, die für die Umsetzung von Mobilitätskonzepten auf Basis elektromotorisch angetriebener Fahrzeuge dringend benötigt werden.

Die Beispiele zeigen, dass sich das Fraunhofer IFAM verstärkt in federführender Rolle in größere Verbünde integriert, um gemeinschaftlich die Voraussetzungen zur Entwicklung von Systemkompetenzen für komplexe Technologien zu schaffen. Die Forschungsschwerpunkte und begonnenen strategischen Allianzen des Fraunhofer IFAM bieten beste Voraussetzungen für einen weiteren Ausbau der starken Position innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft und der nationalen / internationalen Forschungslandschaft. Als Kurator bin ich davon überzeugt, dass der eingeschlagene Weg auch im Jahr 2010 zu vielen weiteren Erfolgsmeldungen führen wird.

# DAS KURATORIUM DES INSTITUTS

## Mitglieder

### Prof. Dr. J. Klenner

Vorsitzender  
Airbus Deutschland GmbH  
Bremen

### Dr. R. Bacardit

Henkel AG & Co. KGaA  
Düsseldorf

### K. Dröder

Volkswagen AG  
Wolfsburg

### Prof. Dr. M. Dröscher

EVONIK Degussa GmbH  
Essen

### Prof. Dr. R. X. Fischer

Universität Bremen  
Bremen

### M. Grau

Mankiewicz Gebr. & Co.  
Hamburg

### Dr. S. Kienzle

Daimler AG  
Ulm

### Dr. J. Kurth

KUKA Roboter GmbH  
Augsburg

### R. Nowak

Glatt GmbH  
Binzen

### Staatsrat C. Othmer

Die Senatorin für Bildung  
und Wissenschaft der  
Freien Hansestadt Bremen  
Bremen

### Dr. R.-J. Peters

Pullheim

### Dr. R. Rauh

Airbus Deutschland GmbH  
Bremen

### J. Tengzelius M. Sc.

Höganäs AB  
Höganäs, Schweden

### A. Walkembach

Tesa SE  
Hamburg

### C. Weiss

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

### Dr. G. Wolf

VDG Verein Deutscher  
Gießereifachleute  
Düsseldorf

### Min.-Rat Dr. R. Zimmermann

Sächsisches Staatsministerium  
für Wissenschaft und Kunst  
Dresden

## Gäste

### Dr. M. Müller

Robert Bosch GmbH  
Stuttgart

### J. Wolf

BMW AG  
Landshut

**1** Dr. K. Dröder,  
Mitglied des Kuratoriums  
Volkswagen AG, Wolfsburg.



# DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

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

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

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

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung

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

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

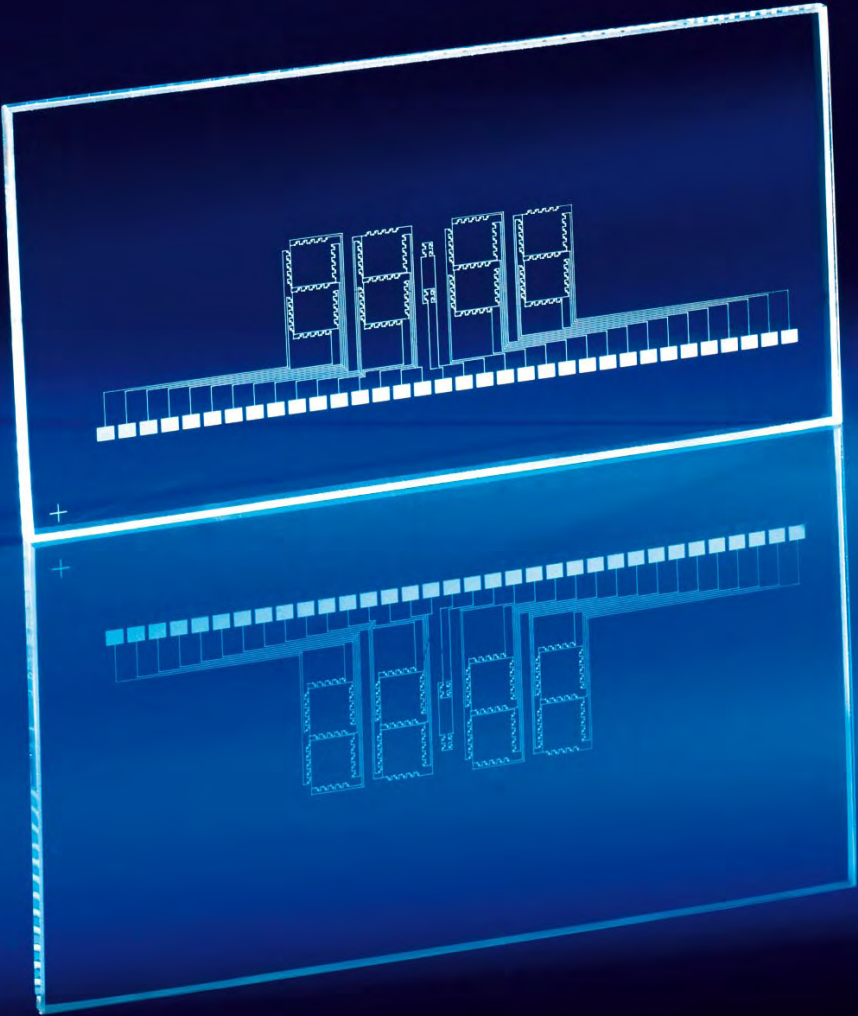
Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826), der als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich war.

**1** *Der Fraunhofer-Truck war vom 15. bis 17.9.2009 im Technologiepark in Bremen.*





# FORMGEBUNG UND FUNKTIONSWERKSTOFFE



## 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 der 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.

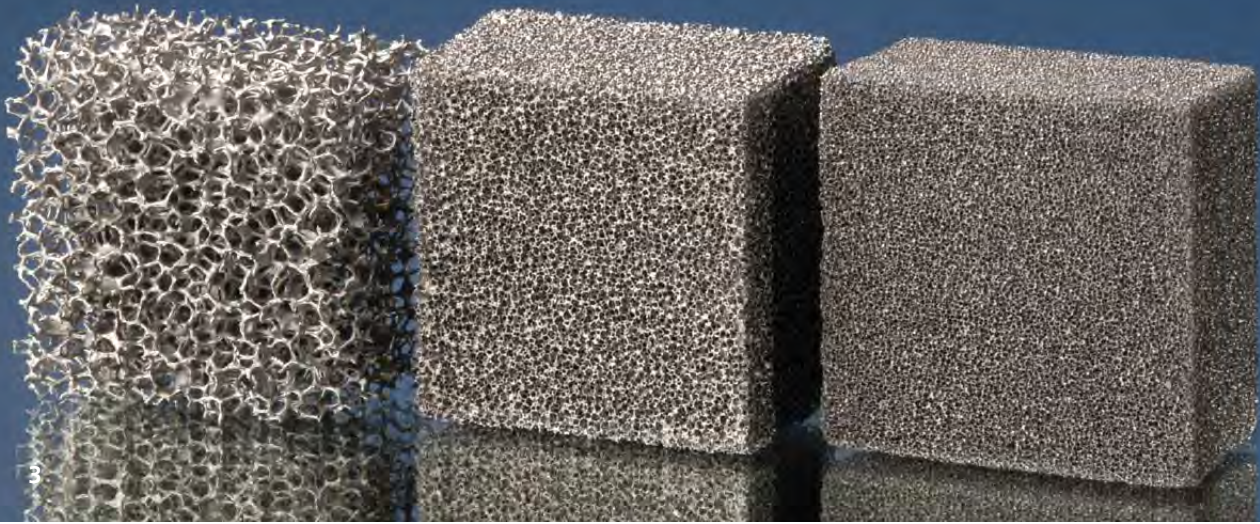
Fertigungsverfahren wie Spritzguss finden heute Anwendung bei der Herstellung von geometrisch anspruchsvollen Bauteilen

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, Werkstoffe mit sensorischen Eigenschaften oder auch teure und billige Werkstoffe maßgeschneidert in Bauteile integrieren. Besonders interessant sind diese Entwicklungen in der Mikrobau-teilfertigung, 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- 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 und daraus werden neue technologische Herausforderungen abgeleitet. 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 dies 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. den Thermal-Management-Materialien, thermoelektrischen und magnetokalorischen Werkstoffen sowie Nanokompositen eröffnen Chancen für Produktentwicklungen sowohl mit bestehenden Kunden als auch zur Erweiterung des Kundenkreises.

---

## Perspektiven

---

Von besonderer Bedeutung für zukünftige Prozess- und Produktweiterentwicklungen ist die Simulation aller für die Bauteilherstellung erforderlichen Prozessschritte. Sowohl für gießtechnisch als auch pulvermetallurgisch hergestellte Bauteile wird angestrebt, die Eigenschaften der Komponenten bereits vor deren Herstellung vorhersagen zu können und so robuste Fertigungsprozesse zu entwickeln und die Bauteilherstellung besonders effizient zu gestalten.

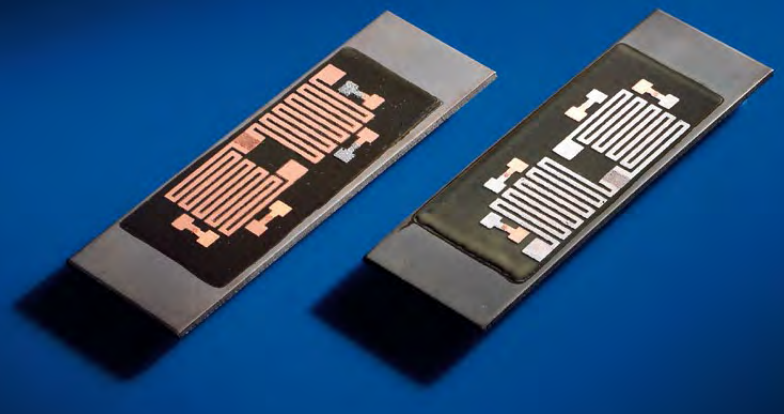
Im Bereich Medizintechnik und Biomaterialien reichen die Themen von der Rapid-Manufacturing-Prozesskette zur Fertigung individualisierter metallischer Bauteile bis hin zur gezielten Mikro- und Nanostrukturierung von Oberflächen für die Steuerung des Wachstums von Knochen und Gewebe. Die zur Anwendung kommenden Werkstoffe schließen hierbei alle Materialklassen von Kunststoffen über Keramiken bis hin zu Metallen und deren Verbunde ein. Schwerpunkte liegen in der Material- und Fertigungstechnik sowie der Schnittstelle der Biologie zum Material. Insbesondere sollen Prozesstechnik und Charakterisierungsmethoden für bioaktive und bioresorbierbare Werkstoffe weiter ausgebaut werden.

Das große Potenzial der direkten Integration von Funktionen in metallische Bauteile, aber auch auf CFK-Komponenten, wird auf der Basis eines sich ständig erweiternden Know-how am Fraunhofer IFAM in der Prozesskette vom Werkstoff zum intelligenten Bauteil erschlossen. Ein interessanter Ansatz bietet sich auch durch die Integration von RFID-Chips in Metallbauteile mittels Rapid Manufacturing. Hierzu werden zunehmend produktspezifische Lösungen für unterschiedliche Branchen erarbeitet.

Von wachsendem Interesse sind für die zyklischen Fertigungsprozesse zur Herstellung metallischer Komponenten Fragen der Qualitätskontrolle im Produktionsprozess. Hierzu wird Methodenkompetenz erarbeitet, um selbstlernende Systeme mit dem jeweiligen Fertigungsverfahren zu verknüpfen.



4



5

## 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
- Umwelt- und Energietechnik
- Luftfahrt
- Medizintechnik
- Mikrosystemtechnik

Kompetenzen.

Ein neuer Fokus am Fraunhofer IFAM ist das Thema Elektromobilität mit den Schwerpunkten Energiespeicher, Antriebstechnik und Systemprüfung. In enger Zusammenarbeit mit Partnern der Metropolregion Nordwest wird an neuen Batteriesystemen gearbeitet. In dem Projekt »Systemforschung Elektromobilität« der Fraunhofer-Gesellschaft konzentrieren sich die Aktivitäten des Fraunhofer IFAM auf die Entwicklung von Magnetwerkstoffen für Radnabenmotoren und den Aufbau eines elektrisch angetriebenen Pkw als Prototyp für die Integration neuer Komponenten. Ein Leistungszentrum für die Messung der kompletten elektrischen Antriebstechnik ist bereits aufgebaut.

- 1 Aerosolgedruckte 7-Segment-Anzeige.
- 2 »CAST<sup>TRONICS</sup>«: Druckgegossene Tretkurbel mit integrierten Sensoren und Datenübertragungsmodul.
- 3 Offenzellige Metallschäume aus Edelstahl 316L von 20, 45 und 60 ppi.
- 4 Durch Metallpulverspritzguss hergestellte Interferenzschrauben, die zur Befestigung abgerissener Kreuzbänder im Knie dienen.
- 5 Mittels Siebdruckverfahren hergestellter Dehnungsmessstreifen mit Thermoelementpaaren zur Temperaturkompensation (li.: ungesintert, re.: gesintert).



# ARBEITSGEBIETE UND ANSPRECHPARTNER

## Institutsleitung

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

## Biomaterial-Technologie

Prof. Dr.-Ing. Kurosch Rezwan, Dr.-Ing. Philipp Imgrund  
Telefon +49 421 2246-216  
philipp.imgrund@ifam.fraunhofer.de  
Entwicklung und Charakterisierung von biokompatiblen,  
bioaktiven und bioresorbierbaren Materialien;  
Verarbeitung durch Spritzguss und Extrusion;  
Schwerpunkt Mikrospritzguss und Mikrostrukturierung.

## Elektrische Systeme

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

## Funktionsstrukturen

Dr. rer. nat. Volker Zöllmer  
Telefon +49 421 2246-114  
volker.zoellmer@ifam.fraunhofer.de  
Nanokomposite; Hybridwerkstoffe; Nanosuspensionen;  
nanoporöse Schichten; Funktionsintegration;  
INKtelligent printing®: Ink-Jet-Printing  
und Aerosol-Jet®; Sonderanlagen.

## Gießereitechnologie und Komponentenentwicklung

Dipl.-Ing. Franz-Josef Wöstmann  
Telefon +49 421 2246-225  
franz-josef.woestmann@ifam.fraunhofer.de  
Aluminium-, Magnesium- und Zink-Druckguss; Gusseisen und  
Stahlguss; Funktionsintegrierte Gussteile (CAST<sup>TRONICS</sup>®);  
Lost-Foam-Verfahren; Simulation; Rapid Prototyping.

## Materialographie und Analytik

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

## Pulvertechnologie

Dr.-Ing. Frank Petzoldt  
 Telefon +49 421 2246-134  
[frank.petzoldt@ifam.fraunhofer.de](mailto:frank.petzoldt@ifam.fraunhofer.de)  
 Pulvermetallurgische Formgebung; Metallpulverspritzguss;  
 Prozess- und Materialentwicklung; Rapid Manufacturing;  
 Lasersintern; Siebdruck; Produktionsverfahren für  
 Metallschaumbauteile (FOAMINAL®); Simulation.

Andreas Burblies  
 Telefon +49 421 2246-183  
[info@simtop.de](mailto:info@simtop.de)

## Standort Dresden

## Pulvermetallurgie und Verbundwerkstoffe

Prof. Dr.-Ing. Bernd Kieback  
 Telefon +49 351 2537-300  
 Winterbergstraße 28 | 01277 Dresden  
[www.ifam-dd.fraunhofer.de](http://www.ifam-dd.fraunhofer.de)

## Dienstleistungszentren und Ansprechpartner

Anwenderzentrum Metallpulverspritzguss  
 Dipl.-Ing. Lutz Kramer  
 Telefon +49 421 2246-217  
[forming@ifam.fraunhofer.de](mailto:forming@ifam.fraunhofer.de)

## Zellulare metallische Werkstoffe

Dr.-Ing. Günter Stephani  
 Telefon +49 351 2537-301  
[guenter.stephani@ifam-dd.fraunhofer.de](mailto:guenter.stephani@ifam-dd.fraunhofer.de)  
 Fasermetallurgie; hochporöse Strukturen; metallische Hohlku-  
 gelstrukturen; offenzellige PM-Schäume; Siebdruckstrukturen.

Anwenderzentrum Functional Printing  
 Dr.-Ing. Dirk Godlinski  
 Telefon +49 421 2246-230  
[printing@ifam.fraunhofer.de](mailto:printing@ifam.fraunhofer.de)

Anwenderzentrum Generative Technologien  
 Dipl.-Ing. Claus Aumund-Kopp  
 Telefon +49 421 2246-226  
[rapid@ifam.fraunhofer.de](mailto:rapid@ifam.fraunhofer.de)

## Sinter- und Verbundwerkstoffe

Dr.-Ing. Thomas Weißgärber  
 Telefon +49 351 2537-305  
[thomas.weissgaerber@ifam-dd.fraunhofer.de](mailto:thomas.weissgaerber@ifam-dd.fraunhofer.de)  
 Hochtemperaturwerkstoffe; nanokristalline Werkstoffe;  
 Werkstoffe für tribologische Beanspruchungen; Sputtertar-  
 gets; Werkstoffe für die Wasserstoffspeicherung.

Dienstleistungszentrum Materialographie und Analytik  
 Dr.-Ing. Andrea Berg  
 Telefon +49 421 2246-146  
[andrea.berg@ifam.fraunhofer.de](mailto:andrea.berg@ifam.fraunhofer.de)

Demonstrationszentrum SIMTOP  
 Numerische Simulationstechniken zur Verfahrens- und  
 Bauteiloptimierung

# AUSSTATTUNG

## Bauteilfertigung

- Metallpulverspritzgussanlagen (Schließkraft 20 t und 40 t)
- Fertigungszelle Mikrospritzguss
- 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)
- Pilotanlagen zur Herstellung von Metallschaumbauteilen
- 2-Komponenten-Spritzgussmaschine
- Mikrowellenanlage
- Siebdruckmaschine
- Modellfertigung Lost-Foam-Verfahren
- Spark-Plasma-Sinteranlage (bis 300 mm Bauteildurchmesser)
- Styroporfräse
- Heißdrahtschneideanlage

## Mikro- und Nanostrukturierung

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

## Thermische/chemische Behandlung von Formteilen

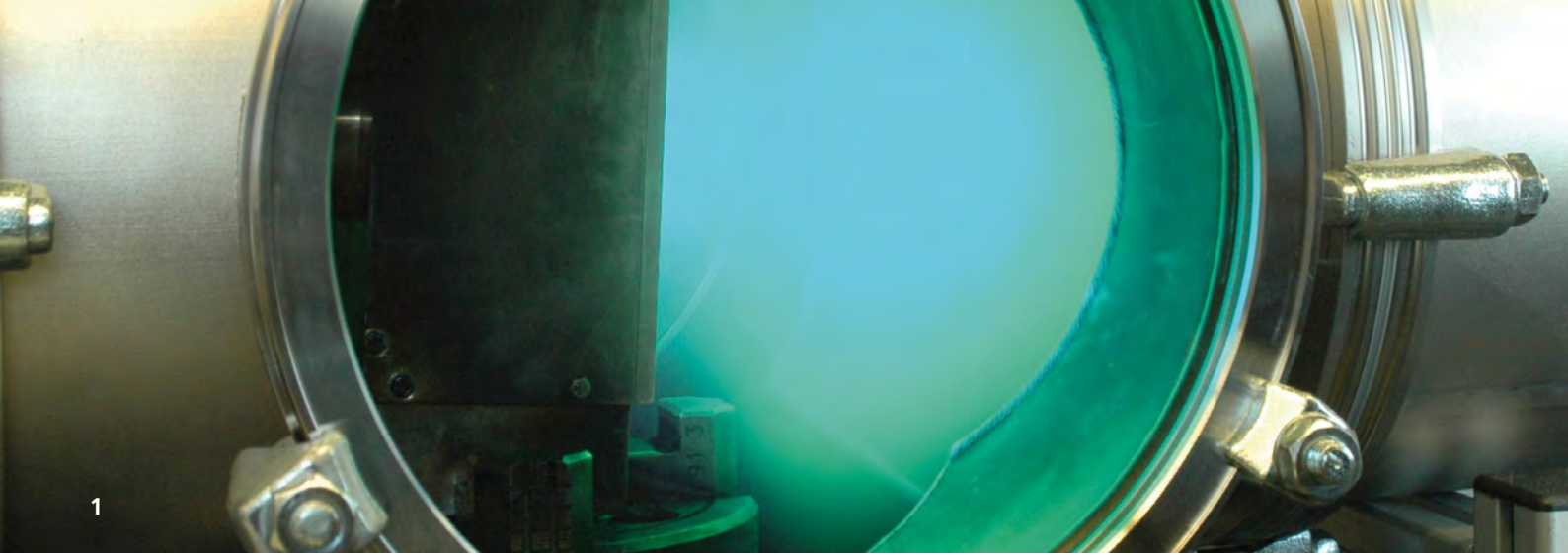
- Anlage zur chemischen Entwachsung von Spritzgussteilen
- Diverse Sinteröfen (bis 2000 °C, Schutzgas, Wasserstoff, Vakuum)

## Werkstoffsynthese und -verarbeitung

- Anlagen zur Herstellung von Gradientenwerkstoffen (Sedimentation, Nasspulverspritzen)
- 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
- Compoundierer
- Granulator

## Instrumentelle Analytik

- Rheometrie
- Mikrozugprüfmaschine
- Tensiometer
- 2-D-/3-D-Laser-Oberflächen-Profilometrie
- Wärmeleitfähigkeitsmessung von Formstoffen
- IR-Laser zur Dichtebestimmung transluzenter Materialien



1

- Magnetmesstechnik
- Elektrische Charakterisierung

---

### 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
- IR-Laser zur Dichtebestimmung transluzenter Materialien

---

### Elektromobilität

---

- Zwei Motorenprüfstände bis 100 kW
- Batterieteststand bis 50 kWh

---

### Rechner

---

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



FORMGEBUNG UND FUNKTIONSWERKSTOFFE

ERGEBNISSE AUS FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG







## ELEKTROMOBILITÄT BEWEGT

Energien mobilisieren – Im Jahr 2020 sollen allein in Deutschland etwa eine Million Elektroautos fahren. Viele zentrale Fragen sind noch nicht beantwortet: Wie wird die Energie erzeugt, verteilt, ins Auto gebracht und dort effektiv eingesetzt? Welche Materialien sind für die Batterien notwendig? Wie funktionieren Schnittstellen zwischen Stromnetz und Fahrzeug? Eine Vier-Säulen-Strategie am Fraunhofer IFAM ermöglicht ein ganzheitliches Konzept.

---

### Leise und sauber mobil

---

Das Bedürfnis der Menschen, mobil zu sein, ist ungebrochen. Sei es für den Weg zur Arbeit oder auch nach Feierabend: Wir sind es gewohnt, zu jeder Zeit schnellstmöglich zu unserem Zielort zu gelangen, sei es mit dem Zweirad, mit dem Auto oder auch mit öffentlichen Verkehrsmitteln. Steigende Energiekosten, Verkehrschaos in den Innenstädten, aber auch aktuelle Anforderungen des modernen Arbeitsmarktes werden zukünftig noch umfangreichere Mobilitätsbedürfnisse definieren.

Die Nutzung von Elektrofahrzeugen könnte in diesem Zusammenhang einen wichtigen Beitrag zur Erfüllung dieser Mobilitätsbedürfnisse leisten, sowohl für den Individualverkehr als auch für öffentliche Verkehrsmittel. Das Thema „Elektromobilität“ ist von hoher strategischer Bedeutung für die Bundesregierung und wurde in Verbindung mit der Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen im Integrierten Energie- und Klimaprogramm IEKP aufgenommen. Aufgabe für Deutschland ist es, in dem Zukunftsmarkt Elektromobilität eine führende Rolle zu übernehmen. Andere Staaten wie die USA, Japan und China unternehmen derzeit ebenfalls enorme Anstrengungen, um sich für diesen neuen Markt zu rüsten.

Deshalb hat die Bundesregierung am 19. August 2009 den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität verabschiedet.

Ziel des Nationalen Entwicklungsplans ist es, die Forschung und Entwicklung, die Marktvorbereitung sowie die Markteinführung von Elektrofahrzeugen mit Batterien voranzubringen. Mithilfe des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität soll einer Abhängigkeit von Ölimporten entgegengewirkt werden. Gleichzeitig sollen die vorhandenen, großen Potenziale von elektrischen Antrieben zur Verringerung von CO<sub>2</sub>- und lokalen Schadstoffemissionen genutzt werden.

---

### Rechtzeitig positionieren

---

Die beiden übergeordneten Ziele aller Anstrengungen im Bereich Elektromobilität sind die Reduzierung der CO<sub>2</sub>- und der lokalen Schadstoffemissionen sowie die Verringerung der Abhängigkeit von Ölimporten. Elektrofahrzeuge bieten dafür ein hervorragendes Potenzial, wobei durchaus unterschiedliche Antriebskonzepte zum Einsatz kommen können: Hybrid-, reine Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge oder Kombinationen wie sogenannte Range-Extender-Technologien oder Plug-in-Hybride. Bereits heute ist absehbar, dass diese neue Generation von Fahrzeugen auf lange Sicht das Bild und insbesondere die Geräuschkulisse in unseren Straßen verändern wird. Wichtig ist aber auch, dass alle diese Entwicklungen eng gekoppelt werden an einen weiteren Ausbau der erneuerbaren



4



5

Energien, um z. B. eine besonders wirksame Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission zu erreichen.

Die besonderen technologischen Herausforderungen bei der Entwicklung der Elektromobilität für eine breite Anwendungsbasis liegen im Bereich der automobil-tauglichen Speichertechnologien (Batterien) und anderer zentraler Komponenten für elektrische Antriebe wie Elektromotoren, Leistungselektronik und elektrifizierte Nebenaggregate.

Hier entsteht ein neuer Zukunftsmarkt und Deutschland muss sich rechtzeitig positionieren, um im globalisierten Wettbewerb nicht ins Hintertreffen zu geraten. Andere Staaten wie die USA und Japan, aber auch China unterstützen ihre Industrien und Forschungslandschaft bereits mit umfangreichen Programmen auf dem Weg zur Elektromobilität.

---

## Die Vier-Säulen-Strategie am Fraunhofer IFAM

---

### 1. Die Modellregion für Elektromobilität NordWest Bremen/Oldenburg

Mit dem neuen Förderschwerpunkt »Modellregionen Elektromobilität« des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) soll im Rahmen des Gesetzes zur Sicherung von Beschäftigung und Stabilität in Deutschland (»Konjunkturpaket«) die Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität verstärkt werden. Insgesamt wurden dazu vom BMVBS 8 Modellregionen ausgelobt, eine davon ist die Region Bremen/Oldenburg.

Das Fraunhofer IFAM betreibt gemeinschaftlich mit dem Deutschen Forschungszentrum für künstliche Intelligenz (DFKI) die regionale Projektleitstelle der Modellregion. Hier werden alle Aktivitäten der Modellregion koordiniert und mit dem Ministerium und der Projektträgerschaft abgestimmt.

Die Modellregion mit ihrer Fläche von ca. 12.000 km<sup>2</sup> hat ein Einzugsgebiet mit Entfernungen von ca. 150–200 km. Charakteristisch für diese Region ist das Zusammenwirken der Metropolen Bremen und Oldenburg, eingebettet in ein eher ländlich geprägtes Umland. Hieraus resultieren besondere Mobilitätsbedürfnisse, die sich einerseits aus dem Verkehr zwischen den größeren Städten, hauptsächlich zwischen Bremen, Bremerhaven und Oldenburg, andererseits aus dem hohen Aufkommen an Berufspendlern aus den umliegenden Gemeinden in die Städte ergeben. Zusätzlich besteht ein erhöhter Mobilitätsbedarf in den erweiterten Innenstädten sowie in Bezug auf den öffentlichen Personennahverkehr, den Zugang zum Flughafen Bremen und zu den Bahnhöfen mit IC-/ICE-Anschluss.

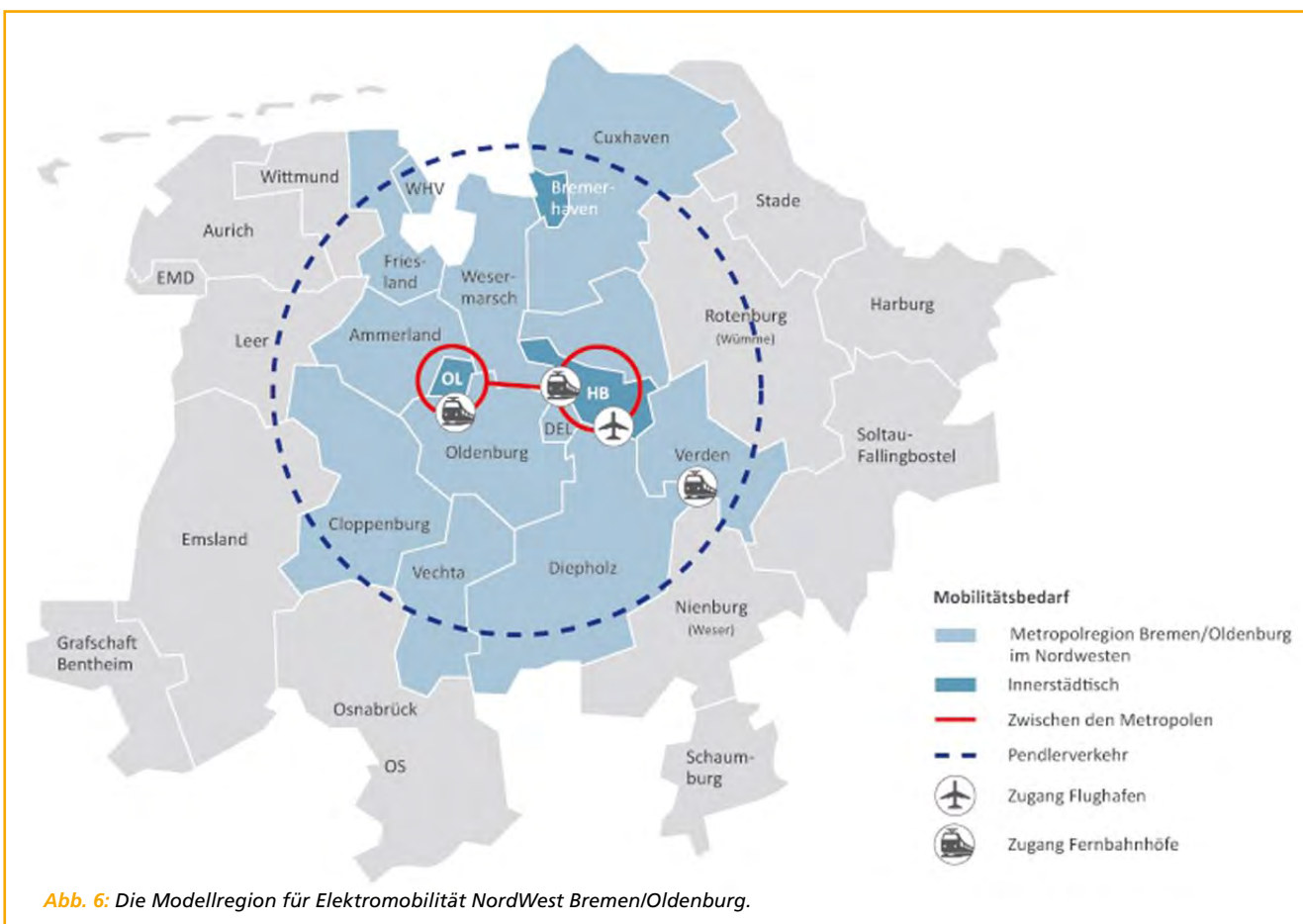
Ziel ist es, nachhaltig neue Verkehrskonzepte zu generieren, die die intelligente Einbindung von Elektrofahrzeugen und deren Anbindung an bestehende Mobilitätsangebote für emissionsfreien Innenstadtverkehr und Pendlerverkehr ermöglichen. Dies geschieht unter Berücksichtigung größtmöglicher persönlicher und individueller Mobilität, um weitestgehend jedem Verkehrsteilnehmer bedarfsgerecht ein Elektrofahrzeug oder öffentliches Verkehrsmittel anzubieten.

Dazu wird von den Partnern der Modellregion die erforderliche Infrastruktur wie z. B. Stromtankstellen und Service-Einrichtungen aufgebaut. Darüber hinaus wird eine vielseitige Fahrzeugflotte vom E-Fahrrad bis hin zum viersitzigen Pendlerfahrzeug eingesetzt werden.

### 2. Fraunhofer-Systemforschung Elektromobilität

Zur Erreichung der ehrgeizigen Ziele des »Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität« der Bundesregierung hat die Fraunhofer-Gesellschaft das Projekt »Systemforschung Elektromobilität« aufgelegt. Es soll die deutsche Automobil- und Zulieferindustrie dabei unterstützen, sich langfristig einen Spitzenplatz im Bereich der Elektromobilität zu sichern. Dieses wegweisende Projekt, an dem insgesamt 34 Fraunhofer-





Institute arbeiten, ist in 4 Schwerpunkte gegliedert, wobei das Fraunhofer IFAM eigene Themen in alle 4 Schwerpunkte eingebracht hat.

### Schwerpunkt 1 – Fahrzeugkonzepte

Dieses Themenfeld zielt auf eine Weiterentwicklung bestehender Fahrzeugkonzepte für Elektrofahrzeuge und gliedert sich in folgende Teilprojekte:

- Neue Antriebskonzepte durch Einsatz von Radnabenmotoren
- Integration von betriebsfesten und crashtoleranten Batterien in Leichtbaustrukturen für Elektrofahrzeuge
- Halb- oder vollautomatische Batterie-Wechselsysteme

- Aufbau eines Leistungszentrums »Gesamtfahrzeug-Prüfstände«

Die Arbeiten des Fraunhofer IFAM konzentrieren sich insbesondere auf den speziellen Bereich der Radnabenmotoren. Dabei geht es um neue Konstruktionsweisen und angepasste Fertigungsverfahren für Motorgehäuse, Steigerung der Leistungsdichte durch integrierte Bauweisen, die Integration von Sensorik und Magnetwerkstoffen sowie ein optimiertes Wärmemanagement.

Der Schwerpunkt 1 wird am Fraunhofer IFAM von Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse geleitet.

### Schwerpunkt 2 – Energieerzeugung, -verteilung und -umsetzung

Dieser Schwerpunkt mit den beiden Projektteilen »Energieerzeugung und Netzintegration« sowie »Leistungselektronik und elektrische Antriebstechnik« befasst sich mit den Aspekten der Netzintegration (V2G) bzw. der elektrischen Antriebstechnik und der damit eng verknüpften Leistungselektronik. Die Beiträge des Fraunhofer IFAM (Institutsteil Dresden) zielen auf eine verbesserte Wärmeabfuhr an den Komponenten der Leistungselektronik durch Einsatz pulvermetallurgisch hergestellter Verbundwerkstoffe mit hoher thermischer Leitfähigkeit und niedrigen Ausdehnungskoeffizienten.

### Schwerpunkt 3 – Energiespeicher

Das zentrale Element eines jeden Elektrofahrzeugs stellt das Batteriesystem dar. In diesem Schwerpunkt werden hierfür sowohl werkstoffliche Fragestellungen auf Zellenebene als auch neue Fertigungstechniken auf Modul- und Batterieebene bearbeitet. Dazu gehört auch eine Anpassung des gesamten Batteriemaneagements. Das Fraunhofer IFAM entwickelt hier für den Aufbau optimierter Batteriepacks Verbindungstechniken auf Modul- und Batterieebene und verfolgt neue Werkstoff- und Prozesstechniken für Batterien der nächsten Generation.

### Schwerpunkt 4 – Technische Systemintegration und gesellschaftspolitische Fragestellungen

Ein eminent wichtiger Bestandteil der Arbeiten in diesem Schwerpunkt ist der Aufbau zweier Demonstrationsfahrzeuge: a) ein elektrisch betriebener Pkw (Projektname: »FreccO«) sowie b) ein Busbahn-System für den Personentransport in der Stadt (Projektname: »Autotram®«). Das Fraunhofer IFAM hat die Projektleitung für den Aufbau des Demonstrationsfahrzeugs »FreccO« übernommen. Dabei werden die prototypischen Entwicklungen, die in den anderen Schwerpunkten durchgeführt werden, als Komponenten in die Fahrzeugstruktur auf Basis des Sportwagens vom Typ Artega integriert und im Zusammenspiel im realen Straßenverkehr getestet.

### 3. Fraunhofer-Projektgruppe Komponenten- und Systementwicklung von elektrischen Energiespeichern

Das Fraunhofer IFAM beabsichtigt, seine Kompetenzen im Bereich Materialwissenschaft, Fertigungs- und Prozesstechnologie für den Aufbau eines neuen Geschäftsfelds »Elektrische Energiespeicher« einzusetzen. Vor diesem Hintergrund wird der Aufbau einer IFAM-Projektgruppe in Oldenburg mit Arbeitsschwerpunkt »Komponenten- und Systementwicklung für elektrische Energiespeicher« forciert.

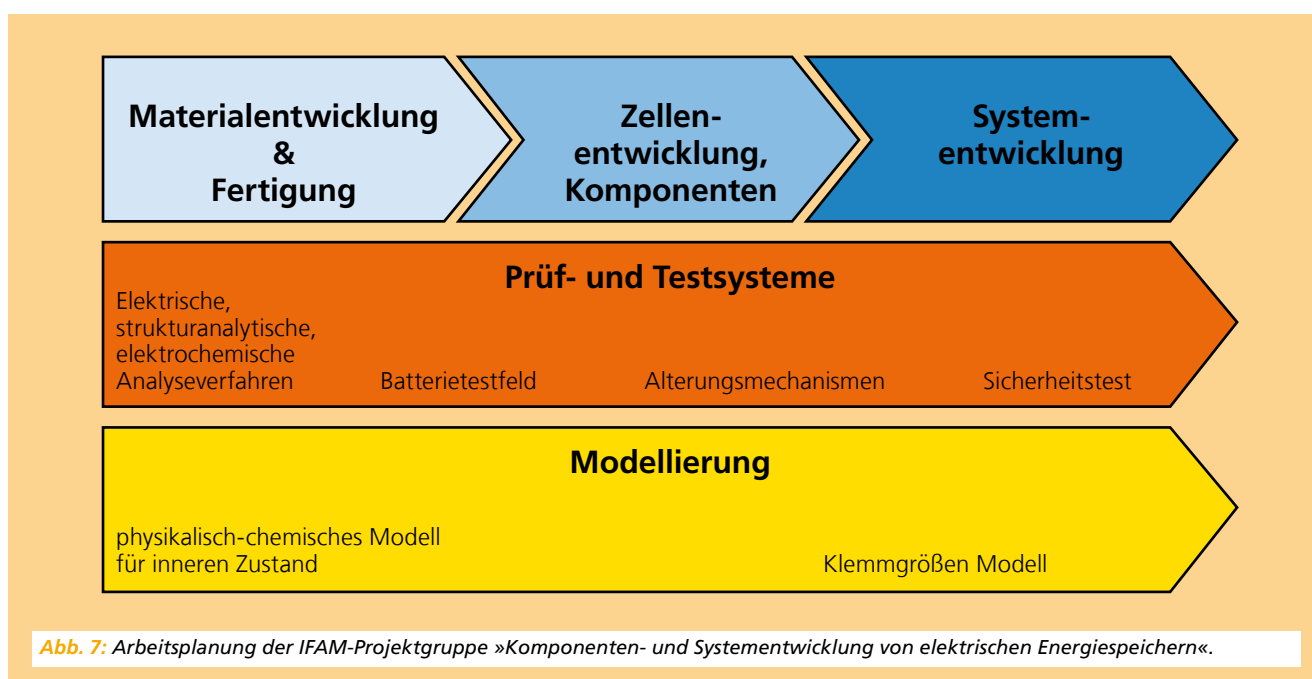
Die Aktivitäten der Projektgruppe zielen auf den wissenschaftlich-technischen Dienstleistungsmarkt im Sektor der elektrochemischen Speicher und deren Anwender. Die Produkte der Projektgruppe bestehen in wissenschaftlich-technischen Dienstleistungen auf dem Gebiet der Komponenten- und Systementwicklung für elektrische Energiespeicher sowie den dazugehörigen Fertigungstechnologien zur Herstellung von Batteriezellen für Industrieunternehmen.

Übergeordnete wissenschaftlich-technische Ziele der Projektgruppe ergeben sich aus dem identifizierten Bedarf der Industrie für die Technologiefelder

- industriennahe Prozess- und Fertigungstechnik nanostrukturierter Elektroden und Komponenten sowie deren Wechselwirkungsanalyse
- Modellierung und Simulation elektrochemischer Energiespeicher und Systemauslegung
- Tests und Prüfung nach ausgewählten Richtlinien und Vorgaben
- prototypische Entwicklung alternativer elektrochemischer Speicherkonzepte und der dazugehörigen Prozesstechnik

Die hier durchzuführenden Entwicklungsvorhaben sind in die Arbeitspakete Materialentwicklung, Systementwicklung, Prüfsysteme und Modellierung unterteilt (Abb. 7).

Die IFAM-Projektgruppe basiert auf den Kompetenzen in der Materialentwicklung und deren industrienahe Ferti-

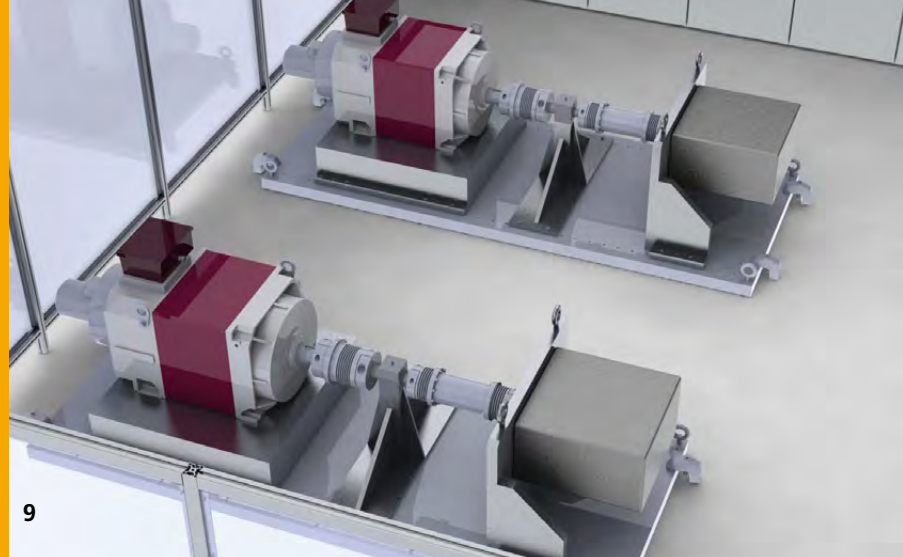
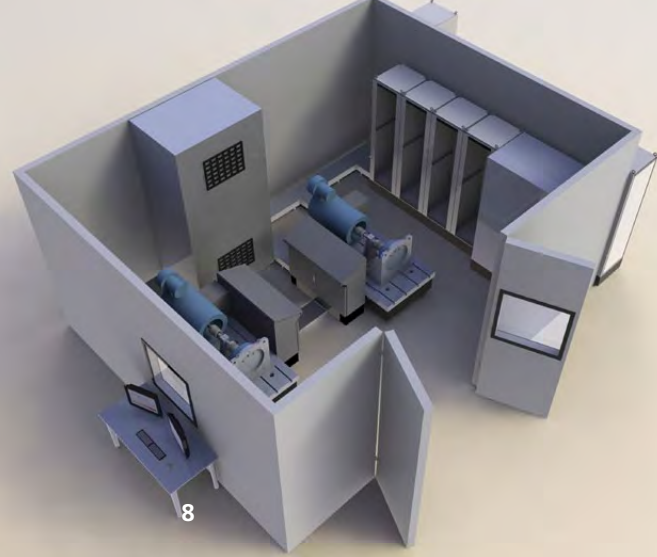


gungstechnik. Enge Kooperationspartner sind die Universität Oldenburg, Institut für Physik, Abteilung Energie- und Halbleiterforschung, und das EWE-Forschungszentrum »Next Energy«. Durch diese Bündelung entsteht ein wichtiger Baustein für ein FuE-Zentrum »Elektromobilität NordWest«, welches die Wissenschaftspotenziale Niedersachsens und Bremens vereint und einen zentralen Beitrag leistet zur Stärkung der Region in Sachen Elektromobilität.

#### 4. Fraunhofer-IFAM-Teststand: Elektromotorischer Antriebsstrang

Für alle Aktivitäten, die am Fraunhofer IFAM im Bereich Elektromobilität anlaufen, ist es von zentraler Bedeutung, dass die neu entstehenden Komponenten für Motoren und Energiespeicher auf ihre »Alltagstauglichkeit« getestet werden. Aus diesem Grund wird derzeit am Institut ein entsprechender Prüfstand aufgebaut, der es ermöglicht, alle Komponenten

des elektromotorischen Antriebsstrangs (einschließlich Batterie) unter simulierten Alltagsbedingungen im Dauerbetrieb zu testen. Das Zusammenspiel zwischen Elektromotoren und deren Leistungsumrichtern, der Batterien mit dem entsprechenden Batteriemangementsystem sowie der gesamten Fahrzeugsteuerung einschließlich Nebenaggregaten ist hier von zentraler Bedeutung. In einer weiteren Ausbaustufe werden zukünftig schnelle Zwischenspeicher zur Rückgewinnung der Bremsenergie (»Rekuperation«) realisiert werden. Eine Besonderheit des Teststands liegt darin, dass gleichzeitig zwei Motoren im Parallelbetrieb unter Echtzeitbedingungen getestet werden können. Die Energieversorgung der Prüflinge wird entweder über einen Batteriesimulator (konfigurierbare Gleichspannungsquelle) oder über eine »echte« Batterie realisiert. Die Batterie kann über definierte Lade- und Entladezyklen automatisiert konditioniert werden. Die Batterie befindet sich in einer Sicherheitsumgebung, in der die Umgebungstemperatur verändert werden kann, sodass eine Temperaturlast aufgeprägt werden kann.



Damit ist es möglich, standardisierte Fahrzyklen in den Prüfstand einzuspeisen, gleichzeitig ist es aber auch möglich, Fahrdaten aus realen Fahrzeugversuchen auf dem Prüfstand »nachzufahren«. Damit werden wichtige Erkenntnisse gewonnen zu Fragen der

- Optimierung der Motor- und Fahrzeugsteuerung
- Optimierung des Batteriemanagementsystems
- Optimierung der Leistungsumrichter
- Spezifizierung der Energieflüsse
- Angaben zur Berechnung der Reichweite bzw. Restreichweite
- Alterung und Lebensdauer der Batterien
- Lademanagement der Batterien

---

### Die Umsetzung

---

Batterieelektrische Fahrzeuge und deren Energiespeicher, das ist eines der zentralen Zukunftsthemen in Deutschland. Der Wunsch nach wachsender Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern, verbunden mit dem Bedürfnis der Menschen nach Mobilität definieren die Aufgaben der Forscher in den nächsten Jahren und Jahrzehnten. Das Fraunhofer IFAM stellt sich diesen Herausforderungen und hat die Weichen gestellt, um zukünftig einen Beitrag zum Erreichen dieser ehrgeizigen Ziele zu leisten.

## KONTAKT

### **Modellregion für Elektromobilität Bremen/Oldenburg**

#### **Fraunhofer IFAM Teststand: Elektromotorischer**

##### **Antriebsstrang**

*Dr.-Ing. Gerald Rausch*

*Telefon +49 421 2246-242*

*gerald.rausch@ifam.fraunhofer.de*

#### **Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität**

*Dipl.-Ing. Franz-Josef Wöstmann*

*Telefon +49 421 2246-225*

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

#### **Fraunhofer Projektgruppe Komponenten- und Systementwicklung von elektrischen Energiespeichern**

*Dr. Julian Schwenzel*

*Telefon +49 441 36116-262*

*julian.schwenzel@ifam.fraunhofer.de*

#### **Institut**

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und*

*Angewandte Materialforschung IFAM,*

*Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Bremen*

**1 | 3** *Basis des Fraunhofer-Demonstrationsfahrzeuges »FreccO«.*

**2** *Strom statt Benzin (© Getty Images).*

**4** *Erste Elektrofahrzeuge (Think City) fahren bereits im Rahmen der Aktivitäten der Modellregion Bremen/Oldenburg.*

**5** *Strom aus regenerativen Energiequellen (© pmc).*

**8 | 9** *Fraunhofer-IFAM-Teststand für den elektromotorischen Antriebsstrang.*

# ANZIEHENDE WIRKUNG: DANK EINER OBERFLÄCHFUNKTIONALISIERUNG WACHSEN ZELLEN BESONDERS GUT AM IMPLANTATWERKSTOFF AN

Eine Grundlage für eine hohe Lebensqualität selbst im hohen Alter ist eine umfassende medizinische Versorgung. Dazu gehören auch schnell einwachsende Implantate für Hüft- oder Kniegelenke, die eine kürzere Rehabilitationszeit für Patienten gewährleisten. Mit diesem Ziel im Blick werden neue Materialien und spezielle Fertigungsverfahren zur Entwicklung günstiger und biologisch verträglicher Implantate eingesetzt.

## Die Herausforderung: Formgebung und Oberflächenfunktionalisierung in einem Fertigungsprozess

Es ist seit vielen Jahren bekannt, dass Oberflächenstrukturen das Einwachsen von Knochenimplantaten begünstigen. Die Implantatpogografie beeinflusst die umliegenden Zellen, insbesondere deren Adhäsions- und Wachstumsverhalten. Wie genau jedoch die Wechselwirkung an der Grenzfläche zwischen Implantat und Knochenzellen vonstatten geht, ist bisher noch nicht vollständig geklärt. Viele Veröffentlichungen zeigen einen positiven Effekt von Oberflächenstrukturen im Mikro- und Nanometerbereich.

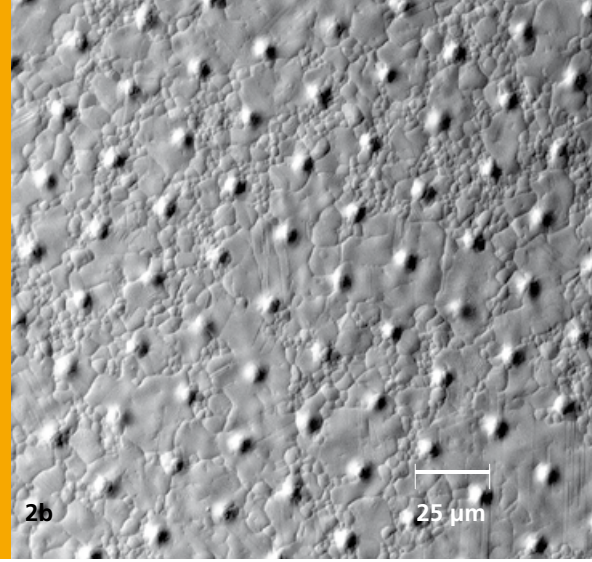
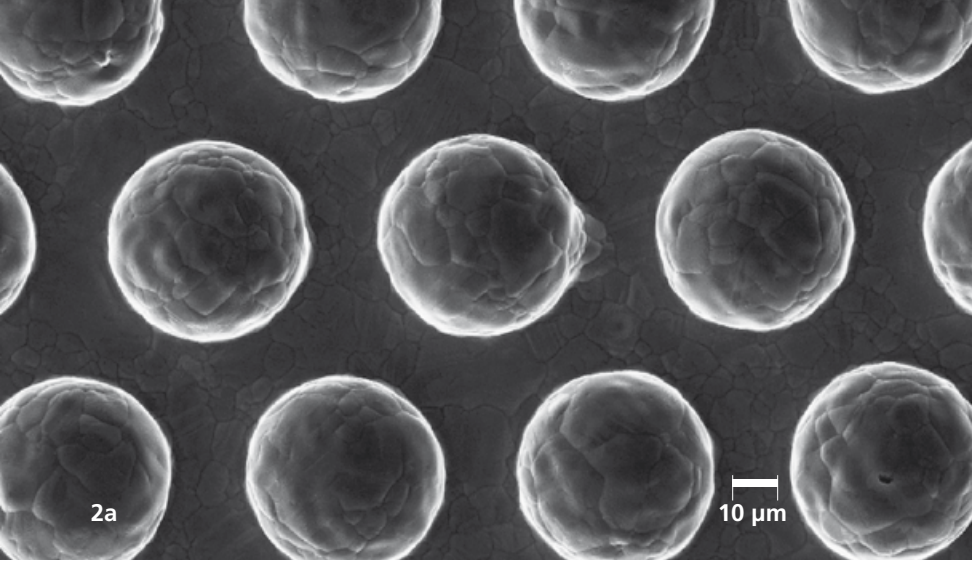
Zurzeit werden medizinische Implantate in mehrstufigen Verfahren hergestellt, bei denen die Oberflächenstrukturierung einen zusätzlichen Prozessschritt einnimmt. Durch eine Weiterentwicklung des Mikro-Metallpulverspritzgusses (Micro Metal Injection Moulding –  $\mu$ -MIM) wird am Fraunhofer IFAM ein Verfahren verfügbar, welches die Integration von Formgebung und Oberflächenstrukturierung ermöglicht,

sodass weitere Nachbearbeitungsschritte zukünftig entfallen.

Der bedeutendste Vorteil des  $\mu$ -MIM-Verfahrens ist die Möglichkeit, sehr präzise und genau definierte Oberflächenstrukturen abzubilden. Mit anderen Strukturierungsverfahren wie Ätzen und Sandstrahlen lassen sich im Vergleich nur unregelmäßige Oberflächenstrukturen verwirklichen.

Der  $\mu$ -MIM-Prozess ermöglicht die Serienfertigung von kleinsten, komplexen Komponenten und die Verarbeitung von vielen biokompatiblen Materialien. Das Verfahren besteht aus mehreren Fertigungsschritten. Zuerst wird das Metallpulver zu einer spritzgießfähigen Masse, dem sogenannten Feedstock, aufbereitet. Hierfür wird es mit einem organischen Binder unter Temperatur vermischt und kann anschließend auf einer Mikro-Spritzgussmaschine verarbeitet werden. Nach der Abformung der Komponente wird der Binder durch ein Lösungsmittel und einen thermischen Prozess extrahiert. Der abschließende Prozessschritt ist die Sinterung, bei der die Komponente ihre endgültige Dichte erhält, die nah der theoretischen Dichte ist.





**Die Aufgabe: Entwicklung der idealen Werkstoffmischung für die winzigen Noppen auf der Metalloberfläche**

In dem Projekt, das gemeinsam mit der Empa, St. Gallen, Schweiz, durchgeführt und von der Volkswagen-Stiftung gefördert wird, ist der  $\mu$ -MIM-Prozess so weiterentwickelt worden, dass zellwachstumoptimierte, mikrostrukturierte Oberflächen aus biokompatiblen Edelstahl gefertigt werden konnten. Die durch  $\mu$ -MIM hergestellte Mikrostruktur bestand aus Halbschalen mit einem Durchmesser von 50, 30 oder 5 Mikrometern mit einem Abstand von jeweils 20 Mikrometern (Abb. 1). Als Testgeometrie wurden für Zelltests geeignete runde Scheiben mit einem Durchmesser von 10 Millimetern spritzgegossen.

Der Edelstahl 316L, eine biokompatible Legierung, die für medizinische Implantate genutzt wird, wurde als Material für die Prozessentwicklung ausgewählt. Für die ersten Versuche wurde ein vorlegiertes 316L-Pulver mit einer durchschnittlichen Partikelgröße  $d_{50} = 2,8$  Mikrometer verwendet. Anschließend wurde das Material dahin gehend modifiziert, dass eine Mischung aus einem Legierungspulver (CrNiMo 55-38-7) ( $d_{50} = 4,0 \mu\text{m}$ ), feinem Eisenpulver ( $d_{50} = 1,4 \mu\text{m}$ ) und Nanoeisenpartikeln ( $d_{50} = 17 \text{ nm}$ ) genutzt wurde. Durch Diffusionsprozesse während des Sinterprozesses entsteht daraus der 316L-Edelstahl. Zusätzlich soll durch den Einsatz von Nanopulvern eine Sub-Mikrostrukturierung auf den Hemisphären erzielt werden, die durch die erwartete Reduzierung der Korngröße entstehen sollte. Da das erhöhte Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis kombiniert mit kleineren Partikeldurchmessern eine gründlichere Aufbereitung der entsprechenden Feedstocks erfordert, wurde ein neuer Homogenisierungsprozess entwickelt. Die Nanopartikel wurden unter einer Argonatmosphäre mit den Wachsen des Binders vorgemischt, um ihre Oxidation zu verhindern. Anschließend wurden sie mit dem restlichen Feedstock in einem mit Argon gefluteten Knetter homogenisiert.

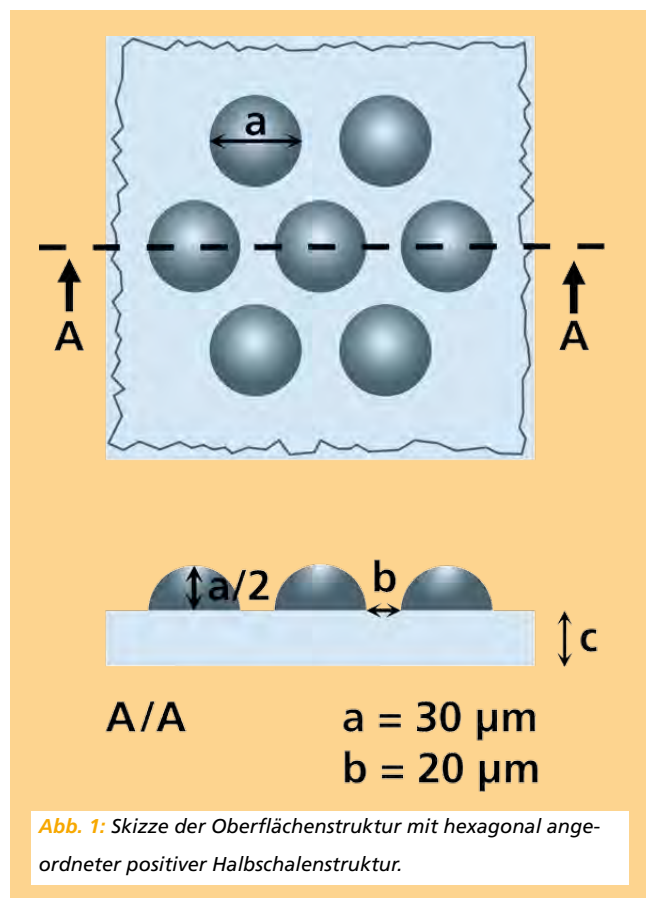
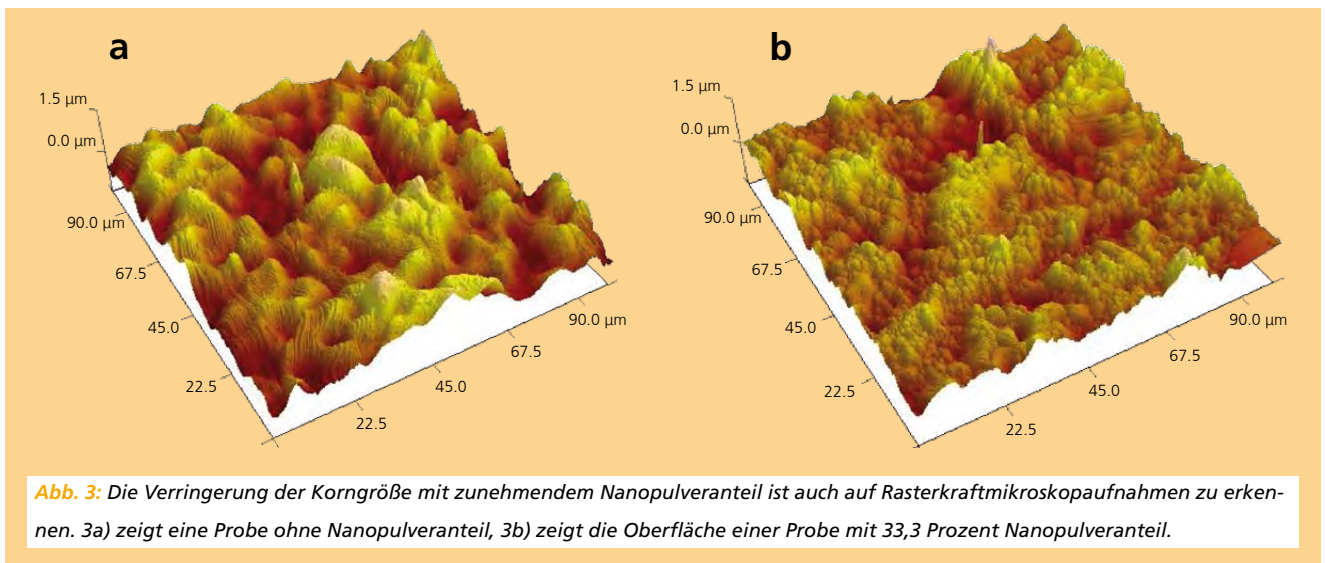


Abb. 1: Skizze der Oberflächenstruktur mit hexagonal angeordneter positiver Halbschalenstruktur.

Die hergestellten Proben wiesen nach dem Sintern durchweg eine relative Dichte von mehr als 95 Prozent auf. Die höchste Dichte wurde bei einer Sinter Temperatur von 1200 °C erreicht, wobei die Werte oberhalb von 97 Prozent relativer Dichte lagen. Durch die Zugabe von Nanopartikeln konnte eine deutliche Verbesserung der Abformung erzielt werden (Abb. 2a u. 2b). Die Halbschalenstrukturen mit 50 Mikrometern und 30 Mikrometern Durchmesser konnten durch Nanopartikel im Feedstock wesentlich besser abgeformt werden. Ein Anteil von 33 Prozent Nanopartikeln ermöglichte schließlich sogar die Abbildung der kleinsten Struktur mit nur 5 Mikrometern Durchmesser, was mit den anderen Feedstocks bisher nicht gelang.





Durch systematische Untersuchungen der Sub-Mikrostruktur (Kornstruktur des Metalls) auf den Hemisphären war es möglich, die Veränderungen der Korngröße mit dem Nanopartikelanteil im Feedstock und mit verschiedenen Sintertemperaturen in Bezug zu setzen. Mit erhöhter Menge an Nanopartikeln sowie niedrigerer Sinter Temperatur konnte die Korngröße deutlich reduziert werden. Untersuchungen im Rasterkraftmikroskop zeigten zudem, dass die Korngrenzen auch einen Einfluss auf die Topografie der Oberfläche haben (Abb. 3a und b). Die Korngrenzen bilden an der Oberfläche kleine Rillen und Senken aus, wodurch eine Sub-Mikrometerstruktur entsteht. Bei der Verwendung von Nanopartikeln treten diese Rillen vermehrt auf, da sich aufgrund der kleineren Korngrößen auch die Korngrenzendichte erhöht.

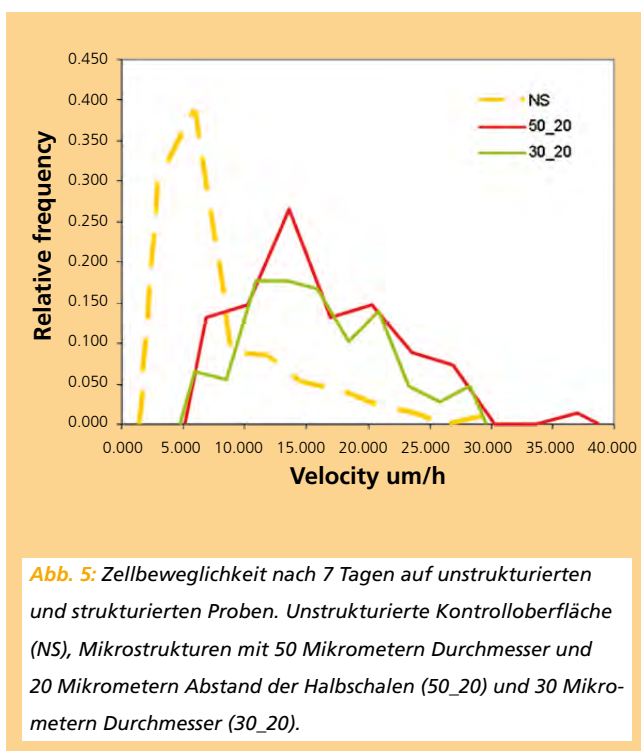
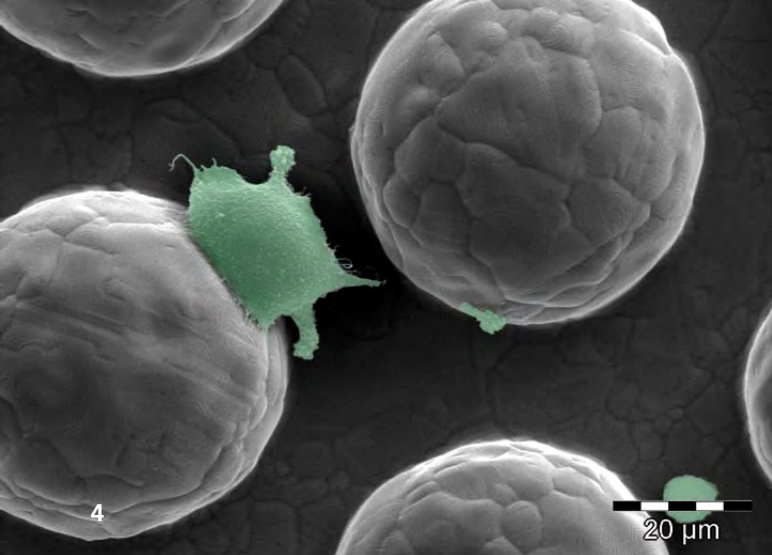
**Das Ergebnis: Die Zellen haften an der genoppten Oberfläche besser als auf glattem Metall – die Verträglichkeit eines Implantats wird verbessert**

Aus vorherigen Untersuchungen ist bekannt, dass durch die Integration einer Sub-Mikrostruktur zusätzlich zu der

gleichmäßigen Mikrostruktur das Wachstum von Knochenzellen positiv beeinflusst werden kann. Erste Zellkulturexperimente an der Empa zeigen, dass die strukturierten Hemisphären einen erheblichen Einfluss auf die Adhäsionskraft von menschlichen Knochenmarkstammzellen haben (Abb. 4).

Systematische Untersuchungen mit Knochenmarkstammzellen haben gezeigt, dass sich das Verhalten der Zellen auf mikrostrukturierten Oberflächen im Vergleich zu unstrukturierten Kontrollproben wesentlich unterscheidet. Insbesondere wurden durch die Mikrostruktur die Zellanhaftung und die Zellbeweglichkeit positiv beeinflusst. Dies sind wichtige Faktoren für eine gute Biokompatibilität. Nach 7 Tagen wurde im Vergleich zu unstrukturierten Kontrolloberflächen eine höhere Zellbeweglichkeit ersichtlich (Abb. 5).

Bisher konnte der Metallpulverspritzgussprozess erfolgreich weiterentwickelt werden, um die Abformung von nanopartikelhaltigen Feedstocks zu ermöglichen und damit Oberflächenstrukturen im Mikrometerbereich abzuformen. Die Qualität und Reproduzierbarkeit von Proben aus biokompatiblen



**Abb. 5:** Zellbeweglichkeit nach 7 Tagen auf unstrukturierten und strukturierten Proben. Unstrukturierte Kontrolloberfläche (NS), Mikrostrukturen mit 50 Mikrometern Durchmesser und 20 Mikrometern Abstand der Halbschalen (50\_20) und 30 Mikrometern Durchmesser (30\_20).

Edelstahl mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen konnte durch die Verwendung einer industriellen Mikro-Spritzgussmaschine wesentlich verbessert werden, sodass erstmals durch  $\mu$ -MIM auch Oberflächenstrukturen mit nur 5 Mikrometern Durchmesser abgeformt werden konnten. Außerdem wurde gezeigt, dass die Korngröße mit zunehmendem Nanopartikelanteil reduziert werden konnte, wodurch eine zusätzliche Oberflächenstruktur im Sub-Mikrometerbereich erzielt wurde. Weitere Untersuchungen haben belegt, dass diese Sub-Mikrometerstruktur zusätzlich einen Einfluss auf die Rauigkeit hatte. Es ist nunmehr möglich, durch Verwendung des Nano-MIM-Prozesses die Oberflächenrauigkeit gezielt einzustellen. Bisher wurde als Testmaterial vorwiegend Edelstahl verwendet. Seit Kurzem wird der Prozess auch zur Herstellung von mikrostrukturierten Titanproben für den Einsatz als Langzeitimplantat übertragen. Titan besitzt eine herausragende Biokompatibilität und ist ein ausgezeichnetes Implantatmaterial.

### Auftraggeber

Das Projekt wird von der Volkswagen-Stiftung im Rahmen des Förderprogramms »Innovative Methoden zur Herstellung funktionaler Oberflächen« gefördert.

### Projektpartner

Als gleichberechtigte Projektpartner sind das Fraunhofer IFAM sowie die Empa, St. Gallen, Schweiz, beteiligt.

## KONTAKT

Dr.-Ing. Philipp Imgrund

Telefon +49 421 2246-216

philipp.imgrund@ifam.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Vera Friederici

Telefon +49 421 2246-196

vera.friederici@ifam.fraunhofer.de

### Institut

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und

Angewandte Materialforschung IFAM,

Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Bremen

**2a | 2b** Rasterelektronenmikroskopbilder von strukturierten Edelstahloberflächen, abgeformt auf industrieller Mikro-Spritzgussanlage Battenfeld Microsystem 50. Links: 50\_20-Struktur hergestellt aus einem Feedstock mit 16,67 Prozent Nanopartikeln; rechts: 5\_20-Struktur hergestellt aus einem Feedstock mit 33,3 Prozent Nanopartikeln.

**4** Zellanhaftung auf durch Metallpulverspritzguss hergestellter mikrostrukturierter Oberfläche für Zellwachstumsmanagement auf Implantaten.



# SICHERE PRODUKTION: QUALITÄTSSICHERUNG FÜR DEN METALLPULVERSPRITZGUSS

Ressourcenschonende Produktion und Minimierung des Ausschusses sparen jedem Unternehmen Zeit und Geld. Hohe Qualität schafft Sicherheit und ermöglicht eine lange Lebensdauer der Bauteile. Für den Metallpulverspritzguss gibt es am Fraunhofer IFAM neue interessante Ergebnisse zur Erfüllung dieser Ansprüche.

## Auf dem Weg zur Null-Fehler-Produktion

Inzwischen ist der Metallpulverspritzguss, kurz MIM, eine reife Fertigungstechnologie zur Herstellung von Massenbauteilen. Deshalb ist es für die Industrie von großer Bedeutung, den Ausschuss in allen Prozessstufen (Feedstock, Spritzguss, Entbindern/Sintern) zu minimieren. Auf dem Weg zu einer Null-Fehler-Produktion werden

- Zusammenhänge zwischen Feedstock-Homogenität, Rheologie und der Möglichkeit verlässlicher Simulation des Formfüllvorgangs erarbeitet, um damit schneller produktionsbereite Werkzeuge herstellen zu können;
- neuronale Netze eingesetzt, um defekte Bauteile bereits direkt nach dem Spritzgießen auszusondern;
- direkt im Prozess Wechselwirkungen von Sinteratmosphäre, Binderbestandteilen und den metallischen Pulvern zur zuverlässigen Einstellung von Werkstoffeigenschaften und zur Optimierung der Sinterzyklen analysiert.

## Verlässlichkeit durch Formfüllsimulation und Feedstock-Homogenität

In dem EU-Projekt MATLAW (EU-Projekt 33006 – MATLAW »New material laws for powder filled injection moulding feedstocks«) wurden für die Verbesserung der Formfüllsimulation verschiedene Ansätze verfolgt. Die Basis war dabei immer ein zuverlässiger und konsistenter Datenpool aus physikalischen und rheologischen Daten für verschiedene Feedstocks, basierend auf unterschiedlichen Bindern und Pulvern, der im Rahmen von MATLAW vom Institut für Kunststoffverarbeitung der Montanuniversität Leoben (IKV-MUL) erarbeitet wurde.

Um die Entmischung von Binder und Pulver beim Spritzguss zu quantifizieren, wurden aus unterschiedlichen Feedstocks mit großen Variationen in den Spritzgussbedingungen Zick-Zack-Proben gespritzt und untersucht. Sowohl Messungen mit einem Gamma-Densometer als auch mit Computertomografie ließen allerdings keine eindeutigen Schlüsse zu, während die Röntgenaufnahme Variationen in den Grautönen aufgrund von unterschiedlichen Wandstärken aufzeigt (Abb. 2).

Wandstärkeunterschiede, hervorgerufen durch Temperatur- und Druckgradienten im Bauteil beim Spritzguss, und ein nicht perfektes Glattschleifen der empfindlichen Grünteile überdecken die womöglich vorhandenen Entmischungen.

Hier konnte zumindest festgehalten werden, dass die Entmischungen abseits des Anschnitts so gering sind, dass sie nur sehr schwierig erfasst werden können.

Die Spritzversuche mit der Zick-Zack-Probe enthüllten dann aber deutliche Eigenschaftsunterschiede zwischen den verschiedenen Spritzgussmassen. Um dieses Verhalten abzubilden, wurde ein Rheologiemodell für Feedstocks eingeführt, das eine Fließgrenze und eine Mindestschubspannung annimmt und so bei niedrigen Scherraten die Erstarrung der Masse vorhersagt. Abbildung 3 zeigt eindrucksvoll die Übereinstimmung der simulierten Füllstudie mit dem Experiment. Die Formfüllsimulation mit dem angepassten Rheologiemodell und zuverlässigen Daten gibt die Realität sehr gut wieder und ist ein wertvolles Instrument bei der Entwicklung von neuen Werkzeugen und Bauteilen.

### Einsatz von neuronalen Netzen beim Spritzguss

Die Maßhaltigkeit und Qualität des gesinterten Bauteils hängen stark von der Auswahl der Prozessparameter in jedem vorhergehenden Prozessschritt ab. Abweichungen in den Spritzgießparametern führen zu Maßabweichungen und im schlimmsten Fall zu Bauteildefekten wie Rissen, Verzug oder Hohlräumen, die erst nach dem Sintern erkennbar werden. Es ist typisch für den MIM-Prozess, dass alle auf Spritzgießfehlern beruhenden Grünteildefekte nicht durch spätere Prozessschritte »repariert« werden können. Ziel ist es, bereits während des Spritzgießprozesses Informationen über die Qualität der Bauteile und den Einfluss abweichender Prozessparameter zu erhalten, um gegebenenfalls gegensteuern zu können.



Abb. 2: CT-Rekonstruktion und Röntgenaufnahme eines Grünteils.

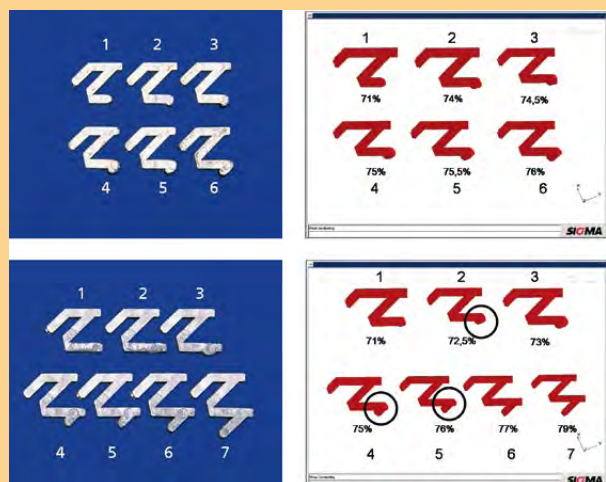


Abb. 3: Formfüllstudie Zick-Zack-Werkzeug (links) und Simulationsergebnis (rechts) für zwei Feedstocks basierend auf unterschiedlichen Bindern.

Ein möglicher Lösungsansatz ist eine synchron mit dem Fertigungstakt abgegebene Qualitätsaussage mit vollständiger Dokumentation aller relevanten Informationen. Dies wird mithilfe neuronaler Prozessregelungssysteme entwickelt. Diese erlauben es, auch sehr komplexe Zusammenhänge in einem selbstlernenden und sich immer weiter verbessernden System zu regeln.



Während des Versuchs wurden alle Prozessdaten der Arburg-320C-Spritzgießmaschine gesammelt und in einer Datenbank gespeichert. Bevor das Diagnosetool genutzt werden konnte, musste das System zunächst auf den spezifischen Prozess trainiert werden. Dafür wurden 190 Proben mit einer systematischen Abweichung der Spritzgießparameter ausgewählt und jeweils als Grün- und als Sinterteil gewogen. Die Entbinderungs- und Sinterbedingungen waren für alle Bauteile identisch. Die unterschiedlichen Spritzgießparameter sind in Tabelle 1 aufgeführt.

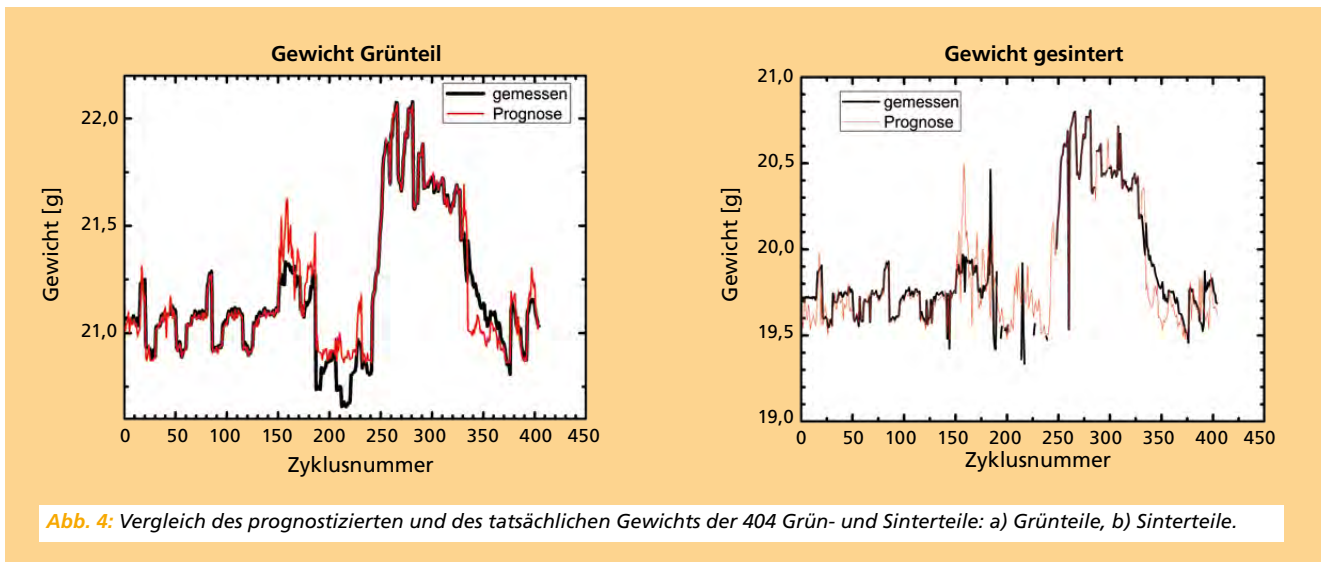
Dann wurde das mit den 190 ausgewählten Proben trainierte neuronale Netzwerk zur Auswertung der gesamten Charge von 404 Proben zur Erstellung einer Gewichtsprognose angewendet. Der Vergleich zwischen dem vom neuronalen Netzwerk prognostizierten und dem tatsächlich gemessenen Gewicht der Proben ist in Abbildung 4 dargestellt. Eine relativ genaue Übereinstimmung der Werte ist erkennbar. Ergänzend dazu ist die Korrelation zwischen dem prognostizierten Gewicht der Grün- und Sinterteile und den Einstellungen beim Spritzgießen in Abbildung 5 dargestellt. Es zeigt das gleiche Korrelationsverhalten, welches bereits für die Messwerte beobachtet wurde.

Der maximale Einspritzdruck und der Umschaltdruck beeinflussen das Grün- und Sinterteilgewicht am stärksten.

Die Ergebnisse der Studie belegen, dass die Gewichtseigenschaften eines bereits gesinterten MIM-Bauteils, welche durch die Maschinenparameter der Spritzgießanlage beeinflusst werden, mittels eines künstlichen neuronalen Netzwerks vorhergesagt werden können. Mit einer statistischen Auswertung der Experimentaldaten aus 68 Einzel-Prozessparametern einer jeden Probe und dem Endgewicht der fertigen Bauteile kann das neuronale Netz darauf trainiert werden, ein mathematisches Modell zur Qualitätsprognose zu generieren. Die Korrelationsanalyse erwies, dass das vorgestellte Modell starke und komplexe Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Pro-

Spritzdruck [bar]	800	1.000	1.200
Spritzgeschwindigkeit [mm/s]	45	85	125
Schließdruck [bar]	400	600	800
Dauer Schließdruck [s]	0,2	0,5	1

**Tab. 1:** Die unterschiedlichen Spritzgießparameter.



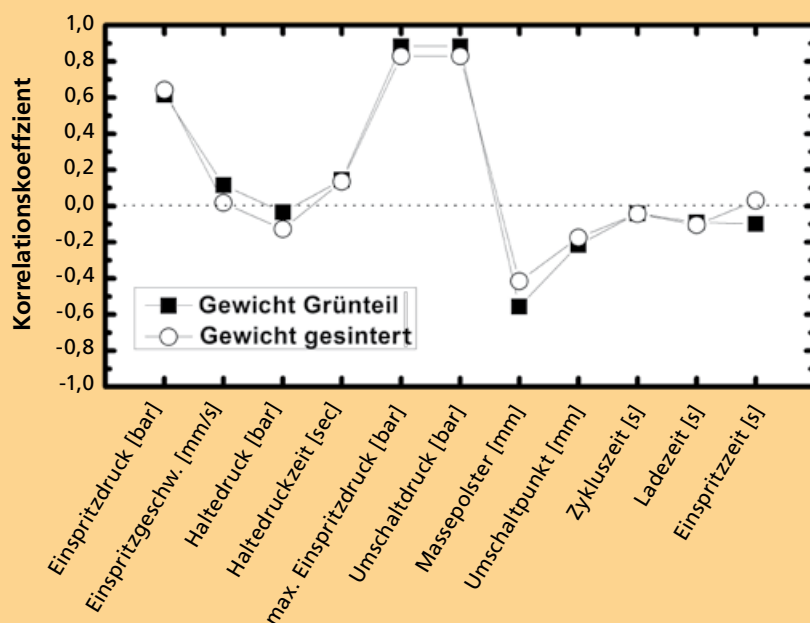


Abb. 5: Errechneter Korrelationskoeffizient zwischen der Gewichtsprognose von Grün- und Sinterteilen und den Spritzgießparametern.

zessparametern und dem Gewicht der Bauteile berücksichtigt. Dieses Modell ermöglicht sowohl die Online-Qualitätskontrolle von spritzgegossenen Bauteilen als auch die Feststellung kleinster Abweichungen in den Prozessbedingungen. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um die Qualitätsaussage auf andere Bauteileigenschaften auszuweiten.

#### Das Unsichtbare sichtbar machen: Gasanalytik beim Sintern

Die Produktionskosten und die Eigenschaften von MIM-Bauteilen werden zu einem großen Teil durch das Sintern bestimmt. Leider gibt es bisher kaum Möglichkeiten, mithilfe von Analytik und Sensorik die Vorgänge im Sinterofen zu verfolgen. Dies ist wünschenswert, um den Einfluss von Temperatur und Atmosphäre auf Binder und Pulver zu verfolgen und so den Prozess zu optimieren.

In verschiedenen Studien wurde die Massenspektroskopie bereits genutzt, um in Laborexperimenten die Vorgänge beim Sintern von PM-Bauteilen zu untersuchen. Am Fraunhofer IFAM wurde jetzt erstmals ein größerer Entbinder- und Sinterofen mit einem Quadrupol-Massenspektrometer gekoppelt. Es wird kontinuierlich eine Gasprobe direkt unterhalb der Ofenkammer gezogen und im Massenspektrometer analysiert (Abb. 6).

In einer Versuchsserie wurde der Einfluss der Gasatmosphäre auf die Binderersetzung in MIM-Bauteilen aus Fe<sub>2</sub>Ni untersucht. Dafür wurde neben reinem Wasserstoff und reinem Argon auch jeweils eine Mischung mit 66 Prozent, 42 Prozent und 24 Prozent Wasserstoff verwendet. Abbildung 7 zeigt das Signal für Methan (16 atomare Masseneinheiten) als Funktion der Zeit und der Gasmischung. Zusätzlich ist der Temperaturverlauf im Ofen aufgetragen.

Die ersten Peaks verlaufen synchron zur Binderzersetzung. Dabei ist eine klare Abhängigkeit der Intensität dieser Peaks vom Wasserstoffgehalt der Ofenatmosphäre zu erkennen. Das Methan entsteht durch die thermische Zersetzung des Binders. Enthält die Atmosphäre Wasserstoff, dann wird der Binder stärker zersetzt, es entsteht mehr Methan als unter Argon, wo eher langkettige Zersetzungsprodukte auftreten.

Besonders interessant ist die Methanbildung in der Haltezeit bei 600 °C. Dabei werden vermutlich Restbinder, der durch Verkokung des Polymers am Pulver verblieben ist, und Kohlenstoff aus dem Pulver durch Hydrierung zu Methan umgesetzt. Unter reinem Wasserstoff ist diese Reaktion vollständig, sie bricht nach der Hälfte der Haltezeit ab. Bei kleineren Wasserstoffkonzentrationen verläuft diese Reaktion langsamer und ist in der vorgegebenen Zeit unvollständig. Die Reaktion bricht dann beim weiteren Aufheizen ab, ohne vollendet zu sein. Unter Argon kann sie überhaupt nicht stattfinden. Dies spiegelt sich dann auch in den Kohlenstoffgehalten der gesinterten Bauteile.

Dieses Beispiel zeigt, dass die Verwendung eines Massenspektrometers für die Qualitätssicherung beim Entbindern und Sintern geeignet ist. Die Entbinderparameter lassen sich optimieren, indem Haltezeiten exakt auf die Reaktionstempe-

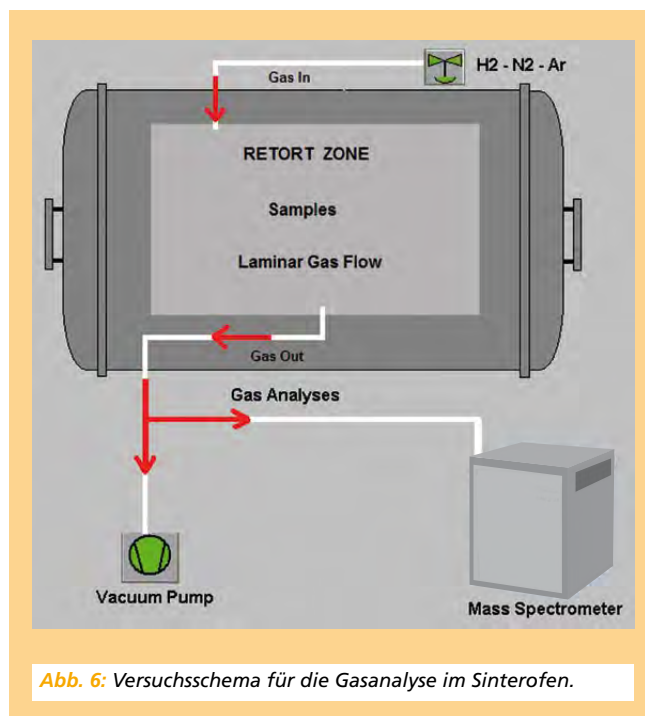


Abb. 6: Versuchsschema für die Gasanalyse im Sinterofen.

raturen gelegt werden und nur so lange gehalten werden, um die gewünschten Reaktionen stattfinden zu lassen. Dies kann auf die verarbeiteten Materialien und auch auf die Wandstärke der Bauteile angepasst werden. Die Qualität der Gasat-

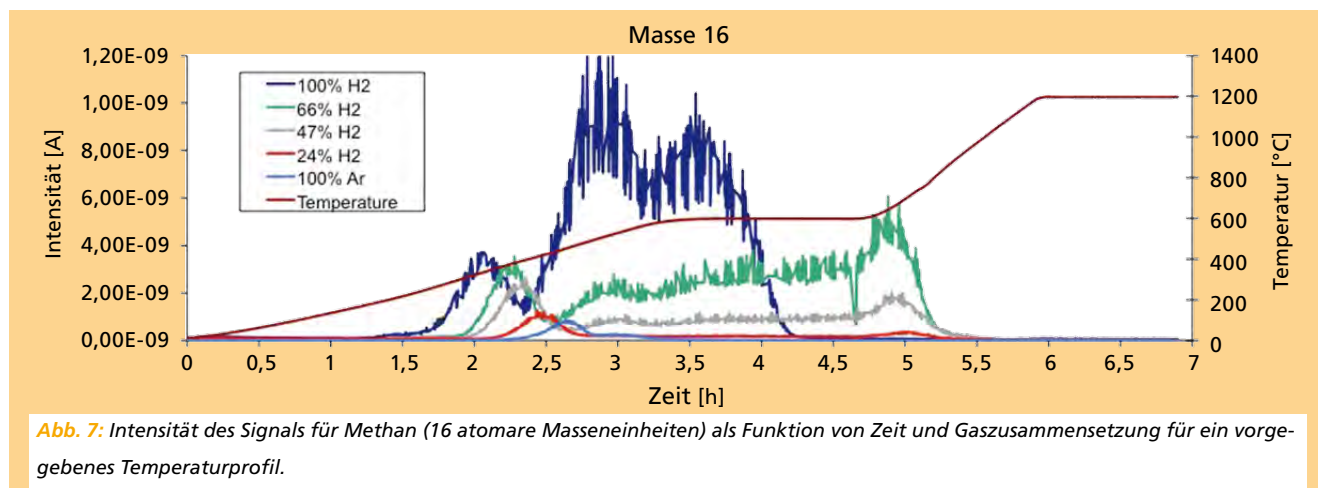


Abb. 7: Intensität des Signals für Methan (16 atomare Masseneinheiten) als Funktion von Zeit und Gaszusammensetzung für ein vorgegebenes Temperaturprofil.



mosphäre und ihr Einfluss auf die Bauteile bei verschiedenen Temperaturen kann geprüft und eingestellt werden.

### Zusammenfassung

Nach Beendigung von MATLAW haben mehrere Partner die Formfüllsimulation als wichtiges Instrument zur Teileentwicklung übernommen. Das Problem der Entmischung von Pulver und Binder wird in weiteren Kooperationen untersucht mit dem Ziel, auch diesen Effekt in die Simulation aufzunehmen. Die Nutzung der neuronalen Netze zur Qualitätssicherung beim Pulverspritzguss wird im Rahmen des MIM-Expertenkreises in der Produktion getestet und umgesetzt werden. Die Massenspektroskopie zur Analyse der Sinteratmosphäre hat deutliches Interesse geweckt und wird bereits bei der Auslegung neuer Öfen aufgenommen.

### Projektpartner

#### MATLAW

- Mimecri SA, Santander, Spanien
- Parmaco Metal Injection Molding AG, Fischingen, Schweiz
- ITB Precisiertechnik, Boxtel, Niederlande
- MIMITALIA srl, Vado Ligure, Italien
- Alliance SA, Saint Vit, Frankreich
- Imeta GmbH, Dresden
- Inmatec Technologies GmbH, Rheinbach
- Sigma Engineering GmbH, Aachen
- Institut für Kunststoffverarbeitung, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

#### Neuronale Netze

- algorithmica technologies GmbH, Bremen

## KONTAKT

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

*Dr. rer. nat. Thomas Hartwig*  
 Telefon +49 421 2246-156  
 thomas.hartwig@ifam.fraunhofer.de

### Institut

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

**1a** *Mitarbeiter des  
 Fraunhofer IFAM beim Metall-  
 pulverspritzguss.*

**1b** *Mitarbeiter des Fraunhofer  
 IFAM am Sinterofen.*



# SIMULATION – VIRTUELLE REALITÄT ZUR VORHERSAGE VON FORMFÜLLVORGÄNGEN BEI GIESSPROZESSEN

Die Computersimulation von Produkten und Prozessen spielt heute eine entscheidende Rolle in allen Phasen des Lebenszyklus eines Produkts. Sie findet in den unterschiedlichsten Fachgebieten, in den Natur-, Wirtschafts- und Ingenieurwissenschaften bis hin zur Medizin- und Umweltforschung Anwendung. Insbesondere für die Vorhersage der Prozesse im Bereich der Gießereitechnologie können die experimentellen Daten zur Optimierung genutzt werden.

## Warum werden Simulationsprogramme in der Gießereitechnologie eingesetzt?

Bei der Herstellung von Gussbauteilen handelt es sich immer um einen nicht sichtbaren Prozess. Das flüssige Metall, die sogenannte Schmelze, wird in eine geschlossene Form gegossen. Durch Abkühlen der Schmelze erstarrt diese und es entsteht ein Körper mit fester Form, das Gussteil. Durch den Einsatz von Berechnungs- und Simulationsprogrammen ist es möglich, das Gussteil, die Form und das Modell während der Formfüllung visuell darzustellen und den Strömungsverlauf sowie das Erstarrungsverhalten zu betrachten. Das Programm unterstützt sowohl den Entwickler als auch die Produktion dabei, Probleme zu identifizieren und Lösungen für die zunehmend umfassender werdenden Fragestellungen zu finden.

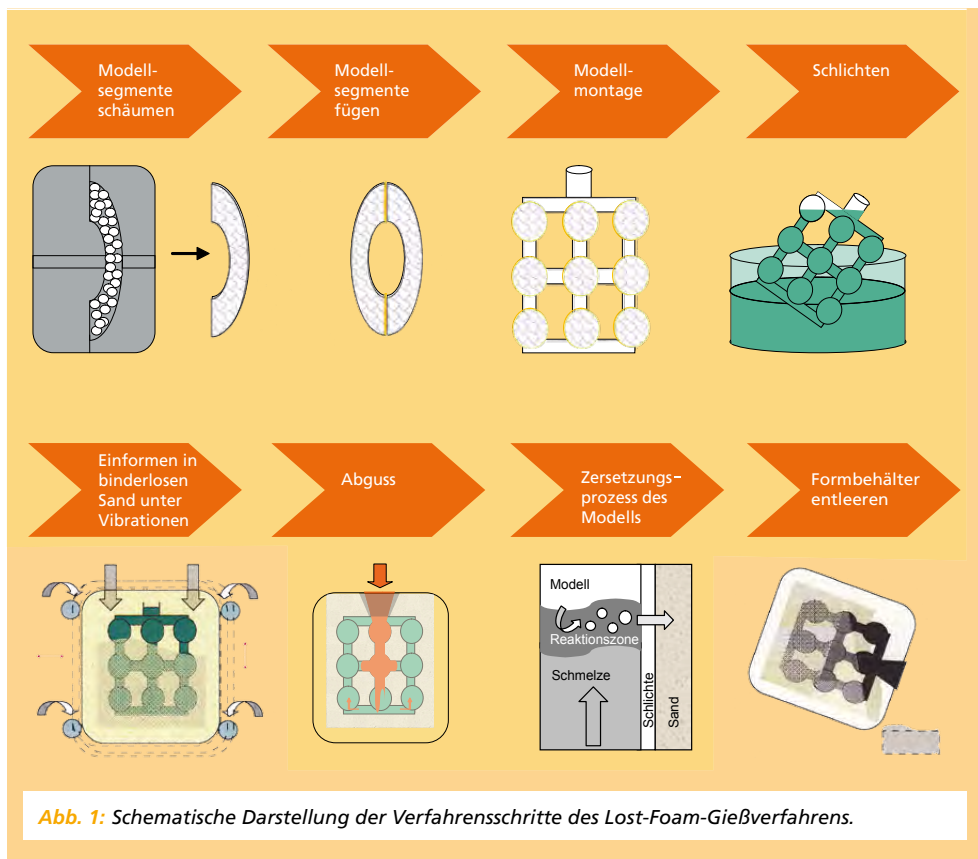
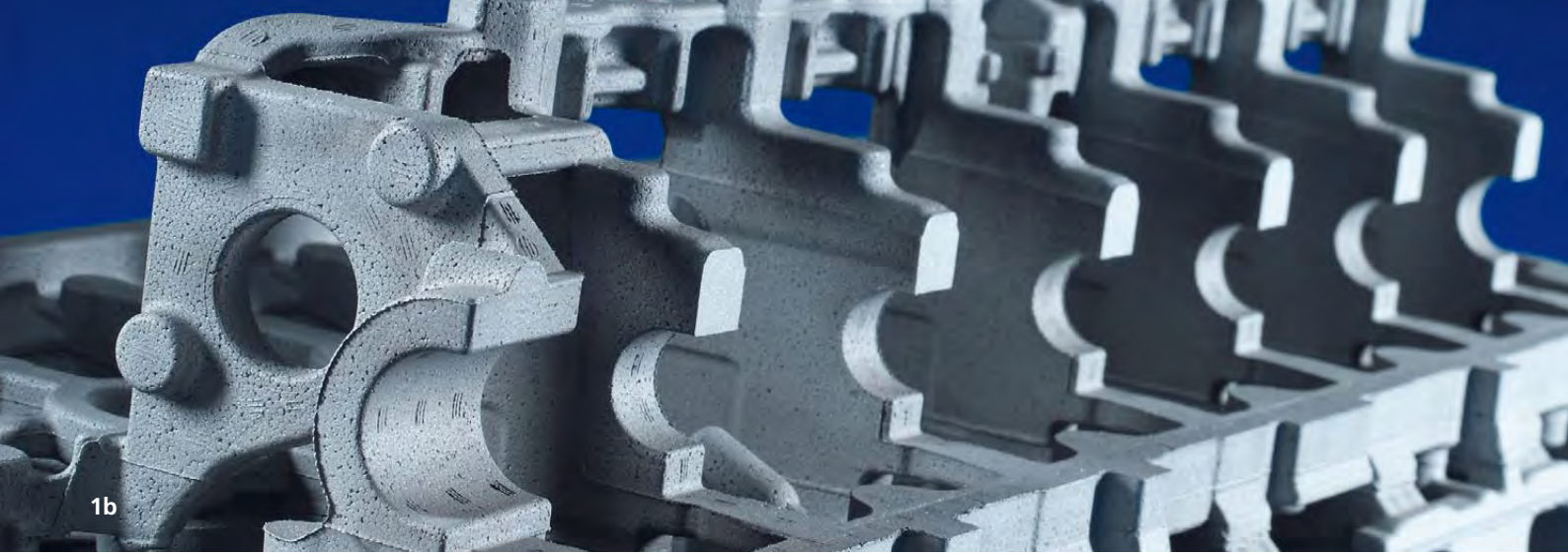
## Welche Gießverfahren werden verwendet?

Je nach Kosteneffizienz und Anforderungen an das spätere Gussteil werden unterschiedliche Gießverfahren eingesetzt.

Der Druck- und Kokillenguss wird für einfache Geometrien und zur Herstellung hoher Stückzahlen verwendet, wohingegen der Sandguss und das noch recht junge Lost-Foam-Gießverfahren für Gussteile mit komplexen Geometrien und Hinterschneidungen eingesetzt wird. Für eine realitätsnahe Simulation dieser Gießprozesse ist die Kenntnis über werkstoffspezifische Kennwerte und thermophysikalische Parameter (beispielsweise Gießtemperatur, Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität) notwendig.

## Die Herausforderung: Simulation der Formfüllung des Lost-Foam-Gießverfahrens mit hoher Übereinstimmung mit der Realität

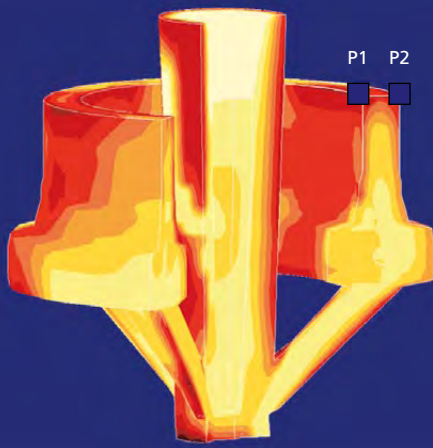
Beim Lost-Foam-Gießverfahren ist der Gießprozessablauf komplexer als bei den anderen genannten Gießverfahren, da nicht in einen leeren Hohlraum gegossen wird, sondern ein Polymerschaummodell (EPS-Modell) zur Formfüllung zersetzt werden muss. Das EPS-Modell, welches zuvor in einem zweiteiligen Schäumprozess hergestellt wurde, wird mit einer



dünnen keramischen Schicht, der sogenannten Schlichte, überzogen und in binderlosen Sand eingebettet. Während des Gießprozesses zersetzt die Wärme der Schmelze den Modellwerkstoff und füllt den entstandenen Formhohlraum detailgetreu aus. Voraussetzung für die vollständige Modellzersetzung ist daher eine ausreichende thermische Energie der Schmelze. Die gasförmigen und flüssigen Produkte, die bei der Zersetzung entstehen, werden über die Schlichte in den binderlosen Sand abgegeben (Abb. 1). Dies setzt voraus, dass die Schlichte und der Sand eine ausreichende Permeabilität besitzen. Es wird deutlich, dass die Funktionalität des Verfahrens im Gegensatz zu den herkömmlichen Gießverfahren von einer Vielzahl von Parametern beeinflusst wird (zum Beispiel Modelldichte, Modellverschweißung, Zersetzungscharakteristik

des Modellwerkstoffs, Permeabilität der Schlichte und des Formwerkstoffs, Formstoffverdichtung, Schmelztemperatur etc.). Bei Abweichung vom engen Parameterfenster kann es z. B. infolge von unzureichender Gasabfuhr zu Poren im Gussteil kommen.

Die Parameter und Kennwerte sind ebenfalls für die numerische Simulation des Lost-Foam-Gießprozesses notwendig, jedoch sind diese bisher nur teilweise oder gar nicht verfügbar. Dadurch weichen die simulativen Berechnungen von der realen Formfüllung erheblich ab. Simulationsprogramme für den Druck-, Kokillen- und Sandguss hingegen sind fest im Markt etabliert und werden schon seit längerer Zeit angewendet.



3

### Die Aufgabe: Ermittlung der wesentlichen werkstoffspezifischen Kenndaten als Parameter der Berechnungsmodelle für das Lost-Foam-Gießverfahren

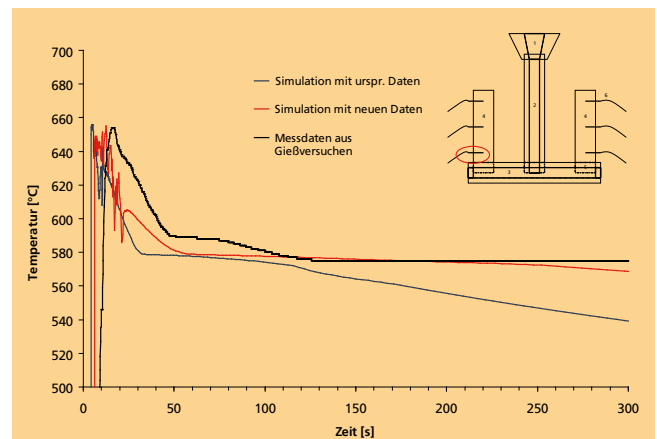
Die Kenntnis der thermophysikalischen Daten aller verwendeten Materialien (Gusslegierung, Sand, Schlichte, Modellwerkstoff) ist eine wesentliche Voraussetzung für die Genauigkeit des Simulationsergebnisses. Die wesentlichen Kenndaten sind:

- Permeabilität von Schlichte und Sand
- Wärmeleitfähigkeit von Modellwerkstoff, Schlichte und Sand
- spezifische Wärmekapazitäten von Modellwerkstoff und Sand
- Schmelzeenergie, die für die Modellzersetzung benötigt wird

Am Fraunhofer IFAM wurden im Rahmen eines durch das AiF geförderten Projektes (AiF-Nr.: N14635) diese thermophysikalischen Daten empirisch ermittelt. Da es derzeit keine geeignete Messtechnik zur quantitativen Bestimmung der Gasdurchlässigkeit von sehr dünnen Schlichteschichten und binderlosem Sand gibt, wurde am IFAM ein Gasdurchlässigkeitsmessstand entwickelt. Dieser ermittelt den Massedurchfluss über den Druckabfall eines laminaren Strömungselements und über die Viskosität des verwendeten Gases. Aus dem gemessenen Durchfluss wird die normierte Gasdurchlässigkeitszahl berechnet.

Zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit wurde ein Prüfstand entwickelt, mit dem ein Wärmestrom durch die Probe erzeugt und die Wärmeleitfähigkeit berechnet werden kann. Der Messaufbau eignet sich zum Messen von Festkörpern und Schüttgütern. Für die Simulation sind die Gasdurchlässigkeiten und Wärmeleitfähigkeiten von Schlichte und Sand ausschlaggebend.

Für eine realitätsnahe Simulation der Formfüllung ist die Kenntnis über die Energie, die für die Zersetzung des EPS-Modells benötigt wird, von sehr großer Bedeutung. Zur



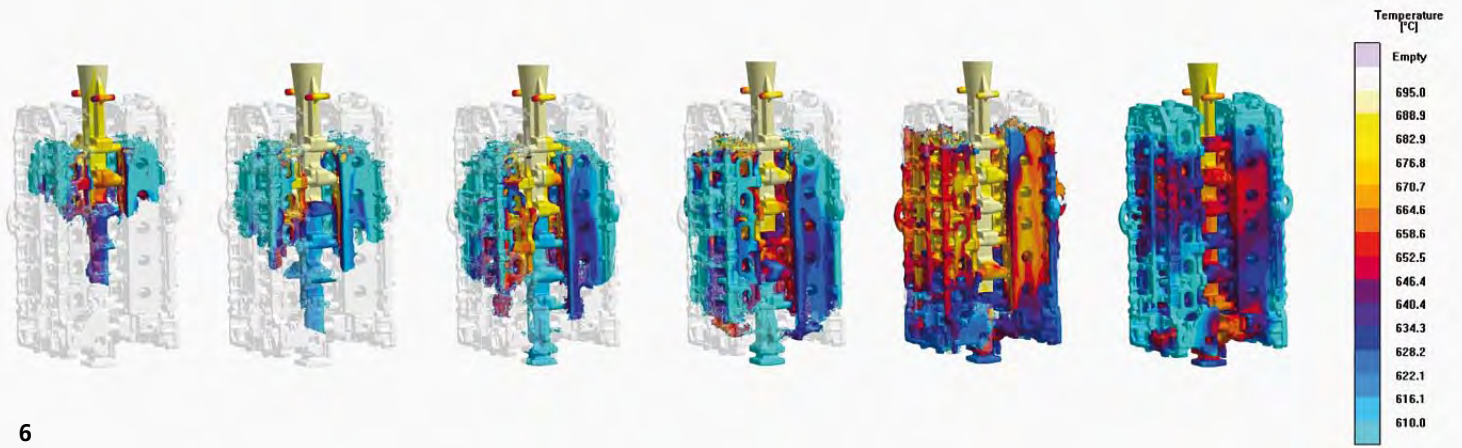
**Abb. 2:** Temperatur-Zeit-Verläufe einer Testgeometrie simuliert mit Originaldaten der Firma Magma sowie mit ermittelten Daten aus dem Projekt und Daten aus Gießversuchen.

Ermittlung dieser Energie wurden zwei unterschiedliche Vorgehensweisen verwendet. Zum einen wurden durch Gießversuche mit EPS-Proben unterschiedlicher Dichte auf der rechten und linken Seite die Wärmeverluste während der Formfüllung beim Gießen gemessen. Die daraus ermittelbare Energiedifferenz liefert die gesuchte Zersetzungsenthalpie für die entsprechende Differenzmasse des Polystyrols. Zum anderen wurden kalorimetrische Messungen (Differential Scanning Calorimetry – DSC) durchgeführt, um die Zersetzungsenthalpie des Modellwerkstoffs sowie die spezifischen Wärmekapazitäten von Sand und Modellwerkstoff zu ermitteln.

### Ergebnis: Neue Daten ermöglichen genauere Simulationsergebnisse mit verbesserter Übereinstimmung mit der Realität

Auf Basis der ermittelten Kenndaten, die bereits in bestehenden Simulationsmodelle implementiert wurden, sind Simula-





6

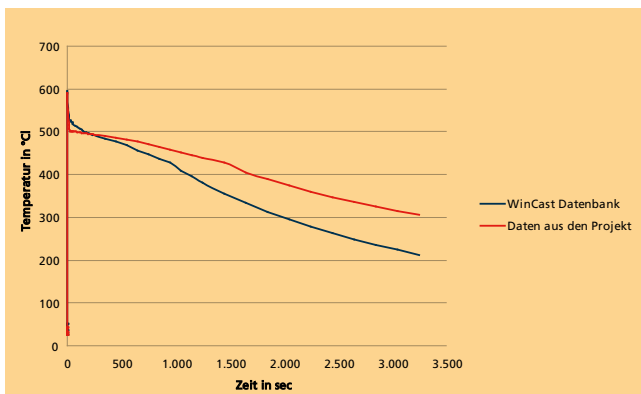


Abb. 4: Temperatur-Zeit-Diagramm für den Punkt P1.

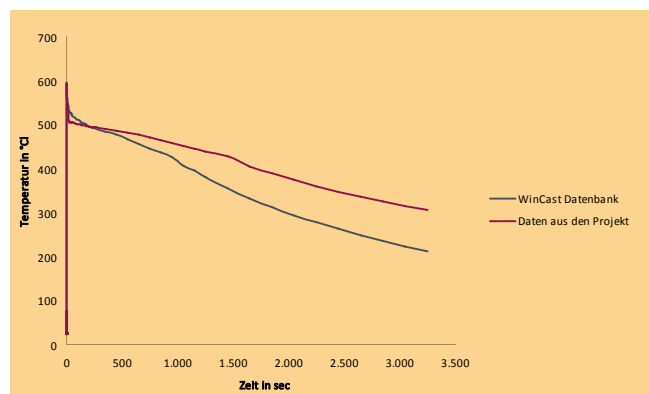


Abb. 5: Temperatur-Zeit-Diagramm für den Punkt P2.

tionsrechnungen der Temperaturverläufe der Formfüllung an Testgeometrien sowie Realbauteilen durchgeführt worden. Die Formfüllung und Erstarrung der in den Gießversuchen verwendeten Probengeometrie wurde sowohl mit den herkömmlichen als auch mit den neu ermittelten Daten numerisch simuliert. In Abbildung 2 sind die sich daraus ergebenden Temperaturverläufe an einem Messpunkt beispielhaft dargestellt. Es zeigt sich, dass das Langzeitverhalten durch die neu gewonnenen Daten (rote Kurve) wesentlich genauer abgebildet wird und eine verbesserte Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit den experimentell ermittelten Werten festgestellt werden konnte als mit den herkömmlichen Daten des Simulationsprogramms (blaue Kurve).

Im Kurzzeitverhalten während der Formfüllung ist trotz starker Fluktuationen, die sich aus numerischen Ungenauigkeiten in der zeitlichen und räumlichen Diskretisierung ergeben, in den simulierten Temperaturkurven ebenfalls eine Annäherung an die gemessenen Daten zu erkennen. Diese fällt allerdings nicht so stark aus wie im Langzeitverhalten.

Von den Firmen Magma und RWP wurden vergleichend sowohl mit konventionellen Literaturdaten als auch mit den neu ermittelten Kennwerten Simulationsrechnungen an realen

Bauteilen durchgeführt. Dabei wurden an den markierten Punkten vergleichende Temperaturkurven aufgenommen (Abb. 3). Diese zeigen analog zu den Ergebnissen der Testgeometrie Unterschiede insbesondere im Langzeitverhalten der Temperatur, was durch die präziser gemessenen Werte für die Wärmeleitfähigkeiten erklärt werden kann (Abb. 4 und 5).

Durch die Untersuchungen dieser Arbeit konnten die wesentlichen thermophysikalischen Kenndaten für die Simulation von Formfüllvorgängen ermittelt werden. Die Genauigkeit der damit berechneten Simulationsergebnisse konnte so entscheidend verbessert werden.

### Ausstattung am Fraunhofer IFAM

Am Fraunhofer IFAM in Bremen ist neben den herkömmlichen Gießverfahren die komplette Prozesskette des Lost-Foam-Gießverfahrens im Industriemaßstab integriert. Die Anlagentechnik umfasst die Dampferzeugung für die Modellherstellung, die Schäummaschinen, den sogenannten Vorschäumer und den Fertigteilautomaten sowie den Verdichtertisch und



eine Abgussstation. Es können Gießversuche und Experimente zur Sandverdichtung sowie zur Schäumtechnik durchgeführt werden. Die Modelle und Gussteile können außerdem durch umfangreiche Messtechnik auf Qualität geprüft werden.

## Auftraggeber

Gefördert wurde das Projekt unter dem Titel »Untersuchung zur mathematisch-physikalischen Modellbildung für die Simulation von im Lost-Foam-Verfahren herzustellenden Gussteilen« vom Verein Deutsche Gießereifachleute e. V. (VDG) von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF-Nr.: N14635).

## Projektpartner

- | RWP Gesellschaft beratender Ingenieure für die Berechnung und rechnerunterstützte Simulation GmbH
- | Magma Gießereitechnologie GmbH
- | BMW AG
- | Gussstahl Lienen GmbH & Co. KG
- | Albert Handtmann Metallgusswerk GmbH & Co. KG
- | Hellerhoff Produktentwicklung
- | Eisenwerke Düker GmbH & Co. KgaA
- | Fraunhofer IFAM, Bremen

## KONTAKT

*Dipl.-Ing. Franz-Josef Wöstmann*

*Telefon +49 421 2246-225*

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

*Dipl.-Ing. (FH) Daniela Schmidt M. Sc.*

*Telefon +49 421 2246-108*

*daniela.schmidt@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. rer. nat. Hermann Pleteit*

*Telefon +49 421 2246-199*

*hermann.pleteit@ifam.fraunhofer.de*

## Institut

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und*

*Angewandte Materialforschung IFAM,*

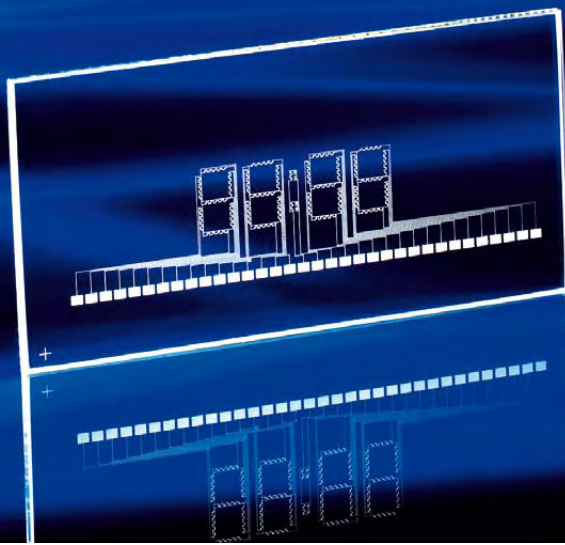
*Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Bremen*

**1a** *Komplexes EPS-Modell (Zylinderkopf BMW).*

**1b** *Komplexes Lost-Foam-Gussteil (Zylinderkopf BMW).*

**3** *Geometrie eines Realbauteils der Firma RWP.*

**6** *Numerische Simulation der Formfüllung (Zylinderkopf BMW).*



## STARKES LICHT AUS DEM DRUCKER

Das EU-Projekt MULTIPRO hat sich ein ehrgeiziges Ziel gesetzt: Leistungsfähigere und kostengünstigere LEDs für Beleuchtung, Automotive und Displays dank multifunktionaler Materialien. Die Besonderheit: Die Materialien werden einfach gedruckt.

### Die Herausforderung: Effiziente multifunktionale Materialien für LEDs

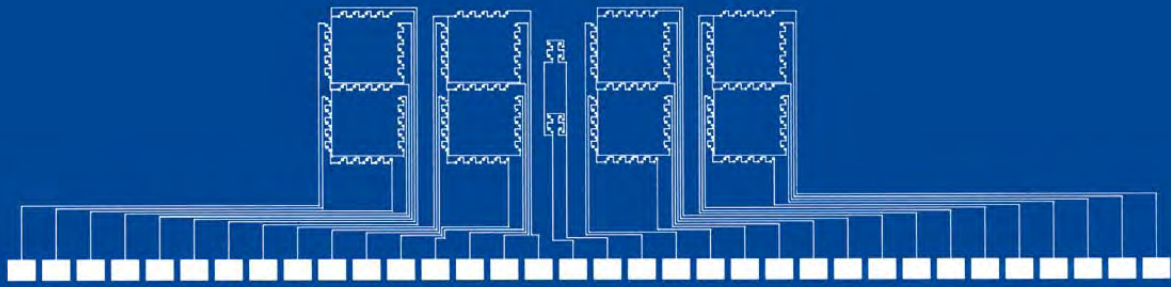
Leuchtdioden finden in immer mehr Anwendungen ihren Platz, da sie gegenüber herkömmlichen Glühlampen eine Reihe von Vorteilen bieten. LEDs werden im Vergleich zu herkömmlichen Glühlampen kaum warm im Betrieb, haben eine längere Lebensdauer und einen besseren Wirkungsgrad.

Im Rahmen des EU-Projekts MULTIPRO soll die Effizienz von LEDs mithilfe multifunktionaler Materialien verbessert und gleichzeitig durch die Verwendung einer neuartigen Drucktechnik die Herstellung flexibler und kostengünstiger werden. Hierzu werden elektrisch leitfähige Materialien zum Drucken von Leiterbahnen zur Ankontaktierung der LEDs sowie multifunktionale Materialien mit unterschiedlichen Nanopartikeln zur Verkapselung der LEDs entwickelt (Abb. 2). Durch den Einsatz von Nanopartikeln kann der Brechungsindex der Materialien erhöht und so die Lichtemission der LEDs verbessert werden. Gleichzeitig ermöglichen die Nanopartikel eine Wellenlängenmodulation des Lichts, sodass z. B. eine blaue LED weißes Licht erzeugt. Die Applikation der multifunktionalen Materialien erfolgt mittels einer maskenlosen Drucktechnologie (Aerosol Jet®). Parallel zu den praktischen Arbeiten wird das Verhalten der multifunktionalen Materialien mithilfe von Molecular Modelling simuliert.

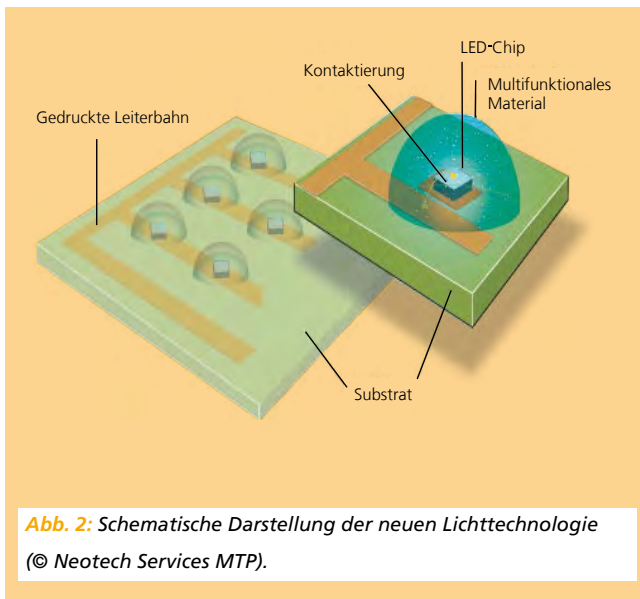
Insgesamt sind neun Partner aus vier Ländern am Projekt beteiligt, die die gesamte Prozesskette von der Simulation bis zur Herstellung und Applikation abdecken. Darunter sind verschiedene Universitäten, Forschungseinrichtungen sowie kleine und mittelständische Unternehmen. Mögliche Anwendungsgebiete für die neuen LEDs sind Automotive, allgemeine Beleuchtung und Displays. Das Fraunhofer IFAM arbeitet im Rahmen von MULTIPRO an der Applikation der multifunktionalen Materialien mittels Aerosol-Jet®-Technologie.

### Die Aufgabe: Entwicklung von Prozess-Know-how und Materialien

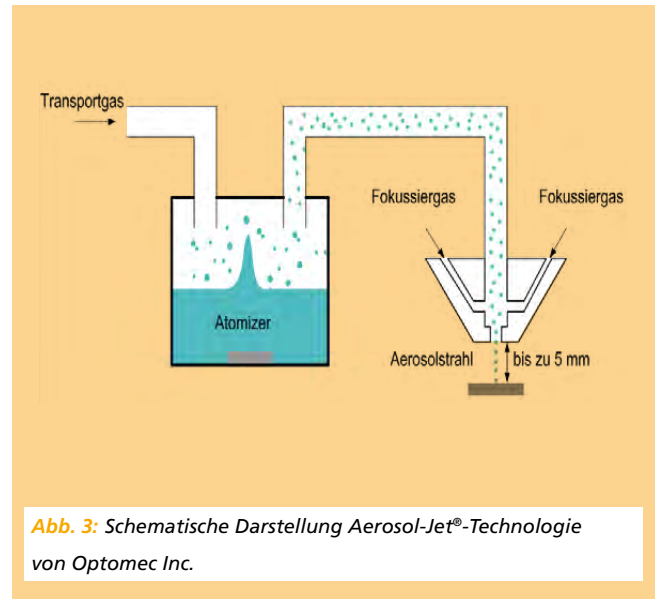
Die Verwendung einer maskenlosen Drucktechnologie ermöglicht das flexible Aufbringen der multifunktionalen Materialien auf unterschiedliche Oberflächen. Hierbei wird zunächst das Material in einem sogenannten »Atomizer« zu einem Aerosol zerstäubt. Dieses wird zum Druckkopf transportiert und anschließend fokussiert (Abb.3). Das Aerosol-Jet®-Verfahren erlaubt die maskenfreie Applikation von Materialien mit minimalen Strukturbreiten von weniger als 10 Mikrometern. Nachdem die Materialien verdruckt sind, werden sie thermisch aktiviert, um die gewünschten Eigenschaften, wie z. B. elektrische Leitfähigkeit oder Aushärtung eines Polymers, zu erzielen.



4



**Abb. 2:** Schematische Darstellung der neuen Lichttechnologie  
(© Neotech Services MTP).



**Abb. 3:** Schematische Darstellung Aerosol-Jet®-Technologie  
von Optomec Inc.

Für die Ankontaktierung der LEDs sind elektrisch leitfähige Materialien nötig. Hierzu werden verschiedene Silber- sowie Silber-Kupfer-Tinten entwickelt und auf das Aerosol-Jet®-Verfahren angepasst. Die Materialien zur Verkapselung der LEDs bestehen aus einem Hybridpolymer, in den zusätzlich noch Nanopartikel eingearbeitet werden, um die Wellenlänge des Lichts zu verändern.

von 70 Prozent im Vergleich zum reinen Silber erzielt werden. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde eine gedruckte 7-Segment-Anzeige für eine Digitaluhr auf transparentem Substrat hergestellt (Abb. 1, 4 und 5). Des Weiteren wurden Hybridpolymere mit einem hohen Brechungsindex von 1,62 bei 620 Nanometern entwickelt und zur Verkapselung von LEDs eingesetzt.

### Das Ergebnis: gedruckte 7-Segment-Anzeige auf transparentem Substrat

Im Rahmen von MULTIPRO konnten erfolgreich verschiedene multifunktionale Materialien entwickelt und auf das Druckverfahren angepasst werden. Es wurden elektrisch leitfähige Tinten mit unterschiedlichen Metallgehalten sowie unterschiedlicher Viskosität evaluiert und mittels Aerosol-Jet®-Technologie verdruckt. Nach der Optimierung der Prozessparameter konnte eine maximale elektrische Leitfähigkeit

### Auftraggeber

Das Projekt wurde von der Europäischen Union im 6. Rahmenprogramm gefördert.

### Projektpartner

- ▮ Centro Ricerche Plast-Optica, Italien
- ▮ Università degli Studi di Padova, Italien
- ▮ Università degli Studi di Trieste, Italien
- ▮ E. Hala Laboratory of Thermodynamics, Tschechische Republik
- ▮ Neotech, Deutschland
- ▮ Fraunhofer IFAM, Deutschland
- ▮ Cima Nano Tech Israel, Israel
- ▮ Sol-Gel Technologies Ltd., Israel

## KONTAKT

*Dr. rer. nat. Volker Zöllmer*

*Telefon +49 421 2246-114*

*volker.zoellmer@ifam.fraunhofer.de*

*Dipl.-Ing. Marcus Maiwald*

*Telefon +49 421 2246-124*

*marcus.maiwald@ifam.fraunhofer.de*

### Institut

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

- 1 | 4 Aerosolgedruckte 7-Segment-Anzeige.
- 5 Gedruckte 7-Segment-Anzeige für Digitaluhr in Zusammenarbeit mit Centro Ricerche Plast-Optica.

# MIT NANOSKALIGEN KATALYSATOREN GELINGEN NEUE ANSÄTZE ZUR VERRINGERUNG DER EMISSIONEN IN VERBRENNUNGSMOTOREN

Die Anforderungen an ein umweltfreundliches Auto sind hoch: Es muss ressourcenschonend gefertigt werden, mit geringem Kraftstoffverbrauch fahren und dabei wenig Schadstoffe in die Luft abgeben. Zur Reduzierung der Schadstoffemissionen wurden in dem Kompetenzfeld Funktionsstrukturen katalytisch aktive Werkstoffe entwickelt, die zur Rußminderung beitragen.

## Das Automobil und die Zukunft

Ein wichtiges Thema unserer Zeit ist die zukünftige Entwicklung der individuellen Mobilität. Durch die gerade beginnende Elektromobilität kann der Verbrauch fossiler Brennstoffe und damit einhergehend die Belastung unserer Umwelt reduziert werden. Die aktuelle Initiative der Bundesregierung verspricht, dass bis 2020 etwa eine Million Elektrofahrzeuge auf unseren Straßen fahren können, wodurch Deutschland zum Leitmarkt dieser Technologie werden soll. Bei derzeit ca. 47 Millionen angemeldeten Fahrzeugen allein in Deutschland wird deutlich, dass es voraussichtlich noch mehrere Generationen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren geben wird, bis sich die Elektromobilität durchsetzen kann. Es ist also insbesondere in Hinblick auf die steigende Zahl an Fahrzeugen und die gleichzeitig knapper werdenden fossilen Brennstoffe essenziell, dass Verbrennungsmotoren weiter verbessert werden, um auch hier den Verbrauch und die Umweltbelastung so weit wie möglich zu verringern.

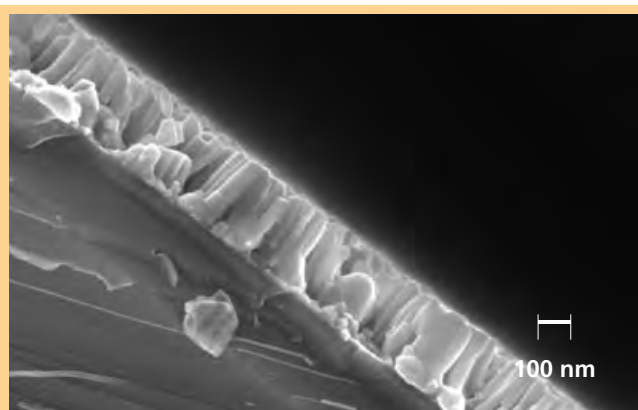
Eine Möglichkeit, die Umweltverträglichkeit eines Verbrennungsmotors zu verbessern, besteht darin, den Verbrauch zu

reduzieren oder den Schadstoffausstoß zu verringern. Im Rahmen des Förderprogramms »WING – Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft« war das Verbundvorhaben »NanoKat« Teil der Leitinnovation »NanoMobil«. Ziel des Verbundprojekts war die Entwicklung, Herstellung und Erprobung neuer, nanostrukturierter, katalytisch aktiver Werkstoffe zur Reduzierung der Schadstoffemissionen von Verbrennungskraftmaschinen. Diese Werkstoffe sollen durch Anwendung in der Abgasnachbehandlung und ggf. auch im Verbrennungsmotor eine deutlich verbesserte Effizienz der Rußminderung in einem weiten Temperaturbereich ermöglichen und damit einen wesentlichen Beitrag zu einem umweltgerechten Verkehr leisten. Im Rahmen dieses Projekts wurden Kobalt und Platin als katalytisch aktive Materialien sowie  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2$  und  $\text{SiO}_2$  als Trägermaterialien untersucht.

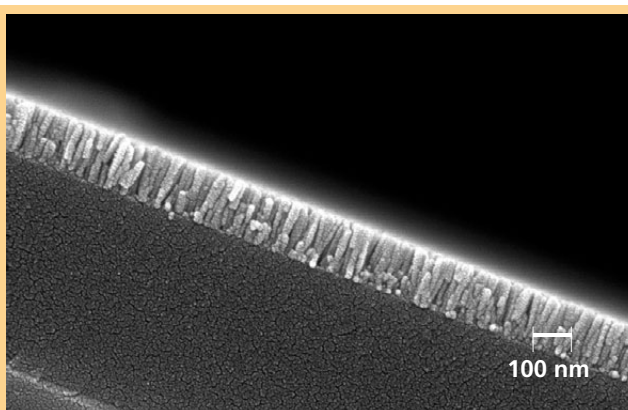
## Erstes Ziel: Verbesserung vorhandener Katalysatorsysteme durch nanoskalige Beschichtungen

Für das konkrete Ziel, den Ausstoß von Rußpartikeln aus Diesel-Pkw weiter zu vermindern, wurde das bereits beste-





**Abb. 1a:** Kobaltschicht, getempert bei 400 °C, 1 Stunde unter Stickstoffatmosphäre, deutliche Versinterung der Schicht erkennbar.



**Abb. 1b:** Kobalt-Siliziumdioxid-Komposit, getempert bei 400 °C, 1 Stunde unter Stickstoffatmosphäre, kein Temperatureinfluss erkennbar.

hende Konzept des Dieselpartikelfilters (DPF) genutzt. Dabei sollte mittels katalytisch aktiver Oberflächen die notwendige Regeneration der Partikelfilter bereits bei Abgastemperaturen unterhalb von 400 °C eingeleitet werden. Bisherige Systeme benötigen Temperaturen von ca. 600 °C und damit mehr Energie, die durch die Verbrennung von Treibstoff bereitgestellt wird. Hinsichtlich des Rußabbrands sollte zudem die Abbrandrate im Vergleich zu bestehenden Systemen erhöht werden. Dieselpartikelfilter aus Siliziumkarbid wurden hierzu mit nanoskaligen oxidischen Trägermaterialien in Kombination mit katalytisch aktiven, nanoskaligen Metallen beschichtet. Die Beschichtung wurde mittels Sol-Gel-Verfahren aufgetragen. Derartige Lösungskonzepte versprechen durch die Vorteile der Nanostruktur eine Reduzierung der Aktivierungsenergie und damit ein Herabsetzen der für einen optimalen Abbrand notwendigen Temperaturen.

Dennoch müssen die Katalysatoren Temperaturen um 400 °C standhalten. Im Rahmen des Projektes wurden zunächst reine Katalysatorschichten abgeschieden und unter einsatznahen Bedingungen untersucht. Die Schichten konnten den auftretenden Temperaturen nicht standhalten und sind versintert,

was zu einer signifikanten Verringerung der spezifischen Oberfläche und damit der katalytischen Aktivität führt (Abb. 1a).

Dies konnte durch den Einsatz von Katalysator-Metalloxid-Kompositen, das heißt Verbindungen von Platin oder Kobalt mit  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2$  sowie  $\text{SiO}_2$ , verhindert werden. Die Metalloxide dienen der Erhöhung der Stabilität der katalytischen Schichten, da sie die Versinterung der Nanopartikel verhindern. Unter gleichen Versuchsbedingungen ist keine Versinterung zu erkennen, das heißt, die Schichten bleiben unter gegebenen Bedingungen stabil (Abb. 1b).

Untersuchungen im Rahmen dieses Projekts haben gezeigt, dass die Rußabbrandtemperatur durch den Einsatz der entwickelten Materialien zur katalytischen Rußoxidation deutlich herabgesenkt werden konnte. Es folgte die Übertragung der evaluierten Materialien auf anwendungsnahe Demonstratorbauteile entsprechend derzeit eingesetzter Dieselpartikelfilter, an denen umfangreiche Funktionsuntersuchungen an Motorprüfständen der Industriepartner durchgeführt wurden.

## Zweites Ziel: Verbesserung des Gesamtsystems Abgasstrang

Unter wesentlicher Beteiligung des Fraunhofer IFAM wurde ein neuartiger Ansatz zur Emissionsminimierung verfolgt. Hierbei sollen dünne, katalytisch aktive Schichten direkt im Motorraum, also auf dem Kolbenboden bzw. im verbrennungsraumnahen Bereich, appliziert werden. Durch die Applikation dieser Schichten nahe der Treibstoffverbrennung sollen hierbei entstehende Schadstoffe teilweise abgebaut werden, wodurch der DPF entlastet und somit der Treibstoffverbrauch weiter gesenkt wird, da Abbrandzeiten weniger häufig durchgeführt werden müssen.

An diese Schichten besteht zusätzlich zur thermischen Stabilität eine große Anforderung an die mechanische Stabilität, da die Einspritzung und Verbrennung des Treibstoffes in direktem Kontakt mit dem Kolbenboden passiert.

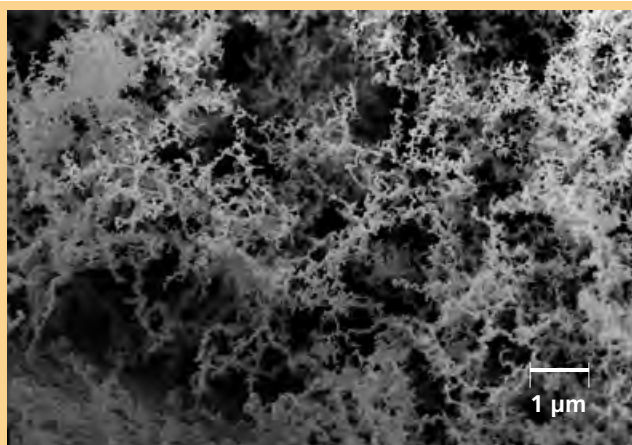
Im Falle von katalytischen Schichten ist generell eine möglichst große spezifische Oberfläche gewünscht. Solche hochporösen Schichten weisen jedoch eine relativ geringe mechanische Stabilität auf, weshalb sie in technischen Anwendungen zu meist nicht eingesetzt werden können. Dichte Schichten sind

mechanisch stabil, haben jedoch eine zu kleine spezifische Oberfläche für die heterogene Katalyse. Eine gute Lösung ist eine säulenförmig gewachsene Schicht, die eine relativ große Oberfläche aufweist und mechanisch stabiler ist als eine hochporöse Schicht. Ein geeignetes Verfahren, Schichten mit solchen Anforderungen herzustellen, ist das Magnetronputtern.

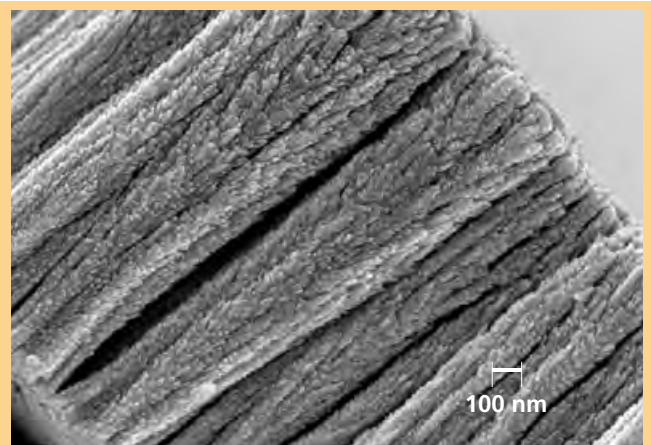
## Der Prozess: Fertigung maßgeschneiderter katalytischer Schichten

Am Fraunhofer IFAM wurden katalytisch aktive Materialien durch physikalische Abscheidungsprozesse im Vakuum (Physical Vapour Deposition) mittels Magnetronputtern hergestellt. Bei diesem Verfahren werden Argonionen über elektrische und magnetische Felder auf das zu bearbeitende Material beschleunigt, welches somit physikalisch in die Gasphase gebracht und auf den zu beschichtenden Substraten homogen abgeschieden wird (Abb. 2).

In Abhängigkeit der Sputterparameter ist es hierbei möglich, die Porosität der Schichten zwischen 0 und 95 Prozent zu



**Abb. 3:** Kobalt, hochporöses Schichtwachstum, Sputterdruck 0,8 mbar, Sputterleistung 400 W, Sputterzeit 120 Minuten.



**Abb. 4:** Platin, säulenförmiges Schichtwachstum, Sputterdruck 0,2 mbar, Sputterleistung 300 W, Sputterzeit 20 Minuten.

variieren, also sowohl dichte als auch hochporöse Schichten zu erzeugen.

Die Schichten können folglich mit dem eingesetzten Prozess maßgeschneidert für die jeweilige Anwendung angepasst werden. Durch das sogenannte Co-Sputtern können spezielle Legierungen oder Composite aus unterschiedlichen Materialien erzeugt werden, wie sie hier im Projekt getestet wurden. Auf diese Weise können z. B. Sinterinhibitoren in die katalytischen Schichten eingebracht werden, die die thermische Stabilität der katalytischen Beschichtungen wesentlich erhöhen.

Zur Untersuchung des Einflusses katalytischer Schichten auf die Kinetik von Verbrennungsvorreaktionen stehen optische Messungen in einer Dieselmotorkammer aus. Solche Schichten haben ein hohes Potenzial für die Applikation im Brennraum und auf brennraumnahen Bauteilen, z. B. zur Vermeidung kohlenstoffhaltiger Ablagerungen, und wurden zusammen mit dem Verfahren zur Herstellung dieser Schichten als Patent angemeldet.

## Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine deutliche Verringerung der Abbrandtemperatur bei gleicher Effektivität im Dieselpartikelfilter erreicht. Es muss folglich weniger Treibstoff für die Regeneration eingespritzt werden, was sich direkt positiv auf den Verbrauch der Motoren und somit auf die Umweltbelastung auswirkt. Durch die geringeren Temperaturen beim Rußabbrand ergibt sich zusätzlich eine höhere Standzeit der betreffenden Komponenten. Ein wichtiger Faktor dieser Systeme ist ihre Stabilität. Der Wirkungsgrad der DPF lag nach mehreren Zyklen unverändert bei 100 Prozent.

Bei der erfolgreichen Applikation einer Katalysatorschicht im Verbrennungsraum kann die Entstehung der Schadstoffe eingedämmt werden, wodurch die Umweltbelastung durch den Verbrennungsprozess verringert wird. Zusätzlich fällt die

Belastung des DPF geringer aus, wodurch dieser seltener regeneriert werden muss. Somit kann mit solchen Schichten die Effizienz des Gesamtsystems Abgasstrang weiter gesteigert und der Treibstoffverbrauch gesenkt werden.

## Förderung

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie unter den FKZ 19U5028A/19U5028E gefördert.

## Projektpartner

- Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig
- Volkswagen AG, Wolfsburg
- Evonik Degussa GmbH, Frankfurt am Main
- J. Eberspächer GmbH & Co. KG, Esslingen
- Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Technische Chemie
- Universität Heidelberg, Physikalisch-Chemisches Institut

# KONTAKT

*Dipl.-Ing. Torben Seemann*

*Telefon +49 421 2246-126*

*torben.seemann@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. rer. nat. Volker Zöllmer*

*Telefon +49 421 2246-114*

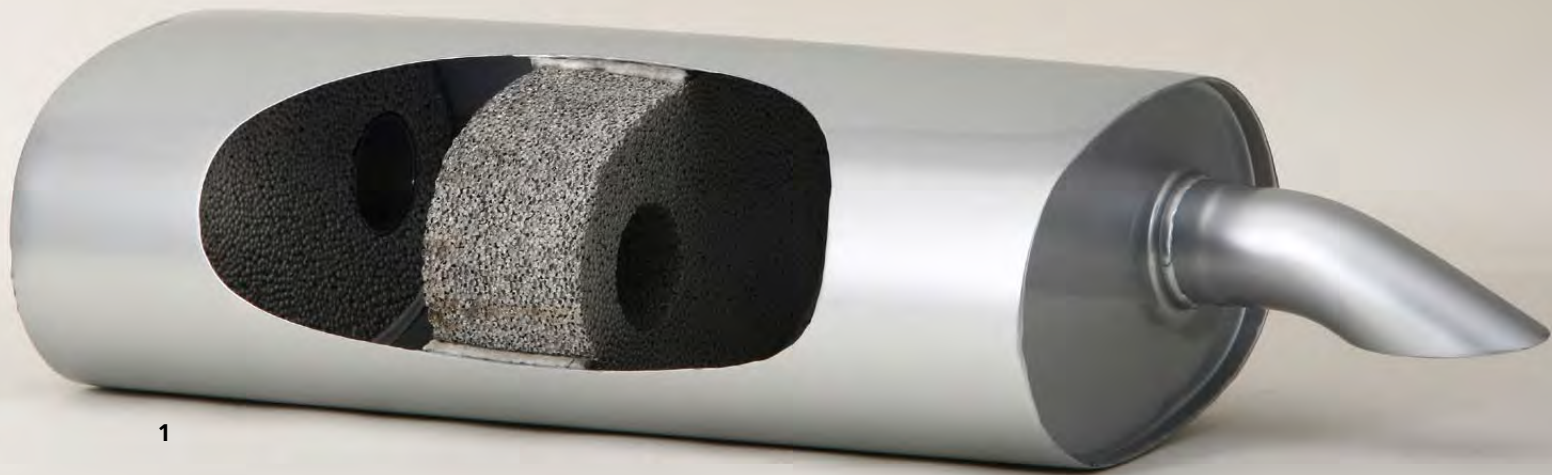
*volker.zoellmer@ifam.fraunhofer.de*

## Institut

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

*Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Bremen*

- 1 *Mittels Magnetronsputtern hergestellte, funktionelle Dünnschichten.*
- 2 *Magnetronsputteranlage.*



# NEUE TECHNOLOGIEN FÜR ZELLULARE METALLISCHE STRUKTUREN

Ob zellulare Siebdruckstrukturen, 3-dimensionale Drahtstrukturen oder poröse metallische Papiere – die Palette an Entwicklungen im Bereich der zellularen metallischen Werkstoffe wird stetig mit innovativen Ideen und Ansätzen ausgeweitet.

## Situation

Im Institutsteil Dresden des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung werden seit mehr als zehn Jahren zellulare metallische Werkstoffe entwickelt. Gestartet wurde zunächst mit hochporösen metallischen Faserstrukturen. Die hierzu benötigten feinen Fasern wurden mittels sogenannter Schmelzextraktionstechnik selbst hergestellt. Diese unikale Technologie erlaubt z. B. die Herstellung von speziellen Fasern mit rascherstarrer Struktur oder Faserzusammensetzungen, die mit konventionellen Methoden, wie Strehlen oder Drahtziehen, nicht gefertigt werden können (z. B.  $\text{Ni}_3\text{Al}$ ).

Metallische Faserstrukturen waren Gegenstand zahlreicher nationaler wie auch internationaler Forschungs- und Entwicklungs-(FuE-)Verbundprojekte. So wurden Filterkerzen zur Heißgasfiltration für Elektrolichtbögenöfen (EU-Projekt POMFICO) oder Wärmetauscher für Sterling-Maschinen (Wachstumskern InnoZellMet) entwickelt und erfolgreich getestet.

Sehr intensiv ist in den letzten Jahren an der Entwicklung von metallischen Hohlkugeln und Hohlkugelstrukturen gearbeitet worden. In zahlreichen FuE-Projekten wurden sowohl die Herstellungstechnologie als auch anwendungsrelevante Demonstratoren bzw. Prototypen aus Hohlkugelstrukturen entwickelt

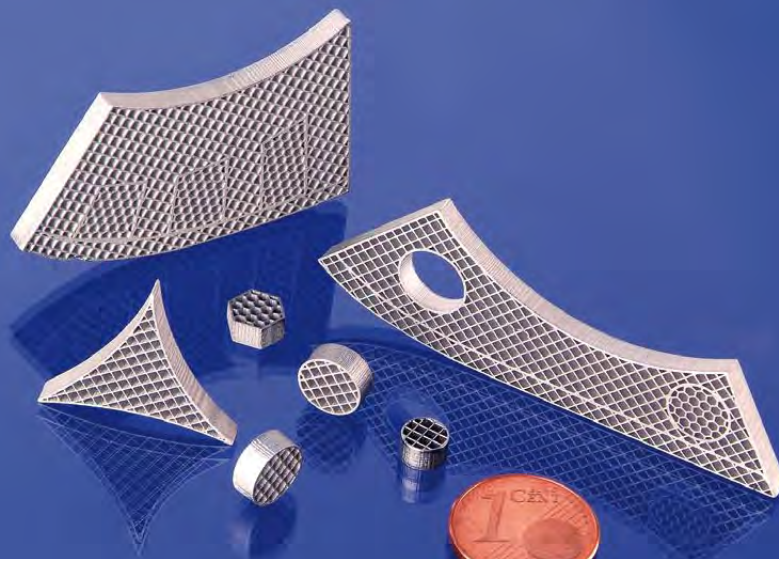
und getestet. Besonders effizient sind Hohlkugelstrukturen als schalldämpfender Werkstoff. So wurden Schalldämpfer auf Hohlkugelbasis für Pkw-Anwendungen untersucht (Abb. 1). Fahrzeugtests mit Laufleistungen bis nahezu 100 000 Kilometer konnten erfolgreich absolviert werden. Ein wesentlicher Vorteil konnte auch in einer deutlichen Reduzierung des Gesamtgewichtes des Schalldämpfers von ca. 25 bis 30 Prozent gegenüber dem Stand der Technik aufgezeigt werden.

Aufgrund des hohen Anwendungspotenzials von metallischen Hohlkugelstrukturen hat der langjährige Industriepartner des Instituts, die Firma Glatt Systemtechnik Dresden, die Tochterfirma »hollomet« gegründet.

Jüngste Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Hohlkugelstrukturen werden zu keramikpartikelgefüllten Hohlkugeln durchgeführt mit dem Ziel, die Körperschalldämpfung zu verbessern (siehe hierzu auch Projektbericht von U. Jehring/ T. Hutsch, Seite 66).

Besonders erfolgreich haben sich in den letzten fünf Jahren die FuE-Arbeiten auf dem Gebiet der offenzelligen pulvermetallurgischen Schäume entwickelt. Insbesondere mit titanbasierten offenzelligen Schäumen laufen Entwicklungsarbeiten zu bioanalogen Knochenstrukturen. Die Herausforderung hierbei ist, eine Technologie zu realisieren, mit der es möglich ist, die Verunreinigungsgehalte von Kohlenstoff, Sauerstoff





und Stickstoff deutlich unter 0,5 Gewichtsprozent zu senken. Dadurch wird gewährleistet, dass die mechanischen Eigenschaften, hier insbesondere die Duktilität, den Erfordernissen entsprechen.

Bei ersten Implantationsversuchen am Tiermodell (Schaf) an den Unikliniken LMU München und Dresden (Abb. 2) konnte die notwendige Performance hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften ebenso wie das Einwachsen vom natürlichen Knochengewebe einschließlich der Blutgefäße nachgewiesen werden.

Auf dem Gebiet der zellularen Siebdruckstrukturen wurde innerhalb der letzten Jahre die technische/technologische Basis geschaffen. Insbesondere sind umfangreiche Untersuchungen zum rheologischen Verhalten der metallpulverbasierten Suspensionen für den Druckvorgang durchgeführt worden.

Es konnte der Nachweis erbracht werden, dass mit diesem Verfahren bei Kenntnis der technologischen Grundzusammenhänge sehr unterschiedliche Werkstoffe, wie reine Metalle, Legierungen und auch Intermetallics, erfolgreich zu komplexen und hochpräzisen Strukturen verdruckt werden können (Abb. 3).

## Forschungspotenzial und aktuelle Arbeiten

### Dreidimensionale Drahtstrukturen

Zellulare Werkstoffe auf der Basis von dreidimensionalen Drahtstrukturen stellen eine neue Variante von zellularen Strukturen dar. Es handelt sich hierbei um periodisch räumliche Stabstrukturen. Im großtechnischen Maßstab sind solche Strukturen als Tragwerkstrukturen in der Architektur z. B. bei Brücken, Häusern oder Baugerüsten in der Anwendung. In der einschlägigen Fachliteratur werden bisher verschiedene verfahrenstechnische Ansätze wie Stanzen, Gießen oder Streckmetallumformung beschrieben. Diese Verfahren sind

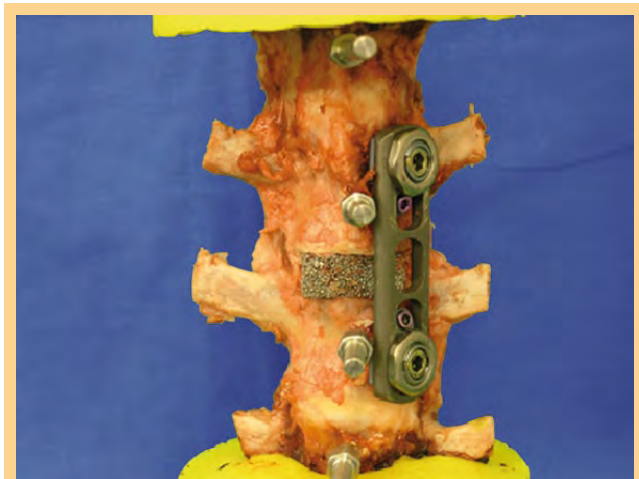


Abb. 2: Implantierter offenzelliger Ti-Schaum (Tiermodell Schaf).

jedoch bisher nicht über das Laborstadium hinausgekommen. Der technologische Ansatz im Rahmen eines FuE-Verbundprojektes zur Herstellung von 3-D-Drahtstrukturen besteht darin, mittels spiralförmig vorgeformter Drähte und entsprechender Anlagentechnik diese Drähte in x-, y- und z-Richtung so zu verarbeiten, dass eine räumliche Drahtstruktur entsteht (Abb. 4).

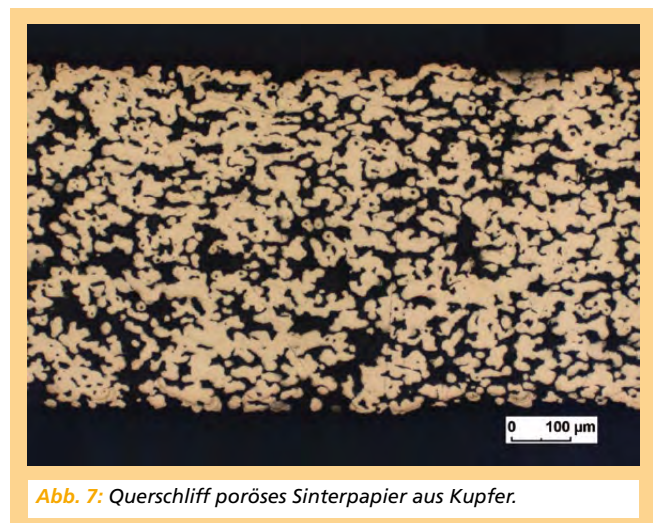
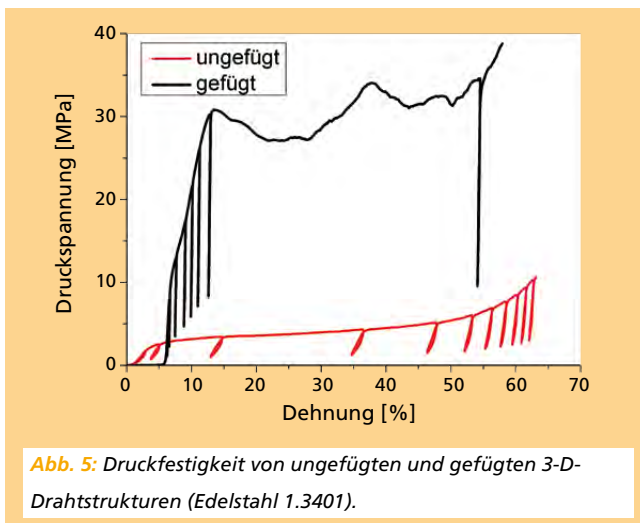
Eine weitere Variante stellt die textile Verarbeitung von Metalldrähten dar. In Voruntersuchungen an der TU Dresden, Institut für Textiltechnik, konnte gezeigt werden, dass sich hiermit aber nur Stahlröhren mit einem Durchmesser von weniger als 0,3 Millimeter erfolgreich zu Drahtstrukturen verarbeiten lassen. Weiterhin sind für diese Verfahrensvariante spezifische Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften (Zugfestigkeit, Dehngrenze, Dehnung) der zu verarbeitenden Drähte gegeben.

Neben der Herstellung der räumlichen Drahtstruktur ist es in einem zweiten Verfahrensschritt notwendig, diese stofflich in den Drahtberührungspunkten zu fügen. Dies kann den späteren Anforderungen und Einsatzgebieten entsprechend z. B. durch Löten oder Kleben erfolgen. Aus Abbildung 5 geht der





4



signifikante Einfluss des stofflichen Fügevorgangs, hier Lötten, auf die Druckfestigkeit der Drahtstruktur hervor.

Räumliche Drahtstrukturen zeichnen sich durch ein hohes Maß an Reproduzierbarkeit und damit Homogenität aus. Es sind berechenbare zelluläre Strukturen. Entsprechende Simulationsrechnungen auf der Basis entwickelnder Modelle werden derzeit im Rahmen eines laufenden Projektes durchgeführt. 3-D-Drahtstrukturen stellen Leichtbauwerkstoffe dar, die sich durch ein extrem niedriges spezifisches Gewicht auszeichnen (z. B. von  $0,05 \text{ g/cm}^3$ ), welches mit anderen bisher existierenden Technologien zur Herstellung von metallischen Schaumwerkstoffen noch nicht erreicht worden ist. Aussichtsreiche Einsatzgebiete für 3-D-Drahtstrukturen sind Permanentkerne für hochbelastete Gussteile, Kernstrukturen für Leichtbau-Sandwichkonstruktionen oder Verstärkungskomponenten für Polymerverbundwerkstoffe.

### Poröse Sinterpapiere

Ein völlig neuer technologischer Ansatz wird mit der Entwicklung sogenannter poröser Sinterpapiere verfolgt. Hierbei werden Papier- und Sintertechnologien kombiniert. Bei der klas-

sischen Papierherstellung werden neben Zellstoff in hohem Maße Füllstoffe wie Koalin, Schwerspat und andere Additive zugesetzt, um die typischen Papiereigenschaften zu erhalten. Bei Sinterpapieren werden die oben genannten Füllstoffe durch Metallpulver ersetzt, wobei die Füllgrade in einem weiten Bereich variierbar sind.

Gemeinsam mit der Papiertechnischen Stiftung in München und Heidenau wurde 2009 eine Initiativforschung gestartet, um die generelle Herstellbarkeit von Sinterpapier aufzuzeigen. Als Modellwerkstoffe wurden Edelstahlpulver 1.4401 und Kupferpulver ausgewählt. Auf einer Blattbildungsanlage wurden metallpulvergefüllte Papiere im Dickenbereich von 0,3 bis 0,7 Millimeter hergestellt, wobei Füllgrade von 75 bis 88 Gewichtsprozent verarbeitet worden sind.

Neben flächigen gefüllten Papieren wurden auch gewellte Papiere erfolgreich hergestellt. Weitere Formgebungsversuche mit metallpulvergefüllten Papieren zeigten ähnliche Verarbeitungsmöglichkeiten wie klassische Papiere (Abb. 6). Diese Formgebungsmöglichkeiten eröffnen ein großes Potenzial für künftige Einsatzgebiete von porösen Sinterpapieren. Die gefüllten »grünen« Papiere werden in einem zweiten

Prozessschritt entbindert, das heißt, der Zellstoff und andere papiertechnologisch notwendige Additive werden thermisch entfernt (300–500 °C). In einem weiteren technologischen Schritt erfolgt die Sinterung, die die Endeigenschaften der Sinterpapiere einstellt.

Die gesinterten Papiere besitzen eine offene Porosität, wobei die Gesamtporosität in einem weiten Bereich, das heißt zwischen ca. 20 und 70 Prozent einstellbar ist (Abb. 7).

Poröse Sinterpapiere besitzen ein großes Anwendungspotenzial in verschiedenen Bereichen der Wirtschaft. Insbesondere auf dem Gebiet der Filtration von Gasen, Flüssigkeiten und Partikeln wird ein breiter Einsatz erwartet. Weitere Anwendungsfelder sind die Bereiche Schallabsorption, thermische Isolierung, Elektroden, Katalysatorträger, elektromagnetische Abschirmung, Wärmetauscher und Verdampfer.

---

## Zusammenfassung und Ausblick

---

Im Fraunhofer IFAM Dresden wurden in den letzten Jahren zahlreiche Verfahren zur Herstellung von hochporösen bzw. zellularen metallischen Werkstoffen entwickelt. All diese Verfahren zeichnen sich durch eine hohe Flexibilität in der Werkstoffauswahl aus. Weiterhin kann ein weiterer Bereich in der Porengröße, Porenmorphologie und Gesamtporosität abgedeckt werden.

Neben einer signifikanten Gewichtsreduzierung zeichnen sich die zellularen Metalle durch eine additive Multifunktionalität (Energieabsorption, geringe thermische Leitfähigkeit, Schallabsorption, hohe spezifische Oberfläche u. a.) aus.

Auf dem Gebiet der metallischen Hohlkugelstrukturen wurde vom langjährigen Projektpartner Glatt Systemtechnik Dresden die Firma hollomet GmbH gegründet. Zu den offenzelligen

titanbasierten Biowerkstoffen wird es ebenfalls eine Firmengründung, die Poromes GmbH, durch den langjährigen Projektpartner InnoTERE GmbH Dresden im Jahr 2010 geben. Um den Bekanntheitsgrad zellulärer Werkstoffe/Metallschäume zu erhöhen, hat das Fraunhofer IFAM Dresden zwei internationale Symposien mit dem Titel »Cellular Metals for Structural and Functional Applications« (CELLMET) 2005 und 2008 organisiert und durchgeführt. Ziel war es, insbesondere die Anwender aus der Wirtschaft über die Potenziale von zellularen metallischen Werkstoffen zu informieren und einen internationalen Erfahrungsaustausch in Gang zu setzen. Die nächste Veranstaltung mit gleicher Zielstellung, die CELLMAT 2010, wird im Oktober 2010 in Dresden ausgerichtet.

## KONTAKT

*Dr.-Ing. Günter Stephani*

*Telefon +49 351 2537-301*

*guenter.stephani@ifam-dd.fraunhofer.de*

### Institut

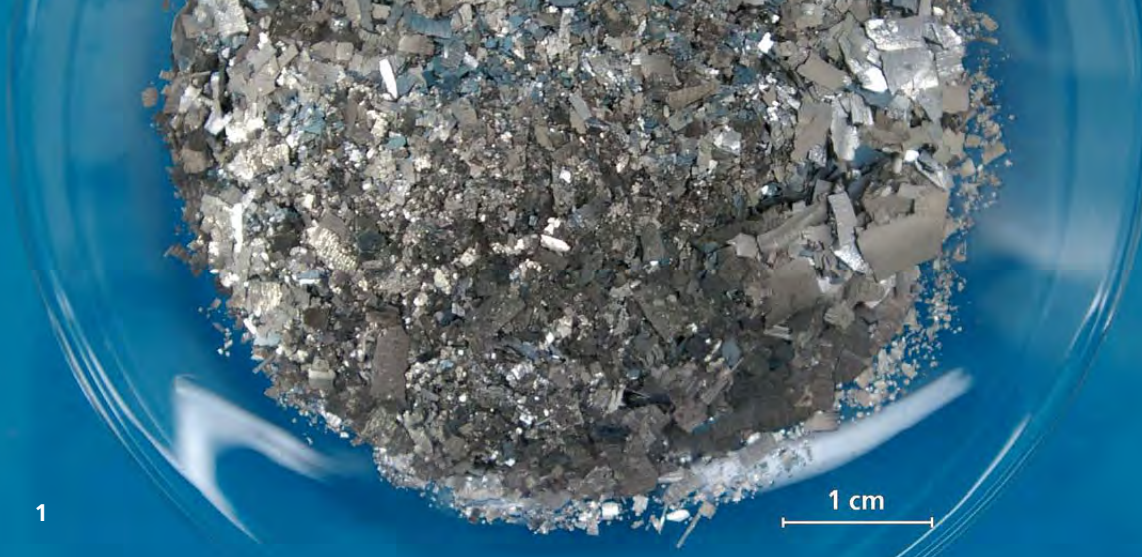
*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und*

*Angewandte Materialforschung IFAM,*

*Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Dresden*

- 1** *Schalldämpfer mit gesinterten Hohlkugelstrukturen als Schallabsorbermaterial.*
- 3** *Siebdruckstrukturen aus Edelstahl 1.4401.*
- 4** *3-dimensionale Drahtstrukturen aus Edelstahl 1.3401.*
- 6** *Metallpulvergefüllte und verarbeitete Sinterpapiere.*





# THERMOELEKTRISCHE SINTERWERKSTOFFE FÜR DAS ENERGY HARVESTING

Energiegewinnung und deren Speicherung ist eine hochaktuelle Problemstellung unserer Zeit. Im Bereich Sinter- und Verbundwerkstoffe werden entsprechende alternative Energiequellen erforscht. So wird beispielsweise mithilfe von thermoelektrischen Werkstoffen Energie direkt aus der Umwelt erzeugt.

## Ausgangssituation

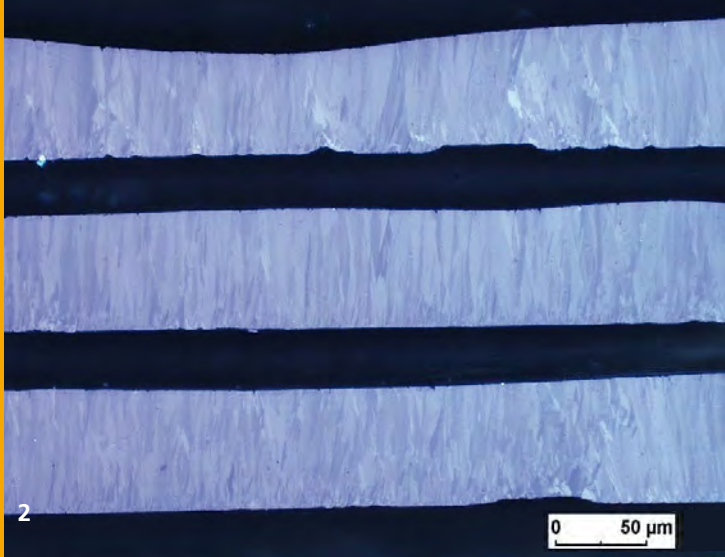
Energiespeicher in Form von Batterien oder Akkumulatoren können nicht beliebig vergrößert werden, da bei den meisten Anwendungen Gewicht oder Volumen limitiert sind. Gleichzeitig werden aber immer längere Standzeiten von elektrisch betriebenen Systemen gewünscht. Auch externe Versorgungen sind aufgrund von Netzteilen sowie hohen Installations- und Wartungskosten nicht für alle Fälle geeignet. Gerade auf dem Gebiet der Sensornetzwerke sind wegen der Energiebilanz zahlreiche Anwendungen wie Gebäudemonitoring (von z. B. Brücken, Denkmälern etc.) oder medizinische Implantate gar nicht möglich, da die geforderten Betriebsdauern einige Wochen bis zu mehrere Jahre betragen. Bestimmt wird die Betriebszeit durch den Energieverbrauch, das heißt durch die nötige Leistung zur Kommunikation zwischen den einzelnen Sensorknoten.

Durch die Verwendung von alternativen Energiequellen und geeigneten Wandlern wie beispielsweise Thermogeneratoren kann ein Teil oder die gesamte Menge der nötigen Energie für mobile Verbraucher aus der Umwelt gewonnen werden. Thermogeneratoren sind Halbleiterbauteile aus thermoelektrischen Werkstoffen, die reversibel Temperaturdifferenzen di-

rekt in elektrischen Strom umwandeln können. Solche Module werden seit vielen Jahren zur Stromversorgung von Satelliten eingesetzt, finden aber in jüngster Zeit auch Anwendung zur Nutzung von Erdwärme und industrieller Abwärme.

## Projektbeschreibung

Ziele des drei Jahre dauernden Projektes »Thermoelektrische Nanokomposite« waren die Herstellung von hocheffizienten, nanostrukturierten thermoelektrischen Werkstoffen für Raumtemperaturanwendungen und die Entwicklung einer Technologieplattform, die die industrielle Herstellung von Peltier- und Seebeck-Elementen ermöglicht. Auf diese Weise wurde ein universelles Energieversorgungsmodul, welches die Energie mittels Thermogenerator aus der Umwelt gewinnt, entwickelt. Als beispielhafte Anwendung wurde die direkte Stromversorgung durch die Integration in mobile Geräte (Sensorknoten) realisiert. Durch die Kombination mit Datenerfassungs- und Übermittlungsmodul entstand ein sehr flexibles System mit vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten. Je nach Anforderung können unterschiedliche Sensoren Temperatur, Feuchte, aber auch Blutsauerstoffgehalt bestimmen und drahtlos an



Empfänger übermitteln. Die Werkstoffentwicklungen sowie die Material- und Systemcharakterisierung wurden dabei am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg, durchgeführt. Die Umsetzung der elektronischen Komponenten erfolgte am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Nürnberg.

Das Teilprojekt des Fraunhofer IFAM Dresden befasste sich mit der Herstellung und Verarbeitung der ultrafeinstrukturierten thermoelektrischen Werkstoffe bis zum fertigen Halbzeug. Als Ausgangsmaterialien dienten kommerzielle und speziell hergestellte Vorlegierungen auf Basis von  $(\text{Bi,Sb})_2(\text{Se,Te})_3$ , dem heute üblichen Standardwerkstoff für Anwendungen bei Raumtemperatur.

---

## Ergebnisse

---

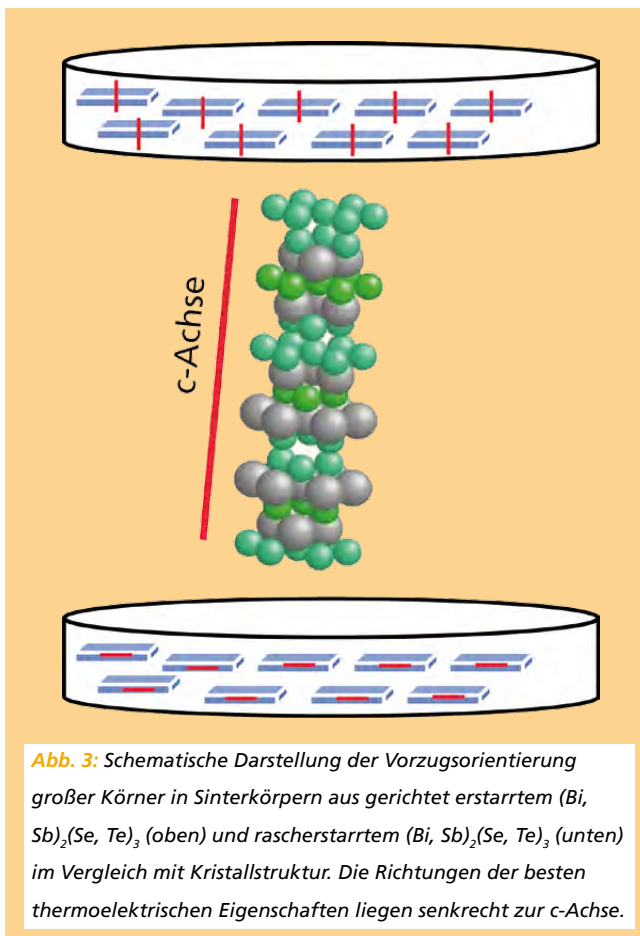
Da ein Hauptziel die Herstellung von nanostrukturierten Thermoelektrika war, wurde von Projektstart an die vollständige Prozesskette so entworfen, dass vorhandene ultrafeine Ausscheidungen im Gefüge nicht zerstört werden.

Die Herstellung der Nanokomposite erfolgte durch gezielte Ausbildung von Zweitphasen innerhalb des Werkstoffs. Um dies zu realisieren, wurden von den Projektpartnern spezifische Werkstoffsysteme entwickelt und spezielle Herstellungsverfahren dazu evaluiert. Hierzu wurden homogene Schmelzen hergestellt, die sich während der Kristallisation zweiphasig entmischen. Da die Schmelzkörper relativ klein sein mussten und durch das Abkühlen Lunker und Risse enthielten, konnten sie nicht direkt verwendet werden. Für den Aufbau von thermoelektrischen Bauteilen mit Segmenthöhen von einigen Millimetern mussten diese weiterverarbeitet werden. Hierzu wurden sie schonend zerkleinert und anschließend mithilfe eines Kurzzeitsinterverfahrens, dem Spark-Plasma-Sintern (SPS), kompaktiert.

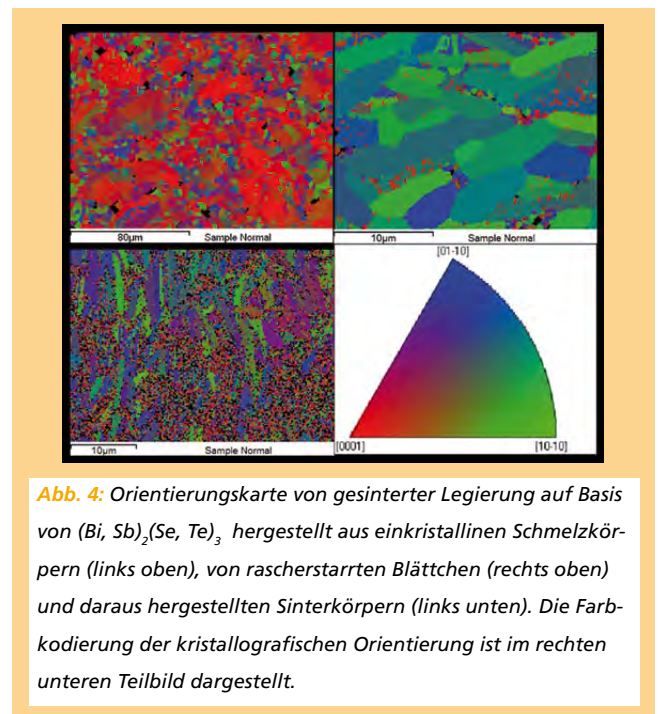
Dies ist ein modifiziertes Heißpressen, bei dem ein gepulster Gleichstrom Sintergut und/oder Presswerkzeug durchfließt und so das Sintergut direkt erwärmt. Mithilfe dieses Verfahrens können Prozesszeiten von einigen Sekunden bis zu wenigen Minuten realisiert werden, sodass Kornwachstumsvorgänge weitgehend unterbleiben.

Da die thermoelektrischen Eigenschaften von  $(\text{Bi,Sb})_2(\text{Se,Te})_3$  aufgrund der Kristallstruktur stark richtungsabhängig sind, weisen Sinterkörper mit einer statistischen Orientierung der Körner im Gefüge systematisch schlechte Werte auf. Dies verringert den Wirkungsgrad erheblich, sodass eine wirtschaftliche Nutzung solcher Werkstoffe kaum realisierbar ist. Darum ist die Einbringung einer Vorzugsorientierung (Textur) vorteilhaft. Da Einkristalle eine parallel zur thermoelektrischen Vorzugsrichtung verlaufende Bruchrichtung aufweisen, führt deren Zerkleinerung immer zu Blättchen, deren beste thermoelektrische Eigenschaften innerhalb der Blättchenebene liegen. Während des Einfüllens in das Presswerkzeug und der darauffolgenden Sinterung orientieren sich die meisten Partikel so, dass die flachen Seiten aufeinander und senkrecht zur Pressrichtung liegen.

Um diese Textur zu erhalten, wurde ein Sinterregime entwickelt, welches sowohl für guten Korn-Korn-Kontakt sorgt als auch zu nur kleinen Änderungen innerhalb des Gefüges führt. Pulvermischungen mit spezieller Korngrößenverteilung werden so gesintert, dass es zur kurzzeitigen Bildung einer flüssigen Phase kommt. Während kleinere Partikel komplett aufschmelzen, bleiben die großen Partikel weitgehend intakt. So bildet sich ein Werkstoff, bei dem große Körner mit Vorzugsorientierung in einer feinkörnigen, wahllos orientierten Matrix aus der gleichen Verbindung eingelagert sind. Bei diesen Sinterkörpern liegt die Richtung mit den besten thermoelektrischen Eigenschaften in der Scheibenebene. Dies hat allerdings Nachteile hinsichtlich einer späteren Verarbeitung zu einzelnen Segmenten, da die Verarbeitung ausgehend von den Stirnflächen der Scheiben erheblich einfacher ist.



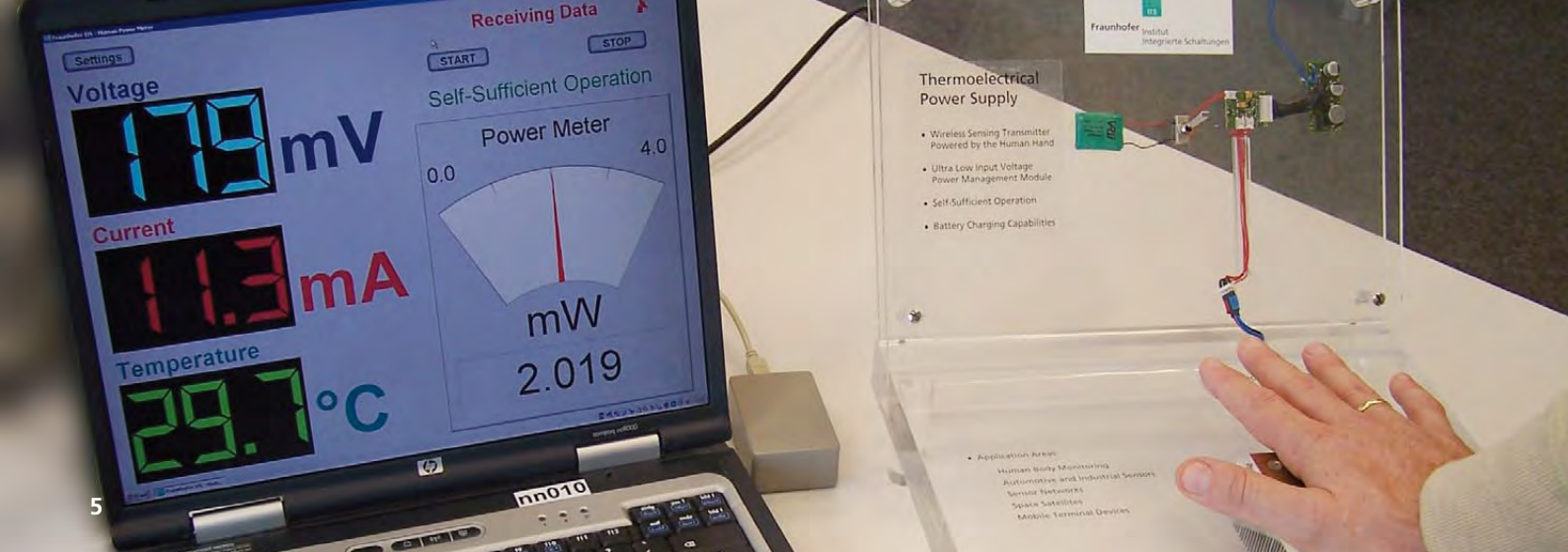
Ein Ausweg liegt in der Verwendung von Blättchen, wie sie beim Melt Spinning entstehen. Dieses Rascherstarrungsverfahren, welches auch bei der Herstellung von Hochleistungsaluminiumlegierungen oder Magnetwerkstoffen Verwendung findet, spart auch den aufwendigen Schritt der Herstellung einer Vorlegierung sowie deren Zerkleinerung. Produkt des Melt Spinning sind in diesem Fall mikrometerdünne Blättchen mit Kantenlängen von einigen Millimetern. Die hohe Abkühlgeschwindigkeit bewirkt, dass sich in den Blättchen kleine stängelförmige Körner bilden, deren beste thermoelektrische Eigenschaften senkrecht zur ehemaligen Abgussrichtung vorliegen (Abb. 3).



So erzeugte texturierte Sinterkörper wiesen thermoelektrische Eigenschaften auf, die bei konservativer Messung deutlich über dem Stand der Technik liegen. Zusätzlich zeigte sich, dass die kurzzeitgesinterten Werkstoffe auf Basis einer  $(Bi,Sb)_2(Se,Te)_3$ -Legierung eine vergleichsweise hohe mechanische Stabilität aufweisen. Da es in den Sinterkörpern keine ausgezeichneten Bruchrichtungen gibt, wie sie in Einkristallen vorkommen, ist die Biegebruchfestigkeit bis zu siebenmal höher. Dies erlaubt die Herstellung von Modulen mit 100 Mikrometern Dicke, welche durch Dünnschichttechniken bisher nicht wirtschaftlich hergestellt werden konnten und zukünftig ein großes Anwendungspotenzial im Bereich der Elektronik-kühlung bieten (Abb. 4).

Aus diesen gesinterten Werkstoffen wurden Module aufgebaut und erfolgreich in Systeme integriert (Abb. 5).





## Perspektiven

Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, mithilfe der Kurzzeitsinterung bzw. mit der beschriebenen Kombination aus Rascherstarrungstechniken und Kurzzeitsinterung hocheffektive thermoelektrische Werkstoffe kostengünstig herzustellen. Durch eine besondere Prozessführung konnten Sinterkörper hergestellt werden, die sowohl die thermoelektrische Anisotropie des Werkstoffs berücksichtigen als auch die eingebrachte ultrafeine Strukturierung des Gefüges beibehalten. Mit dieser Methode lassen sich Ausgangsmaterialien unterschiedlichster Form (Schmelzkörper, Pulver, Bänder, Flakes etc.) aufbereiten und in einem nachfolgenden Schritt mittels Spark-Plasma-Sinterverfahren kompaktieren. Mit diesem Projekt wurde ein Grundstein gelegt, der die Verarbeitung sowohl von thermoelektrischen als auch von anderen Funktionswerkstoffen mit ultrafeinen Gefügen aus unterschiedlichsten Quellen oder Syntheserouten ermöglicht. So hergestellte Halbzeuge und Bauteile lassen sich direkt in bestehende Fertigungsabläufe bei Kunden und Anwendern integrieren.

### Auftraggeber

Fraunhofer-Gesellschaft  
WISA 815 020

## KONTAKT

Dr. rer. nat. Jürgen Schmidt  
Telefon +49 351 2537-324  
juergen.schmidt@ifam-dd.fraunhofer.de

### Institut

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

- 1 Rascherstarrte Flakes aus  $(\text{Bi, Sb})_2(\text{Se, Te})_3 \cdot 0.3 \text{ PbTe}$ -Legierung.
- 2 Metallographischer Querschliff senkrecht zur Basalebene der Blättchen im polarisierten Licht.
- 5 Messedemonstrator zur thermoelektrischen Stromerzeugung aus Körperwärme.  
Als Energiequelle dient ein mit Sinterwerkstoffen bestückter Thermogenerator. Bei Auflegen der Hand auf die Kupferplatte wird durch die Temperaturdifferenz zwischen Körpertemperatur und Umgebungsluft eine Spannung erzeugt, die ausreicht, die Elektronik zu starten und Messwerte drahtlos an den Empfänger zu übertragen.

# HOCHDÄMPFENDE PM-WERKSTOFFE – AN JEDER STELLE DER RICHTIGE WERKSTOFF

Am Institutsteil Dresden des Fraunhofer IFAM werden neuartige pulvermetallurgische Werkstoffe entwickelt, die eine Vielzahl an innovativen Anwendungsmöglichkeiten vor allem für Fahrzeug-, Anlagen- und Maschinenbau bieten.

## Ausgangssituation

In den letzten Jahrzehnten wurde nachgewiesen, dass Lärm nicht nur störend, sondern vor allem auch gesundheitsschädlich ist. Zusätzlich steigen die Anforderungen an Fertigungstoleranzen im Maschinen- und Anlagenbau bei gleichzeitig schnelleren Bearbeitungsgeschwindigkeiten. Herkömmlich werden vorwiegend Materialien hoher Dichte oder Polymerwerkstoffe zur Körperschalldämpfung eingesetzt. Polykristalline Werkstoffe dämpfen hauptsächlich über den thermoelastischen Effekt, reversible Versetzungsbewegung und andere reversible spannungsinduzierte Effekte. Polymerwerkstoffe dämpfen größtenteils über das Gleiten von Kettensegmenten, Keramiken über die Reibung der Rissufer intrinsischer Mikrorisse.

Hochdämpfende PM-Werkstoffe mit hoher Körperschalldämpfung bieten neue Ansätze für den Einsatz als passives Dämpfungselement in verschiedensten Konstruktionen.

## Projektbeschreibung

Ausgehend von bisherigen Lösungen zur Schwingungsdämpfung wurden zwei Entwicklungsrichtungen zur Verbesserung der Dämpfungseigenschaften von Werkstoffen für Maschinen und Anlagen verfolgt. Auf der einen Seite wurde mit den gefüllten Hohlkugelstrukturen (GHKS) eine Werkstoffklasse entwickelt, die nahezu temperaturunabhängig Körperschalldämpfungswerte erreicht, die bisher nur bei Polymeren bei Raumtemperatur beobachtet werden. Damit wird eine hohe Körperschalldämpfung auch für Leichtbaukonstruktionen, für schnell bewegte Maschinenteile und unter extremen Bedingungen zugänglich.

Auf der anderen Seite wurde die Werkstoffklasse der Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe weiterentwickelt, sodass kompakte, pulvermetallurgisch hergestellte Bauteile mit Graphitgehalten größer 50 Volumenprozent reproduzierbar herstellbar sind. Diese kombinieren sehr hohe Dämpfungswerte und hohe Steifigkeit mit sehr guten thermophysikalischen Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, thermischer Ausdehnungskoeffizient). Zusätzlich bietet der hohe Festschmierstoffgehalt (Graphit) interessante Ansätze für tribologisch beanspruchte Bauteile bzw. -gruppen.

## Gefüllte Hohlkugelstrukturen

### Herstellung

Partikelgefüllte polymere Trägerkugeln werden im Wirbelbettverfahren mit einer Metallpulver-Binder-Suspension beschichtet. Die beschichteten Kugeln werden anschließend mit Wasserdampf in einer Form zu Formteilen verklebt. Diese oder auch die Einzelkugeln werden anschließend einer Wärmebehandlung unterzogen. Dabei werden die organischen Bestandteile entfernt und die Metallpulverschicht zu festen Kugelschalen verdichtet. Im Inneren der Hohlkugeln liegen nach der Wärmebehandlung frei bewegliche Keramikpartikel vor. Diese wirken als Schwingungsdämpfer. Gesinterte Einzelkugeln können in Profile gefüllt und dort durch Kleben oder Löten fixiert werden. Die Weiterverarbeitung der Formkörper oder auch von Einzelkugeln zu Sandwichstrukturen oder das Eingießen in Polymere oder Metalle ist ebenso möglich.

### Dämpfungsmechanismen

In Abbildung 1 ist schematisch der Aufbau eines Leichtbauverbundwerkstoffes mit partikelgefüllten metallischen Hohlkugeln dargestellt. Auf die Matrix übertragene Schwingungen werden abhängig vom gewählten Matrixwerkstoff gedämpft. Sobald die Wellenfront die Hohlkugelschalen erreicht, beginnt die Kugelschale zu schwingen. Die Bewegung der verschiedenen Wandabschnitte gibt die Energie an die Partikel weiter. Die Schwingungsenergie wird als Bewegungsenergie der freibeweglichen Partikel zwischengespeichert und anschließend durch Reibung und teilelastische Stöße in Wärme umgewandelt.

### Eigenschaften

Gefüllte Hohlkugelstrukturen ermöglichen die Kombination von geringer Dichte und hoher Dämpfung (Abb. 5). Daraus ergeben sich interessante Anwendungsmöglichkeiten in Leichtbaukonstruktionen. Abhängig von der Verarbeitungsrouten der gefüllten Hohlkugeln zu Bauteilen variiert die Steifigkeit der

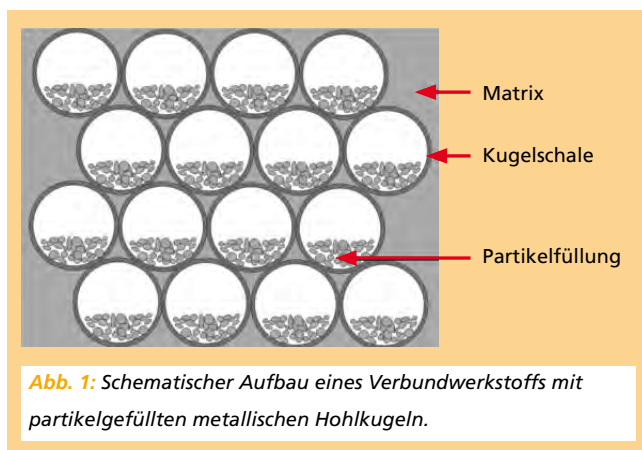


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines Verbundwerkstoffes mit partikelgefüllten metallischen Hohlkugeln.

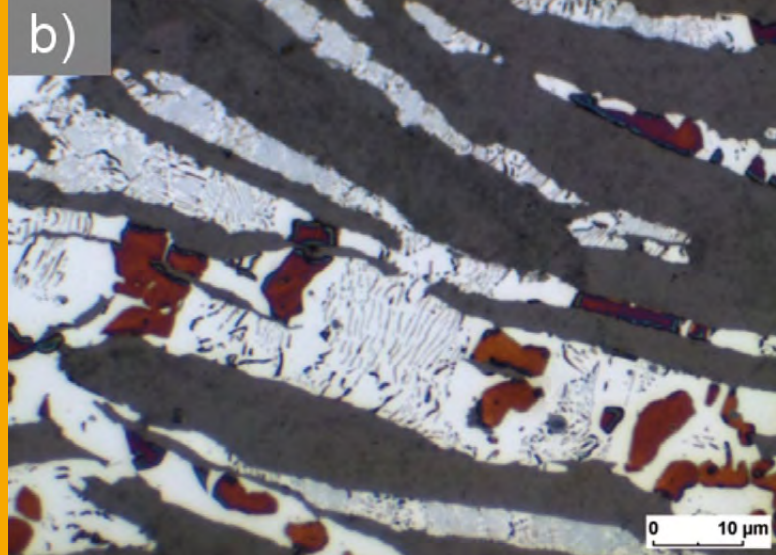
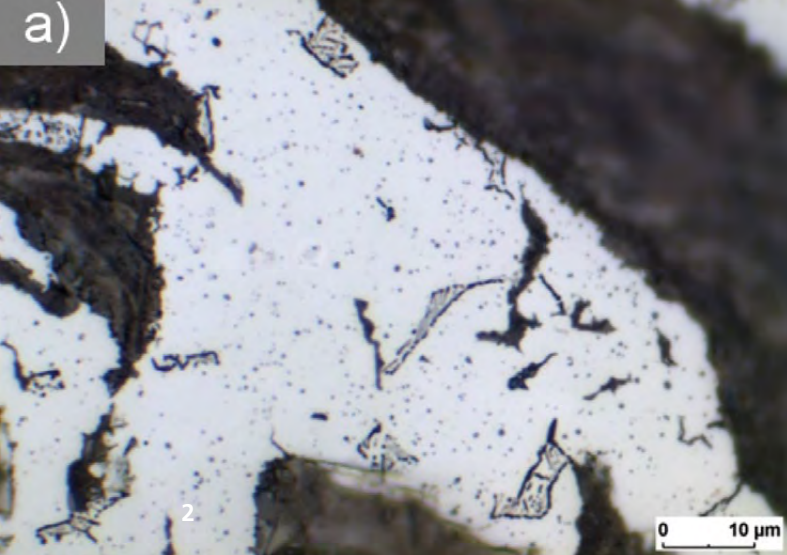
Formkörper zwischen 0,5 GPa und 50 GPa, die Dichte zwischen 0,8 g/cm<sup>3</sup> und 2,3 g/cm<sup>3</sup> sowie die Dämpfung zwischen 0,018 und 0,18 (RFDA system 23 der Firma IMCE). Diese Werte werden zurzeit nur von Polymerwerkstoffen bei Raumtemperatur erreicht.

Im Gegensatz zur temperaturabhängigen Gleitung der Kohlenstoffketten in Polymerwerkstoffen ist die Schwingungsdämpfung durch die Partikelbewegungen in den gefüllten Hohlkugelstrukturen sowohl bei sehr tiefen als auch bei hohen Temperaturen möglich.

## Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe

### Herstellung

Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe werden durch Mischen der Matrixpulver mit Graphit und anschließende druckunterstützte Konsolidierung hergestellt. Durch die Wahl des Matrixmetalls können vom nicht-karbidbildenden System Kupfer/Graphit über das schwach karbidbildende System Aluminium/Graphit bis hin zu stark karbidbildenden Systemen wie Eisen/Graphit bzw. Wolfram/Graphit verschiedene Kombinationen realisiert



werden. Der aufgrund der Reaktivität zwischen Matrix und Verstärkungskomponente gebildete Anteil an Karbid wird über die Sinterparameter (Heizrata, Sintertemperatur, Haltezeit und Abkühlgeschwindigkeit) eingestellt. Im System Eisen/Graphit kann das Gefüge durch Variation der Sinterzeit bei konstanter Sintertemperatur beeinflusst und somit Eigenschaften gezielt eingestellt werden (Abb. 2).

Bei einer kurzen Haltezeit (Abb. 2a,  $t=10$  s) ist der Graphit in eine ferritische Matrix eingebettet, die einen sehr geringen Anteil an Korngrenzenzementit aufweist. Durch Verlängerung der Haltezeit diffundiert immer mehr Kohlenstoff in die Matrix und bildet die Karbidphase ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Der Graphit ist von einer ferritisch-perlitischen Matrix, die zum Teil Zementitkörner beinhaltet, umschlossen (Abb. 2b,  $t=20$  min).

### Dämpfungsmechanismen

Übertragene Schwingungen werden in der Matrix, an den Grenzflächen Metall/Graphit und vorrangig im Graphit selbst in Wärme umgewandelt. Die Dämpfung nimmt mit zunehmendem Graphitanteil zu.

### Eigenschaften

Die Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe mit einer Dichte größer  $2,2 \text{ g/cm}^3$  weisen neben exzellenten Dämpfungseigenschaften und hoher Steifigkeit (E-Modul größer  $150 \text{ GPa}$ , Abb. 5) ausgezeichnete Eigenschaften hinsichtlich der thermischem Ausdehnungskoeffizienten (Abb. 3) und der Wärmeleitfähigkeit (Abb. 4) auf.

Durch die Variation des Volumengehalts an Graphit sind die Eigenschaften für die Einsatzbedingungen bzw. Anforderungen im Maschinen- und Anlagenbau bzw. als Wärmesenkenmaterial gezielt einstellbar.

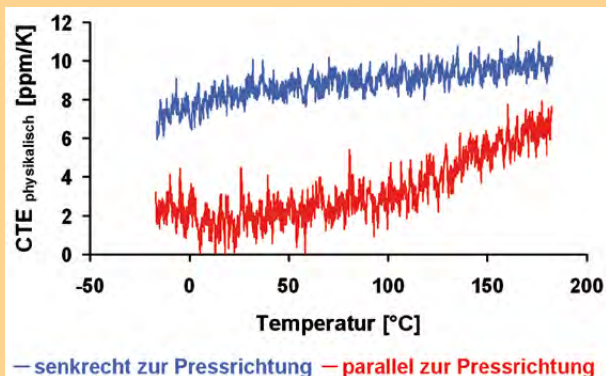


Abb. 3: Physikalischer thermischer Ausdehnungskoeffizient ( $\text{CTE}_{\text{physikalisch}}$ ) eines Eisen + 60 Vol.% Graphit-Verbundwerkstoffs.

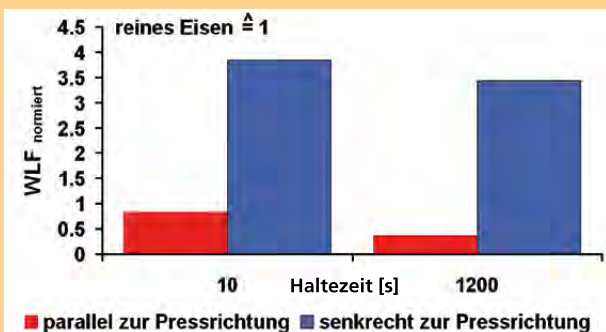


Abb. 4: Auf reines Eisen normierte Wärmeleitfähigkeit WLF bei Raumtemperatur einer Eisenmatrix mit 60 Volumenprozent Graphit.

### Ergebnisse und Perspektiven

Mit den neuen hochdämpfenden PM-Werkstoffen ergeben sich neue Möglichkeiten der passiven Schwingungsdämpfung. Dies gilt für die Verwendung in leichten Konstruktionen sowie in Konstruktionen unter extremen Einsatzbedingungen (hohe Temperatur, aggressive Medien) im Fahrzeug-, Anlagen- und Maschinenbau. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Dämpfungseigenschaften mit Wärmeleitfähigkeit, reduziertem Ausdehnungskoeffizienten (im Vergleich zu Metallen) und Steifigkeit zu kombinieren.



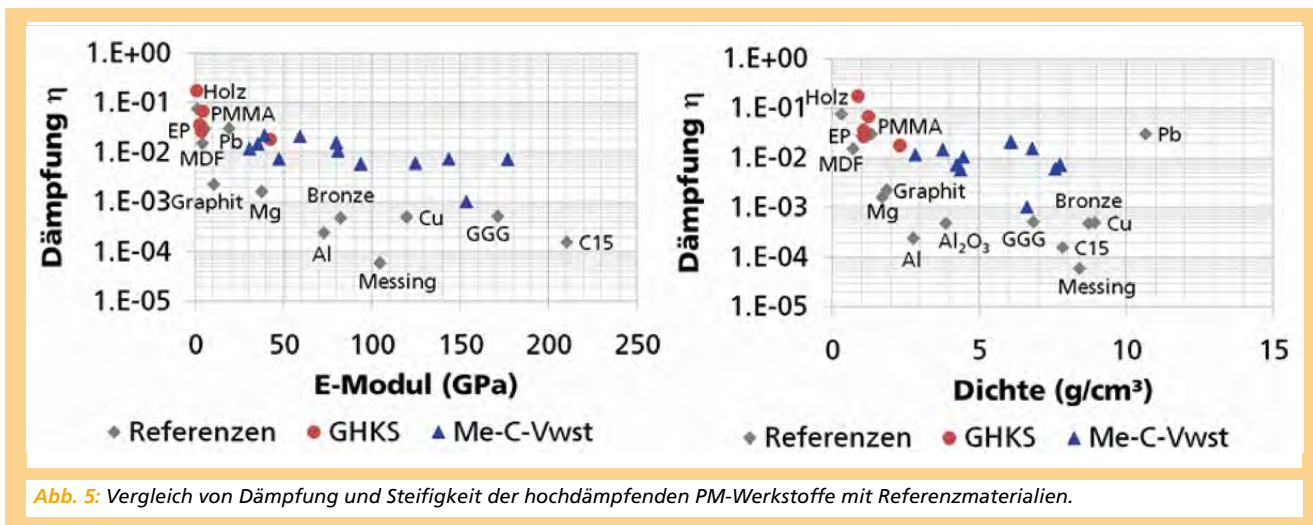


Abb. 5: Vergleich von Dämpfung und Steifigkeit der hochdämpfenden PM-Werkstoffe mit Referenzmaterialien.

Passive Schwingungsdämpfung, hohe Wärmeleitfähigkeit, geringer thermischer Ausdehnungskoeffizient, hohe Steifigkeit und hoher Festschmierstoffgehalt der Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe können gezielt in Konstruktionen des Anlagen- und Maschinenbaus Berücksichtigung finden. Dadurch ist es z. B. möglich, im Lagersitz die Funktionen Wärmeableitung und passive Schwingungsdämpfung geschickt zu kombinieren. Andererseits sind für die Dämpfung von großflächigen Schwingungen bei hohen Temperaturen Sandwichkonstruktionen aus gefüllten Hohlkugelstrukturen mit ihrer Temperaturunabhängigkeit und geringen Wärmeleitfähigkeit eine Alternative. Eine hybride Struktur aus gefüllten Hohlkugeln und Metall-Graphit-Verbundwerkstoffen erweitert die Anwendungsmöglichkeiten für den Konstrukteur.

## KONTAKT

### Gefüllte Hohlkugelstrukturen

Dipl.-Ing. Ulrike Jehring

Telefon +49 351 2537-395

ulrike.jehring@ifam-dd.fraunhofer.de

### Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe

Dipl.-Ing. Thomas Hutsch

Telefon +49 351 2537-396

thomas.hutsch@ifam-dd.fraunhofer.de

### Institut

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und

Angewandte Materialforschung IFAM,

Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Dresden

2 Ausbildung des Gefüges in Abhängigkeit von der Haltezeit bei Sintertemperatur (300 K/min, 1050 °C); a) ferritisch mit Korngrenzenzementit (10 s); b) ferritisch-perlitisch mit  $\text{Fe}_3\text{C}$ -Körnern (20 min).



# 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 über 210 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Im Mittelpunkt stehen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Klebtechnik sowie der Plasma- und Lacktechnik 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 Mikrosystem- und Medizintechnik.

Das Tätigkeitsfeld Klebtechnik umfasst die Entwicklung und Charakterisierung von Klebstoffen und Matrixharzen, 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.

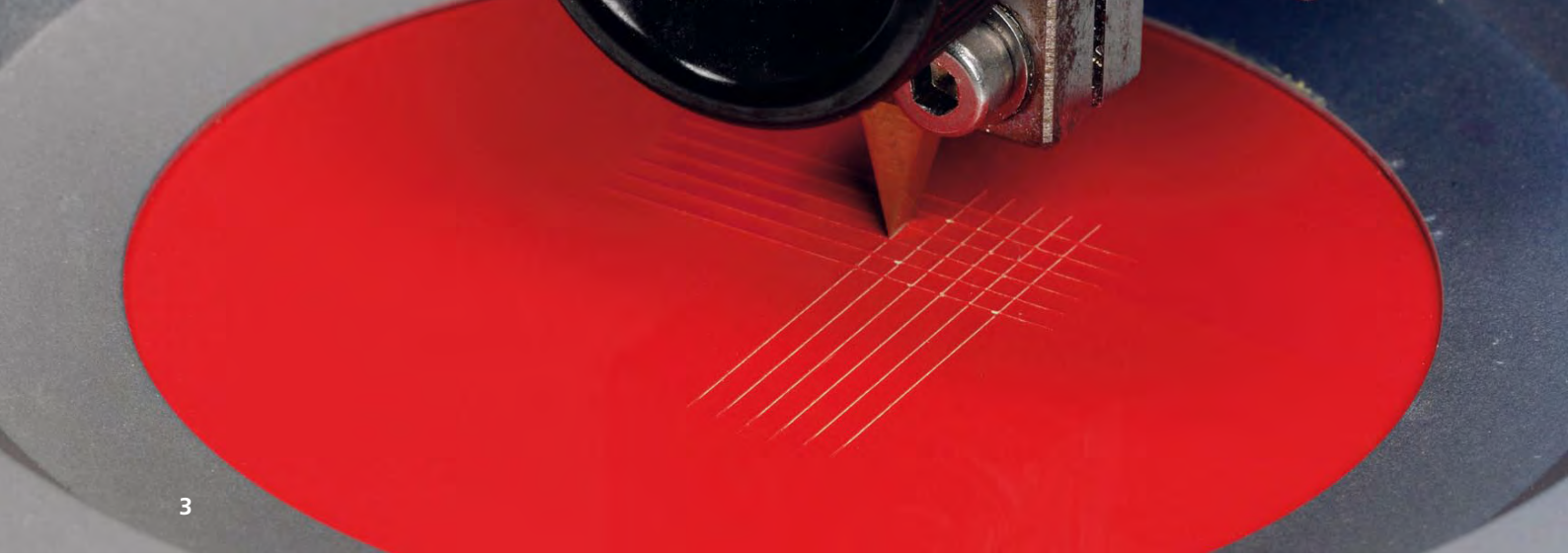
Der Arbeitsbereich Oberflächen gliedert sich in die Gebiete Plasmatechnik und Lacktechnik. Maßgeschneiderte Oberflächenmodifizierungen – wie kleb- und beschichtungsgerechte Oberflächenvorbehandlungen sowie funktionelle Beschichtungen – erweitern das industrielle Einsatzspektrum vieler Werkstoffe deutlich oder machen deren technische Verwendung überhaupt erst möglich.

Die Adhäsions- und Grenzflächenforschung arbeitet u. a. an der Früherkennung von Degradationserscheinungen, der Validierung von Alterungsprüfungen und der prozessintegrierten Oberflächenkontrolle. Die Ergebnisse dieses Forschungsfelds stellen sowohl für Klebtechnik als auch für Plasma- und Lacktechnik relevantes Basiswissen dar und tragen so zur Sicherheit und Zuverlässigkeit von Klebverbindungen und Beschichtungen bei.

Mit der Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM baut das Fraunhofer IFAM seine Aktivitäten hinsichtlich CFK-Großstrukturen zukunftsweisend aus – Fügen, Montieren, Bearbeiten, Reparieren und zerstörungsfreies Prüfen von CFK-Großstrukturen im 1:1-Maßstab (CFK = kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff). Dadurch wird auf dem Arbeitsgebiet CFK-Technologie die Lücke zwischen Labor- bzw. Technikumsmaßstab und industrieller Anwendung geschlossen.

Der gesamte Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen ist nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert, das Werkstoffprüflabor und das Korrosionsprüflabor 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 nach AZWV zertifiziert und erfüllt die





3

Qualitätsanforderungen der DIN EN ISO/IEC 17024. Die »An-erkannte 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 Einföhrung 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 eingeföhrte Technologie, deren Potenzial jedoch noch nicht voll ausgeschöpft wird. Leichtbau für den ressourcenschonenden Transport, Recycling und die damit verbundene Frage nach einer gezielten Lösbarkeit von Klebverbindungen sowie der Einsatz von nanoskaligen Materialien bei der Klebstoffentwicklung und -modifizierung 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 beziehungsweise das geklebte Produkt soll 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 Applikations-einrichtungen
- Klebtechnische Personalqualifizierung aller, die an der Entwicklung und Fertigung von Produkten beteiligt sind
- Personalqualifizierung 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 in molekularen Dimensionen bis hin zu makroskopischen Finite-Elemente-Methoden bei der numerischen Beschreibung von Werkstoffen und Bauteilen.

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, Adaptronik)
- 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. Eis)
- 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
- Internationalisierung der Lehrgänge zum European Adhesive Bonder, EAB (Klebpraktiker/-in), European Adhesive Specialist, EAS (Klebfachkraft) und European Adhesive Engineer, EAE (Klebfachingenieur/-in)

- 1 *Filtermaterial mit verbesserter Chemikalienbeständigkeit und erhöhter Lebensdauer durch ultradünne plasmapolymere Beschichtung.*
- 2 *Qualifizierung klebtechnischer Aushärteprozesse – z. B. schnelle Klebstoffhärtung durch Mikrowellen.*
- 3 *Prüfung der Haftung von Beschichtungen mittels Gitterschnitt.*



## ARBEITSGEBIETE UND ANSPRECHPARTNER

### Institutsleitung

Dr.-Ing. Helmut Schäfer – bis 31.5.2009  
Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig – ab 1.6.2009  
Telefon +49 421 2246-400  
andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de

### Klebtechnische Fertigung

Dipl.-Ing. Manfred Peschka  
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, Korrosionsschutz, Kratzschutz, antimikrobielle Wirkung, Easy-to-clean, Trennschicht, Permeationsbarriere) für 3-D-Teile, Schüttgut, Bahnware; Anlagenkonzepte und Pilotanlagenbau.

- Niederdruck-Plasmatechnik
- Atmosphärendruck-Plasmatechnik
- 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; Netzwerkpolymere; Formulierung von Klebstoffen und Funktionspolymeren; chemische und physikalische Analytik; Peptid- und Proteinchemie; Peptid-Polymer-Hybride; Kleben in der Medizin; mit Peptiden funktionalisierte Oberflächen; marine Proteinklebstoffe.

- Synthetische Materialien
- Proteinwerkstoffe

### 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; 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.

- Entwicklung von Beschichtungsstoffen
- Anwendungs- und Verfahrenstechnik

### Adhäsions- und Grenzflächenforschung

Dr. Stefan Dieckhoff  
 Telefon +49 421 2246-469  
 stefan.dieckhoff@ifam.fraunhofer.de  
 Oberflächen-, Grenzflächen-, Schichtanalytik; Untersuchung von Adhäsions-, Trenn- und Degradationsmechanismen; Analyse reaktiver Wechselwirkungen an Werkstoffoberflächen; Schadensanalyse; Qualitätssicherung durch fertigungsintegrierte Analysen von Bauteiloberflächen; entsprechende Konzeptentwicklung für klebtechnische, lacktechnische und oberflächentechnische Anwendungen; Korrosion an metallischen Werkstoffen, unter Beschichtungen und in Klebverbindungen; Untersuchung von Anodisierschichten; elektrolytische Metallabscheidung; akkreditiertes Korrosionsprüflabor; Modellierung molekularer Mechanismen bei Adhäsions- und Degradationsphänomenen; Strukturbildung an Grenzflächen; Anreicherungs- und Transportprozesse in Klebstoffen und Beschichtungen.

- 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.

- Strukturberechnung und numerische Simulation
- Mechanische Fügechnik

### Technologietransfer und Personalqualifizierung

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.

- Klebtechnisches Zentrum
- Kunststoff-Kompetenzzentrum

---

### Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM

---

Dr. Dirk Niermann  
Telefon +49 421 2246-439  
dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de  
Industrialisierungsgerechte Montage mittels Kleben, Nieten oder Kombinationen daraus; adaptive Präzisionszerspanung; automatisierte Mess- und Positionierverfahren; zerstörungsfreies Prüfen von Faserverbundkunststoff-(FVK-)Großstrukturen.

---

### Prozessreviews

---

Dipl.-Ing. Manfred Peschka  
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.

---

### Geschäftsfeld Entwicklung

---

Dr. Michael Wolf  
Telefon +49 421 2246-640  
michael.wolf@ifam.fraunhofer.de  
■ Technologiebroker  
■ Neue Forschungsfelder

---

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

---

Dr. Dirk Niermann  
Telefon +49 421 2246-439  
dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de

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.

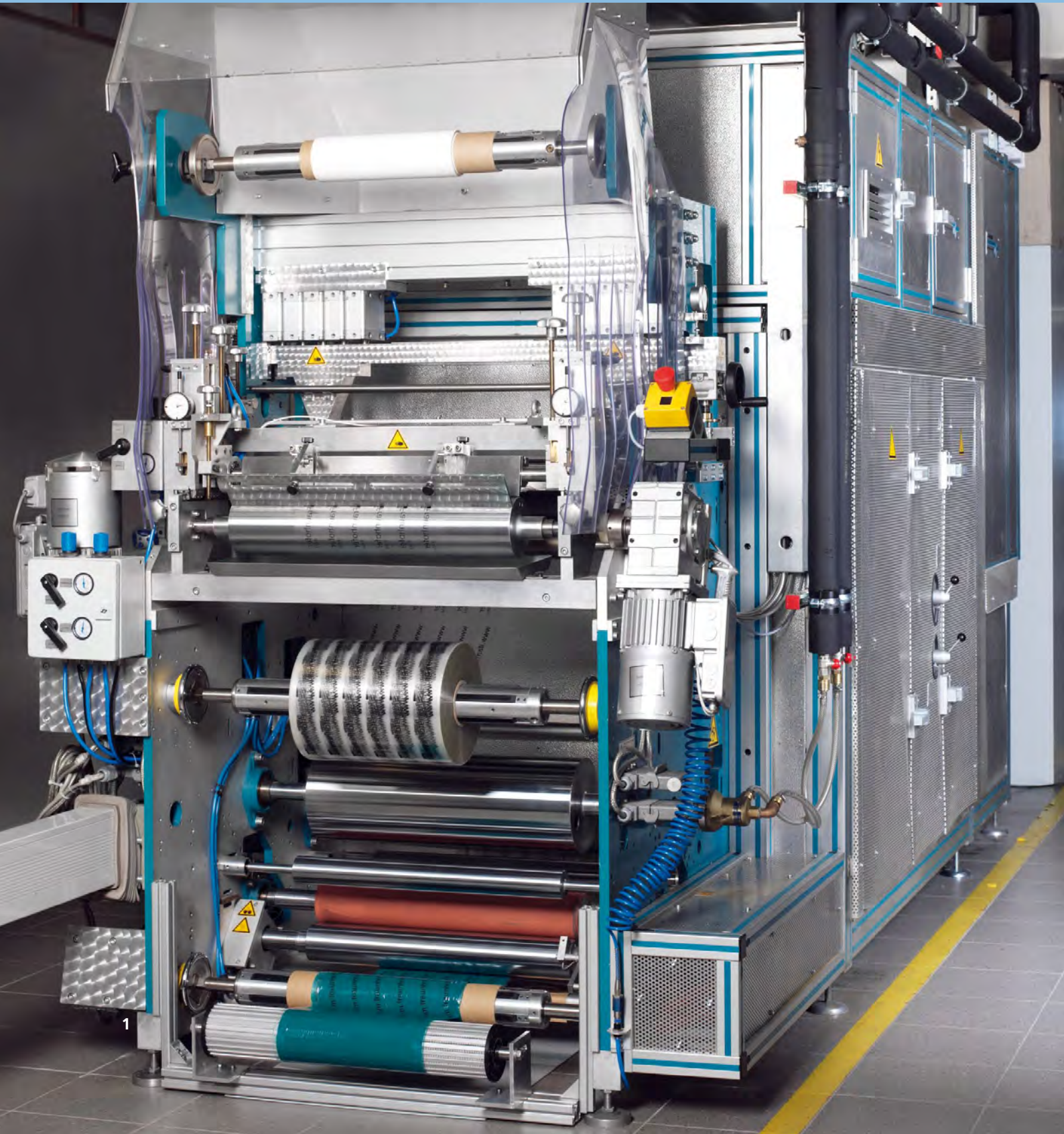
# AUSSTATTUNG

## Klebtechnik und Oberflächen

- Niederdruck-Plasmaanlagen für 3-D-Teile, Schüttgut und Bahnware bis 3 m<sup>3</sup> (HF, MW)
- Atmosphärendruck-Plasmaanlagen für 3-D-Teile und Bahnware
- Robotergeführte Atmosphärendruck-Plasmaanlage (6-achsig) zur flächigen und Linienbehandlung und -beschichtung
- VUV-Excimer-Anlage zur Oberflächenbehandlung und Beschichtung
- CO<sub>2</sub>-Schneestrahlanlagen
- Mobile Lasereinheit zur Oberflächenvorbehandlung
- 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 Labornietautomat 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
- Konfokale Lasermikroskopie
- Labor-Galvanikanlage
- LIF (Laser-induced Fluorescence)
- Thermographie
- XRF-Handgerät (Röntgenfluoreszenzanalyse)
- Oberflächenanalytiksysteme und Polymeranalytik mit XPS, UPS, TOF-SIMS, AES und AFM
- Chromatographie (GC-MS, Headspace, Thermodesorption, HPLC)
- Thermoanalyse (DSC, modulierte DSC, DMA, TMA, TGA, Torsionspendel)
- MALDI-TOF-MS zur Proteincharakterisierung
- Peptidsyntheseautomat
- Lichtstreuung zur Charakterisierung trüber Dispersionen
- Spektroskopisches Ellipsometer
- LIBS (Laser-induced Breakdown Spectroscopy)
- 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
- Diektrometer
- 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
- Linux-PC-Cluster mit 64 CPUs
- Verschiedene Dispergieraggregate
- Lackapplikationsautomat
- Vollklimatisierte Lackierkabine
- Lackrockner mit entfeuchteter Luft
- UV-Härtungstechnik
- Mechanisch-technologische Prüfungen
- Farbmessgerät MA 68 II
- Optische Prüftechnik
- Prüftechnik Anti-Eis-Lacke



# KLEBTECHNIK UND OBERFLÄCHEN



- Wellentank-Simulationskammer
- Prüfringleitung für Lackbelastungstests
- Miniaturprüfringleitung für Lackbelastungstests
- Freibewitterung an verschiedenen Standorten
- Raster-Kelvin-Sonde
- 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
- TGA Q 5000
- Klimaprüfkammer Typ 3436/16

### Zertifizierung und Akkreditierung

- Der gesamte Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen ist nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert, das Werkstoffprüflabor und das Korrosionsprüflabor 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 nach AZWV zertifiziert 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.

**1** Deskcoater zum flächigen Beschichten und Kleben von bahnförmigen bzw. großflächigen Substraten im Technikumsmaßstab.

# WANDEL UND KONTINUITÄT GEHEN HAND IN HAND: PRIV.-DOZ. DR. ANDREAS HARTWIG LÖST DR.-ING. HELMUT SCHÄFER IN DER INSTITUTSLEITUNG AB

Dass sich Wandel und Kontinuität nicht widersprechen müssen, hat das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in seiner mehr als 40-jährigen Geschichte oftmals bewiesen – auch auf personeller Ebene. Und so lässt sich ein Wechsel in der Führung des Institutsteils Klebtechnik und Oberflächen des Fraunhofer IFAM ebenfalls als gelungene Symbiose von Veränderung und Beständigkeit bewerten: Am 1. Juni 2009 übergab der Leiter Dr.-Ing. Helmut Schäfer die Führung an seinen Stellvertreter Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig.

Den bisherigen Institutsleiter Helmut Schäfer wie auch seinen Nachfolger Andreas Hartwig zeichnet es aus, dass sie bereits in der Ära des langjährigen IFAM-Chefs Prof. Dr. Otto-Diedrich Hennemann in verantwortungsvollen Positionen am Aufstieg dieses Institutsteils beteiligt waren. Helmut Schäfer wirkte hier mehr als ein Vierteljahrhundert lang – seit 1984. Von 1993 an trieb er als stellvertretender Leiter zusammen mit Otto-Diedrich Hennemann die erfolgreiche Entwicklung des Instituts zur größten unabhängigen Forschungseinrichtung auf dem Gebiet der Klebtechnik in Europa voran. Nach dem Abschied von Otto-Diedrich Hennemann Ende März 2007 rückte somit ein Mann an die Spitze, der den eingeschlagenen Erfolgsweg nahtlos weiterführen konnte. Gleiches gilt nun für den neuen Leiter Andreas Hartwig, der im Fraunhofer IFAM seit 1992 »mit im Boot« ist. Der Chemiker setzte in seiner langjährigen Tätigkeit wichtige Impulse durch den Aufbau der Abteilung »Klebstoffe und Polymerchemie« und gestaltete erfolgreich deren Einbindung in das wissenschaftliche Umfeld des Instituts.

---

## **Helmut Schäfer startete 1984 im Fraunhofer IFAM**

---

Als der promovierte Materialwissenschaftler Helmut Schäfer nach Forschungstätigkeiten an der Technischen Hochschule Darmstadt und der Universität Münster 1984 in die Hansestadt kam, beschäftigte sich die Abteilung »Struktur- und Verbundwerkstoffe« des Instituts – Vorläufer des heutigen Institutsteils Klebtechnik und Oberflächen – unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Walter Brockmann mit der Füge- und Klebtechnik. Aufgabe von Helmut Schäfer war es, die analytische Elektronenmikroskopie an Klebverbindungen auszubauen. Zusammen mit Otto-Diedrich Hennemann, der später die Leitung der Klebtechnik von Walter Brockmann übernahm, widmete sich Helmut Schäfer unter anderem der Ursachenforschung bei schadhafte Klebungen. Diese machten in jenen Jahren auch der Luftfahrtindustrie zu schaffen. Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen trugen damals maßgeblich zur





Erforschung der Schadensverläufe bei und wurden dadurch über den Flugzeugbau hinaus ein wichtiges Hilfsmittel bei der Entwicklung neuer langzeitbeständiger Klebverbindungen.

Obwohl »erst« 1984 zum Institut gestoßen, kann Helmut Schäfer getrost noch als »Mann der ersten Stunde« bezeichnet werden – denn der Charakter des Fraunhofer IFAM änderte sich Anfang der 1990er-Jahre mit der Konversion signifikant. Otto-Diedrich Hennemann hatte 1990 die Führung der Klebtechnik übernommen und sich kurze Zeit später für Helmut Schäfer als Stellvertreter entschieden. Das eingespielte Duo stand vor der Aufgabe, diesen Teil des Instituts entsprechend den erweiterten Anforderungen, die sich aus dem zunehmenden Interesse zahlreicher Industriebranchen ergaben, auszurichten. Viele Ideen von Helmut Schäfer flossen dabei in die Expansionsstrategie der Klebtechnik ein. Die rasante technologische Entwicklung und die Trends zum Leichtbau, zur Miniaturisierung und zum Materialmix verhalfen dieser Füge-technik in jenen Jahren zum endgültigen Durchbruch.

### **FTK-Projekt führte wichtige Akteure zusammen**

Ein wichtiger Startschuss für das stärkere Engagement war noch in die letzten Jahre der Ära Walter Brockmann gefallen. In dem vom damaligen Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) geförderten Verbundvorhaben Fertigungstechnologie Kleben (FTK) arbeiteten Materialhersteller, Klebstoffanwender und Forschungseinrichtungen – die am Markt im Wettbewerb miteinander standen – erstmals in größerem Umfang zusammen. Zahlreiche neue Kontakte und Erfahrungen aus diesem Projekt gaben Otto-Diedrich Hennemann und Helmut Schäfer zusätzliche Impulse für die strategische Entwicklung des Institutsteils.

### **Weitere Expansion**

Die Expansion des mittlerweile als »Klebtechnik und Oberflächen« agierenden Institutsteils setzte ein, indem zunächst die beiden neuen Arbeitsgruppen »Plasmatechnik und Oberflächen« sowie »Werkstoffe und Bauweisen« eingerichtet wurden. Weitere Arbeitsgruppen folgten bald, denn hohes Engagement, viel Überzeugungskraft und unübersehbare Erfolge verschafften der Klebtechnik aus Bremen in bemerkenswert kurzer Zeit ein erheblich erweitertes Ansehen im industriellen und wissenschaftlichen Umfeld. Hatte die Abteilung Struktur- und Verbundwerkstoffe des Fraunhofer IFAM beim »Diensttritt« von Helmut Schäfer 1984 gerade einmal zehn Mitarbeiter, so startete die daraus hervorgegangene Klebtechnik des Instituts im letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts richtig durch: Von Bremen-Lesum ging es über den Standort »Neuer Steindamm« in das völlig neu gebaute Institutsgebäude im Bremer Technologiepark, das 1999 bezogen wurde.

Ein großes Verdienst von Helmut Schäfer war dabei, die bis dahin noch fehlende Fertigungstechnik dem Angebot des Fraunhofer IFAM hinzuzufügen. Er machte sich vehement für den Aufbau eines Technikums stark, um der Industrie klebtechnische Lösungen nicht nur im Labormaßstab, sondern unter realen fertigungstechnischen Bedingungen demonstrieren zu können. Nicht zuletzt sein Beharren führte dazu, dass das Fraunhofer IFAM heute den meisten Kunden eine »Lösung aus einer Hand« anbieten kann.

Auch am Standort Wiener Straße im Technologiepark setzte sich der Wachstumskurs des Instituts fort, der bis heute räumliche und personelle Erweiterungen notwendig macht. Neben der Tätigkeit in seinen Aufgabenschwerpunkten »Kleben in der Mikrofertigung« und »Klebtechnische Fertigung« unterstützte Helmut Schäfer seinen Chef und Partner Otto-Diedrich Hennemann auch nach Kräften im Management des Institutsteils »Klebtechnik und Oberflächen«, der heute über mehr als zweihundert Beschäftigte verfügt. In der Zeit der Zugehörig-



keit von Helmut Schäfer zum Fraunhofer IFAM hatte sich im Bereich Klebtechnik und Oberflächen die Zahl der Mitarbeiter also verzwanzigfacht – ein eindrucksvolles Zeugnis für den Erfolgskurs des Institutsteils.

#### Mehr als zwei Jahre Leiter des Institutsteils

Mit dem Abschied von Otto-Diedrich Hennemann war es eine mehr als nachvollziehbare Entscheidung, dass Helmut Schäfer am 1. April 2007 die Führung der Klebtechnik im Fraunhofer IFAM übernahm. In die etwas mehr als zwei Jahre bis zu seinem eigenen Ausscheiden aus dem aktiven Dienst fielen weitere wichtige Entwicklungsschritte dieses nach wie vor sehr dynamischen Institutsteils – der Bereich Lacktechnik wurde ausgebaut, die Abteilung Plasmatechnik und Oberflächen wurde neu ausgerichtet und vor allem die jüngsten Entwicklungen in den Bereichen Windenergie und Faserverbundwerkstoffe zählen dazu:

So begleitete Helmut Schäfer den Weg des Fraunhofer-Centers für Windenergie und Meerestechnik (CWMT) – es wurde als gemeinsame Einrichtung der Fraunhofer-Institute IFAM und LBF (Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit) gegründet – zu einem eigenständigen Fraunhofer-Institut: dem in Bremerhaven angesiedelten Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES; seit 1. Januar 2009). Ebenso stark beschäftigte ihn die Beteiligung des Fraunhofer IFAM am Forschungszentrum CFK Nord in Stade. Dazu zählt der Aufbau der dem IFAM unterstellten Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM, die in Stade Großbauteile aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen insbesondere für den Flugzeugbau im 1:1-Maßstab fügen, montieren, bearbeiten, reparieren und prüfen wird.

#### Andreas Hartwig übernimmt die Leitung

Diese Arbeit ist für Helmut Schäfer nun beendet – aber sie endet nicht, sondern wurde lediglich in andere Hände gelegt: in die von Andreas Hartwig. Die IFAM-Geschichte wiederholt sich dabei insofern, als dass erneut ein langjähriger, enger Mitarbeiter des Institutsleiters nach dessen Ausscheiden selbst die Führungsposition übernimmt. Bei diesem Übergang war es im Juni 2009 einmal mehr die bestmögliche Entscheidung, denn auch Andreas Hartwig kennt das Fraunhofer IFAM mittlerweile in- und auswendig. Er arbeitet seit fast 19 Jahren in dem Bremer Institut, davon die vergangenen beiden Jahre als Stellvertreter von Helmut Schäfer. Außerdem leitet Andreas Hartwig von Anbeginn die Abteilung, die er selbst aufgebaut hat – Klebstoffe und Polymerchemie.

Andreas Hartwig brachte bereits Kenntnisse in Plasmatechnik und Polymerchemie mit, als er 1992 in das Fraunhofer IFAM eintrat. Der Chemiker hatte in Köln studiert und am Institut für Physikalische Chemie promoviert; danach sammelte er an der niederländischen Twente Universität Auslandserfahrung und forschte auf dem Gebiet der Oberflächenchemie. Der begeisterte Wissenschaftler war am Fraunhofer IFAM mehr als willkommen: Einerseits begann der Boom der Klebtechnik, andererseits waren neue Lösungsansätze gefragt und die kamen unter anderem aus den chemischen Grundlagen der Klebstoffherstellung und -anwendung. Nachdem zunächst noch Adhäsionsforschung und Schadensanalytik für Andreas Hartwig im Mittelpunkt gestanden hatten, wuchsen schnell auch neue Herausforderungen heran. Vor allem mittelständische Klebstoffhersteller suchten nach neuen Klebstoffen für Spezialanwendungen – und Andreas Hartwig und seine Abteilung konnten oftmals helfen.

Eine der bemerkenswerten Leistungen von Andreas Hartwig ist es daher, ein umfangreiches Netzwerk zu kleinen, mittelständischen und großen Industrieunternehmen sowie in die chemische Wissenschaftsszene aufgebaut zu haben. Andreas

Hartwig selbst ist nicht nur ein guter Organisator, Abteilungs- und nun Institutsleiter; er ist auch mit Leib und Seele Forscher. Seit nunmehr 14 Jahren lehrt er an der Universität Bremen Makromolekulare Chemie und Schwingungsspektroskopie; 2006 habilitierte er und erhielt als Privatdozent die Lehrbefugnis für Makromolekulare Chemie im Fachbereich Biologie/Chemie der Universität Bremen. Mehr als hundert wissenschaftliche Veröffentlichungen und Patente sprechen für die erfolgreiche Arbeit des neuen Institutsleiters in seinem Fachgebiet.

Berufung eines Institutsleiters, der über eine eigene Professur in den Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen eingebunden ist. Mit dem Abschluss dieses Verfahrens wird für das Jahr 2010 gerechnet. Das Know-how, die vielschichtigen Erfahrungen, die aufgebauten Netzwerke und insbesondere die personelle Kontinuität werden auch in Zukunft die Arbeit des Instituts prägen – sie sind die elementaren Bausteine der beständigen Weiterentwicklung und Expansion des Instituts.

---

### **Guter Ruf zieht talentierte Nachwuchskräfte an**

---

Außerdem sind die vielschichtigen Verbindungen von Andreas Hartwig eine sehr wichtige Komponente in der Zukunftsstrategie des Institutsteils Klebtechnik und Oberflächen. Denn die engen Verbindungen in die »scientific community« wie auch in die Industrie haben dazu beigetragen, dass die Polymerchemie im Fraunhofer IFAM einen sehr guten Ruf erlangt hat. Dieses Renommee wie auch die Lehrtätigkeit von Andreas Hartwig – mit besonderem Augenmerk auf der engen Verquickung von theoretischem Wissen und aktuellen Herausforderungen in der Praxis – sorgen dafür, dass stets talentierte Nachwuchskräfte den Weg ans Institut finden. Mit dem neuen Leiter hat der Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen des IFAM somit weiterhin die enge Verbindung zur Universität, die Fraunhofer-Einrichtungen generell anstreben. Damit steht Andreas Hartwig auch in der Tradition Otto-Diedrich Henemanns, der ebenfalls an der Bremer Universität lehrte.

---

### **Nichts ist so beständig wie der Wandel**

---

Die Leitung des Institutsteils Klebtechnik und Oberflächen des Fraunhofer IFAM durch Andreas Hartwig endet mit der

- 1 *Dr.-Ing. Helmut Schäfer.*
- 2 *Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig.*



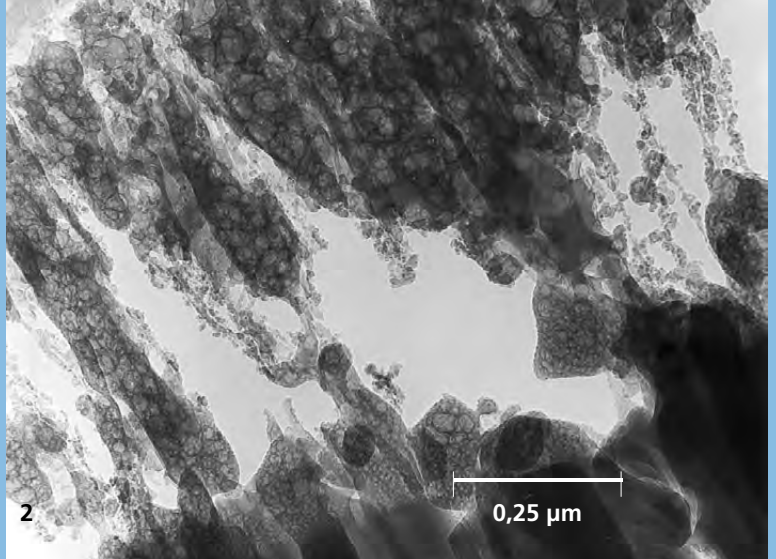
1

## EINE BESONDERE BEZIEHUNG: DAS FRAUNHOFER IFAM FORSCHT SEIT JAHRZEHNEN FÜR DIE LUFTFAHRTINDUSTRIE

Ohne Kleben geht es nicht: In fast jeder Industriebranche spielt diese Verbindungstechnik heute eine wichtige Rolle. Die vielfältigen Vorzüge des Klebens und signifikante Fortschritte bei Forschung und Entwicklung im Bereich der Adhäsion haben Anwendungen und Produkte möglich gemacht, die vor Kurzem noch undenkbar waren. Doch obwohl Kleben mittlerweile eine anerkannte, breit angewendete Fügetechnik ist, haben die Beziehungen des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM auf diesem Gebiet zu einem Industriezweig eine ganz besondere Qualität und Geschichte. Die Rede ist von der Luftfahrtindustrie: Sie war einer der Treiber, die der Hochleistungsklebtechnik zum Durchbruch verhelfen – und deshalb genießt seit mehr als 30 Jahren auch das Fraunhofer IFAM eine besondere Stellung in der Branche.

Gewicht spielte und spielt in allen Bereichen der Transportmittelindustrie eine entscheidende Rolle, aber am wichtigsten ist diese Größe zweifelsohne bei der Luftfahrt. Schließlich gilt es, tonnenschwere Flugzeuge in die Luft zu bekommen und auch wieder sicher auf die Erde. Je leichter das Fluggerät, desto einfacher lässt sich die Aufgabe bewältigen – und desto geringer ist der spezifische Treibstoffverbrauch. Von Beginn an kam es also in der Luftfahrt auf eine optimale Werkstoffauswahl und Werkstoffausnutzung an, um dadurch eine Gewichtsreduzierung bei höchstmöglicher Stabilität zu erreichen. Eine maßgebliche Rolle kam hierbei von Anfang an auch der Fügetechnik zu. In der Frühphase des Flugzeugbaus spielten Holz als Konstruktionswerkstoff und eine dafür entwickelte Klebtechnik eine wichtige Rolle. Später fertigte man Flugzeuge aus Metall und griff dabei auf die aus anderen Industriebereichen bereits bewährte Niettechnik zurück. Doch dem Druck zur Entwicklung noch leichter und verbrauchsärmerer Flugzeuge

konnte allein mit der etablierten Fügetechnik nicht begegnet werden – und man entsann sich in dieser Situation erneut des Klebens. Wer bei unruhigen Flügen heutzutage hofft, dass das Flugzeug gut zusammengenietet worden ist, weiß oft gar nicht, dass auch Klebstoffe ganz wesentlich zur Stabilität von Rumpf, Flügel, Leitwerk und Inneneinrichtung beitragen. Aktuell wird über eine wichtigere Rolle des Hybridfügens nachgedacht. Luftfahrtbetriebe und Forschungseinrichtungen wie das Fraunhofer IFAM suchen gemeinsam nach Wegen, die Fügetechniken Nieten und Kleben zu verbinden – wobei das langfristige Ziel darin besteht, unter anderem aus Gewichtsgründen mithilfe der Klebtechnik die Anzahl der Nieten deutlich zu verringern.



## Die Anfangszeit: Materialien und Prozesse

In der Anfangszeit der Fraunhofer-IFAM-Kooperation mit der Luftfahrt bestand außer zum Airbus-Werk in Bremen vor allem zum niederländischen Flugzeugbauer Fokker ein enger Kontakt. Diese Firma hatte sich bis dahin mehr als alle anderen Unternehmen der Branche dem Kleben von Aluminium verschrieben. Die Bremer Wissenschaftler diskutierten mit den Fokker-Experten jahrelang über die Materialien und Prozesse, mit denen eine hohe Leistungsfähigkeit und Langzeitbeständigkeit der Klebverbindungen erreicht werden konnte. Die Entwicklung und Auswahl der geeigneten Klebstoffe und Oberflächenvorbehandlung machten das Aluminiumkleben von Fokker zu einem Erfolg. Das Modell Fokker F-27 beispielsweise, das von 1956 bis 1986 produziert wurde, war im Bereich der Tragflächen und des Rumpfs überwiegend strukturell geklebt. Die Propellerverkehrsmaschine gilt als »unverwundlich« und ist bis heute im Einsatz.

Im Laufe der Zeit wurde auch die Beziehung zu Airbus immer intensiver. Anders als bei der etablierten Fokker-Technologie gab es bei der von Airbus damals eingesetzten neuartigen Metallklebtechnik Probleme mit der Langzeitbeständigkeit von Klebverbindungen: Das Metall korrodierte an besonders beanspruchten Stellen. Für das Fraunhofer IFAM war dies der Startschuss, sich zusammen mit Airbus stärker mit grundlegenden Fragen der Klebstoffentwicklung, der Verarbeitung sowie der Beständigkeit von Klebverbindungen auseinanderzusetzen. Um beispielsweise die Schadensmechanismen in korrodierten Klebverbindungen zu ergründen, wurden unter anderem transmissionselektronenmikroskopische Untersuchungsmethoden eingeführt. Sie trugen neben spektroskopischen Untersuchungen grundlegend dazu bei, den Fehler, der maßgeblich in der Kombination Oberflächenvorbehandlung/Klebsystem lag, zu lokalisieren. Elektronenmikroskopische Untersuchungen sind seither ein Grundstein der systematischen Schadensanalyse und der Bewertung von Oberflächenvorbehandlungen für Klebungen im Flugzeugbau.

## Intensive Auseinandersetzung mit Korrosionsschutz

Die Frage nach der Vermeidung von Korrosion stand seinerzeit im Mittelpunkt der Aktivitäten des Fraunhofer IFAM für die Luftfahrtbranche. Sie führte zu einer weiteren Intensivierung der Arbeit zwischen dem Forschungsinstitut und den Flugzeugbauern. War die Zusammenarbeit zuvor oftmals ein eher informeller Austausch unter Ingenieuren mit klarer Fokussierung auf Materialien und Prozesse gewesen, gewannen nun auch chemische und physikalische Fragen deutlich an Gewicht. Airbus und auch andere Flugzeughersteller erkannten, dass für einen erfolgreichen Einsatz der Klebtechnik in der Produktion auch die Einbindung externen Fachwissens sinnvoll ist. Ein Erfolg dieser verstärkten Kooperation zwischen Airbus und Fraunhofer IFAM war Anfang der 1980er Jahre die Entwicklung eines eigenen Oberflächenvorbehandlungsprozesses für Aluminium, der bis in die heutige Zeit genutzt wird. Seither ist das Wort »Korrosion« bei Aluminiumklebverbindungen für Airbus ein Fremdwort (Abb. 2).

Die stärkere Zusammenarbeit machte sich auch bezahlt, als neue Materialien und Prozesse interessant wurden. Zunehmend wurde nun das Kleben von Titan und kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) zum Gegenstand der Kooperation. Im Zentrum standen auch hier geeignete Oberflächenvorbehandlungsverfahren. Jüngste Beispiele aus dieser Reihe der Entwicklung von Oberflächenvorbehandlungsverfahren sind ein umweltfreundliches chromatfreies Verfahren zum Korrosionsschutz von Aluminium und ein bei Atmosphärendruck arbeitender Plasmaprozess zur sicheren Vorbehandlung von CFK.



### Neue Herausforderungen für die Klebtechnik

Nach rund zwei Jahrzehnten, in denen vorrangig Materialien und Prozesse im Mittelpunkt der Arbeit für die Luftfahrtbranche standen, kamen um die Jahrtausendwende herum neue Herausforderungen auf das Fraunhofer IFAM zu. Immer mehr wurden nun auch die Auslegung und Berechnung von Klebverbindungen oder zuletzt auch Kleb-Niet-Verbindungen gefragt; zudem rückte die Fertigungstechnik stärker in den Blickpunkt. Wie lässt sich eine Verbindung unter spezifischen Randbedingungen möglichst sicher, aber auch so wirtschaftlich wie möglich herstellen? Dieser Frage widmeten sich die Experten des Instituts mit zunehmender Intensität, wobei moderne rechnergestützte Simulationen ebenso neue Wege aufzeigten wie die erweiterten Möglichkeiten des Fraunhofer IFAM, die Ergebnisse vom Labormaßstab in den Technikumsmaßstab zu skalieren (Abb. 3).

Im Bestreben, den industriellen Auftraggebern vermehrt Lösungen aus einer Hand anbieten zu können, hatte das Institut beträchtliche Investitionen in die räumliche, apparative, technische und rechnerische Ausstattung vorgenommen und seinen Mitarbeiterstab erheblich ausgeweitet.

Nicht zuletzt trugen die vom Bundeswirtschaftsministerium initiierten Luftfahrtforschungsprogramme dazu bei, dass um die Jahrtausendwende herum neue Impulse in die Branche gelangten. Für das Fraunhofer IFAM begann eine engere Zusammenarbeit mit Strukturmechanikexperten bei Airbus in Hamburg, mit denen Berechnungsmethoden für Faserverbundverbindungen ebenso diskutiert wie entwickelt wurden. Mögliche Anwendungen hierfür werden unter anderem im CFK-Rumpf und anderen CFK-Bauteilen wie dem Seitenleitwerk gesehen. Mit Airbus in Bremen wiederum fing man an, klebtechnische Reparaturverfahren für Klappen und Auftriebssysteme zu erarbeiten.



Abb. 3: C-Bügel-Nietautomat des Fraunhofer IFAM.

### Design und Fertigung zunehmend im Fokus

Diese Beispiele können stellvertretend für die zunehmende Arbeit in den Bereichen Auslegung und Fertigung in den vergangenen zehn Jahren stehen, die seither die andauernde Beschäftigung mit Materialien und Prozessen immer stärker begleitet. Ausschlaggebend dafür war der Boom der Faserverbundwerkstoffe im Flugzeugbau, der hohe Anstrengungen beim Design und der Auslegung der Klebverbindungen nötig macht. Denn anders als bei der etablierten Fügetechnik Nieten sind für strukturelle Klebverbindungen zahlreiche Bemessungswerte und weitere grundlegende Daten noch nicht vorhanden – sie müssen mit den verschiedenen Partnern dieses



Industriezweigs erst noch erarbeitet werden. Dabei bewegt sich das Kleben – und damit auch das Fraunhofer IFAM – in einem Spannungsfeld: Das Kleben konkurriert zunehmend mit dem Nieten, einer etablierten und bislang vorherrschenden Füge-technik im Metallbereich. Wenn künftig beispielsweise die Zahl der Nieten um bis zu 80 Prozent reduziert werden kann, weil die Klebtechnik eine echte Alternative darstellt, würde dies die Perspektiven für ein leichteres Flugzeug nachhaltig verbessern. Grenzen liegen derzeit unter anderem in den Bauteilgrößen, die durch den für die Aushärtung der Klebungen notwendigen Autoklav vorgegeben werden. Hier wäre z. B. die Entwicklung neuer, bei niedrigeren Temperaturen härtender Klebstoffe ein Schritt nach vorne.

Ein derzeitiger Trend hinsichtlich der Bauweise eines Flugzeugs und der eingesetzten Füge-techniken geht in Richtung einer nietarmen Bauweise. Daher ist die Luftfahrtindustrie stark an Weiterentwicklungen interessiert, die das insbesondere für das Fügen von CFK ermöglichen. Projekte mit dem Fraunhofer IFAM laufen hierzu bereits.

---

### **Innovations- und Technologievorsprung durch Klebtechnik**

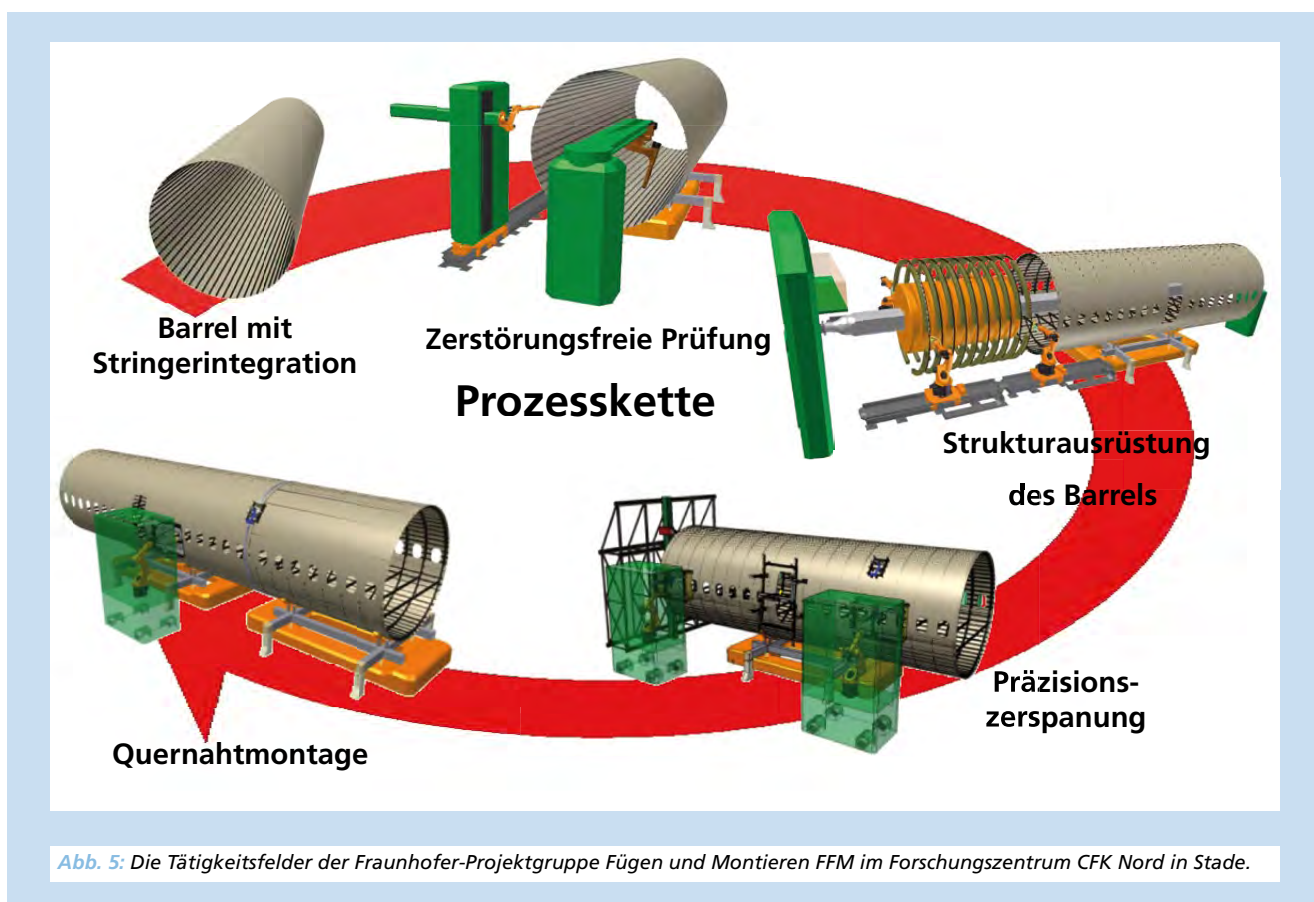
---

Dass gerade die Klebtechnik – bei deren Weiterentwicklung das Fraunhofer IFAM als führendes europäisches Forschungsinstitut in dem Bereich eine wichtige Rolle spielt – angesichts der aktuellen Trends im Flugzeugbau einen Standortvorteil für Deutschland und Westeuropa verspricht, haben sowohl Industrie als auch Politik erkannt. Durch die stärkere Einbindung der Klebtechnik ist es Firmen wie Airbus in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM möglich, einen wichtigen Innovations- und Technologievorsprung auf dem Weltmarkt zu realisieren. Gleichzeitig gilt es dabei aber auch, alle Möglichkeiten zur Senkung der Produktionskosten auszuschöpfen, die die Füge-technik ebenfalls anbietet. Auch aus politischer Sicht hat es in

den vergangenen Jahren immer wieder unterstützende Maßnahmen gegeben, um das Know-how von bremschen und anderen deutschen Forschungsinstituten mit dem Flugzeugbauer Airbus zu verbinden – mit dem Ziel, Zukunftsperspektiven zu verbessern und Arbeitsplätze zu sichern.

In Bremen zählten zu diesen Maßnahmen beispielsweise die sogenannten AMST-Projekte (Airbus Material & System Technology-Center Bremen), die vom Land Bremen gefördert wurden. In zahlreichen Projekten wurden unterschiedliche von Airbus definierte Themen bearbeitet, etwa bei der Oberflächenvorbehandlung als integralem Bestandteil der Klebtechnik und des Oberflächenschutzes oder bei der Weiterentwicklung von Fertigungstechniken. Auch die Computersimulation wurde in den Projekten vorangetrieben. Neben dem Fraunhofer IFAM waren hieran weitere bremsche Forschungsinstitute des materialwissenschaftlichen und fertigungstechnischen Bereichs beteiligt. Sichtbaren Ausdruck fand die enge Zusammenarbeit von Airbus mit bremschen Instituten in den sogenannten »Bremer Tandems«, die bis zum heutigen Tage erfolgreich operieren. In diesem Rahmen erfolgte auch die Einrichtung des »Technologiebrokers«. Ziel der Kooperation von Fraunhofer IFAM und weiteren Instituten mit Unternehmen wie Airbus ist, das in Bremen vorhandene wissenschaftliche Know-how öffentlicher Einrichtungen bei Materialien, Werkstoffen und Prozessen stärker an die Industrie heranzuführen und zielgerichtet für deren Bedarf weiterzuentwickeln. Auch hier entstanden bisher zahlreiche Aktivitäten, die zu einer engeren Verzahnung zwischen Wissenschaft und Wirtschaft führten.

Das jüngste Kapitel in der mehr als 30-jährigen »Beziehungsgeschichte« zwischen Fraunhofer IFAM und Luftfahrtindustrie handelt von der intensiven Einbindung des Instituts in das neue Forschungszentrum CFK Nord in Stade, das Mitte 2010 seine Arbeit aufnimmt (Abb. 4). Hier wird erstmals – über den Maßstab des Technikums hinaus – der 1:1-Maßstab erreicht. Die neue Einrichtung in Stade soll die Herstellungs- und Montageverfahren von CFK-Bauteilen für Großstrukturen so



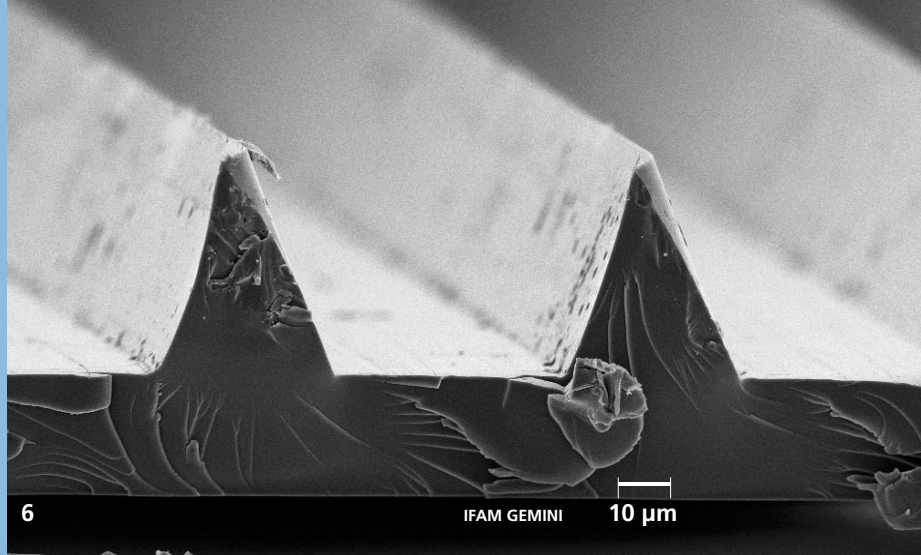
weiterentwickeln, dass der Einsatz kostengünstiger Produktionsprozesse und automatisierter Anlagen möglich wird.

Hier wird nicht nur für die Luftfahrt geforscht, sondern auch für andere Bereiche, insbesondere aus der Transportmittelindustrie. Themen wie Fügen, Montieren, Bearbeiten, Reparieren und zerstörungsfreies Prüfen stehen im Mittelpunkt. Dazu wurde von der Fraunhofer-Gesellschaft eine eigene Projektgruppe Fügen und Montieren (FFM) gegründet, die die Aktivitäten des Fraunhofer IFAM zukunftsweisend ausbaut (Abb. 5).

### Neue Oberflächenfunktionen senken den Treibstoffverbrauch

Eine zunehmende Bedeutung für die Luftfahrt hat auch die Lacktechnik – ein Gebiet, auf dem das Fraunhofer IFAM ebenfalls sehr erfolgreich ist. Zahlreiche Forschungen und Entwicklungen der vergangenen zehn Jahre haben direkten Eingang in die Luftfahrtindustrie gefunden. Lacksysteme, Trocknungsverfahren und Dichtmassen wurden und werden geprüft und qualifiziert; ein besonderer Schwerpunkt war dabei der Einsatz von wasserbasierten Lacken in dieser Branche.





Ein noch junges, aber sehr vielversprechendes Feld ist der Bereich der »funktionellen Lacksysteme«. Hier geht es um Oberflächen mit zusätzlichen Funktionen, die beispielsweise den Reibungswiderstand des Flugzeugs vermindern und völlig neue aerodynamische Konzepte ermöglichen. Dadurch lässt sich teurer Treibstoff sparen – was nicht nur die Kosten reduziert, sondern auch der Umwelt zugutekommt. Unter anderem arbeitet das Fraunhofer IFAM intensiv an Anti-Schmutz- und Anti-Eis- sowie an erosions- und abriebfesten Oberflächen. Darüber hinaus sind die sogenannten »Riblet«-Beschichtungen Gegenstand der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Die letztgenannte Oberflächenmodifikation weist eine rippenähnliche Beschaffenheit auf, die der Haifischhaut nachempfunden ist und sich als besonders strömungsgünstig erwiesen hat (Abb. 6).

### Erstmals Messebeteiligung an der SIAE in Paris-Le Bourget

Bedeutend ist die Beteiligung an aktuellen Forschungsprogrammen wie dem europäischen Vorhaben »Clean Sky«. Im Mittelpunkt des mit 1,6 Milliarden Euro ausgestatteten Projekts steht die nachhaltige Förderung der Umweltverträglichkeit und Wettbewerbsfähigkeit des europäischen Flugzeugbaus. Das Fraunhofer IFAM gehört zu einem Konsortium von 86 Industrie- und Forschungspartnern aus 16 Nationen, das die durch wachsenden Luftverkehr verursachte Umweltverschmutzung in den kommenden sieben Jahren verringern will. Dass sich das Institut mit seiner gesamten Tätigkeit für die Luftfahrtindustrie auf einer immer größeren Bühne bewegt, beweist auch die erstmalige Teilnahme an der Internationalen Luft- und Raumfahrt-Messe SIAE (Salon International de l'Aéronautique et de l'Espace; International Paris Air Show) in Paris-Le Bourget im Juni 2009. Dort sorgten der gemeinsame Stand der Fraunhofer-Institute, die sich im Projekt »Clean Sky« engagieren, und die angebotenen Informationen für reges

Interesse – eine Entwicklung, an die beim Start der Zusammenarbeit zwischen Fraunhofer IFAM und Luftfahrtindustrie vor Jahrzehnten sicher noch niemand zu glauben wagte.

## KONTAKT

*Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig*  
*Institutsleitung*  
*Telefon +49 421 2246-400*  
*andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de*

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

### Institut

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

- 1 *Vorreiter in der CFK-Technologie der Luftfahrt – Airbus A380 (Quelle: Bildagentur Hamburg, Christian Ohde).*
- 2 *Früher ein Problem: Korrosion in einer Aluminium-Klebfuge.*
- 4 *Forschungszentrum CFK Nord in Stade.*
- 6 *Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer ribletstrukturierten Lackoberfläche aus dem Fraunhofer IFAM (Querschnitt).*





## ZUKUNFT IN NIEDERSACHSEN MIT FRAUNHOFER FFM: ROBOTER MONTIEREN UND KLEBEN CFK-FLUGZEUGE

Spatenstich – Auftakt zum Baubeginn des Forschungszentrums CFK Nord in Stade mit Wirtschaftsminister Walter Hirche. Am 4. Februar 2009 war es in Stade so weit: In Anwesenheit des amtierenden niedersächsischen Wirtschaftsministers Walter Hirche wurde mit dem ersten Spatenstich der Baubeginn des Forschungszentrums CFK Nord eingeleitet. Insgesamt sind beim CFK Nord Investitionen und Forschungsprojekte von über 100 Millionen Euro verabredet, die den Wissenschaftlern und Technikern des Forschungszentrums in den nächsten Jahren für Arbeiten im Kontext Großstrukturen aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) zur Verfügung stehen.

### CFK macht Niedersachsen mobil

Im Bundesland der Mobilitätsindustrie Niedersachsen steht das neue Forschungs- und Entwicklungszentrum im direkten Kontakt mit Unternehmen des Automobilbaus, des Schienenfahrzeugbaus, des Schiffbaus sowie insbesondere der Flugzeugindustrie. Für sämtliche Bereiche stellen die CFK-Werkstoffe die Schlüsseltechnologie der Zukunft dar. Durch ihr geringes Gewicht sind sie für den Leichtbau von Großstrukturen prädestiniert – die erzielbare Gewichtseinsparung schont Ressourcen und Umwelt. Zugleich zeichnen sie sich sowohl durch sehr hohe Festigkeit und Steifigkeit als auch durch Beanspruchbarkeit, gute Dämpfungseigenschaften sowie gutmütiges Ermüdungsverhalten aus und ermöglichen neue Wege im gesamten Produktdesign. Diese Eigenschaften machen sie zudem für den Windenergieanlagenbau besonders attraktiv. Vor dem Hintergrund der zu erwartenden Steigerungsraten beim Einsatz von CFK-Werkstoffen – beispielsweise sollen sie bei Airbus-Großraum-

flugzeugen von derzeit 20 auf künftig 50 Prozent ansteigen – wird das Ausmaß des Forschungs- und Entwicklungsgebiets deutlich.

### Know-how aus dem Fraunhofer IFAM

In diesem Kontext tritt das Fraunhofer IFAM in den Vordergrund: Die Klebtechnik, als eine der Kernkompetenzen des Instituts, ermöglicht einen Innovationsschub in der CFK-Technologie. Die Bedeutung des klebtechnischen Fügens wird – vor allem im Flugzeugbau – permanent zunehmen. Große Herausforderungen im Flugzeugbau liegen in einer deutlichen Beschleunigung der Montageabläufe bei gleichzeitiger Kostenersparnis. Das Ziel ist nur durch weitgehende Automatisierung der Prozesse – weg von manuellen Arbeitsabläufen hin zum Robotereinsatz – und Entwicklung von Klebstoffen mit einer sehr speziellen Kombination von Eigenschaften erreichbar.

## FFM – Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren

Folgerichtig ist die Fraunhofer-Gesellschaft im Forschungszentrum CFK Nord mit einer eigenen Projektgruppe – Fügen und Montieren – vertreten, die dem Fraunhofer IFAM unterstellt ist. Die Tätigkeitsschwerpunkte der Fraunhofer-Projektgruppe FFM, die von Dr. Dirk Niermann geleitet wird, sind aber noch weitreichender: Montage, Bearbeitung, Reparatur und zerstörungsfreie Prüfung von CFK-Großstrukturen.

In dieser Projektgruppe münden auch die Kompetenzen und das Engagement weiterer Fraunhofer-Institute, die sich mit CFK befassen. Darüber hinaus ist es gelungen, die Technische Universität Hamburg-Harburg für die Mitarbeit in Stade zu gewinnen: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Hintze vom Institut für Produktionsmanagement und -technik leitet das Arbeitsgebiet »Spanende Bearbeitung« und Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. Jörg Wollnack vom Institut Werkzeugmaschinen, Roboter und Montageanlagen unterstützt die Projektgruppe FFM auf dem Gebiet 3-D-Geometrievermessung und Roboterkalibrierung.

Für die Fraunhofer-Gesellschaft ist das Zentrum ein Meilenstein auf dem Weg von Ergebnissen aus den Forschungs- und Entwicklungslaboren in den industriellen 1:1-Maßstab: Das Fraunhofer IFAM ist bereits seit vielen Jahren – in enger Zusammenarbeit mit anderen Fraunhofer-Instituten – intensiv auf dem Gebiet der Weiterentwicklung und Anwendung von CFK tätig. Das neu definierte Ziel besteht jetzt darin, den Auftraggebern künftig produktionsmaßstabgerechte Lösungen zu liefern, die sie ohne weiteren Zeit- und Kostenaufwand sofort in ihre Großanwendungen umsetzen können.

## Wettbewerbsfähigkeit: regional – national – international

Mit Bündelung der Fachkompetenzen der Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM des Fraunhofer IFAM

und seiner Industriepartner (Airbus Deutschland GmbH, CFK-Valley Stade e. V., Dow Deutschland Anlagengesellschaft mbH, EADS Innovation Works, Premium Aerotec GmbH) im Forschungszentrum CFK Nord in Stade werden vielfältige Voraussetzungen für Niedersachsen geschaffen. Zudem wird der Ausbau der zukunftsgerichteten CFK-Technologie auch bundesweit einen Entwicklungsschub ermöglichen, der darüber hinaus auch die Wettbewerbsfähigkeit der international agierenden Unternehmen im globalen Markt stärkt und ausbaut. Das wirkt sich wiederum positiv auf regionale sowie überregionale Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen aus – insbesondere bei Transportmittelbauern und ihren Zulieferern.

## KONTAKT

*Dr. Dirk Niermann*

*Telefon +49 421 2246-439*

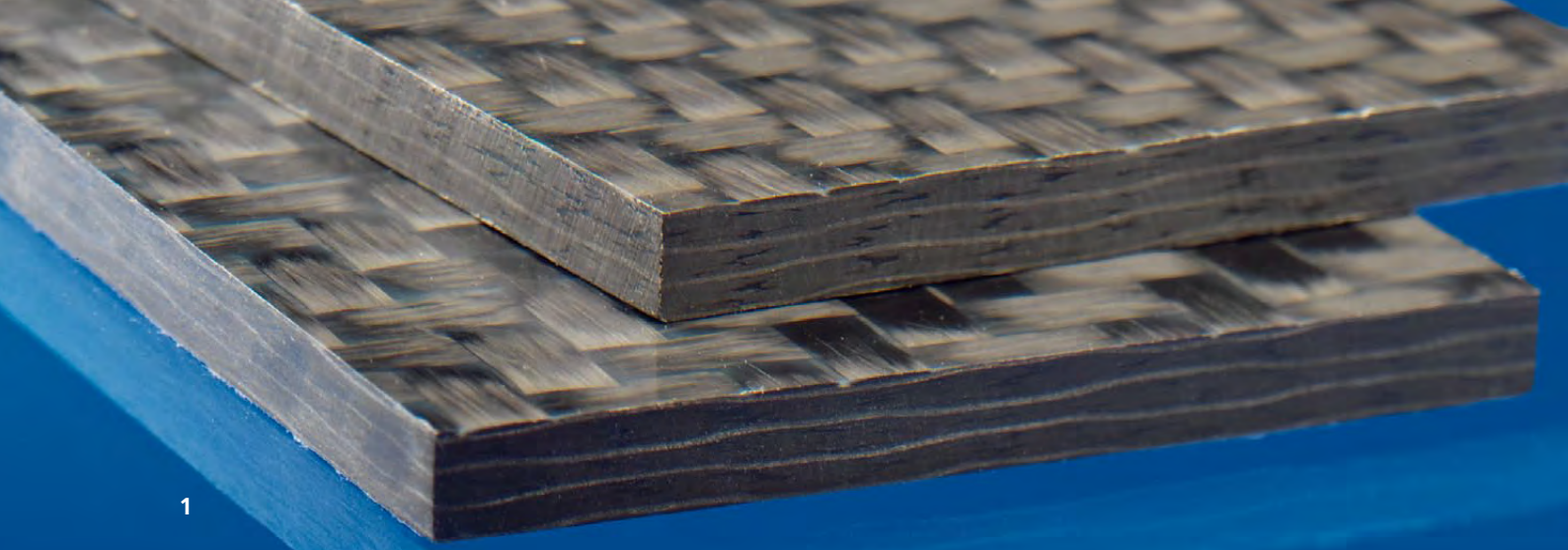
*dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de*

### Institut

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

**1** *Die Initiatoren aus dem Fraunhofer IFAM: Dr. Dirk Niermann, Leiter der Fraunhofer FFM und Dr.-Ing. Helmut Schäfer, Institutsleitung (im Vordergrund von links).*

**2** *Der gemeinsame Auftakt in Stade (von links): Christian Lübbers (CFK NORD Anlagengesellschaft mbH & Co. KG), Rudolf Lamm (Dow Deutschland Anlagengesellschaft mbH), Dr. Dieter Meiners (Premium Aerotec GmbH), Prof. Dr.-Ing. Axel Herrmann (CFK-Valley Stade e. V.; R&T Manufacturing Engineering Airbus), Andreas Rieckhof (Stadt Stade), Walter Hirche (Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr), Klaus Hamacher (DLR), Dr.-Ing. Helmut Schäfer (Fraunhofer IFAM) und Thomas Friedrichs (CFK NORD Anlagengesellschaft mbH & Co. KG).*



## ALLE KOMPETENZEN UNTER EINEM DACH: MIT FASERVERBUNDWERKSTOFFEN KENNT SICH DAS FRAUNHOFER IFAM AUS

Es sind einzigartige Werkstoffe, die von der Industrie gerne verarbeitet werden: Faserverbundwerkstoffe. In der Regel werden dabei Fasern aus Kohlenstoff, Glas oder anderen Materialien in eine Harzmatrix eingebettet. Der Vorteil: Je nach Anforderungsprofil können die Fasern in mehreren Lagen mit unterschiedlicher Ausrichtung übereinandergelegt werden. Nach dem Aushärten ist ein Laminat oder ein Bauteil entstanden, das bei geringem Gewicht eine enorm hohe Zugfestigkeit aufweist. Leicht, hochstabil und auf die jeweilige Anwendung anpassbar: Faserverbundkunststoffe (FVK) sind Produkte, die sich trotz vergleichsweise komplexer Herstellung großer Beliebtheit erfreuen – die zahlreichen Vorzüge rechtfertigen den Aufwand.

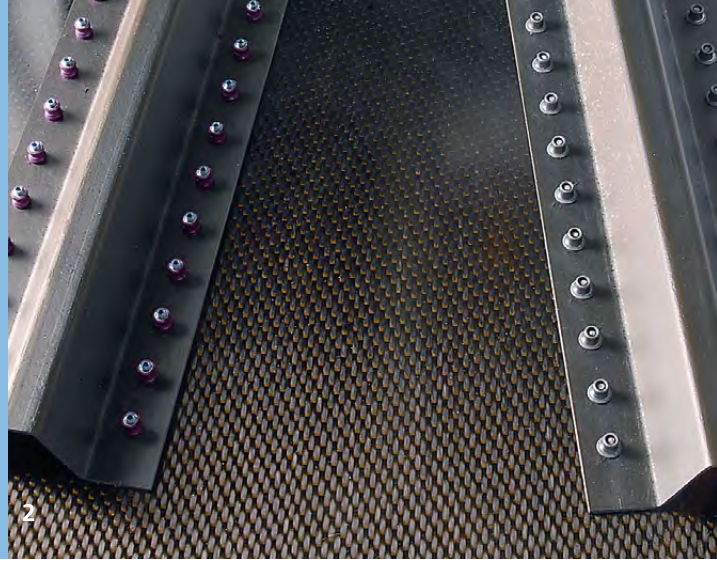
Wichtig zu wissen ist dabei, dass Faserverbundkunststoffe ohne die Klebtechnik gar nicht denkbar sind. Von der molekularen Ebene bis hin zum Zusammenfügen großer FVK-Bauteile im industriellen Alltag hat sich das Fraunhofer IFAM deshalb über mehrere Jahrzehnte auf diesem Gebiet eine umfassende Kompetenz angeeignet. Viele Entwicklungsschritte der hochmodernen Technologie hat das Institut aktiv begleitet.

Die mit Kohlenstofffasern verstärkten Kunststoffe (CFK; Abb. 1) haben sich ebenso wie die durch Glasfasern verstärkten Kunststoffe (GFK) in der Industrie etabliert. Die Anwendungen sind ungemein vielfältig und reichen von Padelbooten, die aus harzgetränkten Glasfasermatten geformt werden, bis hin zu den aus CFK gefertigten Flügelstrukturen bei neueren Airbus-Großraumflugzeugen. Weitere plakative Anwendungen sind oftmals Entwicklungen für den Hochleistungssport oder Hochtechnologiebereiche: Tennisschläger, Rennradrahmen oder Ski aus CFK sind ebenso beispielhaft

wie Glasfaseranwendungen im Schiffbau und bei Windenergieanlagen. Im Luftfahrtbereich spielt zusätzlich auch noch glasfaserverstärktes Aluminium – kurz GLARE – eine Rolle: Schichten, die abwechselnd aus Aluminium und einem Glasfaserlaminat zusammenlaminiert sind.

Die Fachgebiete des Institutsteils Klebtechnik und Oberflächen des Fraunhofer IFAM sind in Fragestellungen eingebunden, die bei der Herstellung und Anwendung von Faserverbundkunststoffen eine Rolle spielen. Dabei sind die Übergänge nicht selten fließend: Die enge Zusammenarbeit der einzelnen Abteilungen garantiert eine umfassende, ganzheitliche Bearbeitung der gestellten Aufgaben und ihre Beurteilung aus unterschiedlichen Blickwinkeln.





---

## Berechnung, Auslegung und Herstellung von FVK

---

Die Abteilung Werkstoffe und Bauweisen beschäftigt sich ebenso mit der Berechnung und Auslegung von FVK-Werkstoffen wie mit ihrer Herstellung, der mechanischen Prüfung und Fragen des Klebens und Nietens dieser Materialien. Bei der Herstellung von FVK-Laminatplatten bis zu zwei Quadratmetern Größe kommen vorrangig Harzinfusions- oder Prepregverfahren zum Einsatz. Dabei werden entweder trockene Fasermatten in eine Form eingelegt und im weiteren Prozessverlauf mit Harzen getränkt oder – beim Prepregverfahren – bereits getränkte Matten auf Formen aufgelegt und dann in einem speziellen Behälter mit Druck und Hitze ausgehärtet. Gerade das letztgenannte Verfahren erfordert ein umfassendes Know-how, ermöglicht aber auch qualitativ besonders hochwertige Ergebnisse, wie sie beispielsweise für die Luftfahrtindustrie notwendig sind.

Ebenso wichtig ist die langjährige Erfahrung bei der Prüfung von Faserverbundwerkstoffen. Ob das Einsatzgebiet die Flugzeugbranche, der Jachtbau oder Windenergiesektor ist: Von statischen oder schwingenden Beanspruchungen bis hin zum Crashtest sind die Experten des Fraunhofer IFAM in der Lage, die Belastbarkeit und das Ermüdungsverhalten von FVK-Werkstoffen sicher zu bestimmen. Bei der Berechnung und Auslegung der Bauteile kommt es ebenso auf Erfahrungswissen an. Denn Faserverbundkunststoffe können mit völlig unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften hergestellt werden – der Lagenaufbau und die Harzeigenschaften lassen sich ideal auf die spätere Verwendung abstimmen.

Schließlich werden von der Abteilung Werkstoffe und Bauweisen auch Fragen der weiteren Verarbeitung von FVK-Bauteilen bearbeitet. Diese können geklebt werden, was dünnwandige, leichte Strukturen sowie eine flächige Lasteinleitung erlaubt – ideal für die zunehmend nachgefragten Leichtbauweisen. Ebenso ist aber auch die Mischbauweise von FVK und anderen Werkstoffen möglich. Vor allem im Flugzeugbau, in dem

vorrangig CFK-Werkstoffe zum Einsatz kommen, werden diese in strukturellen Bereichen oft noch genietet. Das Nieten von CFK und das Hybridfügen – also die Integration von Klebtechnik und Nieten – gehören zu Forschungs- und Entwicklungsbereichen, in denen das Fraunhofer IFAM wertvolles Wissen aufgebaut hat (Abb. 2).

---

## Fasern und Harz: Die Chemie muss stimmen

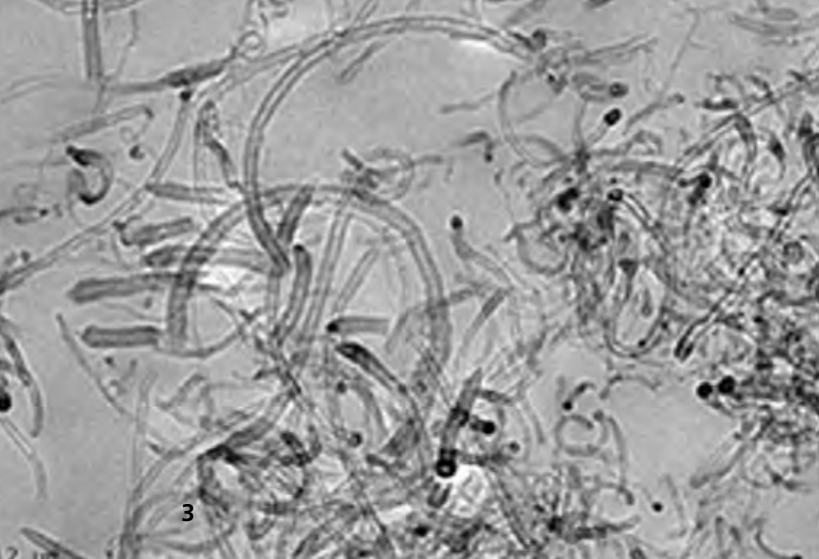
---

Voraussetzung für eine optimale Fertigung und den erfolgreichen Einsatz von Faserverbundwerkstoffen ist die genaue Kenntnis der Beziehungen zwischen Fasern und Harzen samt ihrer jeweiligen Eigenarten. Je nachdem, wie der fertige CFK- oder GFK-Werkstoff zusammengesetzt ist, unterscheidet er sich beispielsweise in Gewicht und Festigkeit. Die Abteilung Klebstoffe und Polymerchemie beschäftigt sich intensiv mit den Matrixharzen, der optimalen Anbindung der Fasern an die Matrix sowie der Modifizierung der Harze, um das Eigenschaftsprofil zu optimieren.

Als Matrixharze werden Duromere oder Thermoplaste eingesetzt, wobei beim Fraunhofer IFAM der Fokus auf den Duromeren liegt. Sie weisen nach der Härtung oft eine gewisse Sprödigkeit auf, die eine der Hauptursachen für Schäden an FVK ist. Zwar lässt sich mit verschiedenen Zusatzstoffen die Zähigkeit der Materialien verbessern; allerdings senken diese oft die Festigkeit. Es wird intensiv daran gearbeitet, Wege aufzuzeigen, um die heute bestehenden Grenzen zu überwinden. Weitere wichtige Punkte, die es bei der Produktion von FVK zu optimieren gilt, sind die rheologischen Eigenschaften der Harze und die Härtungsbedingungen.

Bei den eingesetzten Zusatzstoffen liegt ein besonderes Augenmerk auf modifizierten Nanopartikeln. Positive Erfahrungen mit diesen Partikeln wurden bereits im Bereich der Klebstoffe gemacht. Als Material kommt vor allem unterschiedlich





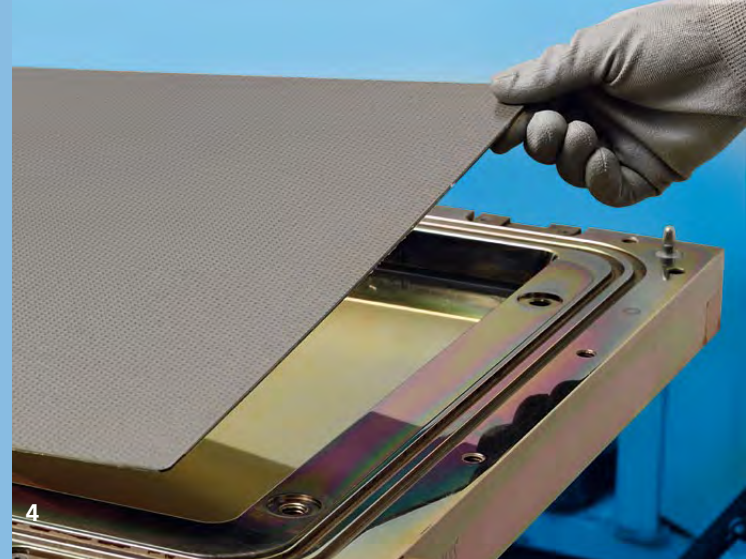
3

vorbehandeltes Siliziumdioxid zum Einsatz, aber auch elastische Nanopartikel, Aluminiumoxid oder Kohlenstoffnanoröhren (»Carbon Nanotubes«, kurz CNT; Abb. 3).

### Keine Oberfläche ohne Vorbehandlung

Eine wesentliche Bedeutung kommt bei FVK-Werkstoffen auch der Oberflächenvorbehandlung zu – eine Aufgabe, der sich die Abteilung Plasmatechnik und Oberflächen (PLATO) widmet. Die Vorbehandlung beginnt schon bei den einzelnen Kohlenstofffasern, die durch gezielte Oxidationsprozesse bei der industriellen Herstellung bereits beeinflusst werden können. Anschließend lassen sich die Oberflächen dieser Fasern je nach Anwendungsfall noch weiter modifizieren, etwa durch Plasmavorbehandlung oder nasschemische Prozesse. Zusammen mit der zuvor beschriebenen Optimierung der Matrixharze schafft das Fraunhofer IFAM so die Voraussetzungen für FVK-Produkte mit den bestmöglichen Eigenschaften.

Bei der Herstellung der FVK-Bauteile oder -Lamine in Formen wirkt das Matrixharz in der Regel wie ein Klebstoff. Deshalb sind dünne Trennschichten notwendig, beispielsweise aus Wachs oder Silikon, damit die gefertigten FVK-Teile wieder aus den Formen gelöst werden können. Ein Problem sind jedoch zurückbleibende Trennmittelrückstände auf den Bauteilen, die ein sicheres Kleben und/oder Lackieren verhindern und deshalb zunächst entfernt werden müssen. PLATO hat für die Reinigung neuartige Oberflächenvorbehandlungsverfahren entwickelt. Dazu zählen abtragende Techniken wie das CO<sub>2</sub>-Schneestrahlen oder das Vakuum-Saugstrahlen. Ergänzend dazu werden die Oberflächen durch Plasmabehandlung oder mit energiereicher Strahlung aus dem vakuum-ultravioletten Spektralbereich (VUV) aktiviert, was auf molekularer Ebene eine bessere Anbindung von Klebstoffen oder Lacken ermöglicht.



4

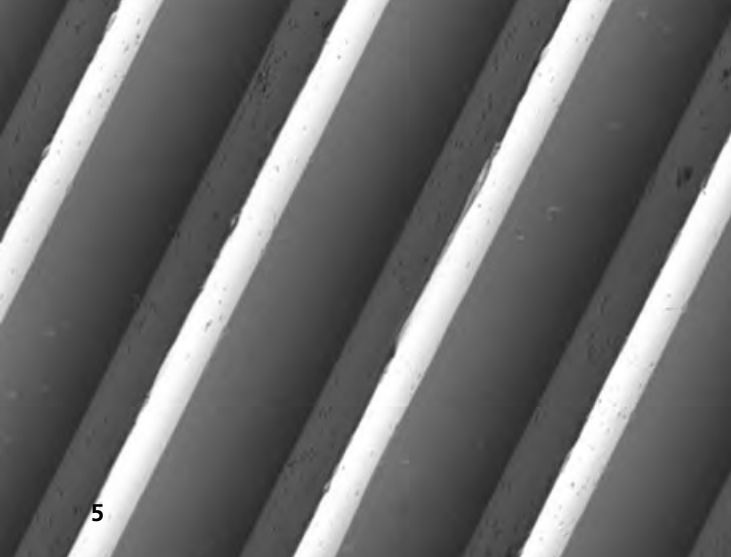
Eine alternative Technik zur Entformung der CFK-Bauteile ist die Beschichtung der Formen mit einer permanent wirkenden Trennschicht. Hier wird im Gegensatz zu herkömmlichen Trennmitteln das Formwerkzeug mit einer von PLATO entwickelten plasmapolymerten Trennschicht versehen, die auch nach vielen Entformungszyklen sehr gute Trennwirkung zeigt. Zudem weisen die CFK-Bauteile nach Entformung keine Kontaminationen auf, sind also »ready-to-paint« bzw. »ready-to-bond«. Abbildung 4 zeigt ein plasmapolymere beschichtetes Formwerkzeug bei Entnahme eines CFK-Bauteils.

Auch in anderen Bereichen der Herstellung und Verarbeitung von FVK-Werkstoffen kommt es auf die Expertise von Plasmatechnik und Oberflächen an. Das gilt beispielsweise für das Plasmaätzen: Um die Unversehrtheit von Kohlenstofffaserkomponenten während des Alltagseinsatzes – z. B. als Flugzeugbauteil – überprüfen zu können, sollen zukünftig Glasfasern als Sensoren in die CFK-Bauteile eingebracht werden, um so den Zustand der Bauteile während des Betriebs anzuzeigen (structural health monitoring; SHM). Beim Zusammenfügen derartiger CFK-Komponenten müssen auch die einzelnen Glasfasern miteinander verbunden werden. Dazu ist es erforderlich, sie möglichst schonend freizulegen – dies ist durch Plasmaverfahren bei Atmosphärendruck möglich.

Ein weiteres Thema für PLATO ist der Korrosionsschutz beim Verbund von Faserverbundwerkstoffen mit anderen Leichtbaumaterialien, etwa Aluminium. Weil es durch die sogenannte Kontaktkorrosion dabei oft zu Schäden kommt, werden im Bereich der Nähte korrosionsverhindernde plasmapolymere Schichten aufgetragen.

### Lackierung und Veredelung von CFK

Die Oberfläche ist auch für die Arbeit der Abteilung Lacktechnik der entscheidende Ausgangspunkt. Sie sucht intensiv



nach Möglichkeiten, um unerwünschte Oberflächenfehler messen und abstellen zu können. Dazu beschäftigt sie sich mit verschiedenen Fehlerquellen. Insbesondere hochwertige CFK-Bauteile erfordern fehlerfreie Oberflächen. Doch das hergestellte Bauteil kann nur so gut wie seine Form sein. Weist die Form als »Negativ« Fehler auf, finden sich diese auch auf der Oberfläche des Bauteils – dem »Positiv« – wieder. Dadurch entstehen beispielsweise sogenannte Lunker: Poren, die anschließend extra verspachtelt werden müssen und deshalb wieder eine zusätzliche Oberflächenvorbereitung mit Reinigen, Schleifen und Aktivieren nötig machen.

Falls sich Harz und Fasern durch Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen unterschiedlich ausdehnen, können Faserstrukturen – selbst nach der Lackierung – an der Oberfläche sichtbar werden. Damit dennoch eine akzeptable Lackoberfläche erzeugt werden kann, beschäftigt sich das Fraunhofer IFAM auch mit solchen Fragestellungen.

Vorteilhaft für die Produktion ist es, wenn ein Bauteil schon lackiert aus der Form genommen werden kann. Das Fraunhofer IFAM arbeitet deshalb an der Entwicklung spezieller Lacke, die direkt in der Form verarbeitet werden können. Das kann beispielsweise durch eine Trennfolie geschehen, in die eine oder mehrere Lackschichten integriert sind. Vor der Herstellung des Bauteils werden die speziellen Folien in die Form tiefgezogen. Gemeinsam mit PLATO versucht die Abteilung Lacktechnik, diese »In-Mould-Lacke« weiter zu verbessern und für die Anwendung zu optimieren.

Für die Lackierung von Bauteilen aus Kohlenstofffaserwerkstoffen hat die Lacktechnik des Fraunhofer IFAM ein umfassendes Wissen aufgebaut. Es umfasst die Qualifizierung von Lacksystemen ebenso wie von Reinigungs-, Vorbehandlungs- und Lackierverfahren. Die Qualität der Oberfläche kann hinsichtlich Farbton, Glanz, Staubeinschlüssen, Verlauf und vielem mehr gemessen und bewertet werden. Außerdem ist die funktionelle Veredelung der Oberflächen mit Systemen wie selbstreparierendem Lack, Anti-Schmutz- und

Anti-Eis-Beschichtungen, Anti-Erosions-Beschichtungen und Riblet-Strukturen (»Haifischhaut«; Abb. 5) möglich. Gerade die letztgenannte Oberflächenveredelung ist aufgrund ihrer aerodynamischen Wirkung für die Luftfahrt und die Windenergieindustrie von großem Interesse.

---

### Die richtige Fügetechnik: Viel kleben, etwas nieten

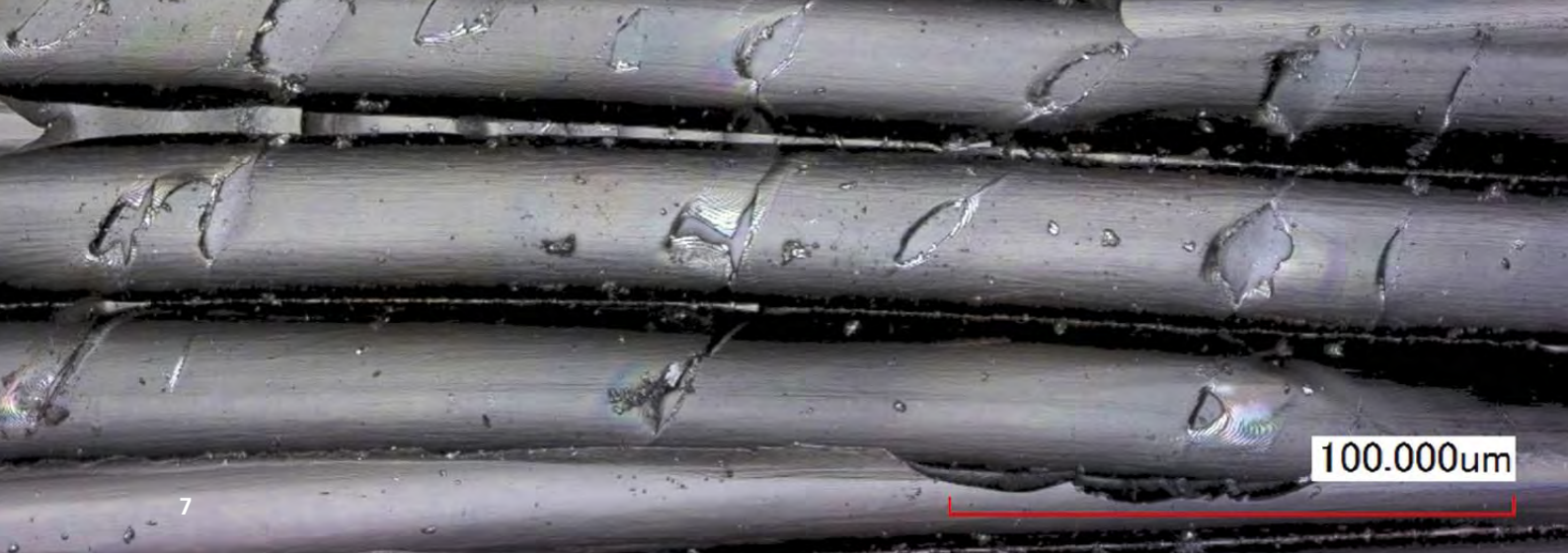
---

Um Bauteile aus Faserverbundkunststoffen miteinander hoch belastbar und auf die jeweilige Anwendung hin bestmöglich miteinander zu verbinden, braucht es optimierte und gleichzeitig wirtschaftliche Fügeverfahren. Dies gilt sowohl für Anwendungen auf kleinstem Raum wie für Großstrukturen: Solange es beispielsweise das »Flugzeug aus einem Stück« noch nicht gibt, müssen Rumpf und Flügel, Leitwerke und Fahrwerk miteinander verbunden werden – idealerweise durch die Klebtechnik, die von jeher die Kernkompetenz des Fraunhofer IFAM darstellt.

FVK-Werkstoffe werden in der Regel nach der Aktivierung der Oberfläche mit Filmklebstoffen oder mit heiß härtenden Klebstoffen gefügt. Dabei werden die Klebvorgänge oft mithilfe eines Autoklavkessels vorgenommen, in dem die Klebverbindungen unter Druck und Hitze aushärten (Abb. 6). Eines der Probleme ist, dass die Größe der Druckkessel auch die Größe der zu fügenden Bauteile beschränkt: Autoklave in der Größe von Flugzeugrümpfen gibt es nicht und ihre Konstruktion wäre nicht wirtschaftlich. Deshalb erforscht das Fraunhofer IFAM Klebstoffe, die für diese Zwecke bei niedrigeren Temperaturen aushärten. Ebenfalls wünschenswert ist z. B., lange Klebstoffnähte in unterschiedlicher Dicke auftragen zu können – je nach Spaltmaß zwischen den einzelnen Fügeteilen.

Mit solchen Herausforderungen beschäftigt sich die Abteilung Klebtechnische Fertigung im Fraunhofer IFAM. Sie untersucht beispielsweise eingehend, wie der Klebstoff für das Fügen





von FVK beschaffen sein muss, welche Fließeigenschaften er hat und bei welcher Temperatur er sich am besten verarbeiten lässt. Die Abteilung entwickelt auch komplette Prozessketten: Unter Berücksichtigung der jeweiligen Fertigungsumgebung und der von den Klebstoffen sowie Bauteilen vorgegebenen Rahmenbedingungen werden die notwendigen Ressourcen von Personal, Maschinen und Platz ermittelt.

Darüber hinaus steht auch die Applikation, also das Aufbringen des Klebstoffs, im Fokus. Dabei werden die Forderungen nach einem Toleranzausgleich unterschiedlicher Spaltmaße einerseits und möglichst geringer Überdosierung andererseits durch ein neu entwickeltes System erfüllt. Die Bauteile und ihre Konturen werden mit einem Laserscanner erfasst und nach einer Datentransformation im PC virtuell montiert. Dabei wird das – variierende – Spaltmaß ortsaufgelöst ermittelt. Durch die Kombination dieser Informationen mit dem Bahnprogramm des Roboters wird der Klebstoff anschließend bedarfsgerecht appliziert.

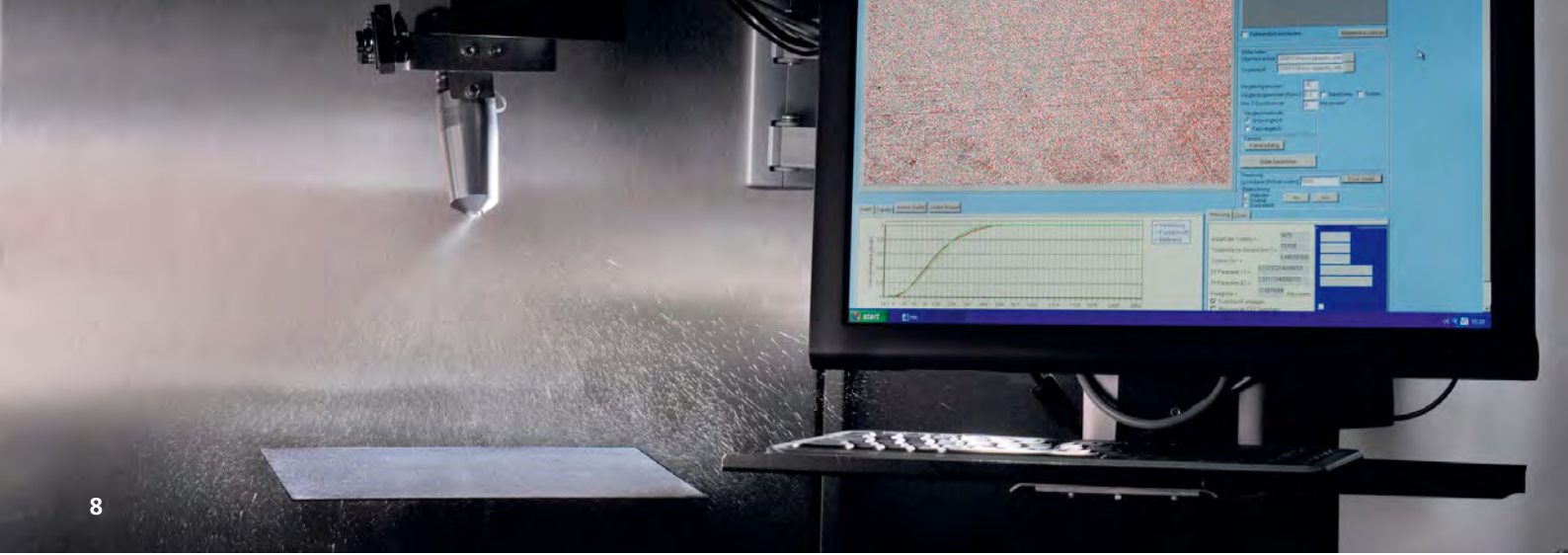
Eine besondere Herausforderung beim Fügen der Faserverbundkunststoffe ist das Nieten dieser Materialien. Das ist vorrangig im Luftfahrtbereich gängige Praxis: Wenn heute Flügel und Rumpf eines Flugzeugs verbunden werden, vertrauen Flugzeugbauer noch nicht allein auf das Kleben, sondern fordern immer auch Nietverbindungen. Hier sind vor allem die Auswahl der richtigen Niettypen und das Bohren der Nietlöcher Gebiete, mit denen sich das Fraunhofer IFAM stark beschäftigt. Eine der Aufgaben ist, die Beeinträchtigung der besonderen FVK-Materialeigenschaften durch die Materialverletzung so gering wie möglich zu halten. Auch die Verbindung von Kleb- und Niettechnik – das sogenannte Hybridfügen – ist ein wichtiges Arbeitsfeld des Instituts.

### Know-how für Material- und Verfahrensoptimierung: Adhäsions- und Grenzflächenforschung

Gerade die Luftfahrt stellt besondere Herausforderungen an die Klebtechnik, wenn es um das strukturelle Kleben tragender Teile geht. Aus Sicherheitsgründen muss gewährleistet sein, dass die Klebverbindung auch hält, es also nicht zu einem plötzlichen Versagen von Klebnähten kommt. Dazu lässt sich die Klebung mit zerstörungsfreien Prüfmethoden untersuchen. Dabei stößt man oft auf das Problem von »Kissing Bonds«: scheinbar einwandfreie Klebverbindungen mit stoffschlüssiger Verbindung, die dennoch keine ausreichende Klebkraft entwickeln. Grund dafür ist eine nur schwache Verbindung und mangelhafte Wechselwirkung des Klebstoffs mit den Fügeteilen auf molekularer Ebene.

Ein anderer Weg zum Nachweis der Fertigungssicherheit ist die Prozesskontrolle. Der eigentliche Klebvorgang bzw. Fügeprozess wird intensiv überprüft: Stimmt die Qualität der Oberflächenvorbehandlung? Ist der richtige Klebstoff in der richtigen Menge an der richtigen Stelle appliziert worden? Stimmt der Anpressdruck, sind die optimalen Umgebungsvariablen wie Temperatur und Luftdruck eingehalten worden? Diese Kontrolle lässt sich besonders gut auch in den Produktionsprozess integrieren und ist eine der Aufgaben, mit denen sich die Adhäsions- und Grenzflächenforschung des Fraunhofer IFAM befasst. Nach der Oberflächenvorbehandlung und vor dem Klebstoffauftrag wird ermittelt, ob die Oberfläche in einem optimalen klebfähigen Zustand ist (Abb. 8).

Die Oberflächencharakterisierung – also das Ermitteln von Oberflächenchemie sowie der Makro- und Mikrostrukturen – spielt eine wichtige Rolle, wenn es um die Haftung von Klebstoffen und Lacken geht. Vor der Oberflächenvorbehandlung ist es daher von Bedeutung, grundlegende Informationen über die mikroskopisch dünne Grenzschicht zu erhalten, in der sich der eigentliche adhäsive Vorgang bei der Anbindung von Klebstoff oder Lack abspielt (Abb. 7).



Mithilfe der Adhäsions- und Grenzflächenforschung lassen sich Oberflächenvorbehandlungen untersuchen und bewerten – etwa der Einsatz von Trennmitteln, das Maß der Verunreinigung und die Auswirkungen von Trennmittelresten auf die Haftfestigkeit der Klebverbindungen. Im mikro- bzw. submikroskopischen Bereich spielen sich auch die Untersuchungen der für das mechanische Verhalten von CFK-Materialien wichtigen adhäsiven Wechselwirkungen zwischen Kohlenstofffasern und Matrixharzen ab. Für diese Untersuchungen werden in der Abteilung sowohl moderne analytische Verfahren als auch computergestützte Simulationsmethoden verwendet.

Zudem stellen die Bewertung und die Optimierung von Konzepten zur Vermeidung galvanischer Korrosion bei der Verbindung von CFK mit Leichtmetallen samt der notwendigen langzeitbeständigen elektrischen Isolation der Materialien ein weiteres und speziell für den Flugzeugbau wichtiges Aufgabengebiet der Abteilung dar.

---

### Vom Labor in den 1:1-Maßstab

---

Alle bis hier genannten Kompetenzen des Fraunhofer IFAM auf den verschiedenen Ebenen der Herstellung und Anwendung von Faserverbundkunststoffen sind auch bei der Fertigung von Großstrukturen, wie z. B. für den Flugzeugbau, von hoher Bedeutung. Für das im Aufbau befindliche Forschungszentrum CFK Nord in Stade hat deshalb die neugegründete Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM ihre Arbeit aufgenommen. Zusammen mit verschiedenen Partnern aus der Luftfahrtbranche wird sie die Entwicklung von Montageverfahren für CFK-Bauteile im 1:1-Maßstab betreiben.

Hintergrund ist das derzeit nachhaltige Bestreben, durch die verstärkte Anwendung des Leichtbaus eine Gewichtsreduktion – und damit Treibstoffeinsparung – bei Flugzeugen von bis zu 20 Prozent zu erreichen. Weitere Vorteile ergeben sich

durch eine Reduzierung der Servicekosten sowie die wesentlich höhere Lebensdauer von CFK-Strukturen, eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit und einen geringeren Inspektionsaufwand.

Beispiele wie die Boeing 787 (»Dreamliner«) oder der Airbus A350 zeigen, dass der Leichtbau auf CFK-Basis zügig voranschreitet. Für eine wirtschaftliche Serienfertigung ist es jedoch notwendig, beim Bau derartiger Flugzeuge einen möglichst hohen Mechanisierungs- bzw. Automatisierungsgrad mit vielen parallel ablaufenden Prozessschritten zu erreichen.

Weil die Fraunhofer-Gesellschaft – und hier noch einmal ganz besonders das Fraunhofer IFAM – über Kompetenzen in der gesamten Prozesskette der CFK-Verarbeitung verfügt, ist die Projektgruppe FFM ein unverzichtbarer Partner der Luftfahrtindustrie. Zusammen mit Airbus, Premium Aerotec und weiteren Zulieferern soll die Gruppe die automatisierte sowie parallelisierte spanende Bearbeitung und Montage der CFK-Großstrukturen auf ein Niveau weiterentwickeln, das eine reibungslose Überführung der neu erarbeiteten Produktionsprozesse in den Alltagseinsatz garantiert (Abb. 9). Der breite Einsatz von CFK in verschiedenen Industriebereichen – nicht nur der Luftfahrt – wird steigen, wenn sich die Kosten durch Automatisierung reduzieren lassen. Dann werden sich auch Automobil-, Nutzfahrzeug-, Schienenfahrzeug- und Schiffbau noch stärker als bisher dem Leichtbau mit CFK zuwenden.

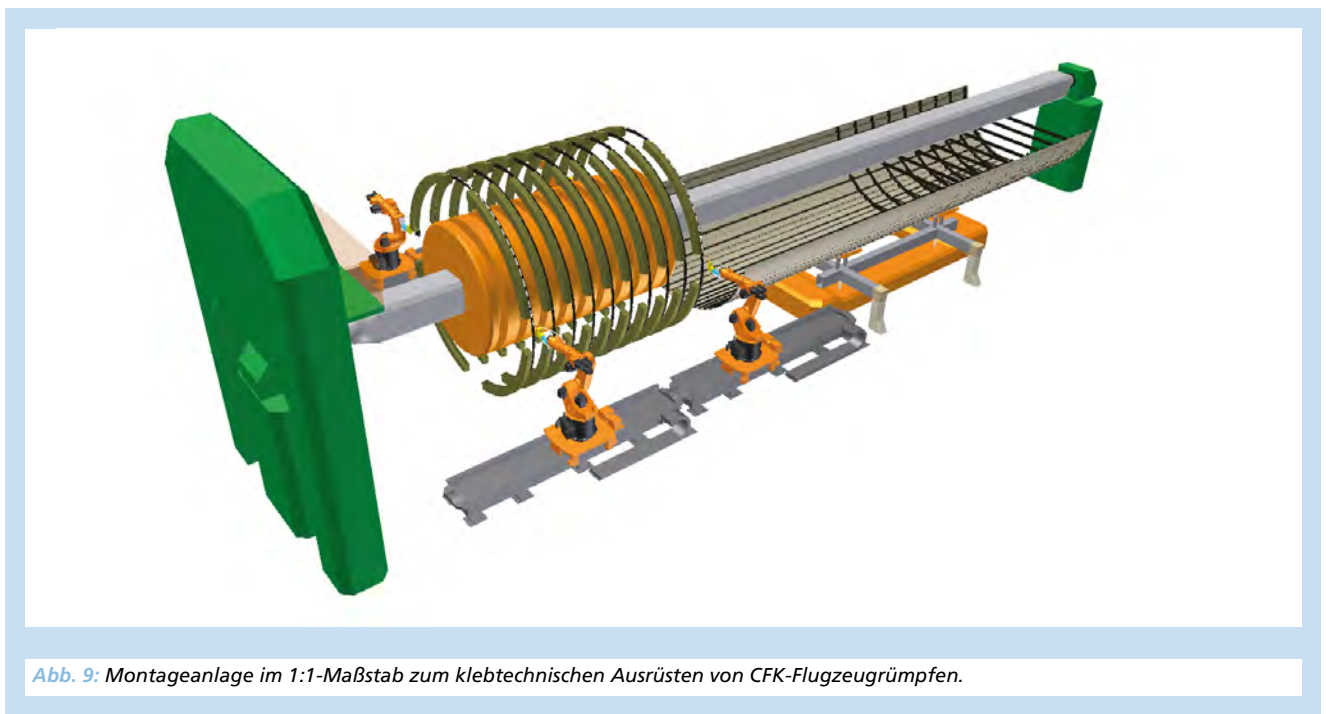
---

### Personalqualifizierung – eine wichtige Voraussetzung

---

Keine Innovation schafft jedoch den Durchbruch und schöpft alle Vorteile einer neuen Technologie aus, wenn sie falsch angewendet wird. Deshalb kommt der Aus- und Weiterbildung von Menschen, die mit Faserverbundwerkstoffen arbeiten und sie nutzen, eine überaus große Bedeutung zu. Das Fraunhofer IFAM hat diese wichtige Grundlage schon vor mehr als





*Abb. 9: Montageanlage im 1:1-Maßstab zum klebtechnischen Ausrüsten von CFK-Flugzeugrümpfen.*

15 Jahren im Zusammenhang mit der boomenden Klebtechnik erkannt. Heute ist das Klebtechnische Zentrum des Instituts die führende Weiterbildungseinrichtung im Bereich der Klebtechnik.

Weil das Verarbeiten und Fügen von Faserverbundkunststoffen vom Kleben nicht zu trennen ist und dennoch einige Besonderheiten aufweist, hat das Fraunhofer IFAM zusammen mit Partnern das Kunststoff-Kompetenzzentrum ins Leben gerufen. Dort wird u. a. die Weiterbildung zur Faserverbundkunststoff-Praktikerin bzw. zum Faserverbundkunststoff-Praktiker durchgeführt (Abb. 10). Die Qualifizierung im Umgang mit FVK ist vor allem für den Bereich der kunststoffverarbeitenden Industrie von zunehmender Bedeutung: Windenergieanlagenbau, Schiffbau, Automobil- sowie Luft- und Raumfahrtindustrie brauchen gut ausgebildete Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Dank des Fraunhofer IFAM bekommen sie diese: Bis heute wurden mehr als 340 Teilnehmerinnen und

Teilnehmer in Bremen, Bremerhaven und Brake zur FVK-Praktikerin bzw. zum FVK-Praktiker qualifiziert.



## 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

*Prof. Dr. Andreas Groß*  
 Technologietransfer und Personalqualifizierung  
 Telefon + 49 421 2246-437  
 andreas.gross@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 +49 421 2246-439  
 dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de

*Dipl.-Ing. Manfred Peschka*  
 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

- 1 Mit Kohlenstofffasern verstärkter Kunststoff (CFK).
- 2 Hybridgefügtes CFK-Bauteil.
- 3 Klebstoff mit eindispersierten Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT).
- 4 Permanente Trennschicht zur Entformung in der Fertigung von CFK.
- 5 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer ribletstrukturierten Lackoberfläche aus dem Fraunhofer IFAM (Draufsicht).
- 6 Autoklav zur Herstellung von Faserverbundkunststoffen.
- 7 Laserscanningmikroskopaufnahme von Kohlenstofffasern an der Oberfläche eines im Resin-Transfer-Molding-Verfahren (RTM) hergestellten CFK-Bauteils.
- 8 Untersuchung der Benetzungseigenschaften von Oberflächen mithilfe der im Fraunhofer IFAM entwickelten Aerosol-Benetzungsprüfung.
- 10 Personalqualifizierung zum FVK-Praktiker im Kunststoff-Kompetenzzentrum.

# VON DER MODERNEN FASSADEN- GESTALTUNG BIS ZUM BRÜCKENBAU: DAS BAUWESEN ENTDECKT DIE FÜGETECHNIK KLEBEN

Es ist ein bekanntes Bild aus unserem Alltag: die Baustelle gleich um die Ecke, wo wieder einmal ein Wohn- oder Geschäftshaus, eine Industrieanlage oder ein architektonisches Designobjekt »hochgezogen« wird. Zunächst verbindet man diese Baustellen eher mit den Materialien Beton, Stahl und Holz oder Mauerwerk, die auf herkömmliche Weise beispielsweise geschweißt oder mit Mörtel verbunden werden. Erst bei näherem Hinsehen wird die Fügetechnik Kleben in weiteren Bereichen deutlich: Fliesen und Fußboden sind meist geklebt, ebenso die Tapeten. Regelmäßig kommt bei der Verarbeitung von Dämmung Klebstoff zum Einsatz, beispielsweise beim Anbringen von Styroporplatten oder beim Kleben von Dampfsperrfolien mit luftundurchlässigen Klebebändern. Das Verleimen von Holz ist seit Jahrhunderten eine gängige Verbindungstechnik auf dem Bau und auch beim Einsetzen der Fenster oder bei der Dachkonstruktion sind Klebstoffe als Verbindungs- oder Dichtstoff gefragt. Mit Porenbeton lassen sich heute Gebäude in kürzester Zeit fertigen, weil die leichten, großvolumigen Steine mit schnell härtendem Klebstoff gefügt werden können. Epoxidharze, Silikone, Acrylate oder Polyurethan sind mittlerweile gängige und relevante Klebstoffe im Bauwesen (Abb. 1–3).

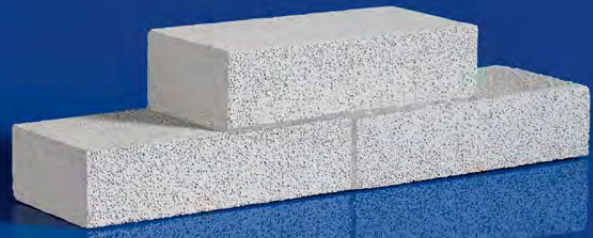
Der längst nicht vollständige Überblick zeigt: Kleben am Bau ist ein Thema, das erheblich an Dynamik gewonnen hat. Damit kommt das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM ins Spiel: Zunehmend wird die Expertise und Erfahrung des führenden europäischen Forschungsinstituts auf dem Gebiet der Klebtechnik auch von Anwendern in der Baubranche abgefragt – und natürlich von Klebstoffherstellern, die immer mehr Produkte für diese Zielgruppe anbieten. Das Institut reagiert auf den Trend und engagiert sich verstärkt in Forschung und Entwicklung für den Industriezweig. Im Fraunhofer IFAM bündelt die Arbeitsgruppe Applikationsverfahren der Abteilung Klebtechnische Fertigung das breite Know-how aus verschiedenen Detailgebieten der

Klebtechnik für die Bauindustrie und steht als erster Ansprechpartner zur Verfügung.

Die neuartige, von Architekten und Bauherren zunehmend eingesetzte Fassadenmembrantechnik – mit ihr lassen sich komplette Gebäudehüllen verwirklichen – haben Fraunhofer-Institute zum Anlass genommen, eine wirtschaftsorientierte strategische Allianz (WISA) mit dem Titel »Multifunktionale Membrankissen-Konstruktion« zu gründen. In ihr haben das IFAM und fünf weitere Fraunhofer-Institute ihre Kompetenzen gebündelt. Ziel war, Verfahren und Technologien für Verbesserungen der baupraktischen Umsetzung zu entwickeln, wie beispielsweise das Fügeverfahren Kleben für die pneumatisch gestützten Membrankissen-Konstruktionen (Abb. 4 und 5).



2



3

## »Hightech« jetzt auch in der Baubranche

Vor allem eine Tatsache hat die Baubranche auf die vielfältigen Möglichkeiten des Klebens aufmerksam gemacht: Erst mit dem Kleben ist ein werkstoffgerechtes Fügen unterschiedlichster Materialien möglich. Genau das ist für einen Industriezweig interessant, in dem relativ spät »Hightech« Einzug gehalten hat. Architektonisch und technisch höchst anspruchsvolle sowie innovative Gebäudefassaden, wie die Titanblechfassade des Guggenheim-Museums in Bilbao oder die Ganzglasfassade des Bürokomplexes »Hamilton House« in London (Abb. 6), wären ohne die Klebtechnik so nicht realisierbar gewesen. Zu den bisher bekannten Materialien hat sich mittlerweile das Bauen mit Spezialwerkstoffen wie Legierungen, Kunststoffen, Keramiken und Gläsern gleichberechtigt hinzugesellt. Die Zukunft am Bau gehört den verschiedenartigen Verbundsystemen. Das bringt neue Herausforderungen mit sich – denn bei der Verbindung der unterschiedlichen und zum Teil sensiblen neuen Materialien haben sich herkömmliche Fügeverfahren oft als wenig geeignet erwiesen. Thermische Verfahren wie etwa das Schweißen verändern das Material durch zu große Hitze, beim Nieten und Schrauben werden die Werkstoffe lokal geschwächt. Zudem ist bei den Verbindungen nur eine punktförmige Kraftübertragung möglich.

Die Geschichte der Klebtechnik hat schon oft gezeigt, dass diese Verbindungstechnik ihre Stärken erst von einer höheren technologischen Entwicklungsstufe an voll ausspielen kann. Was für Branchen wie Luftfahrt, Automobilbau, Elektronik und Mikrosystemtechnik seit langer Zeit gilt, ist nun auch auf das Bauwesen übertragbar. Nur durch das Kleben lassen sich dort Verbindungen unterschiedlichster Werkstoffe insbesondere flächig herstellen, ohne die speziellen Materialeigenschaften zu verändern. Dadurch können neue Bauweisen wie der Leichtbau realisiert werden. Außerdem ermöglicht das Kleben das Hinzufügen zusätzlicher Eigenschaften – vom Abdichten über das Dämmen, die Schwingungsdämpfung, das Einbringen von Sperrschichten bis hin zu Beschichtungen,

Korrosionsschutz und vielem mehr. In Verbindung mit neuen Baumaterialien erlaubt das Kleben architektonische Entwürfe, die die Stadtbilder moderner Metropolen nachhaltig verändern. Das Bauen mit geklebten Materialien wie Titanblech, Aluminium oder Glas ermöglicht Fassadenbilder in gewagten geometrischen Formen, die dennoch einheitlich und glatt wirken.

## Bedürfnis nach Licht: Anwendungsfall konstruktiver Glasbau

Zahlreiche Anwendungsbeispiele verdeutlichen das hohe Potenzial, das die Klebtechnik für die Baubranche bereithält. Schon seit Längerem ist der konstruktive Glasbau beliebt. Das Bedürfnis nach hellen, lichtdurchfluteten Wohn- und Büroräumen hat dem Baustil zum Erfolg verholfen. Ob es um Eingangs- oder Empfangshallen geht, die aus Glaselementen gefertigt werden, um ganze Bürotürme oder einfach nur um ein simples Vordach aus Glas – erst das Kleben erlaubte es, dieses sensible Material ohne Schwächung zu fügen. Denn die Klebverbindungen ermöglichen es, auftretende Kräfte flächig und damit gleichmäßig zu verteilen sowie Spannungsspitzen zu absorbieren durch eine entsprechende Auslegung der Schichtdicke und der mechanischen Eigenschaften (zum Beispiel Elastizität) der Klebstoffe.

Im Baubereich werden bisher ein- und zweikomponentige Silikone, Epoxide sowie Polyurethane eingesetzt. Aber auch andere Klebstoffsysteme – zum Beispiel UV- oder lichterhärtbare Acrylsysteme – sind insbesondere beim Fügen von Glas denkbar. Acrylate zeichnen sich durch hohe Transparenz, gute Verarbeitbarkeit und schnellen Festigkeitsaufbau aus. Um den hohen Ansprüchen der Bauaufsicht zu genügen, besteht bis zu ihrem breiten Einsatz jedoch noch Forschungsbedarf.





---

## Sanierungsmaßnahmen – Bauen im Bestand

---

Auch bei der Instandhaltung oder Sanierung von Bauwerken spielt die Klebtechnik mittlerweile eine wichtige Rolle. Wenn beispielsweise jahrhundertealte Häuser in engen Straßen grundsaniert und stabilisiert werden müssen, lässt sich Bewehrungsstahl manchmal nur unter unverhältnismäßig hohem Aufwand dorthin transportieren; die Verarbeitung vor Ort gestaltet sich schwierig. Eine alternative Form von Bauwerksverstärkungen bieten seit Längerem hochfeste und dennoch leichte Lamellen aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK). Sie lassen sich schnell sowie unkompliziert verarbeiten und haben zahlreiche Vorteile – etwa eine minimale Querschnittserhöhung des verstärkten Bauteils, eine geringe Dichte, eine hohe Korrosionsbeständigkeit und sehr gute Ermüdungseigenschaften. Die leichten CFK-Lamellen, die zu etwa 70 Prozent aus Kohlenstofffasern und zu 30 Prozent aus Epoxidharz bestehen, werden in Rollen auf Baustellen geliefert. Sie sind sowohl zur Verstärkung von Betonbauwerken als auch von Mauerwerk und bei Bauwerken aus Holz geeignet. In der Verarbeitung werden die Lamellen auf den Untergrund geklebt, der für eine optimale Klebung in der Regel anwendungsspezifisch vorbehandelt werden muss. Die geklebten CFK-Bewehrungen lassen sich in zahlreichen Fällen als Verstärkung verbauen – beispielsweise im Hochbau oder als seismische Nachverstärkung von Massivbauteilen gegen Erdbeben.

---

## CFK-Lamellen – beliebt im Brückenbau

---

Im Brückenbau sind die CFK-Lamellen in der jüngeren Vergangenheit ebenfalls immer öfter zum Einsatz gekommen (Abb. 7). Hier werden zur Verstärkung von Stahl- und Spannbetonbrücken geklebte CFK-Gelege als Bewehrungen eingesetzt, die die früher verwendeten Stahlaschen ersetzen. Vor dem Hintergrund zahlreicher älterer Brücken, die heutige Verkehrs-

lasten kaum noch tragen können, ist die Nachverstärkung von Brücken eines der großen Themen der Bauwirtschaft geworden. Für den jeweiligen Einsatzzweck ist es dabei sehr vorteilhaft, dass bei CFK-Materialien die Ausrichtung der einzelnen Kohlenstofffasern beeinflussbar ist. Neben diesen Fasern kommen auch Glas- und Aramidfasern zum Einsatz. Die Materialien werden z. B. bei Umschnürungsbewehrungen von Brückenpfeilern verwendet, wo sie als zusätzlicher Aufprallschutz wirken. Kohlenstofffasern wiederum offerieren aufgrund ihrer hohen Steifigkeit ausgezeichnete Lösungen, wenn es um die Traglasterrhöhung von Bauteilen geht. Die Gewebelamellen oder -matten werden in der Regel mit einem Epoxidharzklebstoff auf die Oberfläche aufgebracht. Durch ihre erwiesenermaßen große Wirkkraft als Biegezugverstärker sind die CFK-Systeme mittlerweile in vielen Ländern bauaufsichtlich zugelassen.

---

## Fügen neuer und weiterentwickelter Materialien durch Kleben

---

Ultrahochfester Beton (UHCP) ist in letzter Zeit im Bauwesen verstärkt in den Blickpunkt gerückt. UHCP ist ein fein- oder grobkörniger Beton mit einer sehr hohen Gefügedichte. Seine Druckfestigkeit ist ähnlich hoch wie die von Stahlbauteilen. Darüber hinaus zeigt die Oberflächenzugfestigkeit des Werkstoffs positive Werte von sechs bis acht N/mm<sup>2</sup>. Zudem bietet es sich bei der Verwendung von UHCP an, Bauteile – statt wie üblich mechanisch – durch Kleben zusammenzufügen. Beispielhaft dafür steht der Bau der Gärtnerplatzbrücke in Kassel. Die über die Fulda führende, 136 Meter lange Fußgänger- und Radfahrerbrücke ist die erste in Deutschland, bei deren Bau überwiegend ultrahochfester Beton eingesetzt wurde. Zum ersten Mal weltweit wurden die vorgefertigten Bauteile dabei mit Zwei-Komponenten-Epoxidharzklebstoff tragend geklebt. Aufgrund der Pilotfunktion dieses Bauwerkes wurde und wird das Bauprojekt durch die Universität Kassel eingehend beglei-

tet. Dabei ergab sich, dass die Fügetechnik Kleben beim Einsatz von UHCP eine ausgezeichnete Möglichkeit ist, um den Werkstoff miteinander zu verbinden. Hohe Anforderungen erfüllte der Klebstoff bestens: Laborversuche an der Klebfuge – wie Messungen der Zug- und Biegezugfestigkeiten sowie Dauerhaftigkeitsuntersuchungen – bestätigten, dass der Klebstoff bei dem Brückenbauwerk sämtlichen Anforderungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) gerecht wurde, um die »Zustimmung im Einzelfall« zu erhalten.

Bei allen positiven Aspekten wurde – wie derzeit noch für viele Anwendungen beim Kleben am Bau – weiterer Forschungsbedarf erkannt, beispielsweise für die Alterungsbeständigkeit der Verbindungen oder für die Verarbeitung des Epoxidharzklebstoffs. Gleiches gilt für den Einsatz des Klebstoffs in Wintermonaten, der aufgrund der Feuchte- und Temperaturempfindlichkeit des Materials momentan noch problematisch ist.

---

### **Auch Stahl lässt sich im Bereich Bau kleben**

---

Eine wichtige Rolle im Bauwesen spielt seit langer Zeit der Stahl. Selbst hier ergeben sich mittlerweile dank der Klebtechnik völlig neuartige Möglichkeiten, insbesondere im Leichtbau. Hochfeste Stähle und optimierte Bauweisen erlauben Material- sowie Strukturleichtbau und damit Stahlbauteile, die ein geringes Gewicht bei günstigen Herstellungskosten aufweisen. Um die Materialeigenschaften dieser oft dünnwandigen Komponenten – etwa als Deckplatten im Fassadenbau, aber auch als Brückendeckplatten – umfassend auszunutzen, bietet sich das Kleben geradezu an. Denn mit der sicheren flächigen Klebung wird die Schwächung des Grundmaterials durch Bohren und Nieten vermieden; das Versagen von Schweißnähten aufgrund hoher Wechselbelastungen ist damit kein Thema mehr. Auch hier haben umfassende experimentelle Untersuchungen nachgewiesen, dass die Klebung von Stahlplatten eine sichere, attraktive und gleichwertige Alternative für die Baubranche

ist, mit der dauerhafte Konstruktionen möglich sind. Wie so oft beim Kleben muss dabei ein besonderes Augenmerk auf der Vorbereitung der Klebflächen liegen.

---

### **Terrassen kleben**

---

Ein anderes Anwendungsszenario der Fügetechnik Kleben im Baubereich ist das elastische Kleben von Terrassendielen. Noch werden Holzdielen in der Regel auf die Unterkonstruktion geschraubt. Dadurch entstehen unschöne Bohrungen im Material, durch die schädigende Feuchtigkeit eindringt. Mittlerweile ist jedoch die witterungsbeständige Klebung mit einem elastischen Klebstoff möglich – wieder mit allen verbundenen Vorteilen des Klebens: höhere Gestaltungsfreiheit, Zeitersparnis, Wirtschaftlichkeit durch das Wegfallen von zusätzlichem Material oder Sonderbauteilen und vieles mehr.

---

### **Kleben im Gleis- und Wasserbau**

---

Selbst im Gleis- und Deichbau ist der Einsatz des Klebens mittlerweile ein Thema. Beim Bau von Bahntrassen wird Polyurethan eingesetzt, um Schottersteine bei Schüttungen miteinander zu verbinden und die Konstruktion damit haltbarer zu machen. Das Prinzip ist auch für den Deichbau interessant. Die Gesteinsoberflächen werden dabei lediglich mit einem dünnen Polyurethanfilm überzogen, der die Steine miteinander »verklammert« und dem Aufbau eine wesentlich höhere Festigkeit verleiht. Gleichzeitig bleiben aber die Lücken zwischen den Steinen erhalten, sodass beispielsweise Regen- oder Meerwasser abfließen können.



## Kleben ist in der Baubranche angekommen

Die Reihe von Beispielen für den Einsatz der Klebtechnik im Bauwesen ließe sich hier noch erheblich fortsetzen. Deutlich wird, dass diese Fügetechnik mittlerweile in der Branche angekommen ist; in einigen Teilbereichen erlebt sie sogar schon einen gewissen Boom. Allerdings gibt es auch noch zahlreiche offene Fragen und damit einen erheblichen Bedarf für Forschung und Entwicklung. Für viele Anwendungen und für die Realisierung völlig neuer Lösungen am Bau scheint die Fügetechnik Kleben »wie gemacht«. Doch gerade für sicherheitsrelevante Einsatzgebiete bestehen nicht von ungefähr hohe bauaufsichtliche Hürden.

Das Fraunhofer IFAM profitiert hier allerdings nachhaltig von der jahrzehntelangen Erfahrung und dem Know-how mit der Einführung der Fügetechnik Kleben in Industriebereiche, in denen die Verbindungsart zunächst ebenfalls Neuland war. Ohne jeden Zweifel wird die Baubranche von diesem Erfahrungsschatz profitieren.

Ob es um die Qualifizierung oder Formulierung von Klebstoffen geht, um Materialauswahl und Oberflächenvorbehandlung, um Berechnung sowie Prüfung von Klebverbindungen, um geeignete Applikationstechniken oder um die fachspezifische Ausbildung des anwendenden klebtechnischen Personals: Im Fraunhofer IFAM greift die Arbeit sämtlicher Fachabteilungen zielgerichtet ineinander, wenn das Kleben in einem bestimmten Bereich zu einem Erfolg werden soll. Mehr noch: Wenn darüber hinaus Fragen aus anderen Fachgebieten zu klären sind, so findet sich die Antwort mit großer Sicherheit im Institutsnetzwerk der Fraunhofer-Gesellschaft.

Fazit: Der Bau ist nicht nur ein vielversprechendes Einsatzgebiet, sondern auch ein zukunftsreicher Markt für die Hochtechnologie Kleben.

## KONTAKT

*Dr. Kerstin Albinsky*  
*Klebstoffe und Polymerchemie*  
*Telefon +49 421 2246-440*  
*kerstin.albinsky@ifam.fraunhofer.de*

*Dipl.-Ing. (FH) Nadine Martens, M. Eng.*  
*Klebtechnische Fertigung*  
*Telefon +49 421 2246-450*  
*nadine.martens@ifam.fraunhofer.de*

### Institut

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

- 1 Kleben von Mauersteinen: Kalksandstein.
- 2 Kleben von Mauersteinen: Ziegel.
- 3 Kleben von Mauersteinen: Ytong.
- 4 Geklebtes ovalförmiges Membrankissen aus Ethylen-Tetrafluorethylen-Folien (ETFE-Folien).
- 5 Großaufnahme der geklebten transparenten hoch belastbaren Klebstoffnaht.
- 6 Geklebte Ganzglasfassade des Hamilton House, London (Quelle: Interpane).
- 7 CFK-Lamellenverstärkung im Hohlraum einer Brücke (Quelle: S&P Clever Reinforcement GmbH).



# HETEROGENITÄT – DER SCHLÜSSEL FÜR MATERIALIEN MIT HERAUSRAGENDEN EIGENSCHAFTEN

Nahezu jedes Produkt ist aus den verschiedensten Komponenten und Materialien aufgebaut. Nicht nur die Ungleichartigkeit ist bei der Betrachtung mit dem bloßen Auge sofort erkennbar, sondern auch, dass die einzelnen Bestandteile des Produkts zugleich unterschiedliche Funktionen haben. Beim Wechsel von der makroskopischen in die mikroskopische Ansicht wird offensichtlich, dass die Materialien an sich auch fast nie homogen sind: Sie bestehen beispielsweise aus verschiedenen Phasen, enthalten Füllstoffe oder Fasern – und das über alle Materialklassen hinweg, seien es Metalle, Polymere oder Keramiken. Insbesondere hochwertige Materialien mit einem breiten Eigenschaftsprofil weisen eine ausgeprägte Heterogenität auf.

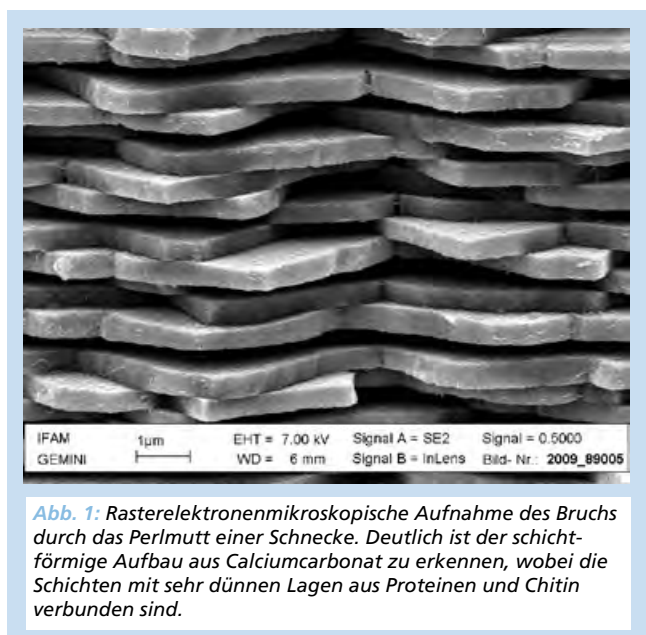
Gibt es so etwas wie ein »Prinzip der Heterogenität« in den Materialwissenschaften? Die Frage stellt sich insbesondere auch deshalb, weil in der Natur ähnliche Phänomene zu beobachten sind.

strukturierte Zweiphasigkeit werden Risse so umgelenkt, dass die durch mechanische Belastung eingebrachte Energie nicht

## Heterogenität – von der Natur bis zu aktuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

### ... in der Natur

Als Beispiel sei Perlmutter erwähnt: eigentlich nur Calciumcarbonat in der Modifikation Aragonit mit kleinen Anteilen von Eiweißen und Chitin. Auf den ersten Blick würde niemand ein Material mit herausragenden mechanischen Eigenschaften erwarten. Durch die Untersuchung einer Bruchfläche mittels Rasterelektronenmikroskopie lässt sich auf den zweiten Blick erkennen, dass es sich bei Perlmutter um ein heterogenes Material mit Schichtstruktur handelt (Abb. 1). Zudem sind die Aragonitschichten in sich noch unterbrochen. Durch diese



**Abb. 1:** Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Bruchs durch das Perlmutter einer Schnecke. Deutlich ist der schichtförmige Aufbau aus Calciumcarbonat zu erkennen, wobei die Schichten mit sehr dünnen Lagen aus Proteinen und Chitin verbunden sind.



ausreicht, um einen makroskopischen Bruch zu verursachen. Hierbei übernehmen die beiden Phasen unterschiedliche Aufgaben. Die anorganischen Schichten sorgen für eine hohe Festigkeit und das organische Material dazwischen für Zähigkeit, die einen Spröbruch verhindert. Im Falle des in Abbildung 1 gezeigten Perlmutter der Abalone (*Haliotis tuberculata*), einer Schneckenart, haben die anorganischen Schichten eine Dicke von etwa 500 Nanometern, die organische »Klebstoffschicht« dazwischen hat dagegen eine Dicke von nur wenigen Nanometern. Reste davon sind trotzdem deutlich zu erkennen.

Bäume – ein anderes Beispiel aus der Natur. Sie bestehen im weitesten Sinne aus Zucker und Wasser. Zucker und Wasser als Basismaterialien für die guten mechanischen Eigenschaften des Baums? Bei näherer Betrachtung offenbart sich die typische hierarchische Struktur vom Molekül bis zum ganzen Baum. Die einzelnen, aus Zucker bestehenden Cellulosemoleküle treten über Wasserstoffbrückenbindungen miteinander in Wechselwirkung und lagern sich dadurch zu Fasern zusammen. Die Fasern wiederum bilden gemeinsam mit wasserführenden Poren das Holz – je nach Detailaufbau mit unterschiedlichen Eigenschaften und damit spezifischen Aufgaben für das Gesamtsystem Baum.

Beide Beispiele aus der Natur zeigen, dass durch den geordneten mehrphasigen Aufbau eine »simple« chemische Zusammensetzung zu Materialien mit herausragenden Eigenschaften führt.

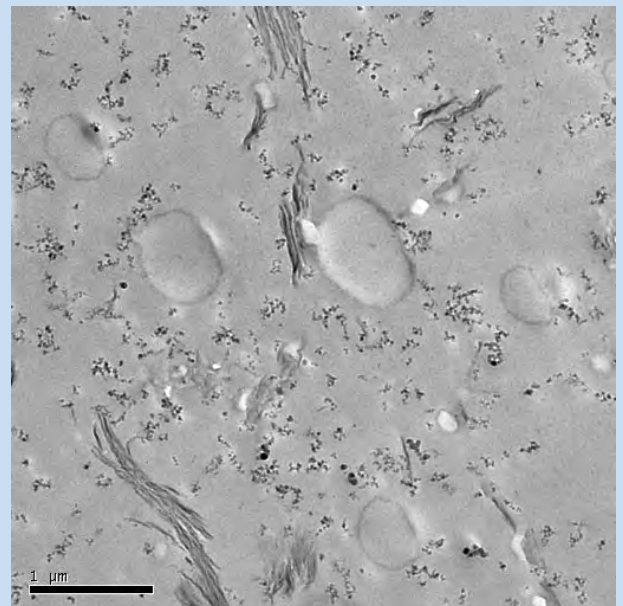
### ... in synthetischen Polymeren

Auch synthetische Polymere basieren oft auf einem mehrphasigen Aufbau. Teilkristalline Thermoplaste bestehen aus amorphen und kristallinen Anteilen, die jeweils unterschiedliche Teileigenschaften einbringen. Noch offensichtlicher wird dies bei Kunststoffen mit heterogener Zusammensetzung. Ein bekanntes Beispiel ist der Kunststoff Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), der eine hohe Festigkeit aufweist und gleichzeitig schlagzäh ist – ein ideales Material beispielsweise für Gehäuse.

Ursache für solche positiven Eigenschaften ist eine Phasentrennung: Es bilden sich gummiartige Phasen, die innerhalb einer harten, zu hoher Festigkeit führenden Matrix die Zähigkeit bedingen. Zusätzlich sind diese beiden Phasen kovalent miteinander verbunden. Würden sich die beiden Komponenten auf molekularer Ebene mischen und dadurch ein homogenes Material ausbilden, ließe sich das harte Polymer durch die Gummianteile lediglich weicher machen, aber nicht zäh.

### ... in Klebstoffen und Klebverbindungen

Ähnlich ist es bei der Zähelastifizierung von Strukturklebstoffen: In dem flüssigen Epoxidharz wird ein Elastomer gelöst. Bei der Härtung des Klebstoffs geht die Löslichkeit verloren und es bilden sich zugleich Gummiphasen mit Größenordnungen von wenigen Mikrometern aus, die für die Zähigkeit des



**Abb. 2:** Transmissionselektronenmikroskopische Untersuchung eines zähelastifizierten Epoxidharzes. Die nahezu runden Gummiphasen sind neben zwei unterschiedlichen nanoskaligen Füllstoffen zu erkennen.

ansonsten sprödharten Epoxidharzes sorgen. Die bei der Härtung auftretende Entmischung ist aber zum einen nicht vollständig und hängt zum anderen zusätzlich von den Härtingsbedingungen ab. Dies führt einerseits dazu, dass der Klebstoff nicht so fest ist, wie er es bei vollständiger Entmischung wäre und andererseits dazu, dass bei großen Bauteilen die Eigenschaften des Klebstoffs lokal unterschiedlich sein können. Letzteres beispielsweise in Abhängigkeit davon, wie schnell die Erwärmung und wie hoch die real erreichte Temperatur bei der Ofenhärtung des Klebstoffs tatsächlich war.

Füllstoffe stellen eine weitere, aber bereits bei der Formulierung vorgebildete Phase des Klebstoffs dar. Je nach Partikelgrößenverteilung und Art der Füllstoffe lassen sich die Eigenschaften weiter modifizieren, z. B. die Festigkeit des Klebstoffs durch Quarzmehl steigern. Insgesamt handelt es sich bei einem ausgehärteten Epoxidharz demnach um ein vielphasiges System (Abb. 2). Nur hierdurch lassen sich die für technische Anwendungen geforderten komplexen Eigenschaftsprofile erfüllen.

Auch im makroskopischen Bereich werden Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften zusammengebracht – idealerweise durch die Füge-technik Kleben. Dies sei am Beispiel von Trennscheiben zum Schneiden von Steinen erläutert (Abb. 3): Wenn die Sägezähne aus dem gleichen Stahl wären wie das Basisblatt, würden sie sich sehr schnell abnutzen. Somit hätte die gesamte Trennscheibe, wäre sie aus einem einzigen Material gefertigt, nur eine begrenzte Lebensdauer, auch wenn der Stahl an sich schon einen eigenschaftsbestimmenden heterogenen Aufbau hat. Ein Kompromiss hinsichtlich der Materialeigenschaften wäre unumgänglich. Die Lösung für die Praxis ist hingegen, dass die Schneidsegmente derartiger Trennscheiben aus einem anderen Metall, Hartmetall, bestehen – somit ist das Prinzip der Heterogenität der Materialien wieder gegeben. Die Besonderheit ist, dass die einzelnen Schneidsegmente durch Kleben mit dem Basisblatt verbunden werden. Der Vorteil dieser Entwicklung aus dem Fraunhofer IFAM ist, dass sich die Schneidsegmente ohne Zeitverlust vor Ort nach Abnut-

zung austauschen lassen: Die verbrauchten Segmente werden durch ein thermisches Entkleben gelöst und durch Ankleben neuer Schneidsegmente ersetzt – ein herausragendes Beispiel für die Leistungsfähigkeit der Hochtechnologie Kleben.

### ... in Faserverbundwerkstoffen

Für den Leichtbau prädestinierte Faserverbundwerkstoffe haben durch ihre einzelnen Fasern nicht nur einen heterogenen Aufbau, sondern weisen gleichzeitig eine richtungsorientierte Struktur auf, vergleichbar mit in Bäumen vorkommenden Strukturen. Durch einen optimalen Aufbau der Faserstruktur lassen sich sehr leichte Materialien mit hervorragenden mechanischen Eigenschaften generieren. Die Bauteile an sich können zudem bereits dreidimensional geformt sein (Abb. 4). In den meisten Fällen wird als polymerer Binder für die Fasern ein Epoxidharz verwendet. Da dieses Harz bei der benötigten Festigkeit eine gewisse Sprödigkeit aufweist, ist es das Ziel aktueller Arbeiten am Fraunhofer IFAM, ein Harz mit gezielt eingestellter Heterogenität zu entwickeln, das einerseits weniger spröde ist, andererseits aber seine ursprüngliche Festigkeit beibehält. Diese Modifikation des Harzes erfolgt durch den Zusatz von Nanopartikeln, womit die neben dem Epoxidharz zweite Phase bereits vorgebildet ist und sich nicht erst durch Entmischungsvorgänge beim Härten bilden muss.

### Heterogenität und Adhäsion

Die Adhäsion spielt sowohl beim Kleben als auch bei heterogenen Materialien eine entscheidende Rolle. Nicht nur die Heterogenität an sich ist für die Eigenschaften der Materialien entscheidend, sondern auch wie die Phasen miteinander verbunden sind. Dies ist nichts anderes als Adhäsion. Und diese Adhäsion, die ein heterogenes Material im Inneren zusammenhält, unterscheidet sich in nichts von der Adhäsion, die für die makroskopische Haftung verantwortlich ist.

---

## Heterogenität als Ziel der Forschung

---

Arbeitsziel des Fraunhofer IFAM für die Zukunft ist eine noch bessere Steuerung der Heterogenität über viele Größenordnungen – vom Molekül bis hin zu Multifunktionsmaterialien, Verbundwerkstoffen und geklebten Bauteilen. Hierfür ist ein grundsätzliches Verständnis von Mischungsphänomenen ebenso notwendig wie für die Adhäsion und Reaktionen in Interphasen. Nur so wird es gelingen, die bereits bekannten Ansätze derart umzusetzen, dass Anfangseigenschaften und Alterungsverhalten immer weiter verbessert werden können. Die notwendige Ausstattung für die Simulation und die experimentelle Umsetzung sind am Fraunhofer IFAM ebenso vorhanden wie das erforderliche Know-how. Wir werden uns diesen Herausforderungen in Zukunft noch stärker stellen als heute, um einen signifikanten Beitrag zu den innovativen Produkten der Zukunft zu liefern.

## KONTAKT

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

### **Institut**

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

- 3** *Zum Schneiden von Granit geeignete Trennscheibe mit angeklebten Schneidsegmenten aus Hartmetall.*
- 4** *Dreidimensionales Faserverbundwerkstoffbauteil – ein Beispiel für einen gerichteten heterogenen Aufbau aus Kohlenstofffasern und Epoxidharz.*



# PLASMABEHANDLUNG VON MIKRO- UND NANOPARTIKELN UNTER ATMOSPHÄRENDRUCK ERMÖGLICHT NEUE WERKSTOFFE UND ANWENDUNGEN

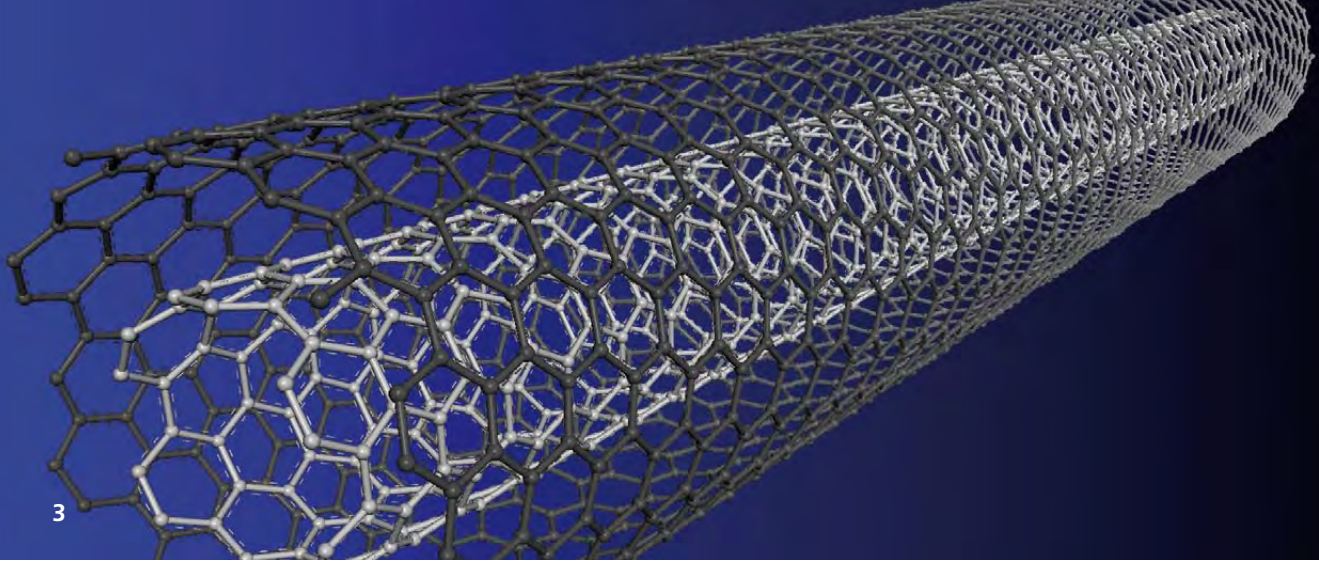
Der Name ist Programm: Die Abteilung Plasmatechnik und Oberflächen (PLATO) des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM ist seit vielen Jahren sehr erfolgreich, wenn es um die Modifizierung von Oberflächen durch Plasmabehandlung geht. Auch Laien können leicht nachvollziehen, dass die effiziente Vorbehandlung von Oberflächen eine wichtige Voraussetzung für die weitere Verwendung und Optimierung von Werkstoffen ist. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Plasmapolymerisation, die es ermöglicht, Oberflächen mit isolierenden, haftvermittelnden oder vor Korrosion schützenden Schichten zu versehen. Weniger bekannt ist, dass PLATO diese Prozesse nicht nur für große Oberflächen, sondern auch für mikroskopisch kleine Maßstäbe entwickelt hat: Die Vorbehandlung von Partikeln und deren Veredelung mit gut haftenden, dichten, aber auch sehr dünnen Schichten im Bereich einiger Nanometer wird seit Jahren gezielt vorangetrieben. Sie spielt mittlerweile eine immer wichtigere Rolle beim Einsatz neuartiger Werkstoffe und auf dem Gebiet der Elektromobilität.

Neben der Partikelbeschichtung geht es dabei auch um die Reinigung oder Vorbehandlung von Partikeln. Durch das Plasma – ein reaktives Gas, in dem Elektronen, Ionen und reaktive Molekülfragmente nebeneinander vorliegen – ist z. B. die Reinigung von Oberflächen möglich: Organische Kontaminationen sind auf diese Weise entfernbar. Ebenso lassen sich Oberflächen durch ein Plasma funktionalisieren: Beispielsweise können zunächst wasserabweisende Oberflächen dadurch wasseranziehend werden oder Partikel, die sich ursprünglich sehr schwer mit Wasser mischen, wesentlich besser verarbeitet werden. Letzteres geschieht, indem man durch die Plasmabehandlung die Agglomeration – das »Zusammenballen« – von Partikeln reduziert, sie also durch

die Vorbehandlung stärker vereinzelt und voneinander trennt.

Bei der erwähnten Plasmapolymerisation werden flüssige oder gasförmige Ausgangsprodukte in Beschichtungen umgewandelt, die weniger als tausendstel Millimeter dick sind. Diese Schichten weisen eine hervorragende Adhäsion auch auf kleinsten Partikeln auf und verleihen ihnen z. B. eine gute elektrische Isolation, Wärmeleitfähigkeit, eine Alterungsschutzwirkung oder viele andere Zusatzfunktionen. Vor allem die Behandlung von Partikeln unter Atmosphärendruck entwickelt PLATO bereits seit vielen Jahren weiter.





3

### Erste Erfahrungen mit der Funktionalisierung von Ruß

Erste Erfahrungen bei der Veränderung von Partikeloberflächen wurden mit der Vorbehandlung von Rußen gemacht. Sie können gezielt in Öfen hergestellt werden und sind ein industrielles Massengut. Die Experten des Fraunhofer IFAM arbeiteten schon früh mit Rußen, die als Füllstoff von Farben, aber auch zur Verbesserung der mechanischen oder elektrischen Eigenschaften von Werkstoffen genutzt wurden. So lassen sich z. B. leitfähige Lacke oder Klebstoffe herstellen, indem man durch die Einbringung von Ruß den Widerstand des Polymers ändert – eine Entwicklung, die für den Blitzschutz oder Anti-Statik-Beschichtungen von Flugzeugen einsetzbar ist (Abb. 5). So werden Seitenleitwerke von Flugzeugen mit Anti-Statik-Lack lackiert, damit elektrische Aufladungen besser abfließen.

Das Additiv Ruß kann jedoch bei zu hohen Füllgraden und unzureichender Dispergierung auch Nachteile haben, weil es die Lackstabilität negativ beeinflussen kann. PLATO entwickelte daher eine effiziente Vorbehandlung von Rußpartikeln, die eine wesentlich bessere Verarbeitung und Verteilung im Lack zur Folge hatte. Dadurch wurden ein »stabileres« Produkt und schnellere Produktionszeiten möglich (Abb. 1 und 2). Ebenso ließen sich leitfähige, stabile Klebstoffe durch die Zugabe vorbehandelter Rußpartikel realisieren.

### Partikelbehandlung – lohnend für Kohlenstoffnanoröhrchen

Obwohl Industrieruß ein Hochtechnologiewerkstoff ist, gibt es nur wenige Nischen, in denen sich eine Veredelung dieses Produkts durch die im Fraunhofer IFAM erarbeitete Plasma-behandlung wirtschaftlich lohnt. Grund ist nicht zuletzt der günstige Preis von Ruß, der hohe Veredelungskosten nur in Ausnahmefällen rechtfertigt. Umgekehrt bietet sich die

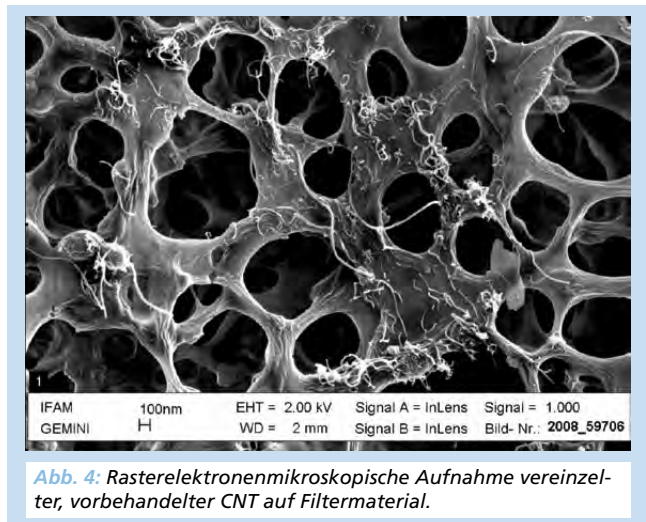


Abb. 4: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einzelner, vorbehandelter CNT auf Filtermaterial.

Partikelbehandlung von PLATO für hochwertige Neuentwicklungen geradezu an – wie etwa für die noch jungen Kohlenstoffnanoröhren, auch CNT (abgeleitet vom englischen Begriff Carbon Nanotubes) genannt. Hierbei handelt es sich um mikroskopisch kleine röhrenförmige Gebilde aus Kohlenstoff (Abb. 3 und 4). Mit den Nanoröhren lassen sich beispielsweise hochleitfähige, hochfeste Polymere und Klebstoffe herstellen. Denn einerseits ist der elektrische Widerstand der CNT-Röhren sehr gering, sodass sich Strom ideal entlang der Röhren leiten lässt. Andererseits sind durch die Beimischung von CNT aber auch extrem hochfeste Polymere herstellbar – vergleichbar mit Bambusröhren, mit denen sich ebenso äußerst feste Strukturen erzielen lassen. Ein bereits erprobtes Anwendungsgebiet für CNT sind Spezialpolymere für die Raumfahrt: Um die Werkstoffe unter Weltraumbedingungen mit hoher Strahlungseinwirkung besonders fest und widerstandsfähig zu machen, werden die Nanoröhren in den Werkstoff eingebracht.

In der jüngeren Vergangenheit ist das Interesse an Carbon Nanotubes aufgrund ihrer einzigartigen Materialeigenschaften enorm gestiegen. Denn mit ihrer Hilfe lassen sich völlig neue Werkstoffe mit spektakulären Eigenschaften entwickeln.



Dieses Potenzial soll gezielt genutzt werden – und deshalb wurde mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung die Innovationsallianz CNT (Inno.CNT; [www.cnt-initiative.de](http://www.cnt-initiative.de)) gegründet. Ihr Ziel ist es, einen zukünftigen Schlüsselmarkt der Werkstofftechnologie in Deutschland zu etablieren, der als weltweiter Leitmarkt für neuartige Kohlenstoffnanomaterialien fungieren soll. Dazu hat sich ein außergewöhnlich großer Kreis aus rund 80 kompetenten Partnern aus Industrie und Wissenschaft zur Inno.CNT zusammengefunden. Auch das Fraunhofer IFAM gehört dazu.

---

### **PLATO-Aktivitäten im Teilprojekt CarboFunk**

---

Die Fraunhofer IFAM-Experten für Plasmatechnik und Oberflächen sind dabei wichtige Impulsgeber im Teilprojekt CarboFunk. Zusammen mit weiteren industriellen und wissenschaftlichen Einrichtungen wird in diesem Vorhaben die gezielte Modifizierung der CNT weiterentwickelt – denn unbehandelte CNT sind nur bedingt für die Herstellung leistungsfähiger Komposite geeignet. Erst durch die Oberflächenmodifizierung wird es beispielsweise möglich, CNT im nicht agglomerierten Zustand effizient in reaktive Polymerwerkstoffe oder andere Werkstoffe einzuarbeiten, um so Faserverbundkunststoffe für Leichtbauanwendungen mechanisch zu verstärken.

Da die gesundheitlichen Risiken, die von Kohlenstoffnanoröhren ausgehen könnten, noch nicht ausreichend untersucht sind, müssen Prozesse und Verfahren entwickelt werden, die die Verarbeitung der Partikel für den Anwender gefahrlos ermöglichen. Eine Aufgabe des Projekts CarboFunk ist daher auch die Entwicklung von Methoden, mit denen CNT sicher in einen Feststoff überführt oder in ein Lösungsmittel hinein vordispersiert werden können. Erwünscht ist dabei eine langzeitbeständige Verbindung zwischen CNT und Matrixmaterial, weil so die Freisetzung von CNT bei der Verarbeitung und Handhabung vermieden werden kann.

Was von PLATO bereits für die Funktionalisierung des Low-Budget-Produkts Ruß entwickelt worden war, kann nun für das hochpreisige High-End-Produkt CNT exzellent genutzt werden. In der im Fraunhofer IFAM entwickelten Anlage lassen sich CNT in einem geschlossenen Kreislauf funktionalisieren, in den sie als agglomerierte Ausgangsprodukte eingeführt werden. Mithilfe von Ultraschall werden diese zusammengeballten CNT dann auseinandergerissen und mit Flüssigkeit vermischt ins Plasma eingeblasen. Das geschieht in einem abgeschlossenen Reaktorsystem, sodass keine Personen mit den Partikeln in Kontakt kommen. Ergebnis ist eine zur Weiterverarbeitung geeignete Flüssigkeit – etwa Wasser oder ein Alkohol –, in der die Partikel dispergiert sind.

Die Vorteile gegenüber anderen Vorbehandlungsmethoden, die in CarboFunk ebenso untersucht werden, sind unter anderem der geschlossene Prozess und die Dispergierung in Flüssigkeit sowie die Automatisierung und der Transfer in die industrielle Produktion. Außerdem kommt das PLATO-Verfahren ohne chemische Bäder und Säuren aus, sodass kein Entsorgungsproblem entsteht. Stattdessen wird in der Regel mit einem Stickstoffgas und Wasser gearbeitet. Zudem geschieht der Behandlungsprozess unter Atmosphärendruck, was eine schlanke, gekapselte und umweltschonende Anlage ermöglicht. Diese ließe sich in Industrieunternehmen problemlos in den Produktionsprozess integrieren. Die aussichtsreiche PLATO-Eigenentwicklung wurde mittlerweile zum Patent angemeldet.

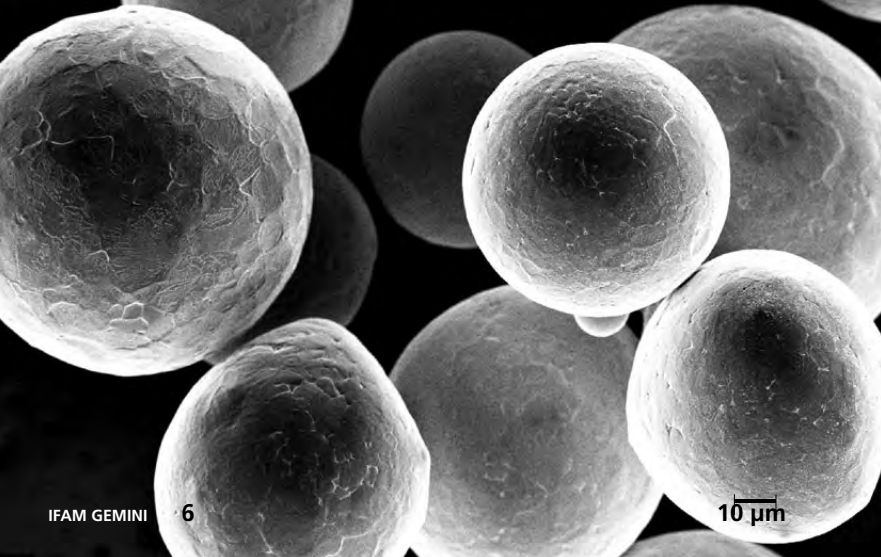
---

### **Mikropartikel-Beschichtungsverfahren für die Elektromobilität**

---

Mittlerweile sind die Erfahrungen von PLATO bei der Partikelbehandlung auch für den Bereich der Elektromobilität interessant geworden, in dem die Fraunhofer-Gesellschaft durch das Projekt »Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM«





einen zukunftssträchtigen Themenschwerpunkt gesetzt hat ([www.forum-elektromobilitaet.de](http://www.forum-elektromobilitaet.de)). Damit will die Fraunhofer-Gesellschaft der deutschen Automobilindustrie helfen, sich langfristig einen weltweiten Spitzenplatz auf diesem Markt zu sichern. Fraunhofer-Experten arbeiten dazu an Lösungen für vielfältige Aspekte der Elektromobilität – von neuen Antriebskonzepten über die Energieversorgung bis hin zur Bauteilgestaltung. Dabei sollen alle Wertschöpfungsstufen der Elektromobilität aufeinander abgestimmt entwickelt werden. Ziel ist es, in nur zwei Jahren grundlegende Bausteine für die Elektromobilität zu entwickeln.

Das Fraunhofer IFAM ist in dem Zusammenhang unter anderem bei der Entwicklung neuer Verfahren für innovative Polymerkomposite beteiligt. Durch diese Komposite sollen die elektromagnetischen Verluste in elektrischen Maschinen reduziert werden. Dahinter steckt das Problem von auftretenden Wirbelströmen in den weichmagnetischen Komponenten elektrischer Maschinen, was zu Verlusten durch Wärme führt. Die derzeitige Lösung für das Problem ist relativ kompliziert und besteht aus einem mehrschichtigen, modularen Aufbau aus elektrisch isolierten, zusammengesetzten Blechen. Die Nachteile dabei sind vielfältig – von der aufwendigen Fertigung über Materialverluste beim Blechstanzen bis hin zu Einschränkungen bei der Bauform.

---

### Elektrische Isolierung von metallischen Füllstoffen

---

Der Lösungsansatz aus dem Fraunhofer IFAM: Durch die Beschichtung von metallischen Füllstoffen im Mikrometerbereich lassen sich die Füllstoffe gegeneinander elektrisch isolieren. PLATO kann bereits diese Partikelbeschichtung mit einem Plasmapolymere realisieren und erreicht damit eine sehr gute elektrische Isolationswirkung (Abb. 6). Im Themenschwerpunkt 2 »Energieerzeugung, -verteilung und -umsetzung« des Fraunhofer-Verbundprojekts Elektromobilität befasst sich die

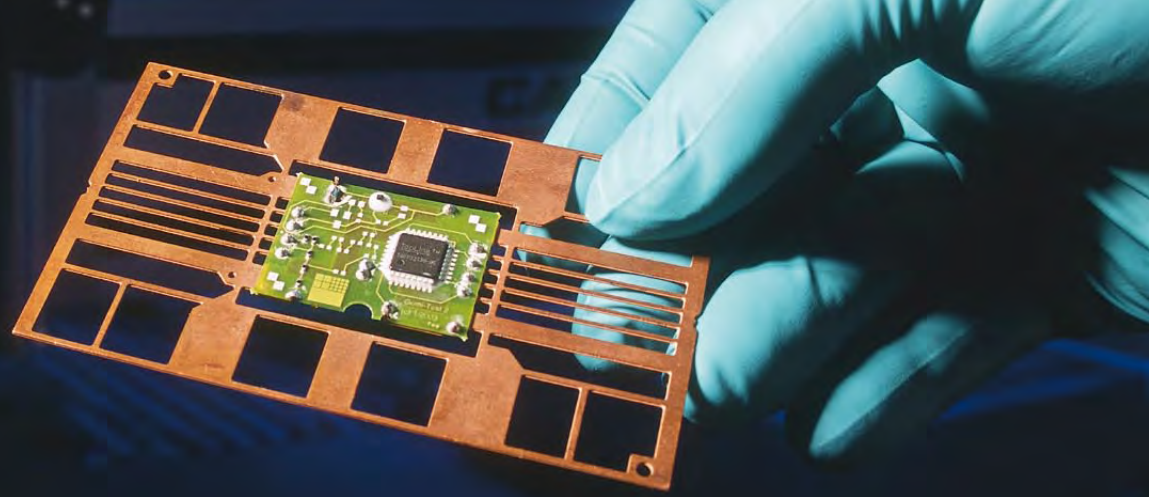
Abteilung nun mit der Weiterentwicklung von Verfahren zur Beschichtung weichmagnetischer Pulver. Auf der Basis einer Plasmabeschichtung unter Atmosphärendruck sollen weichmagnetische Pulver mit unterschiedlichen Größenverteilungen beschichtet werden. Im Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) erfolgt dann die Weiterverarbeitung mit thermoplastischen oder duromeren Polymeren. Die umfangreichen Erfahrungen von PLATO bei der Partikelbeschichtung und die enge Zusammenarbeit mit den Experten aus weiteren Fraunhofer-Instituten liefern bereits erste Erfolge. Denn polymergebundene Weichmagnetika eröffnen aufgrund ihrer flexiblen Formbarkeit ganz neue Möglichkeiten, um elektromagnetische Bauelemente herzustellen. Dadurch ergeben sich neue technische Konzepte für den Einbau von Hochleistungselektronik in komplex geformte Bauräume.

---

### IPANEMA – neue Packaging-Materialien für Bauelemente

---

Ein weiterer aussichtsreicher Ansatz, in dem die Plasmapolymere auf Mikropartikeln eine entscheidende Rolle spielt, wird durch PLATO seit Herbst 2007 im Projekt IPANEMA (Förderkennzeichen 01R10716B) verfolgt. Dazu haben sich Partner aus Industrie und Forschung zu einem Verbundprojekt zusammengeschlossen, um isolierte metallische Partikel für neue Materialien in der Elektronik und Elektrotechnik zu entwickeln. Sie sollen als innovative Packaging-Materialien – also Materialien, die dem Schutz vor Umwelteinflüssen dienen – neue elektrotechnische und elektronische Produkte möglich machen und damit – so das Ziel des Projekts – die Wettbewerbsfähigkeit verschiedener Industriezweige verbessern. Die einzigartigen wärmeleitenden Eigenschaften metallischer Partikel und Materialien sollen dabei – ermöglicht durch die isolierenden dünnen plasmapolymere Schichten – für den Einsatz als elektrisch isolierende Werkstoffe nutzbar gemacht werden. Dadurch wird es möglich, Bauelemente und Systeme ganz neu auszu-



legen und zu konstruieren, da derzeitige Bauweisen bereits an ihre Grenzen stoßen (Abb. 7).

Hintergrund dieses Projekts ist die Tatsache, dass die zunehmende Miniaturisierung und Integration im Chip- und Baugruppenbereich immer größere Leistungsdichten ermöglicht – mit der Folge, dass auch die Betriebstemperaturen beständig steigen. Andere Probleme ergeben sich dadurch, dass elektronische Baugruppen bei höheren Umgebungstemperaturen – etwa im Automobilbereich – oder bei hoher Luftfeuchtigkeit, beispielsweise auf asiatischen Märkten, eingesetzt werden.

Wohin mit der Wärme? Das ist eine der entscheidenden Fragen, die es in Zeiten zunehmender Miniaturisierung, Leistungssteigerung und Multifunktionalität technischer und elektronischer Produkte zu beantworten gilt. Denn bei mehr als der Hälfte der Funktionsausfälle von aktiven Bauelementen ist eine zu hohe Temperatur der auslösende Faktor.

Ziel von IPANEMA ist es daher, die thermische Leitfähigkeit der Packaging-Materialien zu verbessern, um die Wärme möglichst effizient abzuführen. Dies soll durch dünne, elektrisch isolierende Plasmapolymerschichtungen für metallische Partikel geschehen, sodass neue Hybridpolymere mit hoher Packungsdichte realisiert werden können. Neben Aluminium- und Magnesium- sind dabei Kupferpartikel von gesteigertem Interesse, weil das Material eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist. Auch in dem Projekt erweist sich die von PLATO entwickelte Partikelbeschichtung als vielversprechender Ansatz. Ziel ist die Entwicklung von Polymeren, in die durch Niedertemperatur-Plasmapolymersation isolierend beschichtete Kupferpartikel fest eingebettet sind. Diese leiten die Wärme hervorragend ab, verhindern durch die Beschichtung jedoch elektrische Kontakte. Den wärmeleitfähigen Polymerschichten als Packaging-Materialien lassen sich bei Bedarf noch weitere Funktionen, etwa zur zusätzlichen Verwendung als Füll- oder Dichtstoff, hinzufügen.

## KONTAKT

*Dr. rer. nat. Jörg Ihde*  
 Telefon +49 421 2246-427  
 joerg.ihde@ifam.fraunhofer.de

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

### Institut

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

- 1 | 2 *Plasmavorbehandelte Farbpigmente und Ruße: links unbehandelt, Mitte und rechts mit unterschiedlichen Behandlungsintensitäten behandelt.*
- 3 *Schematische Darstellung eines Multiwall-Kohlenstoffnanoröhrchens (CNT).*
- 5 *Leitfähige Lackierungen und Klebungen für Hochleistungsanwendungen durch funktionalisierte Kohlenstoffnanoröhren (CNT; Quelle: MEV-Verlag).*
- 6 *Plasmabeschichtete Mikrometallpulver für Anwendungen im Bereich der Elektromobilität.*
- 7 *Wärmeleitfähige Packaging-Materialien für innovative Fertigungskonzepte (Quelle: MEV-Verlag).*





# ERHÖHTE SICHERHEIT DURCH VERBESSERTEN KORROSIONSSCHUTZ IM SCHIFFBAU – LABORPRÜFUNGEN FÜR NEUE TECHNOLOGIEN AUS DEM FRAUNHOFER IFAM

Erhöhte Sicherheitsstandards in der Schifffahrt haben die Anforderungen an den Korrosionsschutz schiffbau-licher Strukturen deutlich steigen lassen. Eine besondere Bedeutung besitzen die von der International Ma-ritime Organization (IMO), einem ausführenden Organ der Vereinten Nationen, erlassenen Vorschriften zum Korrosionsschutz im Schiffneubau (IMO performance standard for protective coating PSPC).

Aus der Sicht des Korrosionsschutzes sind insbesondere freie Kanten kritische Elemente. Die Erfahrung zeigt, dass Beschich-tungsabbau und Korrosion bevorzugt an Kanten beginnen (Abb. 1 und 2). Eine Ursache dafür ist die an scharfen Kanten reduzierte Schichtdicke von Beschichtungen. In der Praxis wird diesem Problem auf zwei Wegen begegnet: zum einen durch ein Nachbearbeiten (»Runden«) der Kanten und zum zweiten durch das Aufbringen eines zusätzlichen Kantenschutzes, z. B. Grundierungen (»Vorlegen«). Die Kantennachbearbeitung erfolgt derzeit überwiegend mittels Schleifen.

Die Vorschriften der IMO fordern für verschiedene Schiffbe-reiche nun grundsätzlich ein dreimaliges Schleifen von Kanten beziehungsweise einen Kantenradius von mindestens zwei Millimetern. Dazu ergab eine Untersuchung deutscher Werf-ten, dass dies mit einem zeitlichen Mehraufwand von bis zu 65 Prozent gegenüber der momentan üblichen und anerkannten Praxis des Kantenbrechens gerechnet werden muss. Um jedoch Raum für Innovationen zu lassen, wird in den IMO-Vorschriften auch die Anwendung alternativer Methoden gestattet.

## Das Projekt BeKaS – Entwicklung neuer Technologien zur Herstellung beschichtungsgerechter Kanten im Schiffbau

Ziel des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Techno-logie geförderten Verbundvorhabens »Entwicklung neuer Technologien zur Herstellung **B**eschichtungsgerechter **K**anten im **S**chiffbau« (BeKaS) war daher die weitgehende Ablösung der momentan angewendeten zeitaufwendigen Verfahren zur Kantennachbearbeitung durch in der Schiff fertigung etablier-te thermische Verfahren. Parallel dazu wurden, als Grundlage für eine Zulassung der untersuchten thermischen Verfahren, komplexe Laborprüfungen zur Schutzwirkung organischer Beschichtungssysteme (Lacke) an unterschiedlich nachbearbei-teten Kanten durchgeführt.



3

### Laborprüfungen mit neuer Technologie im Fraunhofer IFAM

An der Realisierung dieses wichtigen und anspruchsvollen Projektteils der Laborprüfungen waren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Lacktechnik sowie des Bereichs Elektrochemie/Korrosionsschutz der Adhäsions- und Grenzflächenforschung des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM beteiligt. Bei der Muehlhan GmbH, Bremen, wurden fast 500 von den Werften bereitgestellte und von den Verfahrensentwicklern gerundete Probekörper mit insgesamt circa 1500 zu prüfenden Kanten bearbeitet und mit zum Teil schwierig zu applizierenden Korrosionsschutzsystemen beschichtet.

Die Proben wurden im Fraunhofer IFAM mit zwei komplementären Methoden in eigens für das Projekt entwickelten Prüfeinrichtungen untersucht:

#### Wellentank-Simulationskammer

Nach den von der IMO vorgegebenen Richtlinien wurde eine Prüfkammer konzipiert und gefertigt, in der sich die in Ballastwassertanks von Schiffen vorherrschenden Einflussfaktoren wie Wellengang – unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Zonen wie Spritzwasser-, Wecheltauch- und Dauertauchzone –, Temperatur und Salzgehalt simulieren lassen.

Mit ihrem Fassungsvermögen von 2000 Litern ist sie die größte ihrer Art (Abb. 3). In Deutschland existiert zurzeit nur noch eine weitere annähernd vergleichbare Prüfeinrichtung.

In dieser Wellentank-Simulationskammer wurden beschichtete Kantenprüfkörper für 180 Tage einer umfassenden Korrosionsbelastung ausgesetzt und anschließend nach vorgegebenen Kriterien bewertet.

#### Elektrochemische Kanten-Messzelle

Darüber hinaus wurde eine spezielle elektrochemische Messzelle konzipiert, die Messungen der elektrochemischen Impedanz an Kanten erlaubt (Abb. 4).

Mittels elektrochemischer Impedanzspektroskopie (EIS) lassen sich detaillierte Informationen über die in dem Beschichtungssystem ablaufenden Degradationsprozesse gewinnen und so Rückschlüsse auf den Versagensmechanismus ziehen. Aktuelle Geräte (Potentiostaten) können Barrierewiderstände bis in einen sehr hohen Widerstandsbereich (TerOhm) messen – beispielsweise Barrierewiderstände von organischen Beschichtungen, die diese einem Eindringen von Feuchtigkeit entgegensetzen.

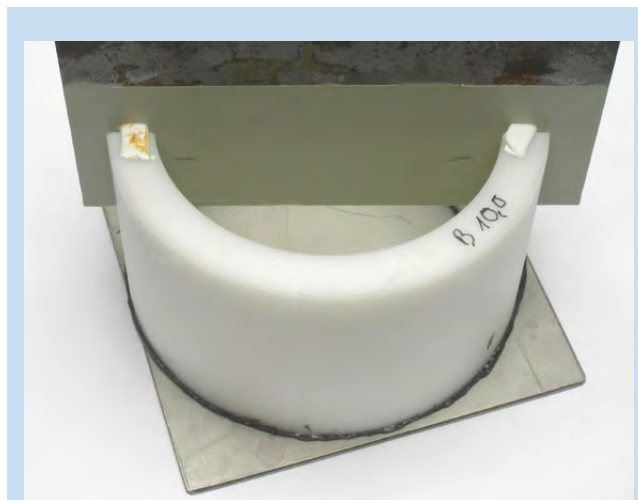
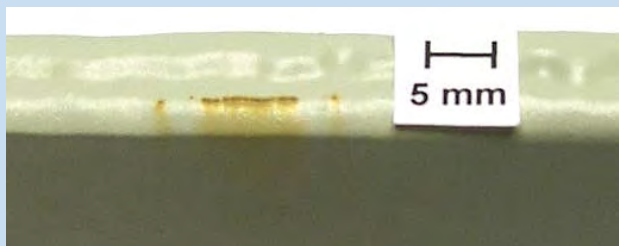


Abb. 4: Elektrochemische Kanten-Messzelle zur Durchführung von EIS-Messungen an einer beschichteten Kante.



**Abb. 5:** Abgerundete Kante mit beginnender Korrosion (links). Ursache ist die Rissbildung in der Beschichtung (rechts).

## Ergebnisse und Ausblick

Die Untersuchungen haben ergeben, dass aufgrund des Quellvorgangs des Lacks an den Kanten mechanische Spannungen auftraten, die zu Rissen führen können (Abb. 5). Diese Risse stellen den Ausgangspunkt weiter fortschreitender Korrosion dar.

Durch die Gegenüberstellung der beiden Untersuchungsmethoden wurde ein zukunftsweisender Beitrag zum Verständnis des Versagens von beschichteten Kanten und der Wirkung einzelner Parameter, beispielsweise Kantengeometrien, Schichtdicken, Lacksysteme, geleistet. Bestehende technische Richtlinien werden auf Basis der neu gewonnenen Ergebnisse kritisch überprüft und – soweit notwendig – modifiziert.

## Projektträger

Projektträger in der Forschungszentrum Jülich GmbH (PtJ) für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

Förderkennzeichen 03SX238D

### Projektpartner

- Center of Maritime Technologies e. V. (CMT)
- DNV Research and Innovation
- Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG
- Fraunhofer-Anwendungszentrum für Großstrukturen in der Produktionstechnik des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
- Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
- IMAWIS – Maritime Wirtschafts- und Schiffbauforschung GmbH
- Meyer Werft GmbH
- Muehlhan GmbH
- Nordic Yards, ehemals Wadan Group
- Peene-Werft GmbH
- Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Mecklenburg-Vorpommern GmbH (SLV)
- TKMS Blohm + Voss Nordseewerke GmbH

## KONTAKT

*Dipl.-Ing. (FH) Sascha Buchbach*

*Lacktechnik*

*Telefon +49 421 2246-497*

*sascha.buchbach@ifam.fraunhofer.de*

*Dr.-Ing. Peter Plagemann*

*Adhäsions- und Grenzflächenforschung*

*Telefon +49 421 2246-530*

*peter.plagemann@ifam.fraunhofer.de*

### Institut

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

**1 | 2** *Korrosionsbildung im Kantenbereich von Ballastwassertanks (Quelle: Muehlhan GmbH).*

**3** *Geöffnete Wellentank-Simulationskammer mit Prüfkörpern.*



# SIMULATION DES HÄRTUNGS-SCHRUMPFES VON KLEBSTOFFEN ZUR BERÜCKSICHTIGUNG BEI DER BAUTEILAUSLEGUNG

## Die Ausgangssituation

**Molecular Modelling** ermöglicht es, eine Vielzahl an Werkstoffeigenschaften zu berechnen. Deshalb ist es ein wichtiges Hilfsmittel für die Entwicklung neuer Materialien und das Verständnis physikalisch-chemischer Prozesse. Ausgangspunkt für das Molecular Modelling ist dabei die exakte Materialstruktur auf atomarer Ebene. Diese ist bei polymeren Netzwerken – z. B. Klebstoffen – allerdings oft unbekannt und schwierig analytisch zu ermitteln. Zur Erzeugung der für das Modelling benötigten vernetzten Modellstrukturen wird ausgehend vom unvernetzten Polymer, also der reinen Mischung der Monomere, oftmals nur eine Verknüpfung der reaktiven Gruppen auf Basis eines Abstandskriteriums durchgeführt, ohne die Reaktionskinetik der jeweiligen Gruppe zu berücksichtigen. Das resultiert in vielen Fällen in Strukturen, die das reale Netzwerk des Polymers nicht verlässlich wiedergeben, da die konstruierten Modelle stark von der jeweiligen, oft willkürlichen Wahl des Abstandskriteriums abhängen.

Eine neue Methode, realistischere Polymerstrukturen zu generieren, ist die **Berücksichtigung der Makrokinetik bei der Erstellung des atomistischen Netzwerks über thermoanalytische Methoden**. Diese Herangehensweise wurde am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM entwickelt. Die so durch das Molecular Modelling generierten Netzwerkstrukturen werden

anschließend genutzt, um den durch die Härtingsreaktion bedingten Volumenschwund des entsprechenden Modellklebstoffs zu berechnen, welcher sich bei vielen Anwendungen, wie im Folgenden erläutert, nachteilig auf das Bauteilverhalten auswirkt.

Reaktive Klebstoffe ändern während der Aushärtung Dichte und Volumen: Die Dichte nimmt zu, das Volumen ab. Dieses Phänomen ist als **Härtungsschrumpfung von Klebstoffen** bekannt und darauf zurückzuführen, dass Monomere und Oligomere zu einem Polymernetzwerk reagieren. Im Ausgangszustand liegen bewegliche Moleküle vor, die zueinander unterschiedliche Abstände haben. Die Abstände schrumpfen durch Reaktion der Moleküle miteinander auf das Maß einer Bindungslänge. Der Klebstoffformulierer kann zwar durch verschiedene Maßnahmen den Volumenschwund reduzieren, es ist aber äußerst schwer, den härtingsbedingten Schwund exakt vorzusagen oder völlig zu eliminieren.

Die **Auswirkungen des Härtingsschrumpfens** auf geklebte Bauteile können enorm sein und reichen von verformten Fügeteilen bis hin zu Fügeteilbrüchen. In der Optik oder Sensorik, in denen positionsgenau geklebt werden muss, können beispielsweise schon kleine volumenschwundbedingte Bauteilbewegungen große Auswirkungen auf die Funktion des Bauteils haben. Daher sind hier besonders hochmodulige Klebstoffe trotz ihrer vielen positiven Eigenschaften in der Anwendbarkeit beschränkt, da sie die durch den Schwund induzierten

Spannungen nicht ausgleichen und an die Fügepartner weitergeben. Wäre der härtungsbedingte Volumenschwupf allerdings bekannt, so könnte er in der Phase der Bauteilauslegung bereits berücksichtigt werden.

**Der Lösungsansatz aus dem Fraunhofer IFAM**

Ausgangspunkt ist die Ermittlung der Klebstoffzusammensetzung (Struktur der Monomere, Art und Konzentration der reaktiven Spezies) und der einzelnen Reaktionsabläufe (Kinetik) der Härtungsreaktion. Die kinetischen Konstanten der Einzelreaktionen können aus umsatzrelevanten Messungen ermittelt werden. Bei warm und heiß härtenden Systemen bieten sich

Messungen mittels Dynamischer Differenzkalorimetrie (DSC) an; es sind aber auch andere Methoden denkbar. Anhand der Kinetik lassen sich somit zu jedem Zeitpunkt die Zahl der vorhandenen reaktiven Gruppen und damit der Reaktionsumsatz berechnen. Diese Daten werden im Molecular Modelling verwendet, um realistische Netzwerke auf atomarer Ebene für verschiedene Zeitpunkte der Aushärtung zu erstellen. Die Netzwerke sind Ausgangspunkt für die Berechnung werkstoffspezifischer Kenndaten wie z. B. der Dichte. Bei einem Klebstoff mit bekannter Zusammensetzung kann also über eine Kombination entsprechender Methoden die härtungsbedingte Volumenänderung berechnet werden (Abb. 1). Aus diesen Volumenänderungen lassen sich dann bei der Auslegung geklebter Bauteile mittels Finiter Elemente direkt härtungsbedingte Spannungen ermitteln. Den Spannungen kann dadurch bereits bei der Bauteilplanung begegnet werden.

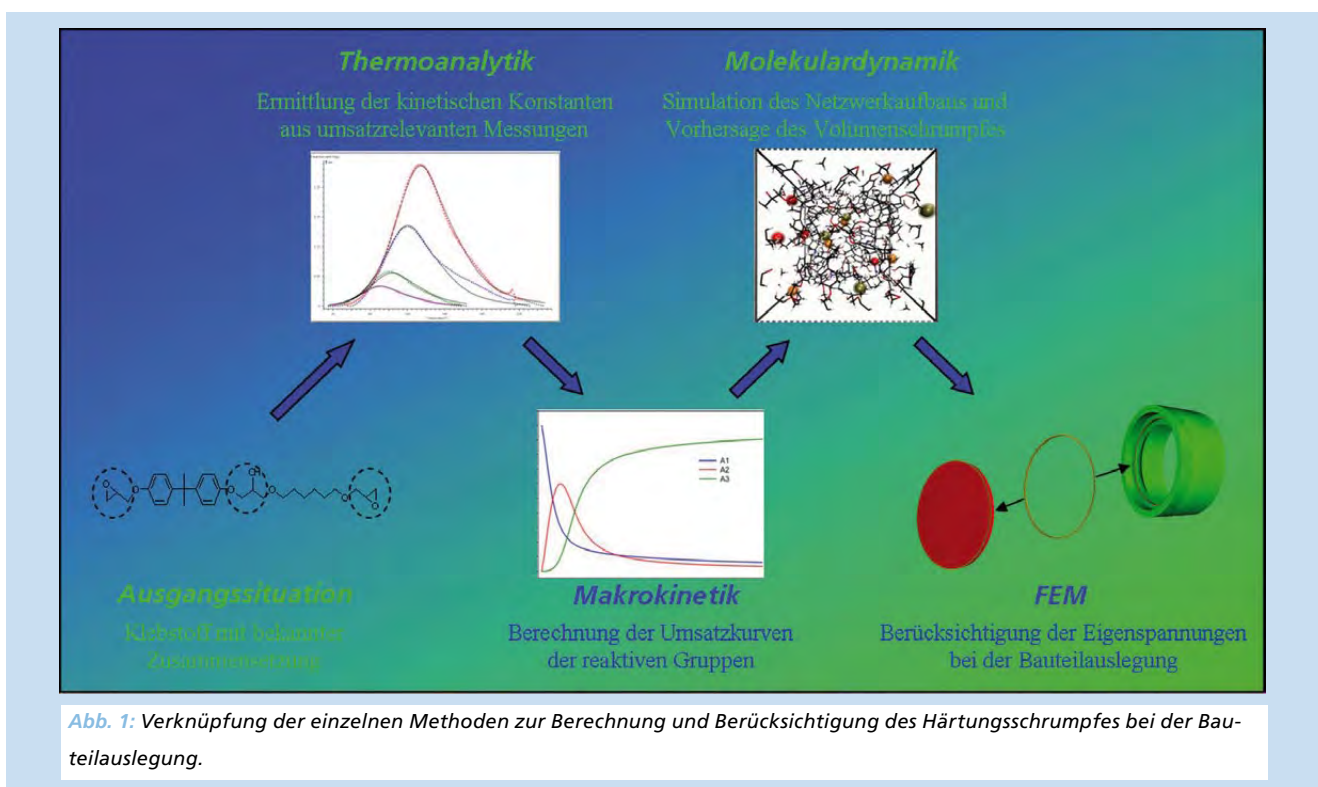


Abb. 1: Verknüpfung der einzelnen Methoden zur Berechnung und Berücksichtigung des Härtungsschumpfes bei der Bauteilauslegung.

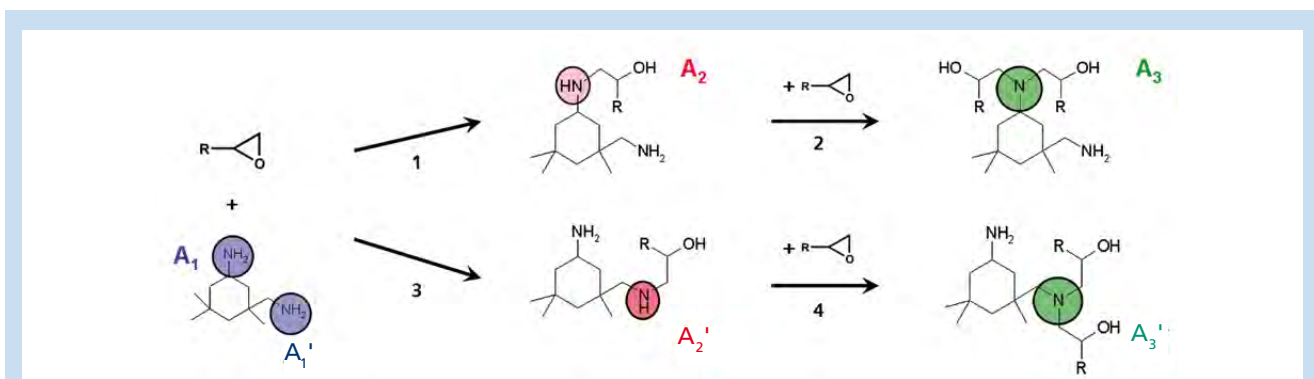


Abb. 2: Mögliche Reaktionen während der Härtung. Die primären Amine A1 und A1' und die vernetzenden Spezies A2 und A2' (sekundäre Amine) und A3 und A3' (tertiäre Amine) sind entsprechend hervorgehoben.

Am Fraunhofer IFAM wurde am Beispiel eines gefüllten Zwei-Komponenten-Epoxidharz-Modellklebstoffs der härtungsbedingte Volumenschwund bestimmt und bei der Bauteilauslegung berücksichtigt.

**Bestimmung der Kinetik und des Umsatzes – Thermoanalytik und Makrokinetik**

Ausgangspunkt für die Ermittlung der kinetischen Konstanten der Härtungsreaktion ist die Kenntnis der Anzahl und Art der reaktiven Gruppen. Sind diese unbekannt, können sie mit

verschiedenen Methoden der Strukturaufklärung bestimmt werden. Als Modellklebstoff wurde ein System aus einem hochreinen Epoxidharz auf Basis von Bisphenol A (zwei Epoxidgruppen pro Molekül) und Isophorondiain (IPD, zwei Amingruppen pro Molekül) gewählt. Der Klebstoff reagiert sowohl bei Raumtemperatur als auch bei erhöhter Temperatur. Abbildung 2 zeigt die vier möglichen Reaktionen während der Härtung, wobei die Reaktivität der beiden Amingruppen A1 und A1' als unabhängig voneinander angenommen werden kann.

Während der Vernetzungsreaktion reagieren die beiden Amingruppen mit den Epoxidgruppen des Harzes unter Ringöffnung. Bei jeder dieser Reaktionen wird Wärme frei,

	Beschreibung	m=1	m=2	m=3	m=4
$A_m$ [ $10^3/s$ ]	Geschwindigkeitskonstante	13,7	6,2	16,7	65,4
$E_m$ [kJ/mol]	Arrhenius-Energie	51	51	51	51
n	Reaktionsordnung	2	2	2	2
$K_{cat}$	Katalysekonstante	15,5	12,3	44,7	0,7

Tabelle 1: Kinetische Konstanten der einzelnen Reaktionsschritte m = 1 bis 4 (Abbildung 2).

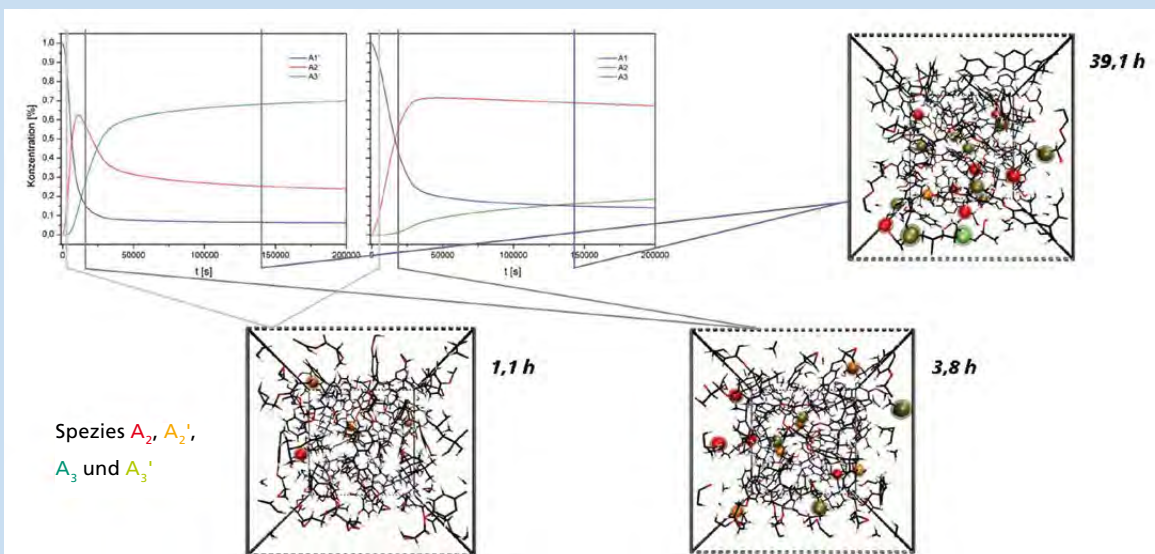
$$v_m = A_m \cdot e^{-\frac{E_m}{RT}} \cdot a_m^n \cdot (1 + K_{cat} \cdot X_m)$$

**Gleichung 1:** Autokatalytisches Modell für die Reaktionsgeschwindigkeiten  $v_m$  der einzelnen Teilreaktionen  $m = 1$  bis 4 (siehe Abbildung 2).  $a_m$  sind die Konzentrationen der reaktiven Spezies,  $X_m$  der jeweilige Anteil an autokatalytisch wirkenden Spezies, andere Größen siehe Tabelle 1.

die mittels DSC messbar ist. Die detektierte Wärme ist dabei proportional zum Reaktionsumsatz. Für die Untersuchung der Kinetik wurden Wärmestromkurven mit verschiedenen Heizraten dynamisch mittels DSC aufgenommen und die kinetischen Konstanten für alle vier Teilreaktionen mithilfe des Programms »Thermokinetics« der Firma Netzsch bestimmt. In Übereinstimmung mit der Literatur zeigte sich, dass die Reaktion der Epoxidgruppen durch Hydroxylgruppen katalysiert

wird, welche bei jeder der vier Teilreaktionen entstehen. Für die Bestimmung der kinetischen Konstanten ergab deshalb das autokatalytische Reaktionsmodell in Gleichung 1 die beste Übereinstimmung mit den Messdaten und führte zu einer guten Abbildung der Gesamtreaktion (Abb. 2).

Die ermittelten kinetischen Konstanten für alle vier Teilreaktionen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Zu berücksichtigen ist allerdings noch, dass das System verglast, wenn die Glasübergangstemperatur des reagierenden Systems die Reaktionstemperatur überschreitet. Die Folge ist eine diffusionskontrollierte Reaktion. Der Zeitpunkt beziehungsweise der kritische Umsatz, ab dem das System bei Raumtemperatur verglast, und der Endumsatz wurden durch die Bestimmung der Restreaktionsenthalpie mittels DSC an Proben, die unterschiedlich lange bei Raumtemperatur lagerten, ermittelt. Damit konnte eine entsprechende Diffusionskontrolle in die kinetischen Gleichungen integriert und so konnten schließlich die Umsatzkurven aller reaktiven Spezies im Reaktionssystem mittels Makrokinetik zu jedem Zeitpunkt berechnet werden (Abb. 3, links oben).



**Abb. 3:** Mittels der aus der Makrokinetik erhaltenen Daten (links oben) generierte vernetzte Zwischenstadien nach 1,1, 3,8 und 39,1 Stunden (h). Die vernetzenden Spezies  $A_2$  und  $A_2'$  und  $A_3$  und  $A_3'$  sind entsprechend hervorgehoben.



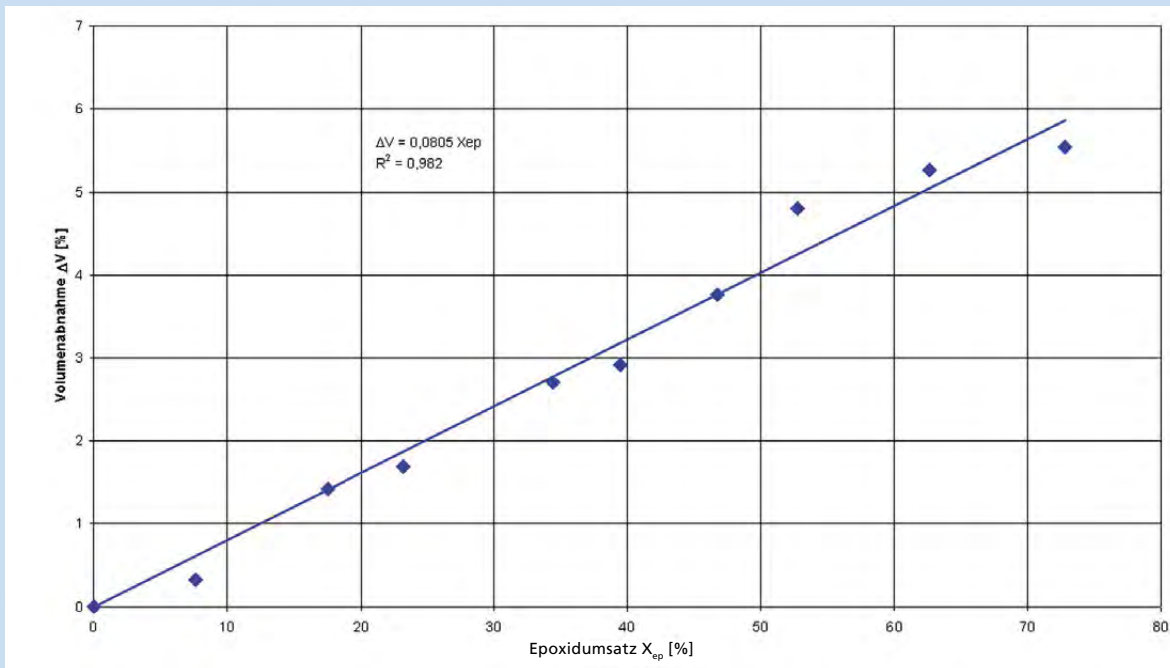


Abb. 4: Korrelation des Volumenschumpfes  $\Delta V$  mit dem Epoxidumsatz  $X_{ep}$ .

### Berechnung des Härtungsschumpfes mittels Molecular Modelling

Ziel des Molecular Modelling ist das Erstellen realistischer Strukturen des vernetzten Klebstoffs und die Berechnung des Härtungsschumpfes. Ausgehend von der Zusammensetzung des Klebstoffs im Anfangszustand wurde zunächst ein Strukturmodell des unvernetzten Klebstoffs auf atomarer Skala erstellt. Dieses diente als Ausgangspunkt für die Generierung vernetzter Modelle bis hin zum ausgehärteten Zustand und zudem als Referenzsystem für die Berechnung der Volumenänderung. Die Anzahl der einzelnen vernetzenden Spezies zu verschiedenen Zeitpunkten der Aushärtung wurde mittels der Makrokinetik berechnet. Somit wurde die chemische Reaktivität der funktionellen Gruppen beim Netzwerkaufbau berücksichtigt,

anstatt einfach nur ein Abstandskriterium für die Vernetzung zu verwenden. Mithilfe eines am Fraunhofer IFAM entwickelten Strukturgenerators, der die Vernetzung der atomistischen Modelle auf Basis dieser Daten durchführt, wurden Strukturen der Zwischenstadien und des ausgehärteten Klebstoffsystems generiert. Damit war es möglich, die gesamte Zeitspanne der Klebstoffaushärtung anhand von atomistischen Modellen abzubilden, wozu das normalerweise auf Zeiträume von mehreren Nanosekunden beschränkte Molecular Modelling allein nicht in der Lage wäre. Die Optimierung dieser Strukturen erfolgte mittels Molekulardynamik-Techniken, wie sie in der Software LAMMPS (Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator) der Sandia National Labs bereitgestellt werden. Abbildung 3 zeigt optimierte Modellstrukturen des Klebstoffs zu verschiedenen Zeitpunkten.

Die gewonnenen Modellstrukturen des Klebstoffs erlauben die Berechnung der jeweiligen Dichten. Aus den Dichteänderungen kann so der Volumenschwund während der Härungsreaktion bestimmt werden. Sowohl die Dichte als auch der Schwund nehmen mit dem Umsatz zu. In Abbildung 4 ist die Volumenabnahme in Abhängigkeit vom Umsatz dargestellt. Diese ist an einen linearen Funktionsverlauf angepasst und es ist deutlich erkennbar, dass ein linearer Zusammenhang zwischen Schwund und Umsatz besteht. Basierend auf den kinetischen Daten ist somit anhand des Molecular Modelling die Berechnung des Volumenschwundes zu jedem beliebigen Zeitpunkt bis zum ausgehärteten Zustand möglich. Durch Weiterverarbeitung der Daten mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) können die durch den Schwund induzierten Spannungen bestimmt werden.

### Bauteilauslegung mit FEM

In geklebten Bauteilen wird dem Bestreben des Klebstoffs, unter der Härtung sein Volumen zu verringern, durch die Haftung an den Fügeteilen ein Widerstand entgegengesetzt. Hierdurch bauen sich in der Klebverbindung Eigenspannungen auf, die zu Deformationen in den Fügeteilen führen. Das wird in Abbildung 5 schematisch für eine Aluminium-Glas-Klebung gezeigt. Es ist erkennbar, dass sich die Klebfuge am freien Rand zusammenzieht, während die Behinderung dieser Bewegung durch das anhaftende Fügeteil zu einer Wölbung des Glases führt.

Wichtig für das Bauteilverhalten ist die Volumenabnahme ab dem Zeitpunkt, ab dem Spannungen in der Klebfuge entstehen können. Liegt der Klebstoff noch flüssig vor, so induziert eine Volumenänderung zunächst keine Spannungen im Bauteil. Erst wenn eine Netzwerkstruktur entstanden ist, die das

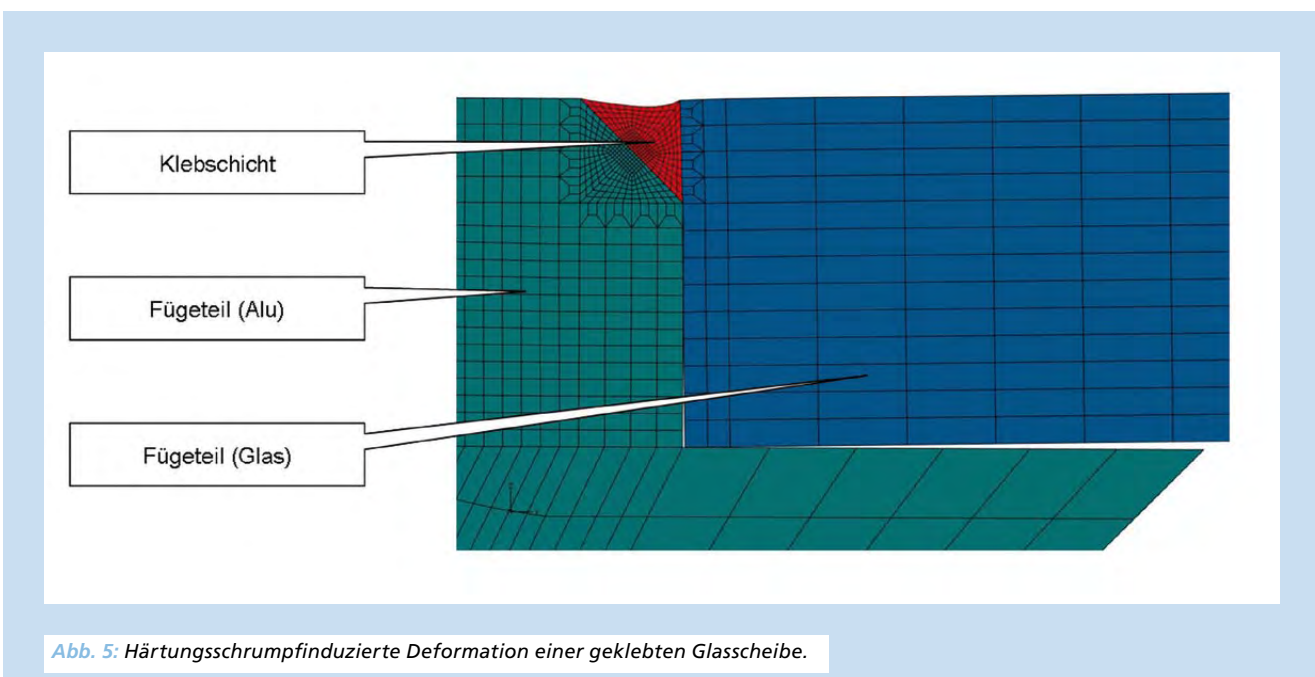


Abb. 5: Härungsschrumpfinduzierte Deformation einer geklebten Glasscheibe.

gesamte Klebstoffvolumen durchzieht, ist eine Kraftübertragung möglich. Dies ist frühestens ab dem Gelpunkt, der mit einem Rheometer ermittelt wird, erreichbar.

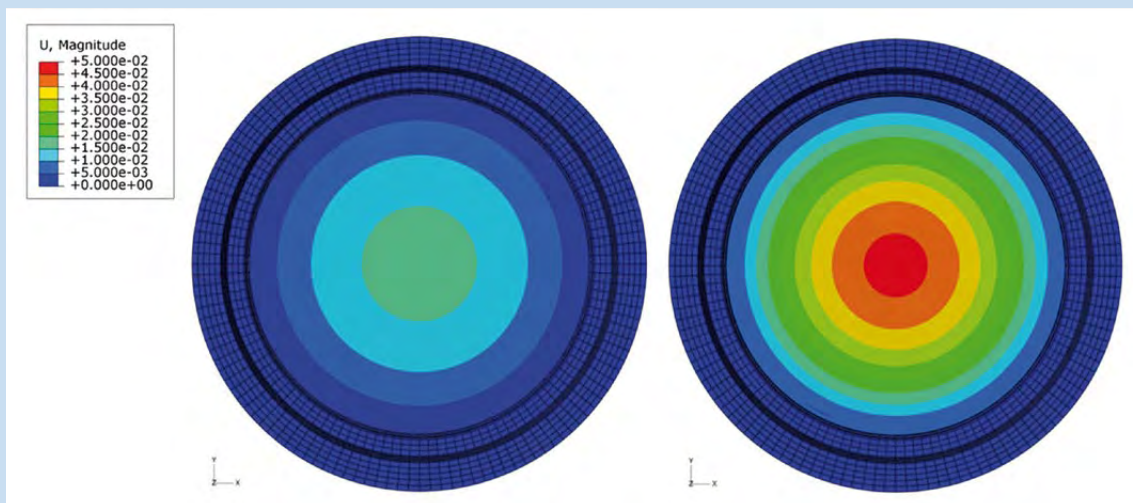
Für den Modellklebstoff tritt die Vergelung nach 6,8 Stunden ein. Zu dem Zeitpunkt liegt der Umsatz bei 49 Prozent und der Volumenschwupf beträgt bereits etwa 4 Prozent (Abb. 4) Aufgrund der fehlenden Kraftübertragung bewirken diese 4 Prozent Schwupf jedoch noch keine Eigenspannungen. Erst der zwischen Vergelung und Reaktionsende, das heißt zwischen 49 Prozent und 75 Prozent Umsatz, auftretende Schwupf von etwa 2 Prozent wird in Form von Eigenspannungen wirksam.

Der aus dem Molecular Modelling erhaltene wirksame Schwupf und die Materialdaten des Modellklebstoffs wurden in die Finite-Elemente-Software ABAQUS implementiert und die Deformation aufgrund der induzierten Eigenspannungen für eine geklebte sensorische Komponente berechnet. Abbildung 6 zeigt das sich aufgrund des Volumenschwupfes von

2 Prozent ergebende Verschiebungsfeld. Legt man hingegen den Schwupf über den gesamten Reaktionsverlauf von etwa 6 Prozent zugrunde, den man aus Dichtemessungen vor und nach der Reaktion erhalten würde, ergeben sich zu hohe Eigenspannungen und die Verschiebung wird deutlich überschätzt. Der vorgestellte Ansatz gestattet somit eine wesentlich genauere Vorhersage der schwupfbedingten Eigenspannungen.

**Zusammenfassung und Ausblick**

Die hier dargestellte Verknüpfung von experimentellen Methoden und Simulation auf verschiedenen Ebenen (Molekülebene bis zum geklebten Bauteil) zur computergestützten Vorhersage des Härtungsschwupfes ist erfolgreich implementiert und kann für die Lösung anwendungsrelevanter Probleme genutzt werden. Der Vorteil dieses Ansatzes ist, dass



**Abb. 6:** Verschiebungsfeld einer sensorischen Komponente durch Schwupf der Klebschicht (in mm) für den aus dem Molecular Modelling erhaltenen, wirksamen Schwupf ab dem Gelpunkt (links) und für den aus Versuchen bestimmten Gesamtschwupf (rechts).

die makroskopischen Eigenspannungen und -verformungen geklebter Bauteile direkt auf die molekulare Netzwerkstruktur zurückgeführt werden, welche implizit den Einfluss der realen Reaktionskinetik berücksichtigt.

Durch die Generierung realistischer Netzwerkstrukturen können mithilfe des Molecular Modelling zudem eine Vielzahl an Kenndaten berechnet werden – beispielsweise das Quellverhalten, die mechanischen Eigenschaften oder die thermische Ausdehnung.

#### **Auftraggeber**

Die vorgestellten Arbeiten werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung in dem Projekt »Entwicklung eines Simulationstools zur Vorhersage des Härtungsschrumpfes und Quellverhaltens von Klebstoffen« (Förderkennzeichen: 03X0502D; Laufzeit: 1.4.2007 bis 31.3.2010) gefördert.

#### **Projektpartner**

Projektpartner sind die Carl Zeiss Jena GmbH in Jena, die Sartorius AG in Göttingen, die Wellmann Technologies GmbH in Friedelsheim und die Bergische Universität Wuppertal.

## KONTAKT

*Dr. Mark Amkreutz*  
*Adhäsions- und Grenzflächenforschung*  
*Telefon +49 421 2246-647*  
*mark.amkreutz@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. Jana Kolbe*  
*Klebtechnische Fertigung*  
*Telefon +49 421 2246-446*  
*jana.kolbe@ifam.fraunhofer.de*

*Dr. Christof Nagel*  
*Werkstoffe und Bauteile*  
*Telefon +49 421 2246-477*  
*christof.nagel@ifam.fraunhofer.de*

#### **Institut**

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





## »ANERKANNTE STELLE« FÜR DAS EBA – ERFOLGSGESCHICHTE UND HERAUSFORDERUNG ZUGLEICH

Dienstleistungen im Auftrag staatlicher Einrichtungen erbringen – eine Rolle, die das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM auf vielen Ebenen erfolgreich wahrnimmt. Dabei geht es nicht immer nur um Forschung und Entwicklung, sondern auch um die Definition und Überprüfung von Qualitätsstandards. Bestes Beispiel: Seit Dezember 2006 ist das Institut »Anerkannte Stelle für das Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen« des Eisenbahn-Bundesamts (EBA; Abb. 1). Das EBA hatte seinerzeit als staatliche Aufsichts- und Genehmigungsbehörde für alle Belange des Schienenverkehrs zwei zertifizierende Stellen in Deutschland eingerichtet. Ziel war die Überwachung einer neuen Norm: der DIN 6701-2 für das Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen. Mit der Norm hatte das EBA auf die zunehmende Bedeutung der Klebtechnik im Schienenfahrzeugbau reagiert. Denn der Trend zum Leichtbau durch intelligenten Materialmix setzt sich auch in dieser Branche nachhaltig durch und führte zuletzt zu bemerkenswerten Steigerungsraten beim Einsatz von Klebstoffen.

Die DIN-Norm ist für alle Firmen verpflichtend, die in dem Industriezweig klebtechnische Arbeiten ausführen, mit geklebten Produkten handeln oder sonstige Dienstleistungen im Bereich von klebtechnischer Konstruktion und Auslegung anbieten. Seit Anfang 2007 waren die Unternehmen aufgefordert, sich um eine entsprechende Zulassung zu bemühen; seit 1. Januar 2010 ist sie verpflichtend. Vergeben wird sie unter anderem vom Fraunhofer IFAM als größerer der beiden »Anerkannten Stellen«. Weil die Einführung der in mehrere Teile gegliederten Norm unter Zeitdruck geschah, wurde zunächst nur Teil 2 in Kraft gesetzt. Der Abschnitt enthält die detaillierte Beschreibung des Zulassungsverfahrens für Unternehmen: Welche Schritte müssen sie durchlaufen und welche Voraussetzungen erfüllen, um erfolgreich zertifiziert zu werden? Die weiteren Abschnitte – ein Glossar der Fachbegriffe (Teil 1), die Beschreibung der korrekten Berechnungen und Konstruktionen von Klebverbindungen im Schienenfahrzeugbau (Teil 3)

sowie der richtigen Anwendung von Klebstoffen (Teil 4) – waren noch in der Entwicklung, als die Norm bereits in Kraft gesetzt wurde. Hintergrund der Eile war das Ansinnen, den zum Teil rasant zunehmenden Einsatz des Klebens in der Branche auf eine sichere Grundlage zu stellen – nicht zuletzt, weil hier zahlreiche Bereiche berührt werden, die für die Sicherheit des Schienenverkehrs bedeutend sind.

---

### DVS-Richtlinie als Übergangsgrundlage genutzt

---

Drei von vier Teilen der DIN-Norm wurden somit erst später ausgearbeitet und verabschiedet. Dennoch hatte das Fraunhofer IFAM bereits Zertifizierungsaufgaben wahrzunehmen, die auf einer rechtlich sicheren Grundlage stehen



**Abb. 1:** Das Fraunhofer IFAM ist seit 2006 »Anerkannte Stelle für das Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen« des Eisenbahn-Bundesamts.

mussten. Deshalb wurden für die Prüfungen die »anerkannten Regeln der Technik« zugrunde gelegt – und die fanden sich für die Klebtechnik in der langjährig bewährten Richtlinie 3310 des Deutschen Verbandes für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. (DVS).

Diese Richtlinie beschreibt, wie ein Klebprozess aufzubauen ist, damit er – je nach Bedeutung unterschiedlich – gesichert ablaufen kann. Die Richtlinie war somit eine wichtige Arbeits-

grundlage für das Fraunhofer IFAM; mittlerweile ist sie in die ebenfalls verabschiedeten Teile 3 und 4 der DIN-Norm eingegangen.

Einige innovativ eingestellte Unternehmen auf dem Klebtechnikmarkt sahen in der DIN-Norm eine Weiterentwicklungsmöglichkeit, um sich noch besser zu positionieren. Sie meldeten sich zügig für den Überprüfungsprozess an, um das entsprechende Gütesiegel zu erhalten. Der große Teil der Firmen ließ sich jedoch wesentlich mehr Zeit mit der Zertifizierung. Gleichzeitig wuchs der Markt aber, weil sich auch kommunale Einrichtungen – etwa Straßenbahnbetreiber – der Norm als Grundlage anschlossen. Insbesondere im zweiten Halbjahr 2009, getrieben durch das Herannahen der »Deadline«, musste das Fraunhofer IFAM einen Großteil der Zertifizierungsanträge abarbeiten. Für das Institut bedeutete das eine erhebliche Herausforderung, weil von den Prüfern neben exzellentem Fachwissen auch eine langjährige, persönliche Erfahrung mit dem Kleben im Schienenfahrzeugbau gefordert wird. Die Tätigkeit führte bis heute zu einem spürbaren Stellenzuwachs: Waren einstmals zwei Prüfer des Fraunhofer IFAM im Auftrag des Eisenbahn-Bundesamts tätig, sind es nunmehr bereits sechs Experten.

### Internationale Tätigkeit stark ausgeweitet

Parallel dazu nahm die internationale Tätigkeit des Fraunhofer IFAM in diesem Bereich zu. Denn viele Zulieferfirmen für den deutschen Schienenfahrzeugmarkt sind z. B. im Nahen und Fernen Osten, Indien oder Südamerika beheimatet. Sie müssen sich ebenso zertifizieren lassen wie europäische Betriebe. Bei den meist mehrtägigen Aufenthalten vor Ort müssen die IFAM-Prüfer neben intensiver Beratung und der Prüfung der entsprechenden Voraussetzungen für eine erfolgreiche Zertifizierung auch berücksichtigen, dass es erhebliche kulturelle Unterschiede bei der Kommunikation und den Arbeitsab-





läufen in den ausländischen Unternehmen gibt. Der überwiegende Teil der dort zertifizierten Betriebe ist nicht in der Klasse A1 tätig, in der stark sicherheitsrelevante Klebungen durchgeführt werden, sondern eher in den Klassen A2 und A3 (mittlere und geringe Sicherheitsanforderungen). Oft geht es hier um Tätigkeiten wie das Kleben von Innenausbauteilen oder Tür- und Steuersystemen.

Eine sehr hohe Bedeutung kommt bei der Zertifizierung auch der Ausbildung der Fachkräfte zu. Je nachdem, in welche Klasse die Betriebe eingestuft werden, muss eine entsprechende Qualifikation des klebtechnischen Personals vorliegen. In der Klasse A1 beispielsweise müssen die Klebaufsichtsperson und der gleichberechtigte Vertreter mindestens eine Fortbildung zum DVS®/EWF-European Adhesive Engineer, EAE (Klebfachingenieurin bzw. -ingenieur) absolviert haben. In den anderen Klassen ist – je nach Bedeutung des Klebens – die Ausbildung zum DVS®/EWF-European Adhesive Specialist, EAS (Klebfachkraft) oder zum DVS®/EWF-European Adhesive Bonder, EAB (Klebpraktikerin bzw. -praktiker) ausreichend. Streng von der Arbeit als Anerkannte Stelle getrennt, bietet auch das Fraunhofer IFAM diese Weiterbildungen an (Abb. 2). Der Vorteil liegt darin, dass dadurch geänderte oder neue Anforderungen sowie Entwicklungen aus der Anwendung der Klebtechnik im Schienenfahrzeugbau sofort und ohne zeitliche Verzögerung in die Ausbildungsarbeit des Instituts einfließen.

---

### Klebtechnische Weiterbildung immer bedeutender

---

Nicht ausschließlich, aber doch auch durch die Einrichtung der »Anerkannten Stelle« beim Fraunhofer IFAM getrieben, stieg die Zahl der Weiterbildungsmaßnahmen spürbar an. Eine Herausforderung für das klebtechnische Zentrum des Instituts war dabei, die Fortbildungen ebenfalls für ausländische Interessenten – in der Regel auf Englisch – anzubieten. Aus Asien und Europa reisten die Teilnehmenden oft mehrfach an,

um beispielsweise die Abschnitte der Klebfachingenieur-Ausbildung in Bremen zu absolvieren. Künftig sollen bestimmte Lehrgänge in Asien vor Ort stattfinden, um den Interessierten im wahrsten Sinne des Worts »entgegentzukommen«. Dabei waren und sind immer wieder verschiedene organisatorische und logistische Hürden zu nehmen, weil die Maßnahmen – teilweise in Absprache mit dem Partner Henkel Asia-Pacific & China Headquarters – je nach Nachfrage kurzfristig ausgeweitet werden müssen.

Grundsätzlich hat sich die Bedeutung des klebtechnischen Zentrums des Fraunhofer IFAM als weltweit führende Ausbildungseinrichtung für klebtechnisches Personal durch den gestiegenen Bedarf verschiedener Industriebereiche weiter erhöht. Denn nicht nur der Schienenfahrzeugbau fragt die Weiterbildung verstärkt nach – auch andere Industriezweige sehen immer mehr die Notwendigkeit, Klebanwender entsprechend zu qualifizieren.

## KONTAKT

*Dr. Dirk Niermann*

*Telefon +49 421 2246-439*

*dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de*

*Dipl.-Ing. (FH) Andrea Paul*

*Telefon +49 421 2246-520*

*andrea.paul@ifam.fraunhofer.de*

### Institut

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

**2** *Personalqualifizierung im klebtechnischen Zentrum des Fraunhofer IFAM.*





## DER WISSENSCHAFTLICHE NACHWUCHS FÜR MORGEN

Das Fraunhofer IFAM und der wissenschaftliche Nachwuchs – etabliert, bewährt und expandierend. Der Bereich Klebtechnik und Oberflächen des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM engagiert sich nicht nur mit Talent-School und TheoPrax® für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von morgen, sondern nun auch im Rahmen der Junior-Ingenieur-Akademie: Am 5. November 2009 wurde die erste Junior-Ingenieur-Akademie in Niedersachsen im Fraunhofer IFAM vorgestellt.

### Start der ersten Junior-Ingenieur-Akademie in Niedersachsen

Einblicke bieten in die Ausbildung und den Berufsalltag von Ingenieurinnen und Ingenieuren sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, Interesse wecken und Ansporn für die entsprechenden Ausbildungen geben – das ist das Ziel der Junior-Ingenieur-Akademie, einem bundesweiten Modellprojekt der Deutsche Telekom Stiftung. Es gilt, dem bereits absehbaren künftigen Mangel an qualifizierten Nachwuchskräften frühzeitig aktiv vorzubeugen. Um insbesondere den Anteil von Mädchen und jungen Frauen in den »MINT-Berufen« zu erhöhen, kooperieren Fraunhofer-Gesellschaft und Deutsche Telekom Stiftung seit Anfang 2009. »MINT« steht für die Fachrichtungen Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik. Die Telekom Stiftung fördert das Projekt bis 2012 mit 21 000 Euro, das Bremer Fraunhofer-Institut stellt Personal, Fachwissen, Räumlichkeiten sowie Equipment zur Verfügung und knüpft die Kontakte zu Industriepartnern: So finden Schule, Wissenschaft und Wirtschaft zusammen.

Die erste Akademie im Rahmen dieser Kooperation startet in Niedersachsen unter Federführung des Fraunhofer IFAM: Im Schuljahr 2009/2010 beschäftigen sich interessierte Schüle-

rinnen und Schüler der 9. Klassen des Gymnasiums Osterholz-Scharmbeck in Theorie und Praxis mit Themen aus Physik, Chemie und Ingenieurwissenschaften, die notwendig sind, um die Füge-technologie Kleben in Bereichen wie Automobil- und Schiffbau oder in der Fertigung von Rotorblättern für Windenergieanlagen einsetzen zu können. Durch geplante Besuche von Betrieben erhalten sie nicht nur Einblick in den Arbeitsalltag dieser Branchen, sondern lernen auch die dazugehörigen Arbeitsgebiete von Ingenieurinnen und Ingenieuren im industriellen Umfeld kennen.

Den wissenschaftlichen Part der Ingenieur-tätigkeiten in Form von anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung erleben die Jugendlichen im Bereich Klebtechnik und Oberflächen des Fraunhofer IFAM: Nach Vermittlung des erforderlichen Grundlagenwissens und unter fachlicher Anleitung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter stehen ihnen Laboreinrichtungen des Instituts zur Verfügung, um abschließend in ihrer Projektarbeit das theoretisch erworbene Wissen in die Praxis umzusetzen: den Bau einer Miniatur-Windkraftanlage aus Faserverbundkunststoff-Strukturen. Die Schülerinnen und Schüler haben darüber hinaus die Chance, in Workshops Projektmanagement und Präsentationstechniken zu erlernen. Für sämtliche Aktivitäten in der Junior-Ingenieur-Akademie stehen ihnen wöchentlich vier zusätzliche Unterrichtsstunden



zur Verfügung, in denen sie von ihren Lehrkräften und vom Fraunhofer IFAM betreut werden.

---

### Fraunhofer-Talent-School Bremen 2009

---

Richtet sich die Junior-Ingenieur-Akademie an Schülerinnen und Schüler der Mittelstufen, so ist die Fraunhofer-Talent-School das Forum für die nächste Etappe: Hier setzen sich talentierte und technisch interessierte Jugendliche der 10. bis 13. Jahrgangsstufe in verschiedenen dreitägigen Workshops intensiv mit aktuellen wissenschaftlichen Problemstellungen auseinander und entwickeln Lösungen. Zusätzlich geben Gespräche mit Fraunhofer-Führungskräften Einblicke in den Alltag der Forscherinnen und Forscher sowie in den nationalen und internationalen Wissenschaftsbetrieb.

Im Oktober 2009 fand zum zweiten Mal eine Fraunhofer-Talent-School im Fraunhofer IFAM in Bremen statt. Auch in diesem Jahr mussten die Plätze wieder per Losverfahren vergeben werden, da viel mehr Bewerbungen eingingen, als Zusagen erteilt werden konnten. 51 Schülerinnen und Schüler der 10. bis 13. Jahrgangsstufe aus Bremen, Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Bayern hatten die Gelegenheit, an fünf unterschiedlichen Workshops aus den Bereichen Ingenieur- und Naturwissenschaften teilzunehmen:

- Was die Welt zusammenhält – Chemie und Physik der Klebstoffe
- Bausteine des Lebens – Bioanalytik von Proteinen
- Große Gleichungssysteme – schnelle Lösung kein Problem
- Lernen von der Natur – wie wird Perlmutter »hergestellt«?
- Wärmebehandlung von Stahl – hart oder weich, alles eine Frage von Temperatur und Zeit

Im Jahr 2009 wurde durch die Zusammenarbeit mit der Universität Bremen das thematische Spektrum nicht nur

erweitert, sondern auch gleichzeitig die Anzahl der Workshops von drei auf fünf – verglichen mit 2008 – erhöht. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IFAM, des Fraunhofer-Instituts für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen (Fraunhofer SCAI) sowie der Fachbereiche Physik/Elektrotechnik und Produktionstechnik der Universität Bremen leiteten die Workshops.

Während des Abendprogramms der Veranstaltung hatten die Jugendlichen die Gelegenheit, mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Fraunhofer-Institute sowie der beteiligten Fachbereiche der Universität Bremen zu sprechen und sich über nationales und internationales wissenschaftliches Arbeiten sowie anwendungsorientierte Auftragsforschung zu informieren.

---

### TheoPrax® im Fraunhofer IFAM

---

Und noch einen Schritt weiter: Dem TheoPrax®-Kommunikationszentrum am Fraunhofer IFAM als zukunftsorientiertem Mittler zwischen potenziellen Arbeitgebern und Arbeitnehmern sind Anfragen von Unternehmen, Institutionen und öffentlichen Einrichtungen stets willkommen.

Das Zentrum stellt dann Kontakte zu Schulen, Fachhochschulen und Universitäten her, um so TheoPrax®-Projekte in einem immer vielfältiger werdenden Themenspektrum zu initiieren und sie zu betreuen. Das Besondere daran ist der Einsatz der vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (Fraunhofer ICT) entwickelten Lehr- und Lernmethode TheoPrax®, die in realen Projekten die theoretische Wissensvermittlung mit Praxiserfahrungen verbindet. Diese Projekte werden von Schülerinnen und Schülern oder Studierenden von der Angebotserstellung bis zur Rechnungsstellung bearbeitet und vom zuständigen TheoPrax®-Kommunikationszentrum methodisch begleitet.



KLEBTECHNIK UND OBERFLÄCHEN





Bereits während der Ausbildung, sei es Schule, Fachhochschule oder Universität, lassen sich Theorie in Praxis und Wissenschaft in Anwendung direkt umsetzen – das stellten 50 Schülerinnen und Schüler der 12. Klasse des Gymnasiums Osterholz-Scharmbeck im Juni 2009 im Fraunhofer IFAM unter Beweis, als sie die Ergebnisse ihrer praxisrelevanten achtmonatigen TheoPrax®-Projektarbeiten präsentierten:

- Videodokumentation über Beschichtungsverfahren
- Arbeitshilfe mit Werkstoffinformationen für Zerspanungsmechaniker
- Bildband: »Wie sehen Jugendliche Osterholz-Scharmbeck?«
- Abfallentsorgung: Mülltrennung bzw. Müllvermeidung im Klinikbereich
- Entwicklung und Erprobung von Unterrichtsmaterialien für den Physikunterricht der Mittelstufe zum Thema Klimawandel

Jeder der Auftraggeber – ein Metall verarbeitendes Unternehmen, eine Buchhandlung, ein Krankenhaus und eine Universität – erhielt zusätzlich eine Dokumentation mit den praktisch umsetzbaren Lösungen zu der gestellten Aufgabe.

Dadurch, dass es sich um aktuelle Themen von besonderer Bedeutung für die Unternehmen handelte, waren die Jugendlichen besonders hoch motiviert. Sie wurden an unternehmerisches Denken und Handeln herangeführt. Zugleich bekamen sie Einblick in professionelle Projektarbeit und erlernten Präsentationstechniken.

Neben den Schülerinnen und Schülern profitieren insbesondere auch die Unternehmen von den TheoPrax®-Projektarbeiten, die jedes Jahr vom Fraunhofer IFAM angeboten werden. Zeichnet es sich doch bereits heute ab, dass es in bestimmten Branchen schwierig ist – und zunehmend schwieriger werden wird –, gut ausgebildete Nachwuchskräfte zu finden. So bahnen die Fraunhofer-Aktivitäten Kontakte zwischen Arbeitgebern und potenziellen Arbeitnehmern von morgen an.

## KONTAKT

*Beate Brede*

*Telefon +49 421 2246-421*

*beate.brede@ifam.fraunhofer.de*

### **Institut**

*Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und*

*Angewandte Materialforschung IFAM,*

*Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen*



# MENSCHEN UND MOMENTE



# WEITERBILDUNGS-INNOVATIONS-PREIS 2009 FÜR DEN »FASERVERBUND- KUNSTSTOFF-PRAKTIKER«

Für das Weiterbildungskonzept zur Faserverbundkunststoff-Praktikerin und zum Faserverbundkunststoff-Praktiker des Kunststoff-Kompetenzzentrums erhielt das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM den vom Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) ausgeschriebenen, mit 2500 Euro dotierten Weiterbildungs-Innovations-Preis (WIP) 2009. Die niedersächsische Kultusministerin Elisabeth Heister-Neumann und der Präsident des BIBB, Manfred Kremer, überreichten dem Fraunhofer IFAM den Innovationspreis auf der Fachmesse »didacta« am 12. Februar 2009 in Hannover.

Der Preis zeichnet innovative Weiterbildungskonzepte aus, die sich an den Qualifikationsanforderungen von morgen orientieren und Impulse für die Modernisierung der Bildungs- sowie Arbeitsbereiche geben. Das BIBB fördert mit dem Preis die Vorreiterrolle der Weiterbildungsträger und setzt damit Signale für neue Entwicklungen sowie eine zeitgemäße Gestaltung der beruflichen Bildung. Unter der Leitung des Fraunhofer IFAM ist die Entwicklung und Etablierung eines umfassenden, überbetrieblichen und zertifizierenden Personalqualifizierungssystems für die gesamte Faserverbundtechnologie gelungen.

---

## Die Basis: Wissenschaft und Wirtschaft

---

Besonders gelobt wurde von der Jury die Besonderheit des Angebots des Kunststoff-Kompetenzzentrums, die darin besteht, dass die Inhalte der Weiterbildung gemeinsam von Wissenschaft sowie Wirtschaft konzipiert und übermittelt werden.

Zu diesem Zweck hat sich die »Weiterbildungspartnerschaft Kunststoff« gebildet. Beteiligt sind mittlerweile die Firmen SGL ROTEC GmbH & Co. KG/PowerBlades GmbH, Airbus Deutschland GmbH, HAINDL Kunststoffverarbeitung GmbH, bfw – Unternehmen für Bildung und Zeit & Service Beschäftigungsfördergesellschaft mbH sowie das Faserinstitut Bremen e. V., das Institut für Werkstofftechnik und das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM. Deren Fachleute betreuen den Lehrgang in Theorie und Praxis.

Somit ist die Qualifizierung äußerst anwendungsorientiert und stets auf aktuellem Stand. Daher ist sie an die speziellen und praktischen Anforderungen der Betriebe sowie des Markts optimal angepasst. Hiervon profitieren insbesondere Automobilindustrie, Schiffbau, Schienenfahrzeugbau, Luft- und Raumfahrtindustrie sowie Windenergieanlagenbau, da in diesen Branchen verstärkt Faserverbundkunststoffe (FVK) zum Einsatz kommen.





1



Die Qualifizierung steht sowohl betrieblichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern als auch Beschäftigten in Kurzarbeit, von Arbeitslosigkeit bedrohten Personen sowie Arbeitssuchenden offen. Bildungsgutscheine der Agentur für Arbeit werden anerkannt. Dadurch erhalten nicht nur betriebliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der ausführenden Ebene der kunststoffverarbeitenden Industrie eine bedarfsgerechte Weiterbildung, auch Arbeitssuchenden wird eine zukunftsgerichtete Chance eröffnet, wieder in den ersten Arbeitsmarkt zu gelangen. Um jeder Zielgruppe gerecht zu werden, wird der Lehrgang sowohl als vierwöchiger Blockkurs angeboten, als auch in vier einwöchigen Blöcken – ausschließlich für betriebliche Beschäftigte – durchgeführt. Dies ermöglicht eine flexible Integration der Qualifizierung in die betrieblichen Abläufe.

Das Kunststoff-Kompetenzzentrum unter Leitung des Fraunhofer IFAM ist sowohl nach DIN EN ISO 9001 als auch nach AZVV (Anerkennungs- und Zulassungsverordnung Weiterbildung) zertifiziert und erfüllt die Qualitätsanforderungen der DIN EN ISO/IEC 17024 ([www.kunststoff-in-bremen.de](http://www.kunststoff-in-bremen.de)). Die Weiterbildung ist auf Initiative der bremer arbeit gmbh (bag) entstanden. Das Land Bremen (Die Senatorin für Arbeit, Frauen, Gesundheit, Jugend und Soziales), der Europäische Sozialfonds (ESF) und die Fraunhofer Academy der Fraunhofer-Gesellschaft ([www.academy.fraunhofer.de](http://www.academy.fraunhofer.de)) fördern die Weiterentwicklung und Durchführung der Maßnahmen.

**Bedarfsgerechte Anpassung an steigende Nachfrage**

Die Relevanz der Weiterbildung für die genannten Branchen spiegelt sich auch in der starken Nachfrage des Lehrgangs wider, der seit 2007 vom Kunststoff-Kompetenzzentrum angeboten wird: Seit Mai 2007 wurden über 340 Teilnehmerinnen und Teilnehmer zur FVK-Praktikerin bzw. zum FVK-Praktiker qualifiziert. Seit Juli 2008 wird die Qualifizierung zusätzlich am Standort Bremerhaven angeboten, seit August 2009 darüber hinaus in Brake.

**KONTAKT**

*Dr. Silke Mai*  
 Telefon +49 421 2246-625  
[silke.mai@ifam.fraunhofer.de](mailto:silke.mai@ifam.fraunhofer.de)

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



# SKAUPY-PREIS 2009 FÜR DR.-ING. FRANK PETZOLDT

Im Rahmen des Hager Symposiums vom 26. bis 27. November 2009 ehrte der Gemeinschaftsausschuss Pulvermetallurgie Dr.-Ing. Frank Petzoldt mit seiner höchsten Auszeichnung: dem Skaupy-Preis. Der Skaupy-Preis wurde erstmals im Jahr 1982 verliehen und ist nach Prof. Dr. Franz Skaupy (1882–1969), Vorstandsmitglied der Osram GmbH und Pionier der Pulvermetallurgie in Deutschland, benannt. Mit dieser höchsten Ehrung werden besondere Leistungen und herausragend technisch-wissenschaftliche Arbeiten in der Pulvermetallurgie gewürdigt.

Seit über 25 Jahren hat der Physiker Frank Petzoldt seine Arbeitskraft der Pulvermetallurgie sowohl in der Forschung als auch in der praktischen Anwendung verschrieben.

In zahlreichen Vorträgen und Publikationen auf nationaler und internationaler Ebene hat er über die Verfahrens- und Werkstoffvielfalt der Pulvermetallurgie berichtet. Hierbei hat er sich nicht nur auf Standardapplikationen und deren Verbesserung beschränkt, sondern vielmehr mit seinem Team des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Bremen gezielt die Spezial- und Nischenanwendungen der Pulvermetallurgie gesucht. Früh rückte dabei der Metallpulverspritzguss (Metal Injection Moulding, MIM) in den Mittelpunkt seiner Arbeiten. Dabei ist es Herrn Petzoldt in besonderer Weise gelungen, Ideen über die Theorie und den experimentellen Aufbau bis hin zur industriellen Marktreife zu führen.

Nicht nur, weil er in dieser vorbildlichen Weise immer wieder Brücken zwischen der Wissenschaft und der Industrie schlägt, hat er sich in besonderem Maße um die Pulvermetallurgie verdient gemacht. Er hat auch eine herausragende Rolle beim Aufbau und der Leitung des Expertenkreises »Metallpulverspritzguss« im Gemeinschaftsausschuss Pulvermetallurgie

eingenommen und diesen Expertenkreis in Wirtschaft und Wissenschaft mit hohem Engagement im Interesse der Pulvermetallurgie vertreten.

## KONTAKT

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

### Institut

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

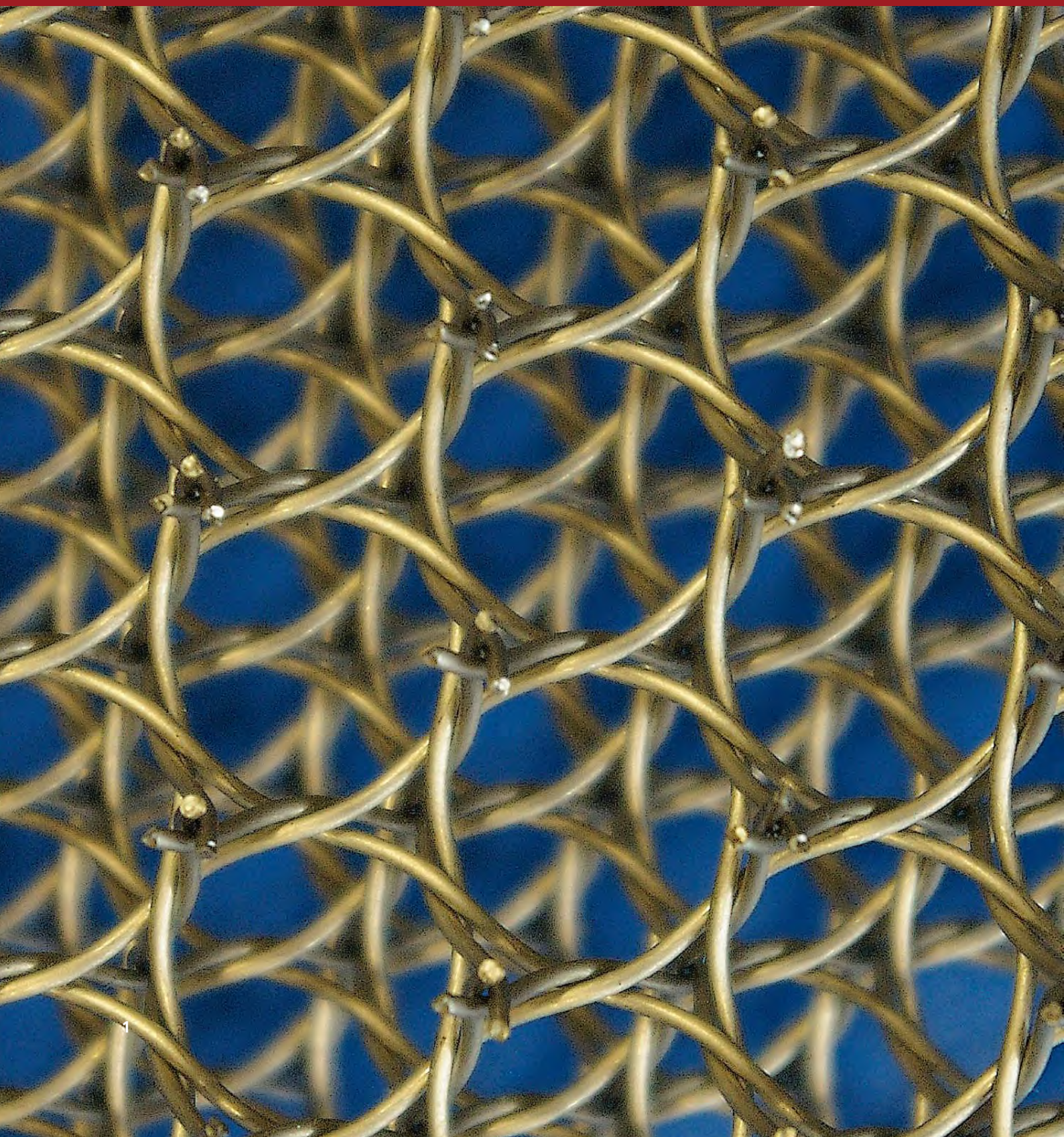
**1** *Der Präsident des BIBB, Manfred Kremer, und die niedersächsische Kultusministerin, Elisabeth Heister-Neumann, bei der Überreichung des Weiterbildungs-Innovations-Preises 2009 an Dr. Silke Mai, Dr. Daniela Harkensee und Prof. Dr. Andreas Groß vom Fraunhofer IFAM (von links).*

**2** *Dr.-Ing. Frank Petzoldt.*



**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

---

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

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile bündelt die Kompetenzen der materialwissenschaftlich orientierten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft und des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik als ständigem Gastmitglied.

### Vorsitzender des Verbundes

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse

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

Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig

[andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de](mailto:andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de)

Fraunhofer-Materialforschung 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. Dabei werden experimentelle Verfahren und Methoden der mathematischen Modellierung und Simulation komplementär zueinander gesetzt.

Mit Schwerpunkt setzt der Verbund sein Know-how in den volkswirtschaftlich bedeutenden Handlungsfeldern Energie, Gesundheit, Mobilität, Informations- und Kommunikationstechnologie sowie Bauen und Wohnen ein, um über maßgeschneiderte Werkstoff- und Bauteilentwicklungen Systeminnovationen zu realisieren.

# 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 mechanische Eigenschaften, die Effizienz oder die Leistungsfähigkeit von Systemen verbessert werden. Dazu zählen wirtschaftlicher Materialeinsatz, Funktionserweiterung und Komfortsteigerung und auch Sicherheitsaspekte wie die Optimierung fahrzeugtechnischer Crasheigenschaften oder die Schadenüberwachung.

[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 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, inkl. 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

Andrzej Grzesiak

### Ansprechpartner Fraunhofer IFAM

Dr.-Ing. Frank Petzoldt

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





3

---

### Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie

---

Nanotechnologie umfasst heute ein breites Spektrum von neuen Querschnittstechnologien mit Werkstoffen, Bauteilen und Systemen, deren Funktion und Anwendung auf den besonderen Eigenschaften nanoskaliger (<100 nm) Größenordnung 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; mit Nanotechnologie werden pflegeleichte und kratzgeschützte Oberflächen erreicht, und ultradünne Schichten sind wesentliche Bestandteile z. B. von Datenspeichern. Die Technologie wird bereits quer durch Branchen und Industriezweige 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 (Biomedizin) sowie neuartige Aktuatoren auf der Basis von Kohlenstoffnanoröhren. 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](mailto:andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de)  
Prof. Dr. Bernd Günther  
[bernd.guenther@ifam.fraunhofer.de](mailto: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.

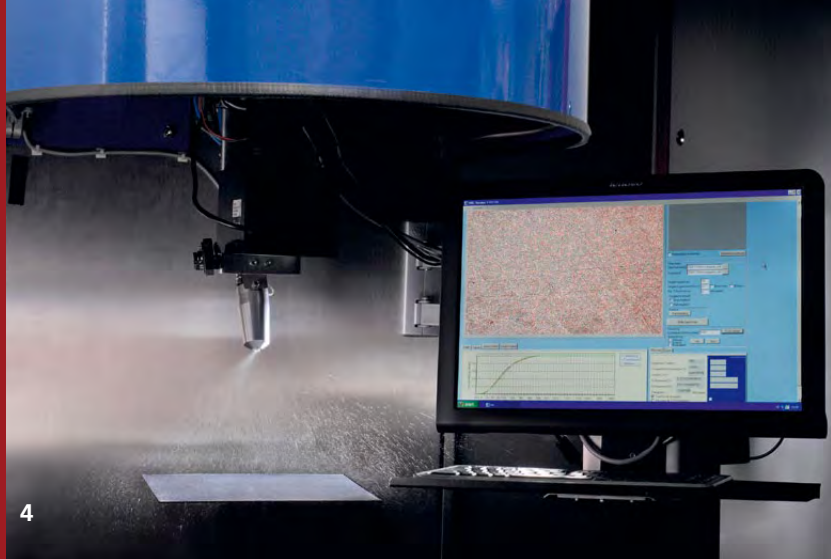
[www.photokatalyse.fraunhofer.de](http://www.photokatalyse.fraunhofer.de)

#### 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 und 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)

---

### 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 Verunreinigung und der Reinigungshilfsstoffe im Rahmen des Umweltschutzes.

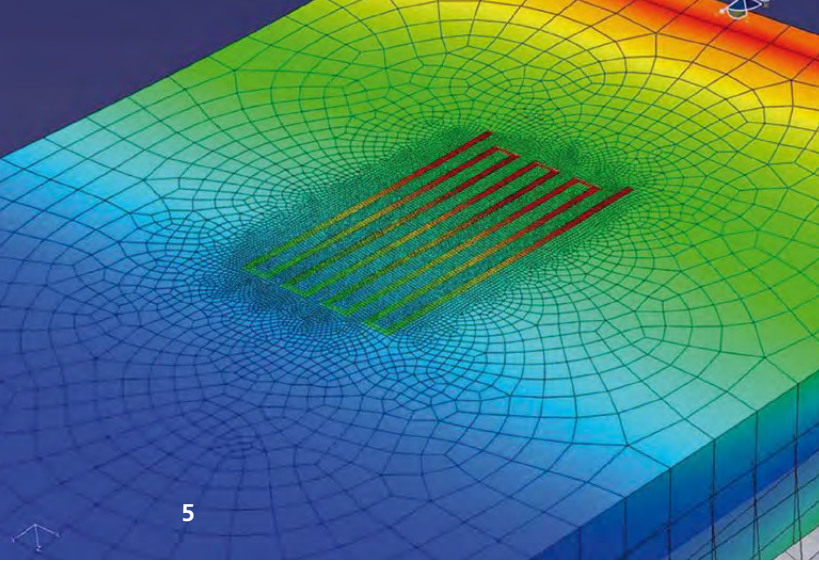
[www.allianz-reinigungstechnik.de](http://www.allianz-reinigungstechnik.de)

#### Sprecher der Allianz

Dipl.-Ing. (FH) Martin Bilz

#### 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, 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 im Verbund 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 Burblies

#### **Ansprechpartner Fraunhofer IFAM**

Andreas Burblies

[andreas.burblies@ifam.fraunhofer.de](mailto:andreas.burblies@ifam.fraunhofer.de)

---

### 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**

Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse

[matthias.busse@ifam.fraunhofer.de](mailto:matthias.busse@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 Karrierelaufbahn – 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 im Klebtechnischen Zentrum des Fraunhofer IFAM im Bremen.

## Faserverbund-Technologie – Personalqualifizierung im Kunststoff-Kompetenzzentrum

Der mit dem Weiterbildungs-Innovations-Preis ausgezeichnete Lehrgang zur/zum Faserverbundkunststoff-Praktiker/in ist für multifunktionale Produkte und Leichtbau – somit insbesondere für Transportmittel- und Windenergieanlagenbau – von zukunftsweisender Bedeutung.

[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)

- 1** *3-dimensionale Drahtstruktur.*
- 2** *Mittels Selektivem Lasersintern (SLS) hergestellte metallische Bauteile mit integriertem RFID-Chip und Pendant des integrierten RFID-Chips.*
- 3** *Verbesserung der Dispergierbarkeit von Farbnanopartikeln durch Atmosphärendruck-Plasmabehandlung (rechts behandelt).*
- 4** *Untersuchung der Benetzungseigenschaften von Oberflächen mithilfe der im Fraunhofer IFAM entwickelten Aerosol-Benetzungsprüfung.*
- 5** *Numerische Spannungssimulation eines Dehnungsmessstreifens.*



# NAMEN | DATEN | EREIGNISSE



KOOPERATION MIT AUSLÄNDISCHEN INSTITUTEN

Universitäten und Institute	148
Internationale Gäste	149
Europäisches Netzwerk	149
Klebtechnik – Weiterbildung	150

MITARBEIT IN GREMIEN

Südafrika	150
USA	150
Europa	150
National	151
Regional	155
Fachzeitschriften	155

TECHNOLOGIETRANSFER UND  
PERSONALQUALIFIZIERUNG

Personalqualifizierung im Klebtechnischen Zentrum 2009	156
Personalqualifizierung im Kunststoff- Kompetenzzentrum 2009	157

KONFERENZEN | TAGUNGEN | MESSEBETEILIGUNGEN

Konferenzen und Tagungen	158
Messebeteiligungen	160

WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN

Promotionen	162
Vorlesungen	162
Veröffentlichungen	163
Vorträge und Poster	169

IFAM-SEMINARVORTRÄGE

Bremen	182
Dresden	183

PATENTE

Anmeldungen	185
Erteilungen	185

EHRUNGEN UND PREISE

Ehrungen und Preise	187
---------------------	-----

Kooperation mit  
ausländischen Instituten

Universitäten und  
Institute

**AGH University of Science  
and Technology**

Department of Metallurgy  
and Materials  
Research Unit  
Krakau, Polen  
Dr. T. Pieczonka

**Chonnam National  
University**

Department of Mechanical  
Engineering  
College of Engineering  
Zellulare Metallische Werk-  
stoffe  
Gwangju, Korea  
Prof. Ki-Ju Kang

**Dalhousie University**

Department of Physics and  
Atmospheric Science  
Halifax, Kanada  
Prof. H. J. Kreuzer

**DTI Danish Technological  
Institute**

Rapid Manufacturing and  
Prototyping Group  
Århus, Dänemark

**European Synchrotron  
Radiation Facility**

Beam Line ROBL  
Grenoble, Frankreich

**Fundación Privada  
ASCAMM**

Barcelona, Spanien

**Korea Institute of  
Materials Science**

Zellulare Metallische Werk-  
stoffe  
Changwon, Korea  
Ph. D. Byoung-Kee Kim

**LMSCP Laboratoire des  
Matériaux Surfaces et  
Procédés pour la Catalyse**

Université de Strasbourg  
Straßburg, Frankreich  
Dr. V. Keller-Spitzer

**Nanyang Technological  
University**

Hochporöse Werkstoffe  
Singapur, Republik Singapur  
Prof. K. A. Khor

**National Academy of  
Sciences of Belarus**

State Research and  
Production  
Powder Metallurgy  
Association  
Minsk, Weißrussland  
Prof. A. Ilyuschenko

**Northwestern University**

Department of Materials  
Science & Engineering  
Zellulare Metallische  
Werkstoffe  
Evanston, Illinois, USA  
Prof. D. C. Dunand

**Osaka Prefectural College  
of Technology**

Zellulare metallische  
Werkstoffe  
Osaka, Japan  
Prof. K. Nishiyabu

**Polish Academy of  
Sciences (IPPT)**

Institute of Fundamental  
Technological Research  
Gradientenwerkstoffe  
Warschau, Polen  
Prof. M. Basista

**Pusan National University**

Polyurethanchemie  
Busan, Korea  
Prof. B. K. Kim

**Sharif University of  
Technology**

Teheran, Iran  
Prof. Dr. A. Simchi

**Sirris**

Rapid Manufacturing  
Department  
Seraing, Belgien

**Slovak Academy of  
Sciences**

Institute of Materials & Ma-  
chine Mechanics  
Verbundwerkstoffe  
Bratislava, Slowakei  
Dr. F. Simancik

**Technische Universität  
Wien**

Verbundwerkstoffe  
Wien, Österreich  
Prof. H. Danninger,  
Prof. C. Edtmaier

**TNO The Netherlands  
Organisation for Applied  
Scientific Research**

Rapid Manufacturing  
Department  
Eindhoven, Niederlande

**Universidad Carlos III de  
Madrid**

Madrid, Spanien  
Prof. J. M. Torralba

**Universidade Federal de  
Santa Catarina**

Florianópolis, Brasilien  
Prof. A. Klein,  
Prof. P. Wendhausen

**Università degli Studi di  
Padova**

Padua, Italien  
Prof. P. Mazzoldi



**Università degli Studi di Trieste**

Triest, Italien  
Prof. M. Fermeglia

**University of Michigan**

Michigan, USA  
Prof. L. Thompson

**University of Prague**

Institute of Chemical Process Fundamentals  
Prag, Tschechische Republik  
Dr. M. Lisal

**University of Szeged**

Department of Physical Chemistry and Materials Science  
Szeged, Ungarn  
Prof. Dr. I. Dékány

**Zhongshan University**

Center for Nanotechnology Research  
Guangzhou, Volksrepublik China  
Prof. H. Shen

**Internationale Gäste**

**AIDICO-Instituto Tecnológico de la Construcción**

Alicante, Spanien  
Dr. V. J. Forrat

**Guangzhou Institute of Chemistry, Chinese Academy of Science**

Guangzhou, Volksrepublik China  
Dan Yu

**Hanyang University Alexander-von-Humboldt-Stipendiat**

Ansan, Korea  
Dr. Yun Sung Kang

**Helwan University Faculty of Science**

Helwan, Ägypten  
M. Rehan

**Henkel Adhesive Academy**

Shanghai, China  
Dr. Jingfen Zhang

**North Carolina State University Department of Chemistry**

Raleigh, USA  
A. K. Croom

**Research Internships in Science and Engineering**

Prineha Narang – Philadelphia University  
Chelsea Marie Tajc – Northern Arizona University

**University of Ulsan DFG-KOSEF-Vereinbarung**

Ulsan, Korea  
Prof. Dr. Ji-Soon Kim

**Europäisches Netzwerk**

**Force Institute**

Brøndby, Dänemark

**GAIKER**

Zamudio, Spanien

**IDMEC**

**Instituto de Engenharia Mecânica University of Porto**  
Porto, Portugal

**IFREMER**

**Marine Materials Laboratory**  
Plouzané, Frankreich

**INASMET**

**Joining Technologies Department Centre Tecnológico de Materiales**  
San Sebastián, Spanien

**ISQ**

**R&D Training Division Instituto de Soldadura e Qualidade**  
Oeiras, Portugal

**IVF**

**Institutet för Verkstadsteknisk Forskning**  
Mölndal, Schweden



## KOOPERATION MIT AUSLÄNDISCHEN INSTITUTEN

### MITARBEIT IN GREMIEN

#### **KMM-VIN**

Brüssel, Belgien

#### **Multimaterial-Technology**

##### **ETH Zürich**

Swiss Federal Institute of  
Technology Institute for  
Design & Construction  
Methods  
Zürich, Schweiz

#### **Oxford Brookes University**

Oxford, Großbritannien

#### **SINTEF Materials Technology**

Oslo, Norwegen

#### **TNO Department of Structural Engineering**

TNO Building and  
Construction Research  
Delft, Niederlande

#### **University of Bristol**

##### **Department of Mechanical Engineering**

Bristol, Großbritannien

#### **University of Pavia**

Pavia, Italien

#### **VTT Manufacturing Technology**

Lappenranta, Finnland

#### **Klebtechnik – Weiterbildung**

##### **Chem Quest Group Inc.**

Cincinnati, Ohio, USA

##### **CRIF**

Seraing (Liège), Belgien

##### **EOLAS**

Dublin, Irland

##### **Force Institute**

Brøndby, Dänemark

##### **INASMET**

San Sebastián, Spanien

##### **ISQ (CNTP)**

Oeiras, Portugal

##### **IVF**

Möln dal, Schweden

##### **Sergem Engineering BV**

Leidschendam, Niederlande

##### **TechniFutur Assemblage**

Seraing (Liège), Belgien

##### **TWI**

Cambridge, Großbritannien

#### Mitarbeit in Gremien

##### **Südafrika**

##### **Council for Scientific and Industrial Research**

Materials Science and  
Manufacturing Unit  
Research Advisory Panel  
U. Lommatzsch (Mitglied)

##### **USA**

##### **APMI**

##### **American Powder Metal- lurgy International, USA (MPIF)**

##### **Metal Powder Industry Federation**

Princeton, USA  
B. Kieback, F. Petzoldt (Mit-  
glieder)

##### **International Liaison Com- mittee of the International Journal of Powder Metal- lurgy**

F. Petzoldt (Mitglied)

##### **IPCS**

##### **International Plasma Chemistry Society**

U. Lommatzsch (Mitglied)

##### **TMS**

##### **The Minerals, Metals & Materials Society**

J. Schmidt (Mitglied)

##### **Europa**

##### **Accelrys Inc.**

##### **Nanotechnologie Consortium**

M. Amkreutz, M. Hoffmann,  
W. Leite Cavalcanti,  
P. Schiffels  
(Mitglieder)

##### **AFERA**

##### **Association des Fabricants Européens de Rubans**

##### **Auto-Adhésifs**

U. Maurieschat (Mitglied)

##### **EGL**

##### **Europäische Gesellschaft für Lackier-Technik e. V.**

S. Buchbach (Mitglied)

##### **EPMA**

##### **European Powder Metallurgy Association**

B. Kieback, F. Petzoldt  
(Mitglieder)

**European Federation for Welding, Cutting and Joining**  
A. Groß (deutscher Vertreter)

**European MIM Group**  
F. Petzoldt (Chairman)

**IISS International Institute for Science of Sintering**  
B. Kieback (Mitglied)

**KMM-VIN AISBL**  
Virtual Institute on Knowledge-Based Multifunctional Materials  
Brüssel, Belgien

**Nano Mat Netzwerk Nanomaterialien**  
B. Günther (Sprecher)

**Radnet**  
B. Kieback, F. Petzoldt (Mitglieder)

## **National**

**AVK Industrievereinigung verstärkter Kunststoffe e. V.**  
  
Arbeitskreis  
**Umwelt und Arbeitssicherheit**  
S. Mai (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Personal**  
S. Mai (Mitglied)

**AWT Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik e. V.**

Arbeitskreis  
**Plasmaoberflächentechnologie**  
U. Lommatzsch (Mitglied)

**CFK-Valley Stade**

Arbeitskreis  
**Ausbildung**  
S. Mai (Mitglied)

**DECHEMA Deutsche Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.**

Fachsektion  
**Nanotechnologie und Reaktionstechnik**  
L. Röntzsch (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Molekulare Modellierung und Simulation für Prozess- und Produktdesign**  
M. Amkreutz, B. Schneider (Mitglieder)

Fachsektion  
**Klebtechnik**  
M. Brede, A. Groß, A. Hartwig (Mitglieder)

Fachsektion  
**Nanotechnologie**  
A. Hartwig, V. Zöllmer (Mitglieder)

**Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE**

Arbeitskreis  
**Biokompatible Aufbau- und Verbindungstechnik**  
T. Gesang (Mitglied)

**Deutsche Thermoelektrische Gesellschaft**  
J. Schmidt (Mitglied)

**DFG Deutsche Forschungsgesellschaft Fachkollegium FK 405 Werkstofftechnik**  
B. Kieback (Mitglied)

**DFO Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e. V.**  
  
Arbeitskreis  
**Kunststofflackierung**  
V. Stenzel (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Leichtmetall**  
R. Wilken, S. Dieckhoff (Mitglieder)

Fachausschuss  
**Beschichtung von Kunststoffen**  
V. Stenzel (Mitglied)

Fachausschuss  
**Oberflächenbehandlung von Stahl und Multisubstraten**  
V. Stenzel (Mitglied)

Fachausschuss  
**Beschichtungsstoffe**  
V. Stenzel (Mitglied)

**DGM Deutsche Gesellschaft für Materialkunde**

Arbeitskreis  
**Plasmaoberflächentechnologie**  
A. Baalman, U. Lommatzsch (Mitglieder)

Fachausschuss  
**Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe**  
T. Schubert, T. Weißgärber (Mitglieder)

Fachausschuss  
**Biomaterialien**  
 A. Burblied, I. Wirth,  
 P. Quadbeck (Mitglieder)

Fachausschuss  
**Computersimulation**  
 A. Burblied (Mitglied)

Fachausschuss  
**Magnesium-  
 Anwendungen**  
 F.-J. Wöstmann (Mitglied)

Arbeitsgruppe  
**Funktionswerkstoffe**  
 T. Weißgärber (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Zellulare Metalle**  
 O. Andersen, J. Baumeister  
 (Mitglieder)

Arbeitskreis  
**Werkstoffkundliche  
 Aspekte des Verschleißes  
 und der Zerspanung**  
 G. Walther (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Dauerimplantate**  
 P. Quadbeck (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Resorbierbare Implantate**  
 P. Quadbeck (Mitglied)

**DGO**  
**Deutsche Gesellschaft für  
 Galvanik und Oberflächen-  
 technik e. V.**

Arbeitskreis  
**Plasmaoberflächen-  
 behandlung von  
 Polymeren**  
 A. Baalman (Mitglied)

**DGZfP**  
**Deutsche Gesellschaft für  
 zerstörungsfreie Prüfung  
 e. V.**

Fachausschuss  
**Zustandsüberwachung**  
 G. Rausch (Mitglied)

**DIN**  
**Deutsches Institut für  
 Normung**

Arbeitsausschuss 5.6  
**Klebtechnik im Schienen-  
 fahrzeugbau**  
 D. Niermann (Mitglied)

Arbeitsausschuss ISO/TC 119  
**Pulvermetallurgie**  
 K. Kümmel (Mitglied)

**Normenausschuss Werk-  
 stofftechnologie  
 (NWT)**

Arbeitsausschuss NAB 14  
**Beschichtungsstoffe und  
 Beschichtungen  
 für Luft- und Raumfahrt**  
 S. Buchbach (Mitglied)

**DIN/DVS**  
**Gemeinschaftsausschuss**

Arbeitsausschuss 14/  
 Arbeitskreis AG V 7  
**Thermisches Spritzen  
 und thermisch gespritzte  
 Schichten**  
 F. Petzoldt (Mitglied)

**DPG**  
**Deutsche Physikalische  
 Gesellschaft**

Sektion  
**Kondensierte Materie**  
 L. Röntzsch (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Oberflächenphysik**  
 S. Dieckhoff, M. Amkreutz  
 (Mitglieder)

Arbeitskreis  
**Festkörperphysik**  
 P.-L. M. Noeske, F. Petzoldt,  
 B. Klöden (Mitglieder)

**DVS**  
**Deutscher Verband für  
 Schweißen und verwandte  
 Verfahren e. V.**

Arbeitskreis der DVS-AG A 7  
**Fügetechnik im Schienen-  
 fahrzeugbau**  
 M. Brede (Mitglied)

Fachausschuss 8  
**Kleben und Kunststoff-  
 schweißen**  
 M. Peschka (Mitglied)

Fachausschuss 9  
**Konstruktion und  
 Berechnung**  
 M. Brede (Mitglied)

Fachausschuss 10  
**Mikroverbindungstechnik**  
 T. Gesang (Mitglied)

Arbeitsgruppe V 8  
**Klebtechnik**  
 A. Groß (Obmann)

Arbeitsgruppe V 8.1  
**Dosier- und Mischtechnik**  
 M. Peschka (Mitglied)

Arbeitsgruppe  
**Schulung und Prüfung**  
 A. Groß (Mitglied)

Arbeitsausschuss A 3.5  
**Kleben im Schienenfahrzeugbau**

A. Groß (Obmann)

Arbeitsgruppe A 10  
**Fügen im Handwerk – Schweißen und verwandte Verfahren**

V. Borst (Mitglied)

Fachgruppe FG 2.9  
**Ausbildung Karosserie**

M. Peschka (Mitglied)

Hauptzertifizierungsausschuss (HZA)

**Fachausschuss Kleben**

A. Groß (Mitglied)

Prüfungs- und Zertifizierungsausschuss (PZA)

**Klebtechnik**

A. Groß (Vorsitzender)

M. Peschka (Mitglied)

**DWV Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e. V.**

L. Röntzsch (Vertreter)

**EFDS Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V.**

Arbeitskreis  
**Plasmaoberflächentechnologie**  
U. Lommatzsch (Mitglied)

**EWE – Forschungszentrum für Energietechnologie e. V.**

M. Busse (Mitglied)

**FEE Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e. V.**

Bundesweite Arbeitsgruppe  
**Biogene Gase – Brennstoffzellen**  
I. Morgenthal (Mitglied)

**FhG Fraunhofer-Gesellschaft**

Themenverbund  
**Adaptronik**  
T. Gesang (Mitglied)

**Bibliotheks- und Informationswesen**  
I. Morgenthal (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Biokompatible Aufbau- und Verbindungstechnik**  
T. Gesang (Mitglied)

**Fachinformationsmanagement der FhG (fim)**

I. Morgenthal (Mitglied)

**FTA Fraunhofer Technology Academy**  
A. Groß (stellvertretender Sprecher des Direktoriums)

Arbeitskreis  
**IT-Manager**  
A. Burblies, G. Peter (Mitglieder)

**Marketing-Netzwerk**  
C. Müller (Mitglied)

Cluster  
**Nanoanalytik**  
T. Weißgärber (Lenkungskreis)

Themenverbund  
**Nanotechnologie**  
B. Günther (Mitglied),  
A. Hartwig (Mitglied im Lenkungskreis)

Themenverbund  
**Numerische Simulation von Produkten und Prozessen (NUSIM)**  
A. Burblies (Verbandsprecher und Leiter der Geschäftsstelle)

Informations- und Demonstrationszentrum

**Numerische Simulationstechniken zur Verfahrens- und Bauteiloptimierung (SIMTOP)**

A. Burblies (Leiter der Geschäftsstelle)

Themenverbund  
**Polymere Oberflächen POLO**  
U. Lommatzsch (Mitglied)

**PR-Netzwerk**  
C. Müller (Mitglied)

**FIB Fiber International Bremen e. V.**  
M. Busse (Vorstandsmitglied),  
G. Rausch, O. Andersen (Fachbeiräte)

**FZK/PFT Projektträger für Produktion und Fertigungstechnologien**

Industriearbeitskreis  
**Strukturoptimierung**  
A. Burblies, N. Reichert (Mitglieder)



**GDCh**

**Gesellschaft Deutscher Chemiker**

Fachgruppe

**Anstrichstoffe und Pigmente**

A. Hartwig (Mitglied)

Fachgruppe

**Festkörperchemie und Materialforschung**

P.-L. M. Noeske (Mitglied)

Fachgruppe

**Makromolekulare Chemie**

A. Hartwig, P.-L. M. Noeske (Mitglieder)

**Ortsverband Bremen**

A. Hartwig (Vorsitzender)

**GDM**

**Gesamtverband Deutscher Metallgießereien e. V.**

**Initiative Zink**

F.-J. Wöstmann (Mitglied)

**GEFTA**

**Gesellschaft für Thermische Analyse**

J. Kolbe (Mitglied)

**Gemeinschaftsausschuss Pulvermetallurgie**

(Trägergesellschaften DGM, DKG, VDEH, VDI)

Arbeitsausschuss

B. Kieback (Mitglied)

Expertenkreis

**Sintern**

B. Kieback, G. Veltl (Mitglieder)

J. Schmidt (Vorsitzender)

Expertenkreis

**Aluminium**

T. Weißgärber (Vorsitzender)

T. Schubert (Mitglied)

Expertenkreis

**Metallpulverspritzguss**

F. Petzoldt (Vorsitzender)

T. Hartwig (Stellvertretender Vorsitzender und Schriftführer)

Expertenkreis

**Metallpulvererzeugung**

B. Günther (Mitglied)

Expertenkreis

**Sintern**

J. Schmidt (Vorsitzender)

B. Kieback, G. Veltl (Mitglieder)

Arbeitskreis

**Sinterstähle**

G. Veltl (Mitglied)

**GfKORR**

**Gesellschaft für Korrosionsschutz e. V.**

Arbeitskreis

**Korrosionsschutz bei erhöhten Temperaturen**

B. Klöden (Mitglied)

Arbeitskreis

**Korrosionsschutz durch Beschichtungen**

P. Plagemann

Arbeitskreis

**Prüf- und Untersuchungsverfahren / Corrosion Monitoring**

O. Yezerska

Arbeitskreis

**Korrosion von Polymerwerkstoffen**

P.-L. M. Noeske

Arbeitskreis

**Korrosionsschutz in der Elektronik und Mikrosystemtechnik**

T. Fladung

**GfT**

**Gesellschaft für Tribologie**

G. Walther (Mitglied)

**GTS**

**Gemeinschaft Thermisches Spritzen e. V.**

C. Aumund-Kopp (Mitglied)

**i-Kon e. V.**

**Ingenieur-Kompetenz-zentrum**

**Oberflächentechnik**

**Norddeutschland**

IFAM (Gründungsmitglied)

V. Stenzel (Mitglied des Vorstands)

**IVAM**

**Fachverband für Mikrotechnik**

P. Imgrund, T. Studnitzky (Mitglieder)

**IVK**

**Industrieverband Klebstoffe**

**Technischer Ausschuss (TA)**

A. Groß (Mitglied)

Arbeitskreis

**Strukturelles Kleben und Dichten (SKD)**

A. Groß (Mitglied)

Technische Kommission

**Strukturelles Kleben und Dichten (SKD)**

A. Groß (Mitglied)

Arbeitskreis

### **Industrieklebstoffe**

A. Groß (Mitglied)

### **Lost Foam Council e. V.**

F.-J. Wöstmann (Geschäftsführer)

M. Busse (2. Vorsitzender)

### **MULTIFAS**

Multifunktionale Fasersysteme

V. Zöllmer (Mitglied)

### **VDG**

### **Verein Deutscher Gießereifachleute**

Fachausschuss

### **Ingenieurausbildung**

M. Busse, F.-J. Wöstmann (Mitglieder)

Fachausschuss

### **Druckguss**

T. Müller, F.-J. Wöstmann (Mitglieder)

Fachausschuss

### **Leichtmetallguss**

F.-J. Wöstmann (Mitglied)

Arbeitskreis

### **Zinkdruckguss**

F.-J. Wöstmann (Mitglied)

## **Regional**

### **Brennstoffzellen Initiative Sachsen e. V.**

L. Röntzsch

### **EMB**

### **Embedded Microsystems Bremen**

V. Zöllmer (Mitglied)

### **Fakultätsrat Maschinenwesen der TU Dresden**

B. Kieback (Mitglied)

### **GfT**

### **Gesellschaft für Tribologie**

Arbeitskreis

### **Sachsen**

G. Walther (Mitglied)

### **ISIS**

### **Sensorial Materials Scientific Centre**

ZWE Universität Bremen

M. Busse (Sprecher des Vorstands)

### **Konzil der TU Dresden**

B. Kieback (Mitglied)

### **Materialforschungsverbund Dresden e. V.**

Arbeitsgruppe

### **Öffentlichkeitsarbeit**

C. Müller (Mitglied)

Arbeitskreis

### **Materialforschungsverbund Dresden**

B. Kieback (Mitglied)

### **MCB Microsystems Center Bremen**

M. Busse (Mitglied)

### **Personal Mobility Center (pmc)**

Modellregion NordWest Bremen/Oldenburg für Elektromobilität

M. Busse (Sprecher und Gesamtkoordination)

### **Rapid Prototyping Zentrum e. V.**

C. Aumund-Kopp (Schriftführer)

### **Silicon Saxony**

T. Weißgärber (Mitglied)

### **VDI**

### **Verein Deutscher Ingenieure**

### **Bremer Bezirksverein**

### **VDI Bremer Bezirksverein**

F. Petzoldt (Mitglied)

Arbeitskreis

### **Kunststofftechnik**

S. Buchbach, G. Pauly (Arbeitskreisleiter)

Arbeitskreis

### **Werkstofftechnik**

D. Lehnhus (Obmann)

### **VDI**

### **Verein Deutscher Ingenieure**

### **Dresdner Bezirksverein**

Arbeitskreis

### **Werkstofftechnik**

O. Andersen (Arbeitskreisleiter)

Wachstums Kern

### **inno.zellmet**

O. Andersen (Mitglied der Geschäftsleitung)

## **Fachzeitschriften**

### **International Journal of Powder Metallurgy**

F. Petzoldt

International Liaison Committee

### **PIM International**

F. Petzoldt

Consulting Editor

Personalqualifizierung im Klebtechnischen Zentrum 2009

**Lehrgang und Prüfung zur Klebpraktikerin/zum Klebpraktiker nach Richtlinie DVS®/EWF 3305 jeweils einwöchiger Kurs inklusive Prüfung**

Termin KP 1	26.–30.1.2009
Termin KP 2	2.–6.3.2009
Termin KP 3	11.–15.5.2009
Termin KP 4	7.–11.9.2009
Termin KP 5	12.–16.10.2009
Termin KP 6	16.–20.11.2009
Termin KP 7	23.–27.3.2009
Termin KP 8	30.11.–4.12.2009
Termin KP 9	26.–30.10.2009

**Externe Lehrgänge**

Alstom, Salzgitter	2.–6.2.2009
Alstom, Salzgitter	23.–27.2.2009
Delo, Windach	16.–20.3.2009
Handwerkskammer, Hamburg	20.–24.4.2009
Bombardier, Kassel	31.8.–4.9.2009
Bombardier, Kassel	19.–23.10.2009
Handwerkskammer, Hamburg	28.9.–2.10.2009
Deutsche Bahn, Eberswalde	2.–6.11.2009
Deutsche Bahn, Dortmund	16.–20.11.2009
Deutsche Bahn, Dortmund	23.–27.11.2009
Alstom, Salzgitter	30.11.–2.12.2009
Alstom, Salzgitter	7.–11.12.2009

**Ausbildung und Prüfung zur DVS®-Klebfachkraft nach Richtlinie DVS®/EWF 3301 in drei jeweils einwöchigen Kursen inklusive Prüfung**

**DVS®-Klebfachkraft Teil I:  
Grundlagen der Klebtechnik**

Termin KFK GL 1	19.–23.1.2009
Termin KFK GL 2	30.3.–3.4.2009
Termin KFK GL 3	31.8.–4.9.2009
Termin KFK GL 4	28.9.–2.10.2009

**DVS®-Klebfachkraft Teil II:  
Kleben von Metallen und anderen Werkstoffen**

Termin KFK MK 1	16.–20.2.2009
Termin KFK MK 2	4.–8.5.2009
Termin KFK MK 3	5.–9.10.2009
Termin KFK MK 4	26.–30.10.2009

**DVS®-Klebkraft Teil III:  
Kleben von Kunststoffen und anderen Werkstoffen**

Termin KFK KK 1	16.–20.3.2009
Termin KFK KK 2	15.–19.6.2009
Termin KFK KK 3	2.–6.11.2009
Termin KFK KK 4	7.–11.12.2009

**DVS®-Klebfachkraft:  
Prüfung**

Termin KFK P 1	20.3.2009
Termin KFK P 2	19.6.2009
Termin KFK P 3	6.11.2009
Termin KFK P 4	11.12.2009

**Kurse in englischer Sprache**

Termin KFK 1. Woche	3.–7.8.2009
Termin KFK 2. Woche	31.8.–4.9.2009
Termin KFK 3. Woche	28.9.–2.10.2009
Prüfung	2.10.2009

**Lehrgang und Prüfung zum European Adhesive Engineer nach Richtlinie DVS®/EWF 3309  
jeweils acht einwöchige Kurse**

Termin KFI 1. Woche	12.–16.1.2009
Termin KFI 2. Woche	9.–13.2.2009
Termin KFI 3. Woche	9.–13.3.2009
Termin KFI 4. Woche	20.–24.4.2009
Termin KFI 5. Woche	25.–29.9.2009
Termin KFI 6. Woche	21.–25.9.2009
Termin KFI 7. Woche	19.–23.10.2009
Termin KFI 8. Woche	23.–27.11.2009
Prüfung	27.11.2009

Termin KFI 1. Woche	4.–8.5.2009
Termin KFI 2. Woche	15.–19.6.2009
Termin KFI 3. Woche	14.–18.9.2009
Termin KFI 4. Woche	12.–16.10.2009
Termin KFI 5. Woche	9.–13.11.2009
Termin KFI 6. Woche	11.–15.1.2010
Termin KFI 7. Woche	8.–12.2.2010
Termin KFI 8. Woche	15.–19.3.2010
Prüfung	19.3.2010

**Personalqualifizierung im Kunststoff-Kompetenzzentrum 2009**

**Faserverbundkunststoff-Praktiker/-in (FVK-Praktiker/-in)**

**Angebot der Weiterbildungspartnerschaft Kunststoff im Kunststoff-Kompetenzzentrum: mehrwöchige nach AZWV zertifizierte Kurse inklusive Prüfung**

**Bremen-Nord**

**Blockkurs**

Termin FVK 1	9.3.–3.4.2009
Termin FVK 2	28.5.–25.6.2009
Termin FVK 3	3.8.–25.9.2009

**Modulkurs**

Termin FVK 1	26.–30.1.2009
Termin FVK 2	20.–24.4.2009
Termin FVK 3	5.–9.10.2009
Termin FVK 4	7.–11.12.2009

**Bremerhaven**

Termin FVK 1	12.1.–6.3.2009
Termin FVK 2	13.2.–9.4.2009
Termin FVK 3	23.3.–20.5.2009
Termin FVK 4	20.4.–18.6.2009
Termin FVK 5	25.5.–17.7.2009
Termin FVK 6	31.8.–23.10.2009
Termin FVK 7	28.9.–20.11.2009
Termin FVK 8	26.10.–18.12.2009

**Brake**

Termin FVK 1	17.8.–9.10.2009
Termin FVK 2	23.11.2009–29.1.2010



Konferenzen | Tagungen |  
Messebeteiligungen

Konferenzen und  
Tagungen

Arbeitskreissitzung  
**DGM-Arbeitskreissitzung  
Dauerimplantate**

Dresden  
14.1.2009

Tagung  
**3<sup>rd</sup> International Symposium  
Hydrogen & Energy**

Braunwald, Schweiz  
25.–30.1.2009

Workshop  
**Klebfachkraft Refresher**

Bremen  
3.–5.2.2009

9. Kolloquium  
**Gemeinsame Forschung in  
der Klebtechnik**

DECHEMA-Haus  
Frankfurt am Main  
10./11.2.2009

Workshop  
**AIF-Brennstoffzellenallianz**

Duisburg  
17.2.2009

Kolloquium  
**4. Landshuter Leichtbau-  
Colloquium**

Landshut  
26./27.2.2009

Workshop  
**Nanotechnology in  
Polymer Composites**

Clausthal-Zellerfeld  
2.–4.3.2009

Arbeitskreis IVAM  
**Energie und Effizienz**

Hattingen  
17.3.2009

Mitgliederversammlung  
**IVAM-Mitglieder-  
versammlung**

Hattingen  
17.3.2009

Tagung  
**One-on-One Cooperation  
Event von Bayern  
Innovativ**

MedTech–Pharma–Biotech  
Garching  
17.3.2009

Tagung  
**9. Internationaler  
Deutscher Druckgusstag**

Nürnberg  
18.3.2009

Workshop  
**Klebtechnische Fertigung**

Fraunhofer IFAM  
Bremen  
24./25.3.2009

Tagung  
**17. Symposium »Verbund-  
werkstoffe und Werkstoff-  
verbunde«**

Bayreuth  
1.–3.4.2009

Workshop  
**2. Fraunhofer-Allianz-  
Adaptronik-Workshop**

Hannover-Messe  
Hannover  
22.4.2009

Forum  
**Werkstoff-Forum**

Hannover-Messe  
Hannover  
22.4.2009

Tagung  
**2. Wissenschaftliches Sym-  
posium SFB/TR 39 PT-PIESA**

Fraunhofer IWU  
Chemnitz  
27./28.4.2009

Tagung  
**Aalener Gießerei-  
Kolloquium 2009**

Aalen  
7.5.2009

Seminar  
**DGM-Fortbildungsseminar  
Pulvermetallurgie**

Dresden  
13.–15.5.2009

Workshop der Deutschen For-  
schungsgesellschaft für Ober-  
flächenbehandlung e. V.

**Nachhaltige Oberflächen-  
technik – Selbstheilende  
Schichten**

Fraunhofer IFAM  
Bremen  
28.5.2009

Arbeitskreissitzung  
**Arbeitssitzung der Förder-  
gesellschaft Erneuerbare  
Energien e. V. – Arbeits-  
gruppe »Vergasung von  
Biomasse«**

Dresden  
8.6.2009

**Lange Nacht der Wissen-  
schaften**

Dresden  
19.6.2009

Workshop  
**8. Bremer Klebtage**

Klebtechnische Fortbildung  
im Rahmen der DVS®-EWF-  
Personalqualifizierung  
Fraunhofer IFAM  
Bremen  
23./24.6.2009

<p>VDI-Abend  <b>Gemeinschaftsveranstaltung des AK Werkstofftechnik des VDI Dresdner Bezirksvereins und des DGZfP-Arbeitskreises Dresden</b>                      »Entwicklung maßgeschneiderter pulvermetallurgischer Werkstoffe, Technologien und Charakterisierung«                      Dresden                      24.6.2009</p>	<p>Kongress  <b>Euromat 2009</b>                      Glasgow, Schottland                      7.–10.9.2009</p> <p>Tagung  <b>ProcessNet – Jahrestagung der DECHEMA</b>                      Mannheim                      8.–10.9.2009</p> <p>Symposium  <b>Leichtbau-Symposium 2009</b>                      Chemnitz                      9.9.2009</p> <p>Tagung  <b>Biomaterial-Kolloquium</b>                      Friedrichroda                      17.9.2009</p> <p>Tagung  <b>Tribologie-Fachtagung 2009</b>                      Göttingen                      21.–23.9.2009</p> <p>EFDS-Workshop  <b>Schichten aus Nanopartikeln – Abscheidung aus Dispersionen, Flammen und Plasmen</b>                      Dresden                      29.9.2009</p>	<p>Kolloquium  <b>12. Werkstofftechnisches Kolloquium</b>                      Chemnitz                      1.10.2009</p> <p>Tagung  <b>Magdeburger Maschinenbautage 2009</b>                      Magdeburg                      1.10.2009</p> <p><b>Industrietage Fa. Umwelt- und Lufttechnik</b>                      Löbau                      2.10.2009</p> <p><b>Talent-School Bremen</b>                      5.–7.10.2009</p> <p>Tagung  <b>BDG-Fachtagung</b>                      »Gussteilkennzeichnung – Methoden und Datenmanagement – Praxisberichte«                      Essen                      7.10.2009</p> <p>Tagung  <b>GEFTA-Jahrestagung 2009</b>                      Gießen                      7.–9.10.2009</p> <p>Konferenz  <b>European Powder Metallurgy Conference – Euro PM 2009</b>                      Kopenhagen, Dänemark                      12.–14.10.2009</p>	<p>Konferenz  <b>Mikrosystemtechnik-kongress 2009</b>                      Berlin                      12.–14.10.2009</p> <p>Konferenz  <b>DFG-NSF Research Conference – Sustainable Use of Nanomaterials for Novel Engineering Solutions</b>                      New York City, USA                      14.–17.10.2009</p> <p>Workshop  <b>Designers Day</b>                      Bremen                      20.10.2009</p> <p>Tagung  <b>Lost Foam 2009</b>                      Bremen                      20./21.10.2009</p> <p>Workshop  <b>IMPRESS Final Plenary Meeting</b>                      Budapest, Ungarn                      21.–23.10.2009</p> <p>Tagung  <b>Jahrestagung der Gesellschaft für Korrosionsschutz (GfKORR)</b>                      Frankfurt am Main                      3./4.11.2009</p>
<p>Konferenz  <b>International Conference on Thermoelectrics ICT 2009</b>                      Freiburg                      26.–30.7.2009</p> <p>Konferenz  <b>THERMEC 2009</b>                      Berlin                      26.8.2009</p> <p><b>Innovationstage Fa. Hennig und Richter</b>                      Hermsdorf                      26.8.2009</p> <p>Konferenz  <b>International Conference on Metal Foams – Metfoam 2009</b>                      Bratislava, Slowakei                      1.–4.9.2009</p>			

Workshop

**23. Workshop mikro-technische Produktion**

Dresden

4./5.11.2009

Konferenz

**Synergien mit Stahl**

Eisenhüttenstadt

5.11.2009

Tagung

**16. Energie-Symposium der FH Stralsund**

Stralsund

5.–7.11.2009

Workshop

**Bruker AXS Workshop: Anwendertreffen XRF und XRD**

Dresden

9.–13.11.2009

Innovationstag

**»Elektromobilität« Veranstaltung der swb AG Elektromobilität in der Modellregion NordWest**

Bremen

11.11.2009

**2. FrauenBerufsMarkt**

Bremen

12.11.2009

Arbeitskreissitzung

**9. Sitzung des Expertenkreises Sintern des Fachverbandes Pulvermetallurgie**

Dresden

12.11.2009

Tagung

**28. Hagener Symposium Pulvermetallurgie**

Hagen

26./27.11.2009

Tagung

**DGM-Forum Werkstoffe (EuroMold 2009)**

Frankfurt am Main

2./3.12.2009

Seminar

**Statusseminar des InnoNet-Projektes TiFoam »Metallschäume als bioanaloge Knochenersatzstoffe«**

Dresden

3.12.2009

Forum

**Kooperations-Forum »Moderne Beschichtungen«**

Köln

9.12.2009

**Messebeteiligungen**

**KarriereStart 2009**

Dresden

23.–25.1.2009

**Didacta – Die Bildungsmesse**

Hannover

10.–14.2.2009

**intec 2009**

12. Fachmesse für Fertigungstechnik, Werkzeugmaschinen- und Sondermaschinenbau

Materialforschungsverbund Dresden

Leipzig

24.–27.2.2009

**MEDTEC 2009**

Messe und Konferenz für den technischen Zulieferbedarf von Medizinproduktherstellern

Stuttgart

3.–5.3.2009

**Jobbörse Bremerhaven**

Bremerhaven

19.3.2009

**European Coatings Show**

Leitmesse für die internationale Lack- und Farbenindustrie

Nürnberg

31.3.–2.4.2009

**Hannover-Messe 2009**

Gemeinschaftsstand Innovationszentrum Ingenieurwerkstoffe

Hannover

20.–24.4.2009

**Hannover-Messe 2009**

Gemeinschaftsstand Wasserstoff im Rahmen der sächsischen Brennstoffzelleninitiative

Hannover

20.–24.4.2009

**Hannover-Messe 2009**

MICRO-Technologie IVAM-Gemeinschaftsstand

Hannover

20.–24.4.2009

**Hannover-Messe 2009**

Simulation in der Produkt- und Prozessentwicklung

Hannover

20.–24.4.2009

**Hannover-Messe 2009**

Fraunhofer-Allianz

Adaptronik

Hannover

20.–24.4.2009

**Hannover-Messe 2009**

Surface Technology Produkte und Anwendungen der Plasmaoberflächentechnik

Hannover

20.–24.4.2009

**Aerospace Testing, Design and Manufacturing**

Leitmesse für Konstruktion und Entwicklung in der Luft- und Raumfahrtindustrie  
München  
21.–23.4.2009

**InterPart**

Karlsruhe  
4.–6.5.2009

**SMT/HYBRID/PACKAGING 2009**

Europas größte Spezialmesse für Systemintegration in der Mikroelektronik  
Nürnberg  
5.–7.5.2009

**Achema**

Leitveranstaltung der chemischen Technik und Prozessindustrie  
Frankfurt am Main  
12.5.2009

**Sensor und Test 2009**

16. Internationale Fachmesse für Sensorik, Mess- und Prüftechnik mit begleitenden Kongressen  
Nürnberg  
26.–28.5.2009

**CFK-Valley Stade Convention 2009**

Neueste Entwicklungen bei Verfahren, Prozessen und Bauweisen von Faserverbundwerkstoffen in Forschung und Praxis  
Stade  
10./11.6.2009

**Paris Air Show 2009**

Internationale Luft- und Raumfahrt-Schau  
Paris Le Bourget, Frankreich  
15.–21.6.2009

**EuroLITE**

3. Internationale Messe für Leichtbaukonstruktionen (NEMO-Netzwerk)  
Salzburg, Österreich  
23.–25.6.2009

**Schweißen & Schneiden**

Weltmesse für Fügen, Trennen, Beschichten  
Essen  
14.–19.9.2009

**Bondexpo**

Fachmesse für Industrielle Klebtechnologie  
Stuttgart  
21.–24.9.2009

**EcoExperience 2009**

Wissenschaft und Praxis im Bereich nachhaltige Mobilität  
Oldenburg  
12.10.2009

**Euro PM 2009**

Kopenhagen, Dänemark  
12.–14.10.2009

**Materialica**

12. Internationale Fachmesse für Werkstoffanwendungen, Oberflächen und Product Engineering  
Materialforschungsverbund  
Dresden  
München  
13.–15.10.2009

**testXpo**

Ulm  
20.–22.10.2009

**parts2clean**

Internationale Leitmesse für Reinigung in Produktion und Instandhaltung  
Stuttgart  
20.–22.10.2009

**Composites Europe**

4. Europäische Fachmesse und Forum für Verbundwerkstoffe, Technologie und Anwendungen  
Stuttgart  
27.–29.10.2009

**Wissenswert**

Bremer Forum für Wissenschaftsjournalismus  
Bremen  
9.–11.11.2009

**Productronica 2009**

19. Weltleitmesse für innovative Elektronikfertigung  
München  
10.–13.11.2009

**Compamed**

Fachmesse High tech solutions for medical technology  
Düsseldorf  
18.–20.11.2009

**28. Hagener Symposium**

Pulvermetallurgie mit Fachausstellung  
Hagen  
26./27.11.2009

**EuroMold 2009**

Weltmesse für Werkzeug- und Formenbau, Design und Produktentwicklung  
Frankfurt am Main  
2.–5.12.2009

**EuroMold 2009**

Weltmesse für Werkzeug- und Formenbau, Design und Produktentwicklung  
Sonderschau Werkstoffe  
Frankfurt am Main  
2.–5.12.2009



Wissenschaftliche  
Veröffentlichungen

Promotionen

**J.-E. Damke**

Studien zur Synthese von Chlorinen mit invertiertem Stickstoff

Universität Bremen

Gutachter:

Prof. Dr. F.-P. Montforts

Prof. Dr. W.-D. Stohrer

Prüfer:

Priv.-Doz. Dr. A. Hartwig

Dr. M. Osmer

Dipl.-Chem. M. Erbacher

C. Beck (studentischer Beisitzer)

Tag des öffentlichen Kolloquiums: 27.7.2009

Vorlesungen

**A. Burblies**

Finite-Elemente-Methode  
Hochschule Bremerhaven  
SS 2009

**A. Burblies**

Werkstoffe und Simulation  
Hochschule Bremerhaven  
WS 2009/2010

**M. Busse**

Forschung und Entwicklung  
im Automobilbau

Universität Bremen

Fachbereich Produktionstechnik  
SS 2009

**M. Busse**

Leadership im Automobilbau

Universität Bremen

Fachbereich Produktionstechnik  
WS 2009/2010

**S. Dieckhoff**

Oberflächentechnik

Fachhochschule Bremerhaven  
SS 2009

**H. Fricke**

Simultaneous Engineering  
and Rapid Prototyping  
Studiengang Master of Com-  
puter Based Mechanical En-  
gineering

Hochschule Bremen

(CMBE) – Fachbereich 5

WS 2009/2010

**B. Günther, M. Busse**

Funktionswerkstoffe im  
Automobilbau – Funktionali-  
sierung von Oberflächen

Universität Bremen

Fachbereich Produktionstechnik  
SS 2009

**A. Hartwig**

Moderne Schwingungs-  
spektroskopie – mehr als  
der Nachweis von Carbonyl-  
gruppen

Universität Bremen

WS 2009/2010

**A. Hartwig**

Makromolekulare Chemie  
-Grundlagen

Universität Bremen

SS 2009

**A. Hartwig**

Werkstofftechnik – Polymere

Universität Bremen

WS 2009/2010

**B. Kieback**

Pulvermetallurgie und Sinter-  
werkstoffe II

Technische Universität

Dresden, Institut für

Werkstoffwissenschaft

SS 2009

**B. Kieback**

Festkörperchemie II

Technische Universität

Dresden, Institut für

Werkstoffwissenschaft

SS 2009

**B. Kieback**

Verbundwerkstoffe

Technische Universität

Dresden, Institut für

Werkstoffwissenschaft

SS 2009

**B. Kieback**

Festkörperchemie I

Technische Universität

Dresden, Institut für

Werkstoffwissenschaft

WS 2009/2010

**B. Kieback, R. Leuschner**

Technologien zur Werkstoff-  
herstellung und -verarbeitung I

Technische Universität

Dresden, Institut für

Werkstoffwissenschaft

WS 2009/2010

**B. Kieback, T. Weißgärber**

Pulvermetallurgie und

Sinterwerkstoffe I

Technische Universität

Dresden, Institut für

Werkstoffwissenschaft

WS 2009/2010

**U. Lommatzsch**

Oberflächentechnik  
Hochschule Bremerhaven  
SS 2009

**U. Meyer**

Grundlagen der Mathematik  
Hochschule Bremen  
WS 2009/2010

**U. Meyer**

Festigkeitslehre I  
Hochschule Bremen  
WS 2009/2010

**F. Petzoldt, M. Busse**

Endformnahe Fertigungstechnologien 2  
Universität Bremen  
Fachbereich Produktionstechnik  
SS 2009

**F. Petzoldt, M. Busse**

Endformnahe Fertigungstechnologien 1  
Universität Bremen  
Fachbereich Produktionstechnik  
WS 2009/2010

**F. Petzoldt**

Produktionsorientierte  
medizinische Prozessketten  
Hochschule Bremerhaven  
Studiengang Medizintechnik  
SS 2009

**P. Plagemann**

Kleben und Hybridfügen  
Universität Bremen  
SS 2009

**P. Plagemann**

Korrosion  
Hochschule Bremerhaven  
WS 2009/2010

**H.-E. Rikeit**

Konstruktionssystematik /  
Produktentwicklung  
Universität Bremen  
WS 2009/2010

**J. Weise**

Modul Werkstoffwissenschaften (WKME) für Internationalen Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen B.Eng.  
Hochschule Bremen  
WS 2009/2010

**R. Woltmann, M. Busse**

Bauteilentwicklung für automobile Gusskomponenten  
Universität Bremen  
Fachbereich Produktionstechnik  
SS 2009

**R. Woltmann, M. Busse**

Leichtmetallgießen im Automobilbau  
Universität Bremen  
Fachbereich Produktionstechnik  
WS 2009/2010

**Veröffentlichungen****O. Andersen, U. Jehring, J. Hohlfeld, R. Thümmler**

Hochdämpfende Sandwiches mit zellularem Stahlkern für die Anwendung im Maschinenbau  
Tagungsband Magdeburger Maschinenbautage 2009

**O. Andersen, J. Meinert**

Heat Transfer and Fluid Flow in Sintered Metallic Fiber Structures  
Proceedings THERMEC 2009, 1884–1889

**O. Andersen, T. Studnitzky**

Development and properties of sandwich with open-cell sintered short fiber core and comparison with other types of sandwich material  
Proceedings of MetFoam 2009

**C. Aumund-Kopp,****F. Petzoldt, T. Schäfer**

Extrusion and In-line Calibration of Hollow Profiles Based on MIM Feedstocks  
Proceedings Euro PM 2009, Kopenhagen, Dänemark, 12.–14.10.2009, 111–116

**M. Avalle, D. Lehnhus,****L. Peroni, H. Pleteit,****P. Schmiechen,****G. Belingardi, M. Busse**

AlSi7 metallic foams, aspects of material modelling for crash analysis  
International Journal of Crashworthiness, Vol. 14, No. 3, 6.2009, 269–285

**J. Baumeister**

Methods for Filling Hollow Structures with Aluminium Foam Materials  
Science Forum, Vols. 638–642 (2010), 61 doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.638-642.61

**T. Bindemann, R. Foest,****R. Ihrke, U. Lommatzsch,****A. Ohi, J. Schäfer,****K.-D. Weltmann**

Plasma-assisted removal of organic contaminants inside cavities  
Vacuum 83 (2009), 779–785

**E. Boschi, L. Mark, B. Claise****IETF RFC 5473**

Reducing Redundancy in IP Flow Information Export (IPFIX) and Packet Sampling (PSAMP) Reports  
<http://tools.ietf.org/html/rfc5473>  
3.2009

**K. Brune, S. Dieckhoff, G. Graßl, O. Hesebeck, J. Ihde, U. Lommatzsch, S. Markus, K. Tsyganenko, R. Wilken**

Advances in bonded repair of CFRP aerospace structures by safe pretreatment processes and improved surface inspection  
Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Carbon Composites Conference, 27.–29.10.2009

**S. Buchbach, V. Stenzel**

Schadensfall Lackierung  
JOT, 12/2009

**S. Buchbach, V. Stenzel**

Supports Rail Surface Technology  
Eurailmag, 18/2008, 124–127

**S. Buchbach, H. Fricke**

Ressourcen schonende Miniaturringleitung entwickelt  
Besser lackieren!, Nr. 9, 5.2009, 12

**A. Cramer, V. Galindo, G. Gerbeth, J. Pride, A. Bojarevics, Y. Gelfkat, O. Andersen, C. Kostmann, G. Stephani**

Tailored Magnetic Fields in the Melt Extraction of Metallic Filaments  
Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. 40B, 6.2009, 337–344

**A. Datye, K.-H. Wu, S. Kulkarni, H. T. Lin, J. Schmidt, D. Hunn, W. Li, L. Kumari**

Fabrication of silicon nitride – multi-walled nanotube composites by direct in-situ growth of nanotubes on silicon nitride particles  
Proceedings of the 33<sup>rd</sup> International Conference on Advanced Ceramics and Composites, Daytona Beach, Florida, USA, 2009

**C. Dölle**

Projekt: Licht als Werkzeug: Vakuum-UV-Excimerstrahlung zur Aktivierung von Polymeren  
Adhäsion, 5 (2009), 35

**C. Dölle, M. Pappmeyer,**

**M. Ott, K.-D. Vissing**  
Gradual Photochemical-Induced Conversion of Liquid Polydimethylsiloxane Layers to Carbon Containing Silica Coatings by VUV Irradiation at 172 nm  
Langmuir 2009, 25 (12), 7129–7134

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

Sensor Application on stainless steel by sintering of powder filled pastes  
Proceedings Euro PM 2009, Kopenhagen, Dänemark, 12.–14.10.2009, 353–358

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

Thermodynamic Simulation of 316-L and 17-4PH Stainless Steels Using Different Process Conditions for Two Components Metal Injection Moulding (2C-MIM)  
Proceedings Euro PM 2009, Kopenhagen, Dänemark, 12.–14.10.2009, 93–98

**D. G. Ebling, A. Jacquot, H. Böttner, L. Kirste, J. Schmidt, M. Aguirre**

Influence of Group IV-Te Alloying on Nanocomposite Structure and Thermoelectric Properties of Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> Compounds  
Journal of Electronic Materials, Volume 38, Issue 7 (2009), 1450–1455

**G. Eilers, H. Ulrichs, M. Münzenberg, A. Thomas, K. Thiel, M. Seibt**

Long-range order on the atomic scale induced at CoFeB/MgO interfaces  
Journal of Applied Physics, 105 (2009), 073701

**R. Felton, P. Imgrund, F. Petzoldt, V. Friederici, D. Busquets-Mataix, L. Reig, V. Amigó, J. Calero**

PM Companies eye a new future in taking medicine  
Metal Powder Report, 3.2009, 12–17

**V. Friederici, P. Imgrund, M. Bitar, A. Bruinink**

Tailoring of Implant Surfaces for Enhanced Cell Performance by  $\mu$ -MIM  
Proceedings of Euro PM 2009, Kopenhagen, Dänemark, 12.–14.10.2009, 411–416

**V. Friederici, P. Imgrund, M. Bitar, A. Bruinink**

Micro/sub-micro-surface structuring of implant material through metal injection moulding of hybrid micro/nano powder mixtures  
Congress-Proceeding: 22<sup>nd</sup> European Conference on Biomaterials 2009

**F. Garcia-Moreno, C. Jimenez, M. Mukherjee, P. Holm, J. Weise, J. Banhart**

Experiments on metallic foams under gravity and microgravity  
Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 344 (2009), 101–106

**M. García-Rubio, M. P. de Lara, P. Ocóna, S. Dieckhoff, M. Beneke, A. Laviad, I. García**

Effect of posttreatment on the corrosion behaviour of tartaric-sulphuric anodic films  
Electrochimica Acta, 54 (2009), 4789–4800

**T. Gesang, G. Friedsam, V. Klocke**

Stressarmes Kleben in der Elektro-Optik  
Mikroverbindungstechnik, DVS-Jahrbuch 2008/2009 ISBN 978-3-87155-275-5, 59–81

**G. Gottschalt, A. Stolle, B. Ondruschka, I. Morgenthal, O. Andersen**

Metallic Short Fibers for the Liquid-Phase Oxidation of Isopropanol  
XXXXII. Jahrestreffen Deutscher Katalytiker 2009, 11.–13.3.2009, Weimar, 135

**E. Groth, I. Grunwald, I. Wirth, J. Schumacher, M. Maiwald, V. Zöllmer, M. Busse**

Surface biofunctionalization and production of miniaturized sensor structures using bioprinting technologies  
Biofabrication, Vol. 1, No. 4 (2009) – *submitted*

**J. Haack, S. Hein, N. Salk, P. Imgrund**

Functionalised Micro Products made of Adapted Materials  
4M/ICOMM 2009  
Karlsruhe

**A. Hartwig, A. Lühring, J. Trautmann**

Spheroidal Nanoparticles in Epoxide-Based Adhesives  
Feature Article, 294 (2009), 363–379

**P. Imgrund**

Powder Injection Moulding for Medical Applications  
Proceedings of Euro PM 2009, Kopenhagen, Dänemark, 12.–14.10.2009

**A. Jacquot, N. Farag, M. Jaegle, M. Bobeth, J. Schmidt, D. Ebling, H. Böttner**

Thermoelectric properties as a function of the electronic band structure and the microstructure of textured materials  
Proceedings of the International Conference on Thermoelectric ICT 2009, Freiburg

**M. K. Jang, A. Hartwig, B. K. Kim**

Shape memory polyurethanes cross-linked by surface modified silica particles  
Journal of Materials Chemistry, 19 (2009), 1166–1172

**U. Jehring, J. Weise, F.-J. Wöstmann, G. Stephani**

Neue Aluminiumverbundgusswerkstoffe mit hoher Körperschalldämpfung  
Lightweightdesign, 6.2009, 34–37

**S. Kalinichenka, T. Schubert, T. Weißgärber, B. Kieback**

Kupfer-PCM-Verbundwerkstoffe für Anwendungen im Bereich des thermischen Managements  
DGM-Band zum 17. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, 1.–3.4.2009, Bayreuth

**S. Kalinichenka, L. Röntzsch, B. Kieback**

Structural and hydrogen storage properties of melt-spun Mg-Ni-Y alloys  
Elsevier International Journal of Hydrogen Energy, 34 (2009), 7749–7755

**E. Kieselstein, Th. Weinrich, F. Adam, D. Weck, R. Gottwald, Th. Studnitzky, G. Stephani**

Cellular metals based on 3D-wire structures  
Proceedings of MetFoam 2009

**J. Kolbe, M. Wirts-Rütters, M. Amkreutz, M. Hoffmann, C. Nagel, R. Knaack, B. Schneider**

Volumenschumpfung vorhersagen und rechtzeitig einplanen  
adhäsion Kleben&Dichten 09, 38–42 (2009)

**C. Kostmann, O. Andersen, A. Gimsa, L. Domann**

Sintered Metal Fiber Structures for Fast Heat Storage and Regeneration  
Proceedings of the International Symposium on Cellular Metals for Structural and Functional Applications (CELLMET 2008), ed. G. Stephani and B. Kieback, Fraunhofer IFAM, 2009, 24–29



**R. Leuschner**

Nanostrukturierte Werkstoffe – Prozesskette zur Erzeugung von Bauteilen mit feinkristallinem Gefüge  
Der Konstrukteur, 3/2009

**R. Leuschner**

Nano-structured parts – a new manufacturing technique that ensures microcrystalline structures of aluminium alloys  
The engineer, 8/2009

**R. Leuschner,  
T. Weißgärber**

Pulvermetallurgische Technologien zur Herstellung nanostrukturierter Werkstoffe, Werkstofftechnik on-line

**M.-Z. Li, Ki-Ju Kang,  
G. Stephani**

Introduction of a New Cellular Metal, WBK-MHS Hybrids and their Characterization  
Korean Journal of Advanced Materials, 33 (2009) 2, 206–210

**U. Lommatzsch**

Plasma-Jet-System zur Aktivierung und Vorbehandlung Metalloberfläche mo 63 (2009), 20–23

**U. Lommatzsch**

Plasma coating at atmospheric pressure – ageing resistance  
adhesion Adhesives & Sealants extra 53 (2009), 19–22

**U. Lommatzsch, J. Ihde**

Thin film deposition with a cold atmospheric pressure plasma jet for corrosion protection of aluminum and for tailoring adhesion properties  
Proceedings of 29<sup>th</sup> International Conference on Phenomena in Ionized Gases ICPIG 2009, 12.–17.7.2009

**U. Lommatzsch, J. Ihde**

Mechanisms of adhesion promotion of polyolefins- and aluminum-epoxy joints by atmospheric plasma jet treatment  
Proceedings of 19<sup>th</sup> International Symposium on Plasma Chemistry ISPC-19, 26.–31.7.2009

**U. Lommatzsch, J. Ihde**

Plasma Polymerization of HMDSO with an Atmospheric Pressure Plasma Jet for Corrosion Protection of Aluminum and Low-Adhesion Surfaces  
Plasma Process. Polym., 6. 2009, 642–648

**S. Lösch, B. Günther,  
G. Iles, U. Büngener**

Microgravity compatible equipment for inert gas condensation of metals during parabolic flights  
Review of Scientific Instruments

**S. Lösch, B. Günther,  
G. Iles, D. Voss, A. Schütte,  
B. Schmitz**

Nanoparticle Agglomeration Payloads for Microgravity Experimentation  
48<sup>th</sup> AIAA New Horizons Forum Orlando, USA

**M. Maiwald, C. Werner,  
V. Zöllmer, M. Busse**

»INKtelligent printed strain gauges« Proceedings of the Eurosensors XXIII conference, Volume 1, Issue 1, 9.2009, 907-910

**N. Martens, A. Groß**

Kleben – Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts  
Fassadentechnik, 5.2009, 15. Jahrgang, 30–32

**S. Marzi, O. Hesebeck,  
M. Brede, F. Kleiner**

A rate-dependent cohesive zone model for adhesively bonded joints loaded in mode I  
Journal of Adhesion Science and Technology 23, 2009, 881–898

**S. Marzi, O. Hesebeck,  
M. Brede, F. Kleiner**

An end-loaded shear joint (ELSJ) specimen to measure the critical energy release rate in mode II of tough, structural adhesive joints  
Journal of Adhesion Science and Technology 23, 2009, 1883–1891

**S. Marzi, O. Hesebeck,  
M. Brede, F. Kleiner**

A rate-dependent, elastoplastic cohesive zone mixed-mode model for crash analysis of adhesively bonded joints  
7<sup>th</sup> European LS-DYNA conference, 14./15.5.2009

**J. Ménesi, R. Kékesi,  
V. Zöllmer, T. Seemann,  
A. Richardt, I. Dékány**

Photooxidation of ethanol on Cu-layer silicate/TiO<sub>2</sub> composite thin films  
Reaction kinetics and catalysis letters 2009

**J. Ménesi, R. Kékesi,  
A. Oszko, V. Zöllmer,  
T. Seemann, A. Richardt,  
I. Dékány**

Photocatalysis on silver-layer silicate/titanium dioxide composite thin films at solid/vapour interface  
Catalysis Today 144 (2009), 160–165

**A. W. Momber,  
P. Plagemann, V. Stenzel,  
M. Schneider**

Beurteilung von Korrosionsschutzsystemen für Offshore-Windenergietürme – Teil 1: Problemstellung und Versuchsdurchführung  
Stahlbau, 4 (78), 4/2009

**A. W. Momber,  
P. Plagemann, V. Stenzel,  
M. Schneider**

Beurteilung von Korrosionsschutzsystemen für Offshore-Windenergietürme – Teil 2: Ergebnisse und Schlussfolgerungen  
Stahlbau, 6 (78), 6/2009

**A. W. Momber,  
P. Plagemann, V. Stenzel,  
M. Schneider**

Investigations into the corrosion protection of offshore wind energy towers: part 3: results of laboratory investigations  
Journal of Protective Coatings and Linings, submitted for publication (2009)

**M. Müller, T. Seemann,  
V. Zöllmer, M. Busse,  
D. Lehnhus**

Development and Production of Advanced Nanosuspensions for Application in Functional Printing  
DFG-NSF Research Conference – Sustainable Use of Nanomaterials for Novel Engineering Solutions, New York City, USA, 14.–17.10.2009

**M. Pashchanka, J. Engstler,  
J. J. Schneider, V. Siozios,  
C. Fasel, R. Hauser,  
I. Kinski, R. Riedel,  
S. Lauterbach, H.-J. Kleebe,  
S. Flege, W. Ensinger**

Polymer-Derived SiOC Nanotubes and Nanorods via a Template Approach  
European Journal of Inorganic Chemistry, 2009, (23), 3496–3506.

**F. Petzoldt**

Metallpulverspritzguss (MIM) – eine zuverlässige Fertigungstechnologie mit vielfältigen Möglichkeiten  
Pulvermetallurgie in Wissenschaft und Praxis, Bd. 25 (2009), 3–27

**P. Phatak, J. Frahmcke,  
M. Wanko, M. Hoffmann,  
P. Strodel, J. Smith, S. Suhai,  
A. Bondar, M. Elstner**

Long-Distance Proton Transfer with a Break in the Bacteriorhodopsin Active Site  
Journal of the American Chemical Society, 2009, 131, 7064–7078

**C. Pille**

Produktidentifikation, Intra-logistik und Plagiatschutz – RFID-Integration in Gussbauteile  
BDG-Fachtagung Gussteilkennzeichnung – Methoden und Datenmanagement – Praxisberichte, VDG Akademie (2009), S. V/1–V/4

**P. Plagemann, O. Yezerska,  
A. Brinkmann**

Elektrochemisches Rauschen (ECR) als Hochdurchsatzmethode zur Untersuchung von Korrosionsschutzbeschichtungen  
Farbe und Lack, 4/2009

**A. Preetz, W. Baumann,  
C. Fischer, H.-J. Drexler,  
T. Schmidt, R. Thede,  
D. Heller**

Asymmetric hydrogenation. Dimerization of solvate complexes.  
Organometallics, 28 (2009), 3673–3677

**L. Röntzsch,  
S. Kalinichenka, B. Kieback**

Microstructure and De-/Hydrogenation Behavior of Melt-Spun Mg-Ni-Y Alloys as Hydrogen Storage Materials, 1085–1090, in K. U. Kainer (Ed.), Magnesium – Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Magnesium Alloys and their Applications, Wiley, Weinheim 2010, ISBN 978-3-527-32732-4

**L. Röntzsch, T. Schmidt,  
S. Kalinichenka,  
C. Pohlmann, A. Schmidt,  
T. Weißgärber, B. Kieback**

Wasserstoffspeicherung in nanoskaligen Feststoffen, 41–56, in H. Kolaska (Ed.), Energie- und Ressourceneffizienz durch Pulvermetallurgie, Heimdall Verlag, Witten 2009, ISBN 978-939935-39-1

**V. Ruttkowski, V. Zöllmer, M. Busse, K. Boeck, H. Glade, S. Will**

Composite materials and their potential for heat exchangers in desalination plants  
Euromat 2009, Glasgow, Schottland, 8.9.2009

**N. Salk, J. Haack**

Herausforderungen an den Mikrospritzguss von biologischen Sensoren  
Kunststoffe, 2/2009, 99–101

**N. Salk, J. Haack**

Micro Needles as Biological Sensors  
Kunststoffe international, 2/2009 Volume 99, 67–69

**N. Salk, J. Weise**

Syntaktische Schäume im Metallpulverspritzguss hergestellt  
Konstruktion 11/2009

**M. Schäfers, V. Drewello, G. Reiss, A. Thomas, K. Thiel, G. Eilers, M. Münzenberg, H. Schuhmann, M. Seibt**

Electric breakdown in ultrathin MgO tunnel barrier junctions for spin-transfer torque switching  
Applied Physics Letters (2009)

**D. Schmidt, F.-J. Wöstmann, J. Weise**

Qualität im Kleinformat, Lost Foam-Gießverfahren für kleine Bauteile mit hoher Oberflächengüte  
Gießerei-Erfahrungsaustausch, 5 (2009), 16–21

**T. Schmidt, L. Röntzsch, S. Kalinichenka, J. Meinert, B. Kieback**

Entwicklung reversibler Wasserstoffspeichersysteme auf Basis nanostrukturierter Metallhydride  
Chemie Ingenieur Technik, 81 (2009), 1136

**L. Schnabel, K. T. Witte, A. Hoffmann, K. Huang, O. Andersen**

Water as Refrigerant – Evaporator Development for Cooling Applications  
Tagungsband Deutsche Kälte-Klimatagung 2009

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

Fabrication and Properties of Copper/Carbon Composites for Thermal Management Applications  
Advanced Materials Research, Vol. 59 (2009), 169–172

**T. Schubert, J. Schmidt, T. Weißgärber, B. Kieback**

Spark Plasma Sintering and Hot Extrusion of Aluminium Alloy Powder  
Proceedings of Euro PM 2009, Kopenhagen, Dänemark, 12.–14.10.2009, Vol. 2, 363–368

**J. Schwenzel, F. Petzoldt**

Process Stability and Quality Surveillance in the Metal Injection Moulding Process – Towards Zero Rejection Based on an Artificial Neuronal Network  
Proceedings of Euro PM 2009, Kopenhagen, Dänemark, 12.–14.10.2009, Vol. 2, 129–134

**C. Sosna, H. Sturm, R. Buchner, C. Werner, D. Godlinski, V. Zöllmer, M. Busse, W. Lang**

INKtelligent printing® of Scale Comprehensive Electrical Connections for Thermal Flow Sensors  
Sensor+Test 2009 Conference, 26.–28.5.2009, Nürnberg, 215–220

**G. Stephani, P. Quadbeck, O. Andersen**

New multifunctional lightweight materials based on cellular metals – manufacturing, properties and applications  
Journal of Physics: Conference Series 165 (2009) 012061

**T. Studnitzky, A. Strauß**

Metallischer Siebdruck als Fertigungsverfahren für die Mikrosystemtechnik  
Proceedings des Mikrosystemtechnikongresses 2009

**H. Sturm, C. Sosna, R. Buchner, C. Werner, D. Godlinski, V. Zöllmer, M. Busse, W. Lang**

New Electrical Connection Technology for Microsystems using INKtelligent Printing® and Functional Nanoscaled Inks  
Proceedings of the Transducers 09, 21.–25.6.2009, Denver, USA, 1702–1705

**A. Szurko, M. Rams,  
A. Sochanik, K. Sieron-  
Stoltny, A. M. Kozielec,  
F.-P. Montforts, R. Wrzalik,  
A. Ratuszna**

Spectroscopic and biological studies of a novel synthetic chlorin derivative with prospects for use in PDT  
Bioorganic and Medicinal Chemistry, 17, 2009, 8197–8205

**B. Trammell, E. Boschi,  
L. Mark, T. Zseby,  
A. Wagner**

IETF RFC 5655  
Specification of the IP Flow Information Export (IPFIX) File Format  
<http://tools.ietf.org/html/rfc5655>  
10.2009

**L. Treccani, M. Maiwald,  
V. Zöllmer, M. Busse,  
G. Grathwoh, K. Rezwan**

Antibacterial and Abrasion-Resistant Alumina Micropatterns  
Advanced Engineering Materials 2009, 21, No. XX, Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2009

**C. Vakifahmetoglu,  
I. Menapace, A. Hirsch,  
L. Biasetto, R. Hauser,  
R. Riedel, P. Colombo**

Highly porous macro- and micro-cellular ceramics from a polysilazane precursor  
Ceramics International, 2009 (35), 3281–3290

**G. Walther, B. Klöden,  
T. Büttner, A. Böhm,  
W. Dölling,**

Legierungen für Schäume auf Ni-Basis für Anwendungen in der Abgasmachbehandlung  
Werkstoffe in der Fertigung, Ausgabe 2, 4/2009, 35/36

**G. Walther, T. Schubert,**  
Optimierung tribologischer und mechanischer Eigenschaften von PM-Verbundwerkstoffen auf Aluminiumbasis

Proceedings der GfT-Tagung 2009, Band II, 2009 45/1–7

**J. Weise, T. Müller,  
H. Pleteit, B. Canflanca,  
J. Coletto, J. Lasa,  
I. Garitagoitia**

Influence of cooling channel modifications upon the thermal behaviour of HP die casting moulds,  
Casting Plant and Technology, 2 (2009), 34–41

**J. Weise, T. Müller,  
H. Pleteit, B. Canflanca,  
J. Coletto, J. Lasa,  
I. Garitagoitia**

Einfluss von Modifizierungen der Kühlkanäle auf das thermische Verhalten von Druckgießformen, Gießerei-Erfahrungsaustausch 1+2 (2009), 32–41

**R. Wilken, J. Ihde,  
J. Degenhardt**

Lokaler Korrosionsschutz von Aluminiumbauteilen durch Atmosphärendruck-Plasma-beschichtungen  
Vakuum in Forschung und Praxis No. 5, Vol. 21 (2009), 34–38

## Vorträge und Poster

**M. Amkreutz, J. Kolbe,  
M. Wirts-Rütters, R. Knaack,  
C. Nagel, M. Hoffmann,  
P. Schiffels**

Relating the Macroscopic Residual Stress of Adhesive Joints to the Molecular Network – A new Approach to predict the Volume Shrinkage of Adhesives  
Eingeladener Vortrag, Arbeitskreis-Seminar Eduard-Zintl-Institut für Anorganische und Physikalische Chemie, TU Darmstadt Darmstadt  
19.2.2009

**M. Amkreutz,  
M. Hoffmann, P. Schiffels,  
J. Kolbe, M. Wirts-Rütters,  
R. Knaack, C. Nagel,  
B. Schneider**

Relating the Macroscopic Residual Stress of Bonded Parts to the Molecular Network of the Adhesive – A new Approach to predict the Volume Shrinkage of Cross-linked Polymers  
Eingeladener Vortrag Accelrys European User Group Meeting 2009 Barcelona, Spanien  
15.10.2009



**O. Andersen**

Faserstrukturen und  
Anwendungen  
DGM-Fortbildungsseminar  
Pulvermetallurgie  
Dresden  
15.5.2009

**O. Andersen**

Zellulare Metalle: Entwick-  
lung, Anwendung, Prüfung  
VDI-Abend  
Dresden  
24.6.2009

**O. Andersen, U. Jehring,  
J. Hohlfeld, R. Thümmeler**

Development and Properties  
of Sandwiches with Open-  
Cell Sintered Short Fiber Core  
and Comparison with Other  
Types of Sandwich Materials  
MetFoam 2009  
Bratislava, Slowakei  
3.9.2009

**O. Andersen, U. Jehring,  
J. Hohlfeld, R. Thümmeler**

Zellulare Metalle aus hoch-  
festen Stählen – Stand der  
Entwicklung ganzmetallischer  
Sandwiches mit verbesserten  
Dämpfungseigenschaften  
Leichtbau-Symposium 2009  
Chemnitz  
9.9.2009

**O. Andersen, U. Jehring,  
J. Hohlfeld, R. Thümmeler**

Hochdämpfende Sandwiches  
mit zellularem Stahlkern für  
die Anwendung im Maschi-  
nenbau  
Magdeburger Maschinenbau-  
tage 2009  
Magdeburg  
1.10.2009

**O. Andersen, U. Jehring,  
J. Hohlfeld, R. Thümmeler**

Hochdämpfende Sandwiches  
mit zellularem Stahlkern für  
die Anwendung im Maschi-  
nenbau  
Fachkonferenz »Synergien  
mit Stahl«  
Eisenhüttenstadt  
5.11.2009

**O. Andersen, J. Meinert**

Heat Transfer and Fluid Flow  
in Sintered Metallic Fiber  
Structures  
THERMEC 2009 – Interna-  
tional Conference on Process-  
ing and Manufacturing of  
Advanced Materials  
Berlin  
25.–29.8.2009

**O. Andersen, T. Studnitzky**

Development and properties  
of sandwich with open-cell  
sintered short fiber core and  
comparison with other types  
of sandwich material  
MetFoam 2009  
Bratislava, Slowakei  
3.9.2009

**C. Aumund-Kopp,  
F. Petzoldt, T. Schäfer**

Extrusion and In-line Calibra-  
tion of Hollow Profiles Based  
on MIM-Feedstocks  
Euro PM 2009  
Kopenhagen, Dänemark  
12.–14.10.2009

**J. Baumeister**

Methods for Filling Hollow  
Structures with Aluminium  
Foam  
THERMEC 2009  
Berlin  
25.–29.8.2009

**J. Baumeister**

Leichtbau mit Metallschaum  
Multifunktionale Membran-  
kissenkonstruktion  
Holzkirchen  
29.9.2009

**K. Boeck, H. Glade, S. Will,  
V. Ruttkowski, V. Zöllmer,  
M. Busse**

Development of horizontal  
tube falling film evaporators  
with polymeric heat exchange  
surfaces  
EDS Conference  
Baden-Baden  
17.–20.5.2009

**V. Borst**

Keine Angst vorm Kleben!  
metall München 2009  
Neue Messe München  
13.3.2009

**V. Borst**

Kleben für Schweißfach-  
ingenieure  
SFI/ST-Lehrgang  
SLV Hannover  
18.3.2009

**V. Borst**

Moderne Klebtechnik fach-  
gerecht eingesetzt – Möglich-  
keiten und Grenzen  
Veranstaltungsreihe »Inno-  
vation. Handwerk. Nieder-  
sachsen.«  
Handwerkskammer Osnabrück  
29.4.2009

**V. Borst**

Moderne Klebtechnik im handwerklichen Alltag  
Veranstaltungsreihe »Innovation. Handwerk. Niedersachsen.«  
Handwerkskammer Lingen  
28.10.2009

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

Edge protection in water ballast tanks as per IMO PSPC  
SMM Tagung  
Istanbul, Türkei  
2.2009

**S. Buchbach, H. Fricke**

New Analytic Method for Characterizing the Shear Behavior of Polymeric Liquids – Challenges for Paint Loop Systems in Industrial Practice  
European Coatings Show  
Nürnberg  
4.2009

**S. Buchbach**

Trends und Tendenzen in der Lacktechnik  
Exel Händler  
Düsseldorf  
5.2009

**S. Buchbach**

Neue funktionale Oberflächen in der Lacktechnik  
DBU-Tagung  
Osnabrück  
6.2009

**S. Buchbach, P. Plagemann**

Untersuchung des Einflusses der Kantenbearbeitung auf das Korrosionsverhalten von beschichteten Kanten in Ballastwassertank  
ZVO Oberflächentage  
Bremen  
9.2009

**S. Buchbach**

Neue Vorbereitungs- und Bewertungsverfahren für den Korrosionsschutz von Kanten (Verbundprojekt BeKaS)  
2. NMN-Symposium 2009  
Papenburg  
10.2009

**S. Buchbach**

Schadensfall Lackierung  
Fachtagung Industrielles Nasslackieren  
Stuttgart  
11.2009

**A. Burblies**

Knochenumbauprozesse und Endoprothetik  
DGM-Workshop: Simulation in der Biomaterial- und Medizintechnologie  
Berlin  
10.6.2009

**A. Burblies, N. Reichert, L. Sabadin Bertol, S. Larm**

Cancellous Bone: Computational Bone Remodelling and Manufacturing  
SimBio-M Annual International Conference  
Juan les Pins, Frankreich  
1.7.2009

**M. Busse**

System Research on Electromobility at the Fraunhofer Gesellschaft – Scientific Projects to cope with the major Challenges  
German-French Workshop  
»New technologies of propulsion for sustainable urban mobility«  
Berlin  
7.12.2009

**M. Busse**

Electromobility drives the future – and emotions  
Parlamentarischer Abend bei der EU  
Brüssel  
11.11.2009

**M. Busse**

Elektromobilität bewegt  
Wissenswertes 2009  
Bremen  
10.11.2009

**M. Busse**

Elektromobilität erfahren – Technik und Perspektiven  
BUND-Fachtag  
Elektromobilität – energieeffizient und klimafreundlich mobil in Bremen  
Bremen  
10.11.2009

**M. Busse, C. Pille**

SFB 636 »Selbststeuerung logistischer Prozesse« – Teilprojekt C1 »RFID-Integration im Druckguss«  
BVL Tag der Logistik: Innovative Logistik – Forschung und Industrie arbeiten Hand in Hand  
Bremen  
16.4.2009

**B. Curran, I. Ndip, H. Wolf, H. Gieser, H. Milosiu, F. Oehler, V. Ruttkowski, C. Werner, M. Maiwald, V. Zöllmer, G. Domann, J. Bahr**

Modeling of Losses in Non-Ideal Coplanar Transmission Lines with Significant Proximity and Surface Roughness Effects  
European Microwave Conference (IEEE) 2009  
Rom, Italien  
28.9.–2.10.2009

**V. Danilov, C. Dölle, M. Ott, H.-E. Wagner, J. Meichsner**

Plasma treatment of polydimethylsiloxane thin films studied by infrared reflection absorption spectroscopy  
XXIX<sup>th</sup> International Conference on Phenomena in Ionized Gases  
Cancún, Mexiko  
12.–17.7.2009

**S. Dieckhoff**

Adhäsions- und Grenzflächenforschung  
1. Workshop »Oberflächen und Grenzflächen«  
Fraunhofer IFAM  
Bremen  
9.1.2009

**S. Dieckhoff**

Material Properties of Sol-Gel Coatings as Protective Layers for Aircraft Aluminium Alloys  
IntAIRCOAT  
München  
4./5.6.2009

**S. Dieckhoff**

Oberflächenanalytische Beurteilung von Werkstoffoberflächen  
Thermo Scientific XPS-Seminar  
Karlsruhe  
6./7.11.2009

**C. Drescher**

Sensor Application on stainless steel by sintering of powder filled pastes  
Euro PM 2009  
Kopenhagen, Dänemark  
12.–14.10.2009

**G. B. Dutra**

Thermodynamic Simulation of 316L and 17-4PH Stainless steels using different Process Conditions for Two Components Metal Injection Moulding (2C-MIM)  
Euro PM 2009  
Kopenhagen, Dänemark  
12.–14.10.2009

**H. Fricke, M. Israel**

Qualitätssicherung beim Hybridfügen  
EFB Industriearbeitskreis »Fügen«  
Dresden  
22.1.2009

**H. Fricke, M. Peschka**

Einfluss der Klebstoffverarbeitung auf das Betriebsverhalten von Dosieranlagen und die mechanischen Eigenschaften von Klebverbindungen  
Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik, 9. Kolloquium  
Frankfurt am Main  
10./11.2.2009

**H. Fricke**

Numerische Strömungssimulation zur Auslegung dosier technischer Komponenten  
OTTI-Seminar Vergießen in der Elektrotechnik und Elektronik  
Würzburg  
28./29.4.2009

**H. Fricke, M. Israel**

Qualitätssicherung beim Hybridfügen  
EFB Industriearbeitskreis »Fügen«  
Hannover  
18.6.2009

**E. Füglein, T. Hutsch**

Untersuchungen zum Einfluss der Tiegelgeometrie auf die Verbrennung verschiedener Ruße  
GEFTA-Jahrestagung 2009  
Gießen  
7.–9.10.2009

**T. Gesang**

Leitung Fachforum »Kleben in der Elektronik«  
OTTI-Kolleg  
Regensburg  
17.–19.2.2009

**T. Gesang**

Klebstoff-Auftragsverfahren  
Proceedings Fachforum »Elektrisch leitfähige Kunststoffe«  
OTTI-Kolleg  
Regensburg  
17.–19.2.2009

**T. Gesang**

Leitung Fachforum »Kleben in der Mikrofertigung«  
OTTI-Kolleg  
Regensburg  
22./23.9.2009

**T. Gesang**

Elektrisch leitfähige Klebverbindungen  
Proceedings Fachforum »Elektrisch leitfähige Kunststoffe«  
OTTI-Kolleg  
Regensburg  
24./25.9.2009

**T. Gesang**

Fertigungstechnik für den Mikro- und Nanometerbereich  
 Proceedings Fachforum »Elektrisch leitfähige Kunststoffe«  
 OTTI-Kolleg  
 Regensburg  
 22./23.9.2009

**T. Gesang**

Stressreduktion bei Klebungen in der Mikro- und Elektro-Optik  
 Proceedings Fachforum »Elektrisch leitfähige Kunststoffe«  
 OTTI-Kolleg  
 Regensburg  
 22./23.9.2009

**A. Glisovic, S. Hein,  
 H. Banthin, C. Secker**

Biomimetische Modifikation von Biopolymeren  
 Jahrestagung »Mikrosysteme für die Biotechnologie«  
 München  
 22.–24.6.2009

**D. Godlinski, G. Veltl**

MR-kompatible metallische Instrumente  
 Compamed Frühjahrsforum 2009  
 Frankfurt am Main  
 19.5.2009

**A. Groß**

Kleben in der Industrie  
 Euroforum-Seminar  
 Stuttgart  
 4.2.2009

**A. Groß**

Modern Adhesive Bonding Technology  
 Industrie-Workshop  
 Port Elizabeth, Südafrika  
 19.2.2009

**A. Groß**

Introduction into modern Adhesive Bonding Technology  
 First South Africa-Germany Bonding Workshop  
 Midrand, Südafrika  
 12./13.3.2009

**A. Groß**

Adhesive Bonding in the Automotive Industry  
 First South Africa-Germany Bonding Workshop  
 Midrand, Südafrika  
 12./13.3.2009

**A. Groß**

Workforce Qualification in Adhesive Bonding Technology  
 First South Africa-Germany Bonding Workshop  
 Midrand, Südafrika  
 12./13.3.2009

**A. Groß**

Fußball – Stadien – Innovationen  
 Festvortrag zur Eröffnung der Messe »Schweißen und Schneiden 2009«  
 Essen  
 13.9.2009

**A. Groß**

Einführung in die industrielle Klebtechnik  
 Euroforum-Seminar  
 Stuttgart  
 15.10.2009

**A. Groß**

Faszination Fußball: Stadien – Bälle – Innovationen / Werkstoffe und Verbindungstechniken verändern die Welt  
 Festvortrag zur Eröffnung des Technologiezentrums Firma Kleiberit  
 Weingarten  
 20.11.2009

**A. Groß**

Modern Bonding in the Automotive Industry – a Key Technology  
 9<sup>th</sup> Annual Plasmatreat Sales Meeting  
 Halle (Westfalen)  
 17.12.2009

**A. Groß**

Stadien – Bälle – Innovationen  
 Firmenveranstaltung Firma Weicon  
 Münster  
 18.12.2009

**B. Günther**

Herstellung von nanoskaligen Metallsuspensionen  
 Fraunhofer IFAM-Workshop »Functional Printing«  
 Bremen  
 4.3.2009

**B. Günther**

Nano-Pulvermetallurgie  
 DGM-Fortbildungsseminar  
 Dresden  
 14.5.2009

**B. Günther, S. Lösch,  
 E. Bassano, L. Carotenuto,  
 J. Reimann, S. Will**

Agglomeration and Sintering of Nickel nanoparticles prepared from the gas phase  
 ELGRA Biennial Symposium  
 Bonn  
 4.9.2009

**B. Günther, S. Lösch**

Nanoparticulate Metal aerosol studies  
 ESA Parabolic Flight Symposium,  
 Noordwijk, Niederlande  
 19.11.2009



**B. Günther**

Nanoskalige Metallpartikel in Wissenschaft und Technik  
Seminar Festkörperspektroskopie  
TU Dortmund, Institut für Physik  
Dortmund  
8.12.2009

**M. Haesche, J. Baumeister, J. Weise, F. Garcia-Moreno, J. Banhart**

Processing of foamable precursor materials using thixocasting – principles, properties and potential  
MetFoam 2009  
Bratislava, Slowakei  
2.–4.9.2009

**T. Hartwig, L. Kramer, A. Krebs**

Looking into MIM batch furnaces  
Euro PM 2009  
Kopenhagen, Dänemark  
12.–14.10.2009

**R. Hauser, P. Quadbeck**

Wärmebehandlung von zellularem PM-Titan  
TiFoam Statusseminar  
Dresden  
3.12.2009

**S. Hein**

Production and processing of transparent nanocomposites  
Euromat 2009  
Glasgow, Schottland  
7.9.2009

**M. Heuser**

Steigerung mechanischer Eigenschaften im Lost-Foam-Gießverfahren am Beispiel der Zylinderkopfflegierung AlSi6Cu4  
Lost Foam 2009  
Bremen  
21.10.2009

**M. gr. Holthaus,**

**V. Ruttkowski, V. Zöllmer,**

**M. Busse, K. Rezwan**

Keramische Mikrostrukturen für Wachstumsstudien von Knochenzellen  
Thüringer Grenzflächen-Tage 2009

**T. Hutsch, T. Weißgärber,**

**B. Kieback**

Pulvermetallurgische Herstellung von CNT/ Metall-Verbundwerkstoffen am Beispiel Kupfer  
IFW Dresden, Seminar Abteilung CVD Abscheidung,  
Dresden  
26.2.2009

**T. Hutsch, R. Hauser,**

**S. Prasse, E. Füglein**

Zyklische und statische Oxidationsuntersuchungen verschiedener Polysilazan-basierter Beschichtungen auf Stahl ST12  
GEFTA-Jahrestagung 2009  
Gießen  
7.–9.10.2009

**J. Ihde, U. Lommatzsch,**

**R. Wilken**

Korrosionsschutz durch polymere Beschichtungen mit Niederdruck- und Atmosphärendruck-Plasmen  
OTTI-Kolleg Korrosion  
Regensburg  
28.4.2009

**J. Ihde**

Vorbehandlungen für Metallverklebungen  
Arbeitskreis Fügen  
Fachhochschule Bremen  
15.5.2009

**J. Ihde**

Reinigung und Aktivierung mit Niederdruck- und Atmosphärendruck-Plasmen  
Grundlagenseminar Reinigungstechnik – Reinigung in der Produktion  
Fraunhofer Institutszentrum  
Dresden  
18.6.2009

**J. Ihde, A. Knospe,**

**U. Lommatzsch, R. Wilken**

Plasmapolymerisation bei Atmosphärendruck – Von den Grundlagen zu aktuellen Forschungsprojekten  
PlasmaPlus-Tag  
Firma Plasmatreteat,  
Birkenfeld  
16.9.2009

**P. Imgrund, V. Friederici,**

**F. Petzoldt, A. Bruinink,**

**M. Bitar**

Micro MIM processing of materials for medical applications  
PIM 2009 International Conference on Powder Injection Molding  
Orlando, Florida, USA  
2.–5.3.2009

**P. Imgrund**

Modernes Metallpulverspritzgießen  
DGM-Seminar »Pulvermetallurgie«  
Dresden  
13.–15.5.2009

**P. Imgrund**

Novel application fields for micro injection moulding technology  
MM Live Conference  
Coventry, Großbritannien  
21.10.2009

**P. Imgrund**

Micro Powder Injection  
Moulding – Materials,  
processing and applications  
Séminaire »Infomat«  
Neuchatel, Schweiz  
13.11.2009

**S. Kalinichenka,  
T. Schubert, T. Weißgärber,  
B. Kieback**

Kupfer-PCM-Verbundwerk-  
stoffe für Anwendungen im  
Bereich des thermischen Ma-  
nagements  
17. Symposium »Verbund-  
werkstoffe und Werkstoffver-  
bunde«  
Bayreuth  
1.–3.4.2009

**B. Kieback, T. Hutsch,  
D. Handtrack, A. Kirchner,  
S. Kalinichenka,  
R. Leuschner, L. Röntzsch,  
C. Sauer, J. Schmidt,  
T. Schmidt, T. Schubert,  
T. Weißgärber**

Nanostructured Materials –  
from Funding Hype to Practi-  
cal Needs  
17. Plansee-Seminar  
Reutte, Österreich  
27.5.2009

**B. Kieback, R. Grupp,  
M. Nöthe, J. Banhart**

Investigation Of Sintering  
Processes By Tomography  
THERMEC 2009  
Berlin  
26.8.2009

**E. Kieselstein, T. Weinrich,  
F. Adam, D. Weck,  
R. Gottwald, T. Studnitzky,  
G. Stephani**

Cellular metals based on  
3D-wire structures  
MetFoam 2009  
Bratislava, Slowakei  
3.9.2009

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

Functionalization of multi-  
walled carbon nanotubes us-  
ing an atmospheric pressure  
plasma jet  
19<sup>th</sup> International Symposium  
on Plasma Chemistry  
Bochum  
ISPC Conf.- Proceeding  
(Editors: A. von Keudell,  
J. Winter, M. Böke, V. Schulz,  
V. Schulz-von der Gathen),  
Vol. 19 (2009)  
26.–31.7.2009

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

Carbon nanotube functionali-  
zation by atmospheric pres-  
sure plasma  
4<sup>th</sup> International Conference  
on Carbon Based Nanocom-  
posites  
Hamburg  
TuTech Conf. – Proceeding  
(Editor: K. Schulte), ISBN:  
978-3-941492-08-0  
Vol. 4 (2009), 184–186  
20.–23.9.2009

**T. Kowalik**

UV Light – Challenges in  
Structural Bonding  
Radtech 2009  
Nizza  
14./15.10.2009

**Lehmhus, J. Weise,  
J. Baumeister, K. Stöbener,  
L. Stutz**

Processing and Mechanical  
Properties of Hybrid Alumini-  
um Foams,  
MetFoam 2009  
Bratislava, Slowakei  
2.–4.9.2009

**W. Leis, M. Heuser**

Alterungsvorgänge bei Zink-  
druckgusslegierungen  
Aalener Gießerei-Kolloquium  
2009  
Aalen  
7.5.2009

**R. Leuschner, B. Kieback**

Pulvermetallurgische Hoch-  
leistungswerkstoffe für den  
Leichtbau  
MFD-Innovationsforum 2009  
Materialica 2009  
München  
14.10.2009

**U. Lommatzsch**

Plasmagestützte Abscheidung  
von Haftvermittlerschichten  
bei Atmosphärendruck  
9. Kolloquium: Gemeinsame  
Forschung in der Klebtechnik  
Frankfurt am Main  
10./11.2.2009

**U. Lommatzsch**

Atmospheric pressure plasma  
jet treatment for eco- &  
energy-efficient industrial  
production in the transporta-  
tion sector  
Euronanoforum 2009 – Nano-  
technology for Sustainable  
Economy  
Prag, Tschechische Republik  
2.–5.6.2009

**U. Lommatzsch**

Industrial applications for atmospheric pressure plasma jets – adhesion improvement, functional coatings, particle treatment  
European Materials Research Society Spring Meeting  
E-MRS 2009  
Straßburg, Frankreich  
8.–12.6.2009

**U. Lommatzsch**

Thin film deposition with a cold atmospheric pressure plasma jet for corrosion protection of aluminum and for tailoring adhesion properties  
29<sup>th</sup> International Conference on Phenomena in Ionized Gases ICPIG 2009  
Cancun, Mexiko  
12.–17.7.2009

**U. Lommatzsch**

Mechanisms of adhesion promotion of polyolefins- and aluminum-epoxy joints by atmospheric plasma jet treatment  
19<sup>th</sup> International Symposium on Plasma Chemistry ISPC-19  
Bochum  
26.–31.7.2009

**U. Lommatzsch**

Advances in bonded repair of CFRP aerospace structures by safe pretreatment processes and improved surface inspection  
2<sup>nd</sup> International Carbon Composites Conference  
Arcachon, Frankreich  
27.–29.10.2009

**M. Maiwald, C. Werner, V. Zöllmer, M. Busse**

»INKtelligent printed strain gauges« Postervortrag EURO-SENSORS 2009,  
Lausanne, Schweiz  
6.–9.9.2009

**M. Maiwald**

»Bauteilfunktionalisierung mittels gedruckter Sensorik«  
Postervortrag Forum Junger Forscher Bremen  
10.9.2009

**S. Markus, S. Dieckhoff, R. Wilken**

Investigation of Pre-treatment Processes and Surface Monitoring Techniques for Structural Assembly by Adhesive Bonding  
EUCOMAS 2009  
Augsburg  
1./2.7.2009

**J. Meinert**

Zellulare Metalle und Verbundwerkstoffe zur Dynamisierung thermischer Energiespeicher  
IRES2009 – 4<sup>th</sup> Int. Renewable Energy Storage Conference  
Berlin  
24./25.11.2009

**I. Morgenthal**

Hochporöse metallische Faserstrukturen als Katalysator- und Filterwerkstoffe  
Beratung »Katalytische Prozesse und Werkstoff-Fragen im Zusammenhang mit der Gestaltung von Biomassevergasungs-BHKW«, FEE-AG  
»Vergasung von Biomasse«  
Dresden  
8.6.2009

**I. Morgenthal, F. Witte**

Resorbierbare Implantatwerkstoffe auf Basis von Mg-Faserstrukturen  
Innovationsforum Medizintechnik 2009  
Berlin  
29.10.2009

**M. Müller, T. Seemann, M. Maiwald, C. Werner, V. Zöllmer, D. Lehmus, M. Busse**

Development and production of advanced nanosuspensions for applications in Functional Printing  
DFG-NSF Research Conference – Sustainable Use of Nanomaterials for Novel Engineering Solutions  
New York City, USA  
14.–17.10.2009

**I. Neumann**

Falzklebeprozess im automobilen Rohbau  
EFB-Arbeitskreis Übergreifende Optimierung  
Stuttgart  
23.6.2009

**V. Pacheco**

Nanosized type-I Clathrates  
International Conference on Thermoelectrics ICT 2009  
Freiburg  
26.–30.7.2009

**V. Pacheco**

Effects of the nanostructuring of Clathrates M8Ga16Ge30 (M = Ba or Sr) on the thermo-electric properties: Synthesis, Characterization and Modeling.

Kick-of meeting DFG PP1386  
Fulda  
24.11.2009

**F. Palm, R. Leuschner,  
T. Schubert**

Scalmalloy® = A unique high strength AlMgSc type material solution prepares the path towards future eco-efficient aerospace applications

AeroMat 2009  
Dayton, USA  
9.–11.6.2009

**M. Peschka, H. Fricke**

Entwicklung und Standardisierung einer Methode zur Charakterisierung der Verarbeitbarkeit von Klebstoffdispersionen

Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik, 9. Kolloquium  
Frankfurt am Main  
10./11.2.2009

**F. Petzoldt**

Einführung in das Pulverspritzgießen  
Seminar MIM und CIM für Einsteiger

Suhr, Schweiz  
28.4.2009

**F. Petzoldt**

Metal Injection Molding (MIM) of Titanium and Titanium Alloys

European Titanium Conference 2009  
Birmingham, England  
23./24.6.2009

**F. Petzoldt, C. Aumund-Kopp**

Advanced Production Concepts for Metallic Medical Implants

Fraunhofer Life Science Symposium / World Conference on Regenerative Medicine  
Leipzig  
29.–31.10.2009

**F. Petzoldt**

Metallpulverspritzguss (MIM) – eine zuverlässige Fertigungstechnologie mit vielfältigen Möglichkeiten

28. Hager Symposium  
Hagen  
26./27.11.2009

**C. Pille, M. Busse,**

**F.-J.- Wöstmann**

CAST<sup>TRONICS</sup>® – Großserientaugliche Kapselung adaptiver Systeme mittels des Druckgussverfahrens

2. Fraunhofer-Allianz-Adaptiv-Workshop  
Hannover-Messe  
Hannover  
22.4.2009

**C. Pille, M. Busse,**

**F.-J. Wöstmann**

CAST<sup>TRONICS</sup>® – Direkte Integration von sensorischen und aktorischen Funktionen in Druckgussteilen

2. Wissenschaftliches Symposium SFB/TR 39 PT-PIESA  
Fraunhofer IWU  
Chemnitz  
27./28.4.2009

**C. Pille**

Produktidentifikation, Intra-logistik und Plagiatschutz – RFID-Integration in Gussbauteile

BDG-Fachtagung »Gussteilkennzeichnung – Methoden und Datenmanagement – Praxisberichte«  
Essen  
7.10.2009

**C. Pille**

CAST<sup>TRONICS</sup>® – Funktionsintegrierte Gussbauteile

DGM-Forum Werkstoffe (EuroMold 2009)  
Frankfurt am Main  
2./3.12.2009

**P. Plagemann**

Modified Zn Pigments for Corrosion Protection Coatings of Aluminium Substrates  
BASF Corrosion Forum  
Mannheim  
28.4.2009

**P. Plagemann, J. Weise,  
A. Zockoll**

Modified Zn pigments for corrosion protective coatings for aluminium alloys  
Aluminium Science and Technology 5<sup>th</sup> Symposium,  
Leiden, Niederlande  
10.–14.5.2009

**P. Plagemann**

Untersuchungen von Beschichtungen mittels Elektrochemischem Rauschen (ECR)  
3. Korrosionsschutzsymposium  
Technische Akademie Wuppertal (TAW)  
Titisee-Neustadt  
7.–9.6.2009



**P. Quadbeck**

Network-like PM steel components for high temperature applications  
MetFoam 2009  
Bratislava, Slowakei  
1.–4.9.2009

**P. Quadbeck**

Network-like metal structures for permanent and degradable scaffolds  
Euromat 2009  
Glasgow, Schottland  
7.–10.9.2009

**G. Rausch**

Elektromobilität im Nord-Westen – Eine Region positioniert sich  
3. Automobilkonferenz  
Automotive NordWest  
Bremen  
28.10.2009

**G. Rausch**

Elektrisch Fahren im Nord-Westen – die Modellregion für Elektromobilität stellt sich vor  
swb-Innovationstag – Elektromobilität  
Bremen  
11.11.2009

**G. Rausch**

Die Modellregion für Elektromobilität NordWest – Bremen / Oldenburg  
NHI-Tagung Zukunftsorientierte Energieförderung  
Oldenburg  
3.12.2009

**C. Regula, J. Ihde, A. Keil, R. Wilken, A. Hartwig, U. Lommatzsch**

Influence of pre-treatment on the adhesion and protective properties of plasma polymer films deposited by an atmospheric pressure plasma jet on Ag and Cu surfaces  
19<sup>th</sup> International Symposium on Plasma Chemistry  
Bochum  
26.–31.7.2009

**M. Reinfried, P. Quadbeck, G. Stephani, B. Kieback**

Constitution of the metallic polyhedron-cell-structure  
MetFoam 2009  
Bratislava, Slowakei  
1.–4.9.2009

**H.-E. Rikeit, S. Buchbach, P. Plagemann, V. Stenzel, A. Momber, M. Schneider**  
Corrosion protection systems for off-shore wind power plants – compared field and laboratory investigations  
Conference Windforce09  
Bremerhaven  
17.6.2009

**H.-E. Rikeit, P. Plagemann, V. Stenzel, O. Yezerka, M. Wolf**  
Cooperation on Corrosion Prevention and Self-Healing Research  
International Scientific Workshop »Perspective Aviation Technologies« in the frame of MAKS2009, Zhukovsky, Russland  
18.8.2009

**L. Röntzsch**

Nanostrukturierte Materialien für die Wasserstoffspeicherung  
Sächsische Lehrerfortbildung 2008/2009: Nano in Theorie und Praxis  
Dresden  
13.2.2009

**L. Röntzsch**

Atomistische Simulation von Sintervorgängen  
DGM-Seminar Pulvermetallurgie  
Dresden  
13.5.2009

**L. Röntzsch**

Microstructure and De-/Hydrogenation Behavior of Melt-Spun Mg-Ni-Y Alloys as Hydrogen Storage Materials  
8<sup>th</sup> International Conference on Magnesium Alloys and their Applications  
Weimar  
28.10.2009

**L. Röntzsch**

Wasserstoffspeicherung in nanoskaligen Feststoffen  
28. Hagerer Symposium Pulvermetallurgie  
Hagen  
26.11.2009

**D. Salz, K. Vissing**

Flexible Kratzschuttschichten mittels Plasmaverfahren  
Kratzfeste Beschichtungen von Kunststoffen  
Peine  
11.2.2009

**D. Schmidt**

Fraunhofer IFAM – Untersuchung zur mathematischen Modellbildung für die Simulation von im Lost-Foam-Verfahren herzustellenden Gussstücken  
Lost Foam 2009  
Bremen  
21.10.2009

**J. Schmidt**

Temperaturverteilung in großen Presswerkzeugen  
Gemeinsames Seminar  
»Feldaktivierte Synthese und Kompaktierung moderner Werkstoffe« des Fh IFAM-DD, Fh IKTS, MPI CPFS, BA  
Freiberg, TU Dresden  
Dresden  
15.1.2009

**J. Schmidt, D. Ebling, A. Jacquot, H. Boettner, T. Weißgärber, B. Kieback**  
Melt Spinning and Spark Plasma Sintering for Manufacturing of Highly Textured Thermoelectric Materials  
TMS Annual Meeting 2009  
San Francisco, Kalifornien, USA  
16.2.2009

**J. Schmidt**

Applied research on Spark Plasma Sintering at the Fraunhofer IFAM Dresden  
University of California Davis, Kalifornien, USA  
27.2.2009

**J. Schmidt**

Spark Plasma Sintern (SPS): Grundlagen und Herstellung nanostrukturierter Werkstoffe  
DGM-Seminar Pulvermetallurgie  
Dresden  
14.5.2009

**J. Schmidt, G. Pauer, Y.-S. Kang, H. Kolaska, T. Weißgärber, B. Kieback**  
Spark Plasma Sintering of WC powders with low binder content  
17<sup>th</sup> Plansee-Seminar, International Conference on High Performance P/M Materials  
Reutte, Österreich  
27.5.2009

**J. Schmidt, D. Ebling, A. Jacquot, H. Böttner, T. Weißgärber, B. Kieback**  
Spark plasma sintering of highly textured V-VI thermoelectrics  
Int. Conference on Thermoelectrics  
Freiburg  
27.–29.7.2009

**J. Schmidt**

Kurzzeitsintern als wirtschaftliches Verfahren zur Herstellung von massiven metallischen Bauteilen mit ultrafeinen Gefügen  
BMBF Branchendialog  
»NanoEngineering«  
Düsseldorf  
8.12.2009

**T. Schmidt, L. Röntzsch, S. Kalinichenka, J. Meinert, B. Kieback**  
Entwicklung reversibler Wasserstoffspeichersysteme auf Basis nanostrukturierter Metallhydride  
Processnet Jahrestagung  
Mannheim  
8.–10.9.2009

**T. Schmidt, L. Röntzsch, S. Kalinichenka, B. Kieback**  
Kompakte, reversible Speicherung von Wasserstoff in Metallhydriden  
16. Energiesymposium der FH Stralsund  
Stralsund  
5.–7.11.2009

**T. Schubert, T. Weißgärber, B. Kieback**  
Werkstoffe für die passive Elektronikkühlung  
Kolloquium des Inst. für Werkstoffwissenschaft und des Inst. f. Werkstofftechnik der TU Bergakademie Freiberg  
Freiberg  
6.4.2009

**T. Schubert**  
Pulvermetallurgie der Leichtmetalle  
Seminar innerhalb des SFB 692 an der TU Chemnitz, Inst. f. Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnik  
Chemnitz  
21.4.2009

**T. Schubert**  
Pulvermetallurgie der Leichtmetalle  
DGM-Fortbildungsseminar Pulvermetallurgie  
Dresden  
13.–15.5.2009

**T. Schubert, L. Weber,**

**T. Weißgärber, B. Kieback**

CuB/Diamond Composites for Heat Sink Applications  
Euromat 2009  
Glasgow, Schottland  
7.–10.9.2009

**T. Schubert, J. Schmidt,**

**T. Weißgärber, B. Kieback**

Spark Plasma Sintering and Hot Extrusion of Aluminium Alloy Powder  
Euro PM 2009  
Kopenhagen, Dänemark  
12.–14.10.2009

**J. Schwenzel, F. Petzoldt**

Process Stability and Quality Surveillance in the Metal Injection Moulding Process – Towards Zero Rejection Based on an Artificial Neuronal Network  
Euro PM 2009  
Kopenhagen, Dänemark  
12.–14.10.2009

**T. Seemann, V. Zöllmer,**

**M. Bachmann, K. Ortner,**

**T. Jung**

Herstellung katalytischer Schichten über PVD-Verfahren für den Einsatz im Brennraum und in brennraumnahen Bauteilen  
42. Jahrestreffen Deutscher Katalytiker  
Weimar  
11.–13.3.2009

**T. Seemann**

Herstellung hochporöser, katalytisch aktiver Schichten mittels PVD-Verfahren  
IUV Seminar Reaktionsführung in Mehrphasenströmungen  
UFT Bremen  
9.10.2009

**V. Stenzel, W. Hage (DLR)**

Strömungsgünstige Beschichtung für die Senkung des Treibstoffverbrauchs  
Ulmer Gespräch 2009  
Neu-Ulm  
8.5.2009

**V. Stenzel**

Tutorial Aircraft Painting  
IntAIRCOAT  
München  
3.6.2009

**V. Stenzel**

Development of Multifunctional Lacquers and Coatings  
CEPE – Annual Conference & General Assembly  
Budapest, Ungarn  
24.9.2009

**G. Stephani**

Metallisch basierte Verbundwerkstoffe auf der Basis von zellularen Strukturen  
Werkstoffforum Hannover-Messe Industrie  
Hannover  
22.4.2009

**G. Stephani**

Innovative Materialien und Hochleistungswerkstoffe  
Innovationstage Fa. Hennig und Richter  
Hermsdorf  
26.8.2009

**G. Stephani**

Cellular Metals in Europe – Status and Prospects (Plenarvortrag)  
MetFoam 2009  
Bratislava, Slowakei  
2.9.2009

**G. Stephani**

Multifunktionelle Leichtbauwerkstoffe auf der Basis von zellularen metallischen Werkstoffen  
Industrietage Fa. Umwelt- und Lufttechnik  
Löbau  
2.10.2009

**G. Stephani**

Sinterpaper – a New Highly Porous Material  
European Powder Metallurgy Conference – Euro PM 2009  
Kopenhagen, Dänemark  
13.10.2009

**A. Strauß, T. Studnitzky**

Siebdruck – ein Verfahren zur Herstellung von zellularen Präzisionsstrukturen  
Werkstoffforum Hannover-Messe Industrie  
Hannover  
22.4.2009

**A. Strauß, T. Studnitzky**

Metallischer 3-D-Siebdruck als Fertigungsverfahren für Präzisionsstrukturen  
Expertenkreis Sintern  
Dresden  
12.11.2009

**T. Studnitzky, A. Strauß**  
 Metallischer Siebdruck als  
 Fertigungsverfahren für die  
 Mikrosystemtechnik  
 Mikrosystemtechnik-  
 kongress 2009  
 Berlin  
 13.10.2009

**C. Tornow, S. Markus,  
 R. Wilken, S. Dickhoff**  
 Online-Überwachung der  
 Benetzungseigenschaften von  
 Bauteiloberflächen im Kleb-  
 und Lackierprozess mittels  
 der Aerosol-Benetzungs-  
 prüfung  
 5. Thüringer Grenz- und  
 Oberflächentage 2009  
 Friedrichroda  
 15.–17.9.2009

**S. Vasic**  
 In-situ characterization of  
 plasma processed Ni catalysts  
 6<sup>th</sup> IMPRESS Plenary Meeting  
 Les Diablérets, Schweiz  
 5.5.2009

**G. Walther, T. Schubert,**  
 Optimierung tribologischer  
 und mechanischer Eigen-  
 schaften von PM-Verbund-  
 werkstoffen auf Aluminium-  
 basis  
 Tribologie-Fachtagung 2009  
 Göttingen  
 21.–23.9.2009

**J. Wartmann, T. Studnitzky**  
 Herstellung metallischer  
 Bipolarplatten durch 3-D-  
 Siebdruckverfahren  
 2. AIF-Workshop Brennstoff-  
 zellenallianz  
 Duisburg  
 17.2.2009

**J. Weise**  
 Zellulare metallische Werk-  
 stoffe für den Leichtbau  
 Kooperationsforum »Leichtbau-  
 und Hochleistungswerkstoffe«  
 Dresden  
 1.4.2009

**J. Weise, A. Zockoll,  
 P. Plagemann**  
 Zn containing metal pigments  
 for corrosion protective coat-  
 ings for aluminium substrates  
 Aluminium Surface Science  
 and Technology Symposium –  
 ASST, 10  
 Leiden, Niederlande  
 14.5.2009

**J. Weise, J. Baumeister,  
 M. Schmitt, G. Beltrame  
 Derner Silva**  
 Syntactic Aluminium Foams  
 with integrated Micro Glass  
 Bubbles – Graded Structures  
 and combinations with other  
 Materials  
 MetFoam 2009  
 Bratislava, Slowakei  
 2.–4.9.2009

**J. Weise, G. Beltrame  
 Derner Silva, N. Salk**  
 Production and Properties  
 of Syntactic Steel and Iron  
 Foams with Micro Glass Bub-  
 bles  
 MetFoam 2009  
 Bratislava, Slowakei  
 2.–4.9.2009

**J. Weise, J. Baumeister,  
 O. Yezerka, G. Beltrame  
 Derner Silva, N. Salk**  
 Syntactic iron foams with in-  
 tegrated micro glass bubbles  
 produced by means of metal  
 powder injection moulding  
 Euromat 2009  
 Glasgow, Schottland  
 7.–10.9.2009

**T. Weißgärber, T. Schubert,  
 T. Hutsch, B. Kieback**  
 Copper-Carbon Composites  
 prepared by Powder Metallurgy  
 for Thermal Management  
 Application  
 ECPE-Seminar  
 Nürnberg  
 17.3.2009

**T. Weißgärber**  
 Verbundwerkstoffe für funk-  
 tionelle Anwendungen  
 DGM-Seminar »Pulver-  
 metallurgie«  
 Dresden  
 13.–15.5.2009

**C. Werner, M. Maiwald,  
 V. Ruttkowski,  
 D. Godlinski, I. Wirth,  
 V. Zöllmer, M. Busse**  
 Gedruckte Funktionsstruktu-  
 ren in der Mikrosystemtechnik  
 SMT-Tutorial: Generative  
 Technologien für »System in  
 Package« – eine neuartige  
 Technologie  
 Nürnberg  
 5.5.2009

**R. Wilken**  
 Aspects of adhesive bonding  
 of carbon fibre reinforced  
 plastics (CFRP)  
 3<sup>rd</sup> International Joint Seminar  
 in PNU-IFAM-JRC  
 Pusan, Korea  
 5.3.2009

**R. Wilken, D. Lahidjanian**  
 Innovative process chains  
 for surface pre-treatment of  
 composites  
 IntAirCoat  
 München  
 4.6.2009

**R. Wilken**  
 Lokaler Korrosionsschutz auf  
 Aluminium-Druckgussbautei-  
 len durch Atmosphärendruck-  
 plasma-Beschichtungen  
 Anwenderkreis Atmosphären-  
 druckplasma  
 Jena  
 18.6.2009



**R. Wilken**

Plasmabeschichtungen für die  
Klebtechnik  
8. Bremer Klebtage  
Bremen  
24.6.2009

**R. Wilken, K. Albinsky,  
T. Fladung**

Fügen von Faserverbund-  
strukturen: Aspekte zum  
sicheren Kleben von CFK-  
Komponenten  
2. Workshop Innovations-  
cluster MultiMaT  
Bremen  
8.12.2009

**I. Wirth, E. Groth,  
J. Schumacher,  
I. Grunwald, M. Maiwald,  
V. Zöllmer, M. Busse**

Functional printing of bio-  
sensor structures  
EuroNanoForum 2009  
Prag, Tschechische Republik  
2.-5.6.2009

**I. Wirth, E. Groth,  
J. Schumacher,  
I. Grunwald, M. Maiwald,  
V. Zöllmer, M. Busse**

Surface biofunctionalization  
usind bioprinting technolo-  
gies ink-jet printing and aero-  
sol printing  
Bioprinting and Biofabrication  
in Bordeaux 2009  
Bordeaux, Frankreich  
6.-8.7.2009

**F.-J. Wöstmann**  
Elektromobilität – Neue  
Aufgabengebiete in der  
Gießerei?  
Lost Foam 2009  
Bremen  
20./21.10.2009

IFAM-Seminarvorträge

**Bremen**

**Interne Referenten**

12.1.2009  
**C. Regula**  
Schichtbildung von Plasma-  
polymeren mittels Atmosphä-  
rendruckplasma

9.2.2009  
**G. B. Dutra**  
Simulation 2K-MIM

9.2.2009  
**D. Kolacyak**  
Funktionalisierung von Koh-  
lenstoffnanoröhrchen mit  
Atmosphärendruckplasma-  
technik

2.3.2009  
**C. Pille**  
Funktionsintegrierte Guss-  
bauteile

2.3.2009  
**Y. Dan**  
Composites of Epoxy with  
Low Melting Glasses for Im-  
provement of Retardancy

20.4.2009  
**M. Rehan**  
Fixation of carrier molecule  
materials to different textile  
materials by means of plas-  
ma-processes

4.5.2009  
**M. Müller**  
Funktionale nanoskalige Sus-  
pensionen für Druckverfahren

4.5.2009  
**S. Nouri Shirazi**  
Nasschemische Oberflä-  
chenmodifizierung von der  
Titanlegierung TiAl6V4 und  
deren Auswirkung auf die  
resultierenden Adhäsionsei-  
genschaften

8.6.2009  
**M. Maiwald**  
Aerosolgedruckte Sensor-  
strukturen

8.6.2009  
**K. Richter**  
Peptid basierte Nanohybride  
als Adhäsivsystem für medizi-  
nische Anwendungen

26.6.2009  
**J. Felker**  
Alterungsbeständigkeit von  
Kupferpartikeln in Epoxiden

10.8.2009

**R. Muller Schröder**

Gas atmosphere analyses during debinding and sintering of powder injection molding components

14.9.2009

**T. Seemann**

In-situ-Erfassung und -Bewertung von PVD-Prozessparametern

14.9.2009

**K. Adamow**

Untersuchung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Faser/Matrix-Interphasen in CFK-Verbundwerkstoffen

19.10.2009

**C. Werner**

Sintern gedruckter Strukturen

19.10.2009

**S. Schrübbers**

Gezielt abbaubare Polymersysteme mit definierter Wirkstofffreisetzung – Synthese und Degradationsmechanismen

2.11.2009

**C. Drescher**

Beschichtungen von Edelstahl und niedrig legiertem PM-Stahl

2.11.2009

**G. Patzelt**

Untersuchungen des Alterungsverhaltens von Klebverbindungen mittels elektrochemischer Impedanzspektroskopie

7.12.2009

**A. Hartwig**

Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten

7.12.2009

**C. Merten**

VCD-Spektroskopie an chiralen Polymeren und Nanopartikeln

**Externe Referenten**

2.4.2009

**G. Diaconu**

Institute for Polymer Materials POLYMAT and Chemical Engineering Group  
Faculty of Chemistry University of the Basque Country San Sebastian, Spanien  
Waterborne polymer/clay nanocomposites

30.6.2009

**V. Sergio**

University of Trieste, Italien  
Applications of Raman Spectroscopy in the Biomedical Field

5.8.2009

**A. Avelino Pasa**

Departamento de Fisica – Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis, Brasilien  
Electrodeposition of Metals and Oxides on Semiconductors

**Dresden**

**Interne Referenten**

15.1.2009

**J. Schmidt**

Temperaturverteilung in großen Presswerkzeugen

26.1.2009

**S. Prasse**

Polymerabgeleitete keramische Schichten für den Korrosionsschutz von Metallen bei erhöhten Temperaturen

16.2.2009

**B. Engler**

Entwicklung eines Metallpulver-Spritzgießprozesses (MIM) für ein weichmagnetisches Eisen-Kobalt-Werkstoffsystem unter besonderer Berücksichtigung des Sinterregimes und der magnetischen Eigenschaften

6.3.2009

**L. Röntzsch**

Statusseminar Wasserstoffspeicherung

30.4.2009

**R. Heyn**

Auslegung und Konstruktion eines prototypischen Hochtemperatur-Hydridspeicherelements

5.6.2009

**U. Jehring**

Von gefüllten Hohlkugeln zu Leichtbauverbundwerkstoffen für die Körperschalldämpfung

8.7.2009

**E. Hauptmann**

Kleben metallischer Hohlkugeln

17.7.2009

**J. Trapp**

Untersuchungen zur Rheologie von Siebdruckpasten

18.9.2009

**T. Weißgärber**

Vorstellung des Innovativen Wachstumskerns »ThalePM«

2.10.2009

**T. Weißgärber**

Meilenstein-Bericht zum EF-Projekt »Solarzelle«

15.10.2009

**P. Pohl**

Gasphasenanalyse bei der Entbinderung von offenzelligen Metallschäumen mittels FT-IR-Spektroskopie

6.11.2009

**M. Reinfried**

Ergebnisse des MEF-Projektes »EMMA«

12.11.2009

**G. Walther**

Herstellung von Schäumen auf Basis von Ni-Legierungen für Anwendungen in der Abgasnachbehandlung (Expertenkreis »Sintern« am IFAM-DD)

13.11.2009

**G. Stephani**

Sinterpapier – Herstellung, Eigenschaften und Anwendungspotenzial

30.11.2009

**C. Pohlmann**

Magnesiumhydrid-Graphit-Verbundwerkstoffe als Materialien für die Wasserstoffspeicherung mit verbesserten Wärmeleiteigenschaften

4.12.2009

**R. Leuschner**

Rascherstarrung zur Entwicklung von hochfesten Al-Mg-Sc-Legierungen

**Externe Referenten**

29.1.2009

**R. Oberacker**

Universität Karlsruhe  
Nutzung der Field Assisted Sintering Technology (FAST) zur Konsolidierung von Keramiken und Verbundmaterialien

12.2.2009

**Y. Grin**

MPI Chemische Physik fester Stoffe  
Clathrate mittels SPS

26.2.2009

**J. Langer**

TU Darmstadt  
Direkter Vergleich zwischen Heißpresse und FAST gesinterten Oxidkeramiken

12.3.2009

**M. Dopita**

TU BA Freiberg  
Microstructure and mechanical properties of the WC-Co hardmetals sintered using SPS

13.3.2009

**N. Marquardt**

Ruhr-Uni Bochum  
Metall-Nanokohlenstoff-Kompositwerkstoffe für neuartige mobile Wasserstofftanks

17.3.2009

**R. Grupp**

TU Dresden  
Aufklärung des kooperativen Materialtransports während des Sinterns mittels Computer-Tomographie

15.6.2009

**S.-J. L. Kang**

KAIST Daejeon, Südkorea  
Microstructural Evolution during Sintering with Control of the Interface Structure

11.9.2009

**P. Kauranen, P. Lintunen**

VTT Technical Research Centre of Finland  
Advanced Material Research at VTT Finland

29.9.2009

**ATZ Entwicklungszentrum**

Sulzbach-Rosenberg  
Pulver/Thermisches Spritzen

16.11.2009

**J. Klammer**

MPI für Mikrostrukturphysik Halle  
Elektrochemische Synthese thermoelektrischer Nanostäbe

24.11.2009

**A. Wiltner**

Untersuchungen an »Erstwand-Materialien« in Fusionsexperimenten

Patente

Anmeldungen

A. Hartwig, K. Albinsky,  
M. Sebald  
**Gegenstand mit einer  
Klebschicht und Klebstoff-  
zusammensetzung mit  
einstellbarer Trennkraft**  
WO 2009/010261 A1  
Offenlegungstag: 22.1.2009

A. Rota, P. Imgrund, A. Bruinink  
**Biokompatibles Bauteil  
und Verfahren zu dessen  
Herstellung**  
PCT/EP2009/000740  
Offenlegungstag: 4.2.2009

S. Buchbach, H. Fricke,  
P. Plagemann, A. Dudlik  
**Vorrichtung und Verfahren  
zum Prüfen des Verhaltens  
von Fluiden, insbesondere  
polymeren Flüssigkeiten**  
DE 102009001157.9-52  
Offenlegungstag: 24.2.2009

F.-J. Wöstmann,  
S. Hoffmann, N. Gerhardt  
**Verfahren zur Prüfung der  
Dichte und/oder Homo-  
genität von Bauteilen**  
DE 10 2009 010 638  
Offenlegungstag: 26.2.2009

M. Peschka, M. Wolf  
**Verfahren zum Verbinden  
von Rohren sowie Rohr  
mit profiliertem Stirnende**  
WO 2009/027214 A1  
Offenlegungstag: 5.3.2009

M. Peschka, M. Wolf  
**Vorrichtung und Verfahren  
zur Reparatur einer Rohr-  
leitung**  
WO 2009/027235 A1  
Offenlegungstag: 5.3.2009

K.-D. Vissing, M. Ott,  
C. Dölle  
**Funktionsschichtübertra-  
gungsanordnung**  
DE 10 2007 040 655 A1  
Offenlegungstag: 12.3.2009

G. Walther, B. Klöden,  
B. Kieback, T. Weißgärber,  
T. Büttner, H.-D. Böhm,  
A. Boden, J. Böhm  
**Offenporiger Metall-  
schaumkörper und Verfah-  
ren zu seiner Verwendung**  
DE 10 2009 015 176.1  
Offenlegungstag: 20.3.2009

U. Jehring, B. Kieback,  
G. Stephani, P. Quadbeck,  
I. Bellin, J. Courtois,  
J. Sandler, K. Hahn,  
C. Kieburg, K. Joshi,  
A. Traut  
**Verfahren zur Herstellung  
von Hohlkörpern mit  
eingeschlossenen frei  
beweglichen Partikeln**  
EP 09157551.4  
Offenlegungstag: 7.4.2009

D. Salz, K.-D. Vissing  
**Kratzfeste und dehnbare  
Korrosionsschicht für  
Leichtmetallsubstrate**  
WO 2009/056635 A2  
Offenlegungstag: 7.5.2009

C. Pille, F.-J. Wöstmann,  
H. Pleteit, M. Heuser  
**Verfahren und Vorrichtung  
zur Herstellung eines  
Bauteils mit einem  
integrierten Einlegeteil**  
EP 09010220.3  
Offenlegungstag: 7.8.2009

D. Salz, K.-D. Vissing,  
M. Wagener  
**Schichtmaterial**  
WO 2009/121970 A2  
Offenlegungstag: 8.10.2009

M. Peschka, B. Hauschild  
**Schaltbare Breitschlitzdüse**  
DE 10 2008 026 147 A1  
Offenlegungstag: 12.2009

M. Peschka, A. Lühring,  
A. Hartwig  
**Verfahren zur Herstellung  
einer Blechstruktur aus  
miteinander verklebten  
Blechbauteilen**  
DE 10 2008 026 613 A1  
Offenlegungstag: 12.2009

K.-D. Vissing, G. Neese,  
A. Baalman, P. Stauga  
**Dichtungsartikel**  
DE 10 2008 002 515 A1  
Offenlegungstag: 12.2009

Erteilungen

K.-D. Vissing, V. Stenzel,  
A. Jakob  
**Method and device for  
machining a wafer, in  
addition to a wafer com-  
prising a separation layer  
and a support layer**  
US 7,482,249 B2  
27.1.2009



K.-D. Vissing, A. Baalmann,  
H. Stuke, W. Semrau,  
H. Hufenbach  
**Framgangsmåte for å korrosjonsresistens belegge metall, ved hjelp av plasmapolymerisering**  
NO 326804  
16.2.2009

K.-D. Vissing, A. Baalmann,  
H. Stuke, W. Semrau,  
H. Hufenbach  
**Metal substrate with a corrosion-resistant coating produced by means of plasma polymerisation**  
JP 4263353  
20.2.2009

R. Wilken, S. Markus,  
M. Amkreutz, C. Tornow,  
A. Seiler  
**Prüfverfahren und Prüfvorrichtung**  
EP 1 893 974 B1  
15.4.2009

P. Quadbeck, M. Reinfried,  
G. Stephani, U. Waag  
**Verfahren zur Herstellung gesinterter poröser Verbundbauteile und mit dem Verfahren hergestellte Verbundbauteile**  
DE 10 2006 039 586 B4  
20.5.2009

M. Busse, F.-J. Wöstmann,  
T. Müller  
**Gussbauteil mit integrierten Funktionselementen**  
EP 05022013.6  
25.5.2009

M. Busse, T. Müller,  
F.-J. Wöstmann  
**Gussbauteil mit integrierten Funktionselementen und Verfahren zu seiner Herstellung**  
EP 1 645 350 B1  
17.6.2009

J. Priede, A. Cramer,  
G. Gerbeth, W. Galindo,  
C. Kostmann, O. Andersen,  
G. Stephani  
**Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung metallischer Fasern durch Schmelzextraktion**  
DE 10 2006 005 510 B4  
18.6.2009

A. Hartwig, E. Born,  
J. Kolbe, T. Kowalik,  
M. Popp  
**Curable bonded assemblies capable of being dissociated**  
US 7569624 B2  
4.8.2009

J. Adler, G. Standke,  
D. Kopejzny, G. Stephani,  
K. Kümmel, W. Beckert  
**Wärmestrahlungsschutzschirm für Vakuum- und Schutzgasöfen**  
EP 1 836 433 B1  
26.8.2009

O. Andersen, T. Studnitzky,  
C. Kostmann  
**Bauteil sowie seine Verwendung**  
DE 10 2007 042 494 B4  
24.9.2009

J. Weise, M. Haesche,  
K. Nestler  
**Poröse Verbundwerkstoffe auf Basis eines Metalls und Verfahren zu seiner Herstellung**  
DE 10 2005 037 069  
13.10.2009

## Ehrungen und Preise

A. W. Momber, P. Plagemann,  
V. Stenzel, M. Schneider

**Outstanding Publication  
Award**

von der »SSPC: The Society  
for Protective coatings« am  
15.2.2009 verliehen für:  
Investigations into the corro-  
sion protection of offshore  
wind energy towers: part 1:  
general situation and test  
programme  
Journal of Protective Coatings  
and Linings, Vol. 25, 4.2008

F. Witte, E. Willbold,  
I. Morgenthal, G. Stephani  
**Resorbierbare Implantat-  
werkstoffe aus Magne-  
sium-Fasern – Preis des  
BMBF im Innovationswett-  
bewerb zur Förderung der  
Medizintechnik 2009**

Modul BASIS  
Innovationsforum Medizin-  
technik 2009  
Berlin  
29.10.2009

F. Petzoldt  
**Skaupy-Preis 2009**  
28. Hagener Symposium  
Pulvermetallurgie  
Hagen  
26.11.2009

A. Groß, S. Mai,  
D. Harkensee

**Weiterbildungs-  
Innovations-Preis 2009**

Weiterbildungskonzept zum  
Faserverbundkunststoff-  
Praktiker des Kunststoff-  
Kompetenzzentrums  
Bundesinstitut für Berufsbil-  
dung (BIBB)  
12.2.2009

# IMPRESSUM

---

## Institutsleitung

---

Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse  
Formgebung und Funktionswerkstoffe  
Telefon +49 421 2246-100  
Telefax +49 421 2246-300  
info@ifam.fraunhofer.de

Priv.-Doz. Dr. Andreas Hartwig  
Klebtechnik und Oberflächen  
Telefon +49 421 2246-400  
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

---

Martina Ohle  
Anne-Grete Becker

---

## Mitarbeit

Kirsten Bögner  
Frauke Jäger  
Cornelia Müller

---

## Externe Dienstleister

---

### Text Vorwort

Kai-Uwe Bohn

### Satz und Layout

Gerhard Bergmann, SOLLER Werbestudios GmbH

### Druck und Verarbeitung

ASCO STURM DRUCK GmbH

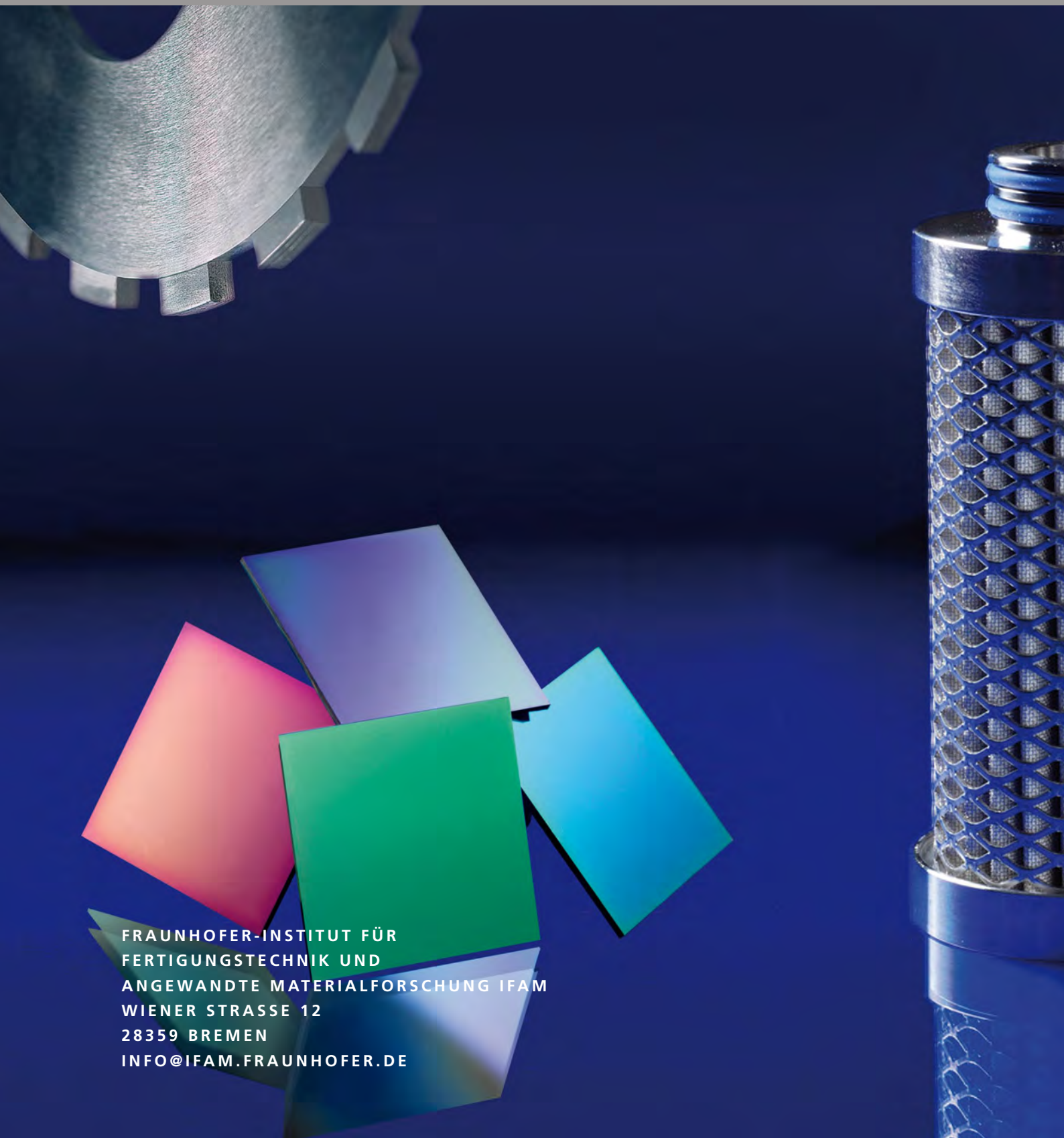
---

## Bildquellen

---

© Fraunhofer IFAM oder Quellenangabe  
Unser Dank gilt PR Fotodesign: Britta Pohl, Jochen Roeder  
und vielen kreativen Fraunhofer IFAM Mitarbeitern/-innen.

WWW.IFAM.FRAUNHOFER.DE



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR  
FERTIGUNGSTECHNIK UND  
ANGEWANDTE MATERIALFORSCHUNG IFAM  
WIENER STRASSE 12  
28359 BREMEN  
INFO@IFAM.FRAUNHOFER.DE