

JAHRESBERICHT  
**2016/2017**

JAHRESBERICHT

**2016/2017**

# VORWORT

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

auch im Jahr 2016 konnte das Fraunhofer IFAM seine positive Entwicklung fortsetzen – die letzten zwölf Monate waren geprägt von einem erfolgreichen Projektgeschäft sowohl im industriellen als auch im öffentlichen Bereich, einer großen Anzahl abgeschlossener wissenschaftlicher Arbeiten sowie zahlreichen Auszeichnungen.

Das Jahr 2016 war auch strategisch wichtig. Mit sieben Kernkompetenzen ist das Institut systemübergreifend aufgestellt, bearbeitet zahlreiche komplexe Projekte und ist bereit für weitere technologische Herausforderungen. Seien es die fortschreitende Digitalisierung auf dem Weg zur Industrie 4.0, innovative Fertigungstechnologien, neue Materialien oder nachwachsende Rohstoffe – alle Themen fordern hohe Aufmerksamkeit und haben einen erheblichen Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Die Digitalisierung ist eines der wichtigsten Zukunftsthemen der Wirtschaft. Die Autonomisierung, Flexibilisierung und Individualisierung bestehender Prozesse wird angestrebt. Die Transportmittelindustrie, insbesondere die Automobilbranche und Luftfahrt, ist davon nicht ausgenommen und unterliegt einem tiefgreifenden Wandel.

Im Rahmen von Industrie 4.0 hat beispielsweise die Luftfahrtbranche eine Automatisierungsoffensive in der Fertigung gestartet: weg von der individuell zugeschnittenen Sondermaschine, hin zu universell einsetzbaren Robotern. Die Abteilung »Automatisierung und Produktionstechnik« in Stade entwickelt hochpräzise Bearbeitungsprozesse von CFK-Großbauteilen durch parallel arbeitende mobile Roboter.

**1** *Die Institutsleiter Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Busse (links) und Prof. Dr. Bernd Mayer. (© GfG Bremen/Thomas Kleiner)*

In diesem Zusammenhang setzt auch die Fraunhofer-Gesellschaft mit sogenannten Leitprojekten strategische Schwerpunkte. Das Ziel ist die rasche Umsetzung wissenschaftlich originärer Ideen in marktfähige Produkte. Das Fraunhofer IFAM konnte sich 2016 für ein weiteres Vorhaben qualifizieren. Im Leitprojekt »Go Beyond 4.0 – Digitale Fertigung in der Massenproduktion« sollen die mit der Entwicklung individualisierter Bauteile verbundenen produktionstechnischen Herausforderungen durch digitale Fertigungsverfahren gelöst werden.

Neben der Automatisierung investieren inzwischen alle großen Autokonzerne in eine alternative Antriebstechnik. In der Abteilung »Elektrische Antriebe« steht die Entwicklung kompakter elektrischer Maschinen mit gesteigerter Drehmoment- und Leistungsdichte im Fokus; hier bieten innovative Fertigungstechnologien neue Möglichkeiten. In einem Projekt der Fraunhofer-Zukunftsstiftung werden unter der Federführung des Fraunhofer IFAM mehrere technologische Ansätze für großserientaugliche Verfahren zur Herstellung von Spulen verfolgt, die elektrische Maschinen in höheren Effizienzklassen ermöglichen und den Maschinenauslegern einen flexibleren Gestaltungsspielraum geben.

Eine weitere zentrale Rolle – nicht nur bei der elektromobilen Zukunft – spielt die Batterie. Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten der Abteilung Elektrische Energiespeicher in Oldenburg liegt in der Entwicklung von polymerbasierten Festkörperbatterien, eine Technologie, die durch hohe Energiedichten und Sicherheit überzeugt.

Zur Erreichung innovativer Ziele sind oft Investitionen in neue Fertigungstechnologien unabdingbar. So wurde am Instituts- teil in Dresden die größte Anlage Deutschlands zur generativen Fertigung dreidimensionaler Bauteile mittels Elektronenstrahlschmelzen (EBM) in Betrieb genommen. EBM eignet sich zur Fertigung formkomplexer Bauteile aus Werkstoffen wie Titan, Titanlegierungen oder Superlegierungen für die Luftfahrt, Automobilindustrie und Medizintechnik.



1

Um neue Maschinen und Fertigungsketten geht es auch im Fraunhofer-Projektzentrum in Wolfsburg, das im Zuge der Eröffnung des LeichtbauCampus »Open Hybrid LabFactory« im September 2016 insgesamt 1600 Quadratmeter an Büro- und Technikumsfläche bezogen hat. Unter der Leitung des IFAM arbeiten an dem Projektzentrum die drei Fraunhofer-Institute WKI, IWU und IFAM vor Ort zusammen, um die gesamte Prozesskette für Leichtbaustrukturen zu entwickeln und großseriennah zu erproben.

Bei allen technologischen Fortschritten müssen stets die Auswirkungen auf die Umwelt und vor allem der Mensch berücksichtigt werden. Nachhaltigkeit im Kontext der effizienten Nutzung natürlicher Ressourcen spielt hierbei eine wichtige Rolle. Nachwachsende Rohstoffe betreffen sowohl die Faserverbundwerkstoffe als auch die Klebstoff- und Lackentwicklung. Biokomposite und biobasierte Rohstoffe wie Lignin, Stärke, Fette oder Polymilchsäure sind dabei ideale Ausgangsmaterialien. Entwicklungsziel ist eine verbesserte Bioverträglichkeit der entwickelten Materialien bei gleichzeitig vorteilhafter CO<sub>2</sub>-Bilanz.

Die Faserverbundwerkstoffe sind inzwischen in der gesamten Prozesskette bis hin zur Weiterbildung am Fraunhofer IFAM fest verankert. Analog zu den international anerkannten Klebtechnik-Lehrgängen ist in den letzten Jahren ein modernes Weiterbildungszentrum für Faserverbundwerkstoffe aufgebaut worden. Das Angebot wurde nun mit der Entwicklung und Umsetzung der Qualifizierung zum »Faserverbund-Fachingenieur« vervollständigt.

Eine hohe Verantwortung für den Menschen begegnet uns immer wieder in unserem wachsenden Geschäftsfeld Medizintechnik. Auch hier tragen natürliche Rohstoffe zum Fortschritt bei. So konnte beispielsweise ein biokeramischer Schraubnagel bestehend aus Calciumphosphat entwickelt werden, das im Wesentlichen der Zusammensetzung der Knochensubstanz entspricht. Ein weiteres durch die Fraunhofer-Gesellschaft gefördertes internes Forschungsprojekt behandelt das wichtige Thema der Prävention und Heilung von Implantatinfektionen.

Nachhaltige technische Lösungen sind stets das Ergebnis aus speziellen fachlichen Kompetenzen und einem intensiven Austausch. Im Rahmen von strategischen Partnerschaften kooperieren wir weltweit mit exzellenten Forschungspartnern. An unseren Standorten kommt den Kooperationen mit der Universität Bremen und den Technischen Universitäten in Dresden und Hamburg eine hohe Bedeutung zu. Das neu gegründete Netzwerk »U Bremen Research Alliance« zwischen zahlreichen regionalen Forschungseinrichtungen und der Exzellenz-Universität Bremen ist ein weiterer Schritt, um abgestimmte Forschungsstrategien auf eine neue qualitative Ebene zu stellen.

Mensch, Umwelt und Technologie in Einklang zu bringen – eine Herausforderung, der sich unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit großem Engagement stellen. Ihre Leidenschaft und Kompetenz sind entscheidend für unseren Erfolg; unser ganz besonderer Dank gilt deshalb unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Der Fortschritt ist zudem getragen durch das langfristig gewachsene Vertrauen seitens unserer Industriepartner, der Ansprechpartner in den Ministerien sowie der Projektträger. Für die Unterstützung und Förderung möchten wir uns an dieser Stelle ganz herzlich bedanken.

Gestalten wir die Zukunft weiterhin gemeinsam – viel Freude beim Lesen wünschen

Matthias Busse

Bernd Mayer

# INHALT

VORWORT

2

## DAS INSTITUT IM PROFIL

Die Fraunhofer-Gesellschaft

6

Kurzporträt und Organigramm

8

Das Institut in Zahlen

9

Qualitätsmanagement

11

Das Kuratorium des Instituts

13

Geschäftsfelder

15

Arbeitsgebiete und Ansprechpartner

17

Formgebung und Funktionswerkstoffe

25

Klebertechnik und Oberflächen

29

## METALLISCHE SINTER-, VERBUND- UND ZELLULARE WERKSTOFFE

Kernkompetenz

33

PowerPaste – Wasserstoff ohne Druckspeicher

34

Effiziente Energienutzung durch Thermoelektrik

35

## PULVERTECHNOLOGIE

Kernkompetenz

37

Magnetokalorik – Pulvermetallurgische Formgebung  
für innovative Kühltechnologie

38

Hocheffektive Verdampferstrukturen

39

## GIESSEREITECHNOLOGIE

Kernkompetenz

41

RFID und integrierte Sensorik machen Bauteile fit  
für Industrie 4.0

42

## KLEBTECHNIK

Kernkompetenz

45

Schnellaushärtung im Holzbau:

Die 5-Minuten-Verbindung

46

Kleben: Schnell, kontrolliert, sicher

47



## OBERFLÄCHENTECHNIK

Kernkompetenz	49
Mikrobiell induzierte Korrosion und Antifouling-Beschichtung	50
Kostengünstige lokale Abscheidung von Titandioxidschichten	51

## FASERVERBUNDWERKSTOFFE

Kernkompetenz	53
Mobiler Fräsroboter für die wandlungsfähige Produktion	54
Neue Halbzeuge für die automatisierte Fertigung von duromeren FVK	57

## ELEKTRISCHE KOMPONENTEN UND SYSTEME

Kernkompetenz	59
Polymerkomposite für Festkörperbatterien	60

## MENSCHEN UND MOMENTE

Eröffnung der Open Hybrid LabFactory »1. Bremer Faserverbundtage«	63
starten erfolgreich	64
Prof. Dr. Andreas Hartwig für Wissenstransfer ausgezeichnet	65
Dr. Gesa Patzelt von der GDCh ausgezeichnet	66
Anastassija Wittmer erhält die Auszeichnung »Best Young Scientist«	67
Innovative Metallhydrid-Verbundwerkstoffe – Auszeichnung als »Best Student Presentation«	68
Elektronenstrahlschmelzen – Preis für bestes Funktionsteil	69
Infiana und Fraunhofer IFAM erhalten AIMCAL Award	70

## KOOPERATIONEN UND WISSENSCHAFTLICHES

Kooperationen und Wissenschaftliches	72
Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – Materials	73
Fraunhofer-Allianzen	74
IMPRESSUM	76

1 Luftaufnahme Fraunhofer IFAM.  
(© Fraunhofer IFAM / Peter Sondermann)

# 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 69 Institute und Forschungseinrichtungen. Knapp 24 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2,1 Milliarden Euro. Davon fallen über 1,9 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Mehr als 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

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

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

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

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

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

**FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK  
UND ANGEWANDTE MATERIALFORSCHUNG IFAM**

**1** Wiener Straße 12  
28359 Bremen

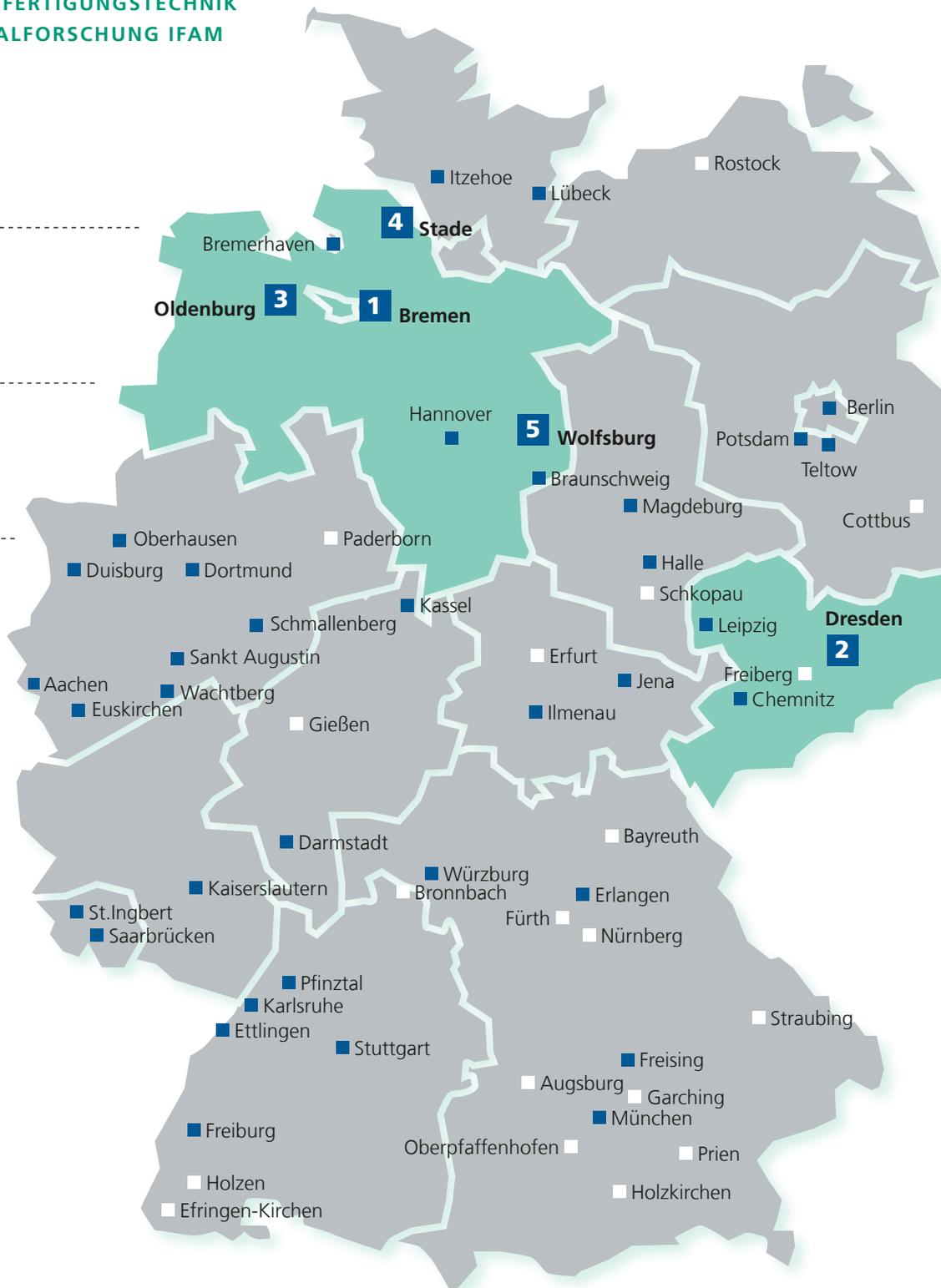
**2** Institutsteil Dresden  
Winterbergstraße 28  
01277 Dresden

**3** Elektrische Energiespeicher  
Marie-Curie-Straße 1–3  
26129 Oldenburg

**4** Automatisierung  
und Produktionstechnik  
Forschungszentrum CFK NORD  
Ottenbecker Damm 12  
21684 Stade

**5** Fraunhofer-Projektzentrum  
Wolfsburg  
Hermann-Münch-Straße 1  
38440 Wolfsburg

- Institute und Einrichtungen
- Weitere Standorte



# KURZPORTRÄT UND ORGANIGRAMM

1968 gegründet und 1974 in die Fraunhofer-Gesellschaft integriert, ist das Fraunhofer IFAM heute eine der europaweit bedeutendsten unabhängigen Forschungseinrichtungen auf den Gebieten Klebtechnik, Oberflächen, Formgebung und Funktionswerkstoffe. An allen fünf Standorten – in Bremen, Dresden, Oldenburg, Stade und Wolfsburg – zählen wissenschaftliche Exzellenz mit starker Anwendungsorientierung und messbarem Kundennutzen sowie höchste Qualität zu den zentralen Leitlinien des Instituts. Derzeit bündeln über 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus 24 Abteilungen ihr

breites technologisches und wissenschaftliches Know-how in sieben Kernkompetenzen: Pulvertechnologie, Metallische Sinter-, Verbund- und zellulare Werkstoffe, Klebtechnik, Oberflächentechnik, Gießereitechnologie, Elektrische Komponenten und Systeme, Faserverbundwerkstoffe. Diese Kernkompetenzen – jede für sich und im Zusammenspiel – begründen die starke Position des Instituts am Forschungsmarkt und bilden die Basis für zukunftsorientierte Entwicklungen zum Nutzen der Gesellschaft.

## WOLFSBURG

- Fraunhofer-Projektzentrum  
Wolfsburg

## DRESDEN

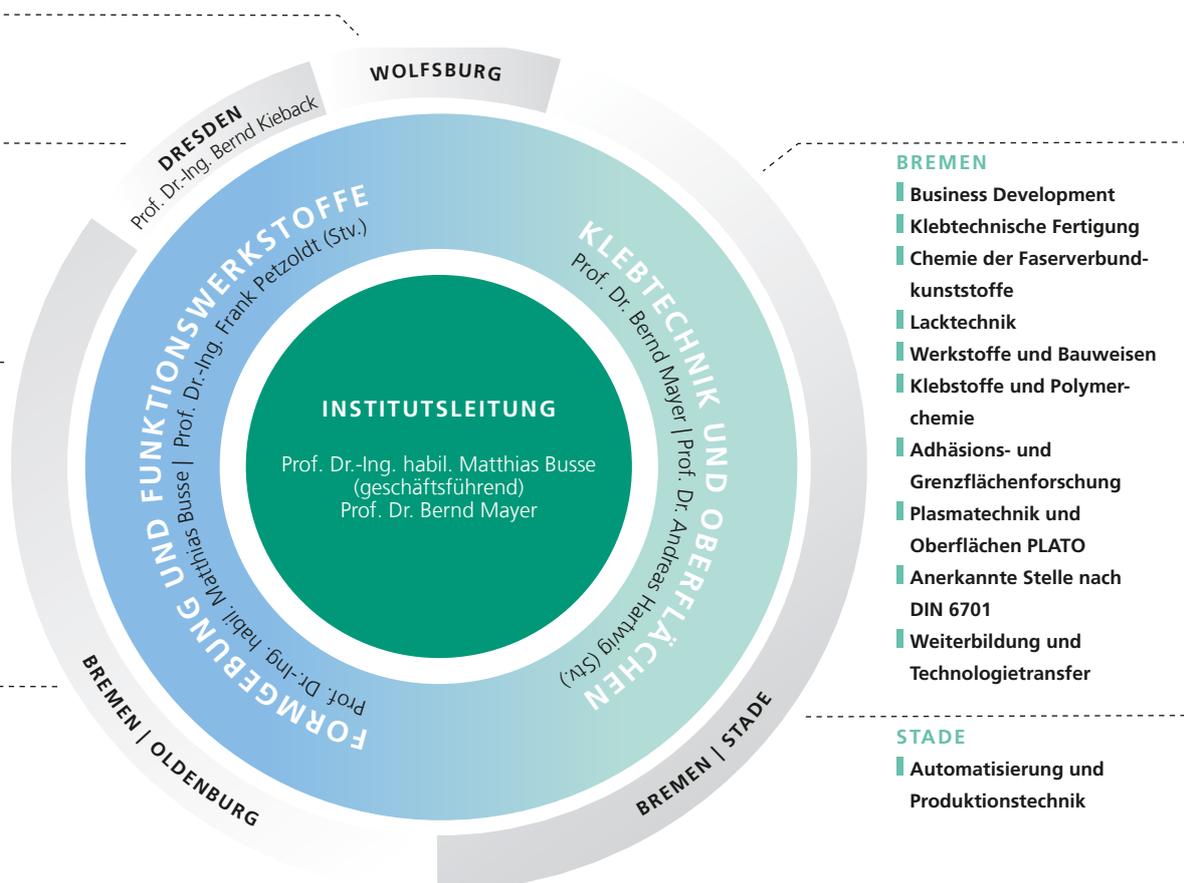
- Sinter- und Verbundwerkstoffe
- Zellulare metallische Werkstoffe
- Wasserstofftechnologie
- Energie und Thermisches Management

## BREMEN

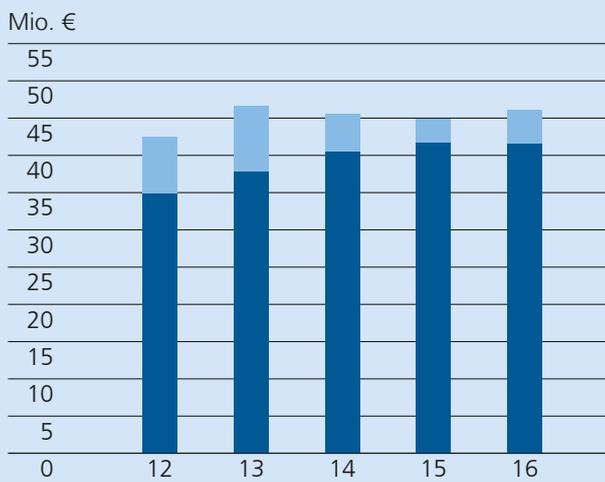
- Pulvertechnologie
- Gießereitechnologie
- Functional Printing
- Energiesystemanalyse
- Elektrische Antriebe
- Technische Qualifizierung und Beratung
- Materialographie und Analytik

## OLDENBURG

- Elektrische Energiespeicher

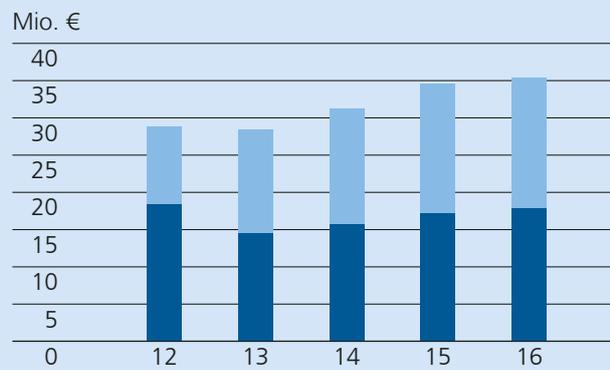


### Betriebs- und Investitionshaushalt 2012–2016



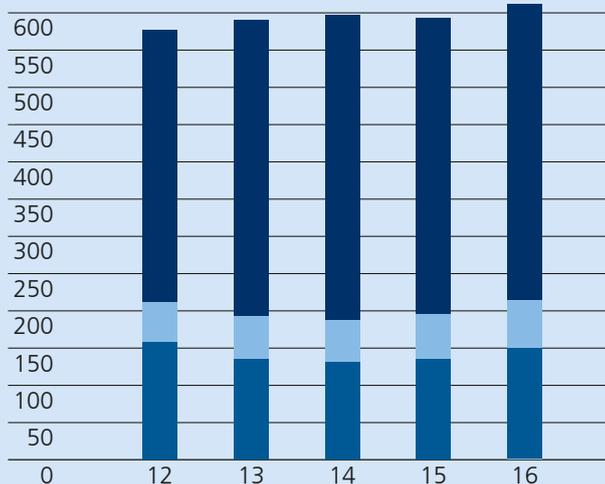
■	Betriebshaushalt	42,7 Mio. €
■	Investitionshaushalt	4,2 Mio. €

### Erträge 2012–2016



■	Wirtschaftserträge	17,5 Mio. €
■	Bund/Land/EU/Sonstige	17,7 Mio. €

### Personalentwicklung 2012–2016

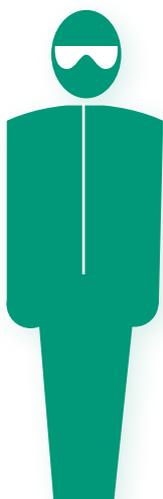


### Personalstruktur 2016

Am 31. Dezember 2016 waren am Fraunhofer IFAM an den Standorten Bremen, Dresden, Oldenburg, Wolfsburg und Stade insgesamt 609 Personen tätig.

■	Wissenschaftlich-technisches Personal	395
■	Verwaltung/IT/Service	65
■	Hilfskräfte/Studenten	149
■	Mitarbeiter gesamt	609

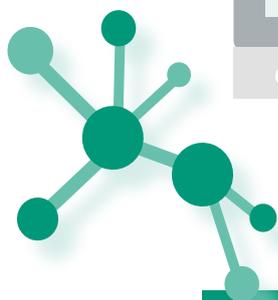
■	Wissenschaftlich-technisches Personal
■	Verwaltung/IT/Service
■	Hilfskräfte/Studenten



**ISO/IEC 17024**

PERSONALQUALIFIZIERUNG

**ISO 9001**



**ISO/IEC 17025**

WERKSTOFF- UND  
MATERIALPRÜFUNG

# QUALITÄTSMANAGEMENT

## Zertifizierung nach DIN EN ISO 9001

Das Fraunhofer IFAM ist seit 1995 nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert. Die Gültigkeit erstreckt sich auf folgende Bereiche an den Standorten Bremen und Stade:

- Produktorientierte Entwicklungen von Werkstoffen, Bauweisen, Bearbeitungsprozessen und Fertigungstechnologien für die Kleb-, Oberflächen- und Lacktechnik
- Charakterisierung und Simulation der Materialien und deren Technologien
- Klebstoffentwicklung
- Weiterbildung in Klebtechnik, Faserverbundtechnologie und Elektromobilität
- Gießereitechnologien
- Metallographie, Thermoanalytik, Pulvermesstechnik und Spurenanalytik
- Prüflaboratorium Werkstoffprüfung, Lacktechnik, Korrosionsprüfung, Materialographie und Analytik

## Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025

Die Prüflaboratorien Werkstoffprüfung, Korrosionsprüfung, Lacktechnik, Materialographie und Analytik am Standort Bremen sind seit 1996 zusätzlich nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert. Die Akkreditierung durch die DAkkS gilt nur für den in der Urkundenanlage D-PL-11140-02-00 aufgeführten Akkreditierungsumfang.

Am Institutsteil Dresden des Fraunhofer IFAM ist das Prüflabor nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert für Spezialprüfungen zur Charakterisierung anorganischer Pulver und Sinterwerkstoffe sowie für Materialprüfungen metallischer Werkstoffe. Die Akkreditierung durch die DAkkS gilt nur für den in der Urkundenanlage D-PL-11140-06-00 aufgeführten Akkreditierungsumfang.

## Anerkennung nach DIN EN ISO/IEC 17024

Das Klebtechnische Zentrum (im Weiterbildungszentrum Klebtechnik) ist seit 1998 über DVS-PersZert® als nach DIN EN ISO/IEC 17024 akkreditierter Personalqualifizierungsstelle für die klebtechnische Weiterbildung international anerkannt.

DAS INSTITUT IM PROFIL



# DAS KURATORIUM DES INSTITUTS

## Mitglieder

### **Dr. Rainer Rauh**

Vorsitzender des Kuratoriums  
Airbus Deutschland GmbH  
Bremen

### **Regierungsdirektorin**

#### **Dr. Annerose Beck**

Sächsisches Staatsministerium  
für Wissenschaft und Kunst  
Dresden

### **Bernd Faller**

RAMPF Production Systems  
GmbH & Co. KG  
Zimmern ob Rottweil

### **Michael Grau**

Mankiewicz Gebr. & Co.  
Hamburg

### **Dr. Jürgen Groß**

Robert Bosch GmbH  
Stuttgart

### **Dr. Sebastian Huster**

Niedersächsisches  
Ministerium für  
Wissenschaft und Kultur  
Hannover

### **Prof. Dr. Jürgen Klenner**

Airbus Deutschland GmbH  
Bremen

### **Staatsrat**

#### **Gerd-Rüdiger Kück**

Die Senatorin für Bildung  
und Wissenschaft der  
Freien Hansestadt Bremen  
Bremen

### **Dr. Georg Oenbrink**

Evonik Industries AG  
Essen

### **Dr. Ralf-Jürgen Peters**

TÜV Rheinland  
Consulting GmbH  
Köln

### **Dr. Stefan Röber**

tesa SE  
Hamburg

### **Dr. Rainer Schönfeld**

Henkel AG & Co. KGaA  
Düsseldorf

### **Christoph Weiss**

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

## Gäste

### **Andreas Kellermann**

Daimler AG  
Bremen

### **Prof. Dr. Andreas Breiter**

Konrektor für Forschung  
und wissenschaftlichen  
Nachwuchs  
Universität Bremen  
Bremen  
(seit Juni 2016)



# GESCHÄFTSFELDER

Grundsätzlich forscht und entwickelt das Fraunhofer IFAM mit dem Ziel, Innovationen in möglichst vielen Bereichen zur Anwendung bringen zu können. Adressaten sind insbesondere die Innovationstreiber in den jeweiligen Industrien. Die für das Fraunhofer IFAM wichtigsten Branchen sind als eigene Geschäftsfelder definiert.

## Luftfahrt

Das Geschäftsfeld Luftfahrt adressiert Hersteller von Flugzeugen und Hubschraubern sowie die dazugehörige Zulieferkette. Auch die Luftfahrtindustrie sieht sich vor der Herausforderung, Treibstoffverbrauch, Schadstoff- und Lärmemissionen immer weiter zu reduzieren. Neue Materialien, Leichtbautechnologien und effizientere Triebwerke sind einige der Antworten darauf. Anhaltender Kostendruck lässt die Hersteller zudem nach Lösungen suchen, die eigenen Fertigungsprozesse stärker zu automatisieren. Auch die Notwendigkeit der Reduzierung von Betriebskosten treibt die Suche nach wirtschaftlichen Lösungen an.

## Automotive

Das Geschäftsfeld Automotive richtet sich an Hersteller von Fahrzeugen sowie deren Zulieferindustrie. Neben dem allgegenwärtigen Kostendruck und dem Zwang zur klaren Produktdifferenzierung steht die Automobilindustrie vor allem vor der Herausforderung, die Umweltverträglichkeit ihrer Produkte permanent zu verbessern. Leichtbau und Mischbauweisen mit neuen Materialien sind Lösungsansätze dazu. Die »Elektrifizierung des Antriebsstrangs« und der »Einsatz von Mischbauweisen« zur Verbesserung von Isolation, Crashverhalten und Gewichtsreduktion werden im Geschäftsfeld Automotive fokussiert.

## Energie und Umwelt

Das Geschäftsfeld Energie und Umwelt adressiert Unternehmen, die mit Energieverteilung, -speicherung und -wandlung wichtige Beiträge für eine ressourcenschonende und stabile Energieversorgung liefern. Die angestrebte Effizienzsteigerung bei der Nutzung von elektrischer und thermischer Energie in den Bereichen Gebäude, Verkehr und Produktion ist in vielen Branchen eine ständige Herausforderung. Mit seinen Kompetenzen zu wasserstoff-, strom- und wärmespeichernden Materialien und Komponenten, den Formgebungsverfahren und der Beschichtungstechnik bietet das Fraunhofer IFAM vielfältige Lösungsansätze.

## Medizintechnik und Life Sciences

Im Geschäftsfeld Medizintechnik und Life Sciences bearbeitet das Fraunhofer IFAM technische oder biologische Werkstoffe, die in Wechselwirkung mit dem Menschen oder der Umwelt stehen. Dabei wird die vollständige Prozesskette abgedeckt, angefangen von maßgeschneiderten Werkstoffen und Werkstoffkombinationen über die Fertigungstechnik und Oberflächenfunktionalisierung bis hin zur vollständigen Charakterisierung des Produkts. Das Fraunhofer IFAM verfügt über spezifisches Wissen im Bereich der biologischen Beurteilung von Medizinprodukten gemäß DIN EN ISO 10993 und hat zur beschleunigten Produkteinführung essenzielle Prüfungen dieser Norm am Standort Bremen etabliert.

DAS INSTITUT IM PROFIL



# ARBEITSGEBIETE UND ANSPRECHPARTNER

## INSTITUTSLEITUNG

- Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Busse (geschäftsführend)
- Prof. Dr. Bernd Mayer

## INSTITUTSBEREICH FORMGEBUNG UND FUNKTIONSWERKSTOFFE

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

## INSTITUTSTEIL DRESDEN

- Prof. Dr.-Ing. Bernd Kieback  
Telefon +49 351 2537-300  
bernd.kieback@ifam-dd.fraunhofer.de

## INSTITUTSBEREICH KLEBTECHNIK UND OBERFLÄCHEN

- Prof. Dr. Bernd Mayer  
Telefon +49 421 2246-401  
bernd.mayer@ifam.fraunhofer.de

## ADHÄSIONS- UND GRENZFLÄCHENFORSCHUNG

Dr. Stefan Dieckhoff  
Telefon +49 421 2246-469  
stefan.dieckhoff@ifam.fraunhofer.de  
→ [www.ifam.fraunhofer.de/grenzflaechen](http://www.ifam.fraunhofer.de/grenzflaechen)

- Oberflächen- und Nanostrukturanalytik
- Korrosionsschutz und Elektrochemie
- Numerische Materialsimulation
- Qualitätssicherung – Überwachung von Oberflächen- und Verbundeigenschaften
- Entwicklung kundenspezifischer Inspektionsverfahren
- Physikalisch-chemische Analysen von Grenzflächen und Werkstoffeigenschaften
- Nasschemische Oberflächenvorbehandlung
- Akkreditiertes Korrosionsprüflabor
- Schadensanalysen

## ANERKANNTE STELLE DIN 6701/ ZERTIFIZIERUNGSSTELLE KLEBEN

Dipl.-Ing. (FH) Frank Stein  
Telefon +49 421 2246-655  
frank.stein@ifam.fraunhofer.de  
→ [www.ifam.fraunhofer.de/DIN6701](http://www.ifam.fraunhofer.de/DIN6701)

- Informationen zur DIN 6701 («Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen») und zur DIN 2304 («Qualitätsanforderungen an Klebprozesse»)
- Durchführung von Auditierungen und Zertifizierungen gem. DIN 6701
- Mitglied im Arbeitskreis Kleben DIN 6701

### AUTOMATISIERUNG UND PRODUKTIONSTECHNIK

Dr. Dirk Niermann

Telefon +49 4141 78707-101

dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/stade](http://www.ifam.fraunhofer.de/stade)

- Automatisierte Montage von Großstrukturen bis in den 1:1-Maßstab
- Sensorgeführte mobile Roboter mit hoher Positioniergenauigkeit
- Fügetechnik (Kleben, Shimmen, Dichten)
- Bearbeitungstechnik (Fräsen, Bohren, Wasserstrahlschneiden)
- Automatisierungsgerechte Bauteilaufnahme
- Form- und Lagekorrektur von Großbauteilen
- Trennmittelfreie Herstellung von Faserverbundbauteilen
- Herstellung prototypischer Bauteile und Strukturen
- Entwicklung von Anlagen und Anlagenkomponenten

### BUSINESS DEVELOPMENT

Prof. Dr. Bernd Mayer

Telefon +49 421 2246-401

bernd.mayer@ifam.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/netzwerker](http://www.ifam.fraunhofer.de/netzwerker)

- Ansprechpartner für Gestaltung und Beantragung europäischer Forschungsprojekte
- Mitarbeit und Mitgestaltung in regionalen, nationalen und internationalen Branchennetzwerken
- Koordination von Großprojekten
- Ansprechpartner für Großunternehmen

### CHEMIE DER FASERVERBUNDKUNSTSTOFFE

Dr. Katharina Koschek

Telefon +49 421 2246-698

katharina.koschek@ifam.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/durocycle](http://www.ifam.fraunhofer.de/durocycle)

- Kontrollierte Polymerisationen
- Grenzflächenreaktionen
- Neuartige Matrixsysteme
- Biobasierte Faserverbundkunststoffe
- Reversible Reaktionen

### ELEKTRISCHE ANTRIEBE

Dipl.-Ing. Felix Horch

Telefon +49 421 2246-171

felix.horch@ifam.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/ea](http://www.ifam.fraunhofer.de/ea)

- Entwicklung, Auslegung und Simulation elektrischer Antriebe
- Regelung, Steuergeräte- und Softwareentwicklung
- Prototypenfertigung für elektrische Antriebe
- Prüfung von Komponenten und Antrieben
- Fahrzeugintegration

### ELEKTRISCHE ENERGIESPEICHER

Dr.-Ing. Julian Schwenzel  
 Telefon +49 441 36116-262  
 julian.schwenzel@ifam.fraunhofer.de  
 → [www.ifam.fraunhofer.de/ees](http://www.ifam.fraunhofer.de/ees)

- Batterie-Zellchemie
- Pastenentwicklung und Elektrodenherstellung
- Zellenbau und Design für
  - Lithium-Ionen-Batterien
  - Metall-Luft-Batterien
  - Festkörperbatterien
- In-situ-Analytik

### ENERGIESYSTEMANALYSE

Prof. Dr. Bernd Günther  
 Telefon +49 421 2246-7025  
 bernd.guenther@ifam.fraunhofer.de  
 → [www.ifam.fraunhofer.de/esa](http://www.ifam.fraunhofer.de/esa)

- Analysen, Potenzialstudien und Beratung zu:
- Energieversorgung und Klimaschutz
  - Energieeffiziente Gebäude und Quartiere
  - Kraft-Wärme-Kopplung
  - Leitungsgebundene Wärmeversorgung
  - Digitale Wärmebedarfskarten
  - Energieeffizienz in Werkstoff-/Prozesstechnik
  - Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen
  - Wohnungswirtschaft und Elektromobilität
  - Systemintegration stationärer mobiler Speicher

### ENERGIE UND THERMISCHES MANAGEMENT

Prof. Dr.-Ing. Jens Meinert  
 Telefon +49 152 56608698  
 jens.meinert@ifam-dd.fraunhofer.de  
 → [www.ifam.fraunhofer.de/etm](http://www.ifam.fraunhofer.de/etm)

- Effiziente Speicherung von Wärme und Kälte
- Entwicklung von Hochleistungs-Latentwärmespeichern
- Optimierung von Wärmetransportvorgängen
- Zellulare Metalle in kompakten Wärmeübertragern
- Strukturierung von Verdampferoberflächen
- Thermomanagement Wärme erzeugender Bauteile
- Werkzeugtemperierung
- Mathematische Modellierung des Wärmetransportes
- Simulation von Schmelz- und Erstarrungsvorgängen
- Messung thermischer Stoff- und Transportgrößen

### FRAUNHOFER-Projektzentrum WOLFSBURG

Dr.-Ing. Torben Seemann  
 Telefon +49 421 2246-126  
 torben.seemann@ifam.fraunhofer.de  
 → [www.ifam.fraunhofer.de/wolfsburg](http://www.ifam.fraunhofer.de/wolfsburg)

- Funktionsintegrierter Leichtbau im Automobil
- Textile Fertigungskette
- Hybridisierung mit metallischer Matrix
- E-Fahrzeugkomponenten

### FUNCTIONAL PRINTING

Dr. Volker Zöllmer

Telefon +49 421 2246-114

volker.zoellmer@ifam.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/printing](http://www.ifam.fraunhofer.de/printing)

- Gedruckte Elektronik
- Aufbau- und Verbindungstechnik
- Sensorintegration
- Verdruckbare Tinten und Pasten
- (Nano-)Komposite und Funktionswerkstoffe
- Energy Harvesting
- Funktionsintegration
- Digitale Fertigung
- Teilautomatisierte Fertigung

### GIESSEREITECHNOLOGIE

Dipl.-Ing. Franz-Josef Wöstmann MBA

Telefon +49 421 2246-225

franz-josef.woestmann@ifam.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/gt](http://www.ifam.fraunhofer.de/gt)

- Druckguss (Aluminium, Magnesium, Zink) mit Kalt- und Warmkammer
- Lost-Foam-Verfahren
- Niederdruckguss (Alu., Kupfer, Eisen, Stahl, Salze)
- Feinguss
- Entwicklung von Kernmaterialien (Salzkerne, verlorene Kerne, komplexe Geometrien)
- Funktionsintegration/CAST<sup>TRONICS</sup>®
- Bauteilkennzeichnung (individuelle Kennzeichnung als Basis für Industrie 4.0)
- Verbund-/Hybridguss (Hybridvarianten aus Metall- und Fasermaterialien)
- Topologieoptimierung/Leichtbau

### KLEBSTOFFE UND POLYMERCHEMIE

Prof. Dr. Andreas Hartwig

Telefon +49 421 2246-470

andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/klebstoff](http://www.ifam.fraunhofer.de/klebstoff)

- Formulierung von Klebstoffen
- Matrixharze für Faserverbundkunststoffe
- Charakterisierung von Klebstoffen/ Klebverbindungen
- Neuartige Additive, Polymere und andere Rohstoffe
- Morphologie von Klebstoffen und anderen Duromeren, z. B. Nanokomposite
- Biofunktionale Oberflächen und Bioanalytik
- Klebstoffe für Medizin und Medizintechnik
- Erhöhte Zuverlässigkeit und Produktivität beim Kleben
- Marktberatung Klebstoffe und Klebrohstoffe

## KLEBTECHNISCHE FERTIGUNG

**Dr. Holger Fricke**

Telefon +49 421 2246-637

holger.fricke@ifam.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/ktf](http://www.ifam.fraunhofer.de/ktf)

- Fertigungskonzepte für geklebte Verbindungen
- Auswahl und Charakterisierung von Kleb- und Dichtstoffen
- Fertigungsplanung, Prozessgestaltung und Automatisierung
- Dosier-, Misch- und Applikationstechnik
- Fertigung geklebter Prototypen
- Simulation von Dosierprozessen und Fertigungsabläufen
- Prozess- und Schadensanalyse industrieller Prozesse
- Langzeitbeständigkeit von Kleb- und Dichtverbindungen
- Beschichtung von bahnförmigen Materialien (Klebstoffe, Lacke, funktionelle Materialien)
- Kleben optischer Systeme
- Kleben elektrisch/optisch leitfähiger Kontaktierungen
- Kleben in der Mikrosystemtechnik
- Kleben am Bau

## LACKTECHNIK

**Dr. Volkmar Stenzel**

Telefon +49 421 2246-407

volkmar.stenzel@ifam.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/lack](http://www.ifam.fraunhofer.de/lack)

- Lack-Anwendungstechnik und -Verfahrenstechnik
- Material- und Verfahrensqualifizierung
- Funktionelle Lacke und Beschichtungen (z. B. Anti-Eis-Lacke, Antifouling-Beschichtungen, selbstheilende sowie schmutzabweisende Schichten, Elektroisolierschichten)
- Lackrohstoff-Untersuchungen
- Lackformulierung
- Prüf- und Testverfahren
- Schadensanalysen
- Schulungen

## MATERIALOGRAPHIE UND ANALYTIK

**Dr.-Ing. Andrea Berg**

Telefon +49 421 2246-146

andrea.berg@ifam.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/analytik](http://www.ifam.fraunhofer.de/analytik)

- Schadensanalysen
- Thermische Analysen: Schmelzpunkt, Phasenumwandlungen
- Pulveranalyse: Spez. Oberfläche (BET-Verfahren), Partikelgrößenverteilung
- Metallographie: Schliffe, Härtemessungen, Bildanalyse
- Rasterelektronenmikroskopie
- Focused Ion Beam (FIB)
- Spurenanalyse
- Röntgenographische Phasenanalyse
- Ausbildung zum Werkstoffprüfer

### PLASMATECHNIK UND OBERFLÄCHEN PLATO

Dr. Ralph Wilken

Telefon +49 421 2246-448

ralph.wilken@ifam.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/plato](http://www.ifam.fraunhofer.de/plato)

- Niederdruck-Plasmatechnik
- Atmosphärendruck-Plasmatechnik
- VUV-Excimer-Technik
- Anlagentechnik und -bau
- Neue Oberflächentechnologien
- CVD-Prozesse
- Tribologie
- Funktionsbeschichtungen
- Bahnware/Folientechnologien
- Vorbehandlung, Reinigung, Aktivierung

### SINTER- UND VERBUNDWERKSTOFFE

Dr.-Ing. Thomas Weißgärber

Telefon +49 351 2537-305

thomas.weissgaerber@ifam-dd.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/sw](http://www.ifam.fraunhofer.de/sw)

- Pulvermetallurgische Technologien
- Generative Fertigung (Elektronenstrahlschmelz-technologie, Dispenstechnologie)
- Verbundwerkstoffe, Multimaterialverbunde
- Leichtmetalle
- Werkstoffe für tribologische Anwendungen
- Werkstoffe zur Energieumwandlung (Thermoelektrik) und -speicherung (Supercaps)
- Hochtemperaturwerkstoffe
- Sputter-Targets

### PULVERTECHNOLOGIE

Prof. Dr.-Ing. Frank Petzoldt

Telefon +49 421 2246-134

frank.petzoldt@ifam.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/pt](http://www.ifam.fraunhofer.de/pt)

- Pulverspritzguss
- Pressen und Sintern
- Additive Manufacturing
- Magnetwerkstoffe
- Kompositwerkstoffe
- Metallschäume

### TECHNISCHE QUALIFIZIERUNG UND BERATUNG

Dr.-Ing. Gerald Rausch

Telefon +49 421 2246-242

gerald.rausch@ifam.fraunhofer.de

→ [www.ifam.fraunhofer.de/tqb](http://www.ifam.fraunhofer.de/tqb)

- Technische Weiterbildung Elektromobilität
- FuE Insider –  
Wissens- und Technologietransfer
- Wissensupdate – Management Workshop

## WASSERSTOFFTECHNOLOGIE

Dr. Lars Röntzsch

Telefon +49 351 2537-411

[lars.roentzsch@ifam-dd.fraunhofer.de](mailto:lars.roentzsch@ifam-dd.fraunhofer.de)

→ [www.ifam.fraunhofer.de/h2](http://www.ifam.fraunhofer.de/h2)

- Elektrodenwerkstoffe und Katalysatoren für die Wasserelektrolyse
- Elektrochemische Charakterisierung von Elektroden
- Entwicklung und Testung von Elektrolysezellen
- Metallhydride zur reversiblen H<sub>2</sub>-Speicherung, H<sub>2</sub>-Reinigung und H<sub>2</sub>/D<sub>2</sub>-Isotopentrennung
- Fertigungstechniken zur Produktion von Metallhydriden
- Entwicklung und Testung von Hydridreaktoren
- Integration von Hydridreaktoren in H<sub>2</sub>-Energiesysteme
- Hydrolysereaktionen zur H<sub>2</sub>-Erzeugung von H<sub>2</sub>-on-Demand-Lösungen
- Wasserstoffversprödung zur Pulverherstellung
- Recyclingtechnologien für Seltenerd-haltige Werkstoffe (Magnete, Prozessabfälle etc.)
- Umfassende Analytik von H<sub>2</sub>-Feststoff-Reaktionen

## WEITERBILDUNG UND TECHNOLOGIETRANSFER

Prof. Dr. Andreas Groß

Telefon +49 421 2246-437

[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)

- Weiterbildung Klebtechnik
- Weiterbildung Faserverbundtechnologie
- Qualitätssicherung Klebtechnik
- Qualitätssicherung Faserverbundtechnologie
- Nachwuchsförderung MINT

## WERKSTOFFE UND BAUWEISEN

Dr. Markus Brede

Telefon +49 421 2246-476

[markus.brede@ifam.fraunhofer.de](mailto:markus.brede@ifam.fraunhofer.de)

→ [www.ifam.fraunhofer.de/wb](http://www.ifam.fraunhofer.de/wb)

- Werkstoff- und Bauteilprüfung
- Nachweisführung und Bemessung geklebter Strukturen
- Kleb- und Nietverbindungen: Auslegung, Dimensionierung, Crash- und Ermüdungsverhalten
- Kombination und Optimierung mechanischer Fügeprozesse
- Qualifizierung mechanischer Verbindungselemente
- Faserverbundbauteile, Leicht- und Mischbauweisen
- Akkreditiertes Prüflabor Werkstoffprüfung

## ZELLULARE METALLISCHE WERKSTOFFE

Dr.-Ing. Olaf Andersen

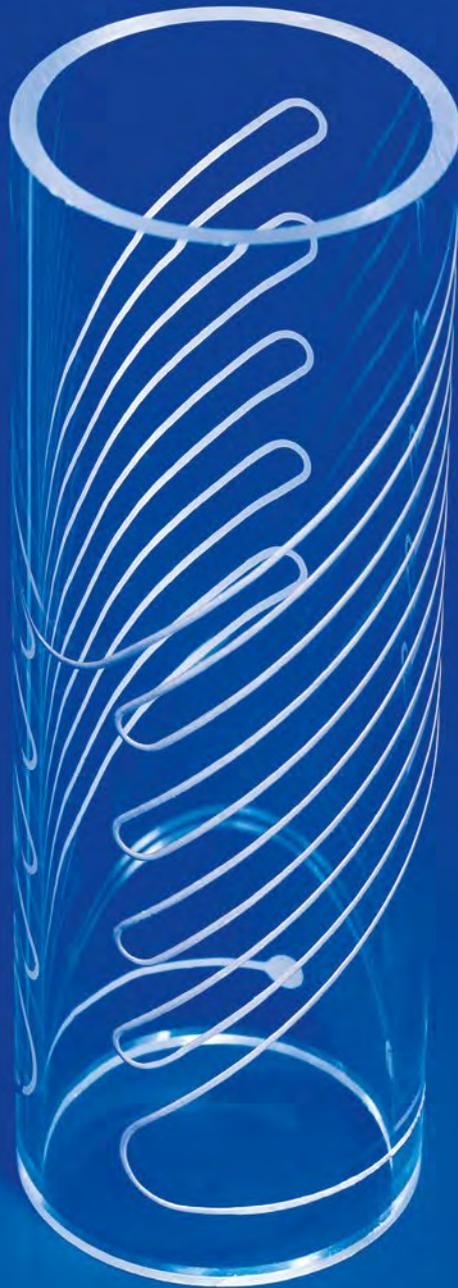
Telefon +49 351 2537-319

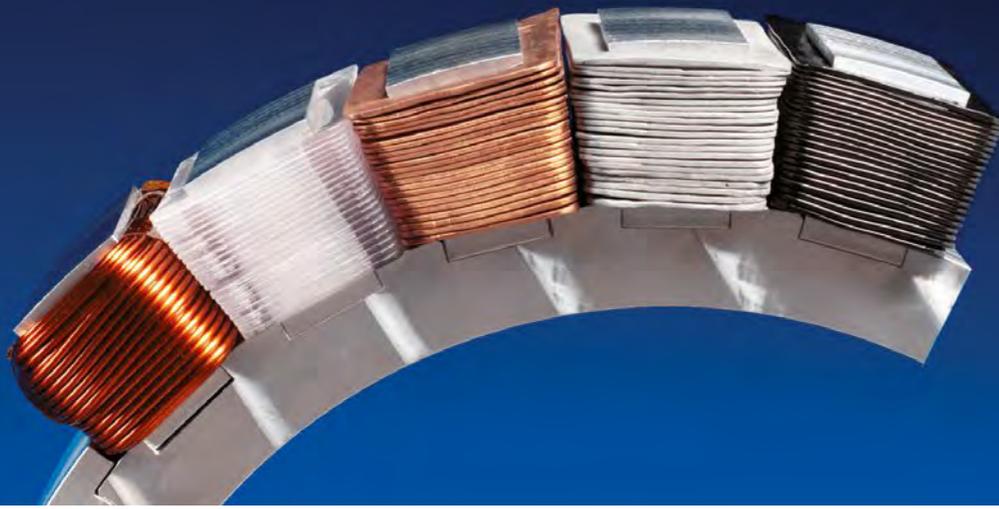
[olaf.andersen@ifam-dd.fraunhofer.de](mailto:olaf.andersen@ifam-dd.fraunhofer.de)

→ [www.ifam.fraunhofer.de/zmw](http://www.ifam.fraunhofer.de/zmw)

- Zellulare Metalle aus beliebigen Sonderwerkstoffen
- Generative Bauteilfertigung mit 3D-Siebdruck
- Offenzellige Faserstrukturen, Schwämme
- Hohlkugelstrukturen und Präzisions-Hohlkugeln
- Verstärkung von Gussbauteilen mit 3D-Drahtstrukturen
- Hochleistungs-Schwingungsdämpfung
- Hochleistungs-Wärmespeicher
- Degradierbare metallische Implantatwerkstoffe
- Schmuck und Design
- Katalyse und Filtration
- Funktionelle Oberflächenbeschichtung mit polymerabgeleiteten Keramiken

DAS INSTITUT IM PROFIL





# FORMGEBUNG UND FUNKTIONSWERKSTOFFE

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 setzt eine stetige Erweiterung der Wissensbasis und der Methodenkompetenz voraus. Deshalb hat der kontinuierliche Ausbau von spezifischen Kompetenzen und Know-how im Institutsbereich Formgebung und Funktionswerkstoffe des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM einen hohen Stellenwert.

Ein Arbeitsschwerpunkt liegt dabei auf den modernen, pulverbasierten Fertigungsverfahren wie dem Metallpulverspritzguss und der additiven Fertigung, die in der Industrie zunehmend Anwendung bei der Herstellung von geometrisch anspruchsvollen Bauteilen aus zahlreichen metallischen Legierungen finden. Insbesondere bei der additiven Fertigung bietet das Fraunhofer IFAM ein breites Spektrum von Anlagentechnik sowohl für binderlose Verfahren wie Selective Laser Melting und Electron Beam Melting als auch für den binderbasierten 3D-Druck. Die Qualifizierung der für das Additive Manufacturing verwendeten Pulver wird mit modernsten Mess- und Analysemethoden vorangetrieben.

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 Faserverbundwerkstoffen.

Für das »Functional 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. Die robotergestützte Fertigungsstraße für die Funktionalisierung von Bauteilen und Oberflächen ist ein weiterer wichtiger Schritt bei der Umsetzung und Einführung von Sensorintegration mittels Drucktechniken in die automatisierte industrielle Produktion.

Mit modernster Gießereieinrichtung und Analytik sowie einem umfassenden Know-how zur Verarbeitung von Metalllegierungen in verschiedenen Gießverfahren hat sich das Fraunhofer IFAM zukunftsweisend im Markt positioniert. Das Gießerei-

- 1 Mittels Dispensverfahren funktionalisierter Zylinder.
- 2 Demonstrator zum Vergleich einer gewickelten Spule, eines Rapid-Prototyping Modells sowie drei gegossener Spulen.

technikum beinhaltet die Gießverfahren Druckguss, Niederdruckguss sowie Feinguss und – einzigartig in Europa – eine komplette Lost-Foam-Anlagentechnik.

Für den Einsatz zellulärer metallischer Werkstoffe in modernen Produkten werden maßgeschneiderte Lösungen für unterschiedliche Anwendungen erarbeitet und damit das Prozesswissen kontinuierlich erweitert. Das eigene Themenportfolio wird konsequent mit den Bedürfnissen des Marktes abgeglichen, woraus neue technologische Herausforderungen abgeleitet werden. Hierbei spielen Fragen der Produktinnovation unter strikten wirtschaftlichen Randbedingungen eine genauso wichtige Rolle wie der Beitrag der Forschungsergebnisse zur Verbesserung der Lebensqualität und einer nachhaltigen Entwicklung für die Bereiche Transport, Medizin, Energie und Umwelt. Werkstoffeigenschaften und Technologien für strukturelle und funktionelle Anwendungen werden maßgeschneidert und charakterisiert. Hierzu werden Hochleistungswerkstoffe, Verbundwerkstoffe, Gradientenwerkstoffe und Smart Materials weiterentwickelt sowie Fertigungstechnologien zur Integration der Eigenschaften in Komponenten erarbeitet.

Die Vertiefung der Werkstoffkompetenz in den speziellen Bereichen der Funktionswerkstoffe wie z. B. Magneten, den Thermal-Management-Materialien, thermoelektrischen und magnetokalorischen Werkstoffen sowie Nanokompositen eröffnet unseren Kunden neue Chancen für Produktentwicklungen.

Für Entwicklung, Aufbau und Erprobung von Komponenten für Elektrofahrzeuge und deren Integration in Systeme umfasst das Angebot die Untersuchung und Bewertung von Elektromotoren, Leistungsumrichtern, Steuerungssystemen und Traktionsbatterien. Dazu gehört auch die Charakterisierung von Dauerlaufeigenschaften elektrischer Antriebssysteme anhand von standardisierten bzw. realen Fahrzyklen. Darüber hinaus wird das Angebot um die Entwicklung und Erprobung neuartiger Wasserstoffspeicher und deren Integration in brennstoffzellenbasierte Energie- und Antriebssysteme erweitert.

Im Bereich der elektrischen Energiespeicher liegt neben den Li-Ionen- und Metall-Luft-Batterien der Fokus zunehmend auf Festkörperbatterien, bei denen anstelle flüssiger Elektrolyte ionenleitende Keramiken, Polymere oder Komposite eingesetzt werden. Diese bieten insbesondere unter den Aspekten Sicherheit und Energiedichte entscheidende Vorteile. Hier kommen die werkstoff- und fertigungstechnischen Kompetenzen des Fraunhofer IFAM für die benötigte Material- und Prozessentwicklung voll zur Geltung.

Des Weiteren werden die Themen erneuerbare Energien, energieeffiziente Gebäude sowie leitungsgebundene Energieversorgung unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und der Energiespeicher adressiert. Einen bereichsübergreifenden Baustein in diesem Konzept stellt die Analyse und Bewertung der Wirtschaftlichkeit von komplexen Energiesystemen dar – auch unter Einbindung von Elektrofahrzeugen als mobile Stromspeicher.

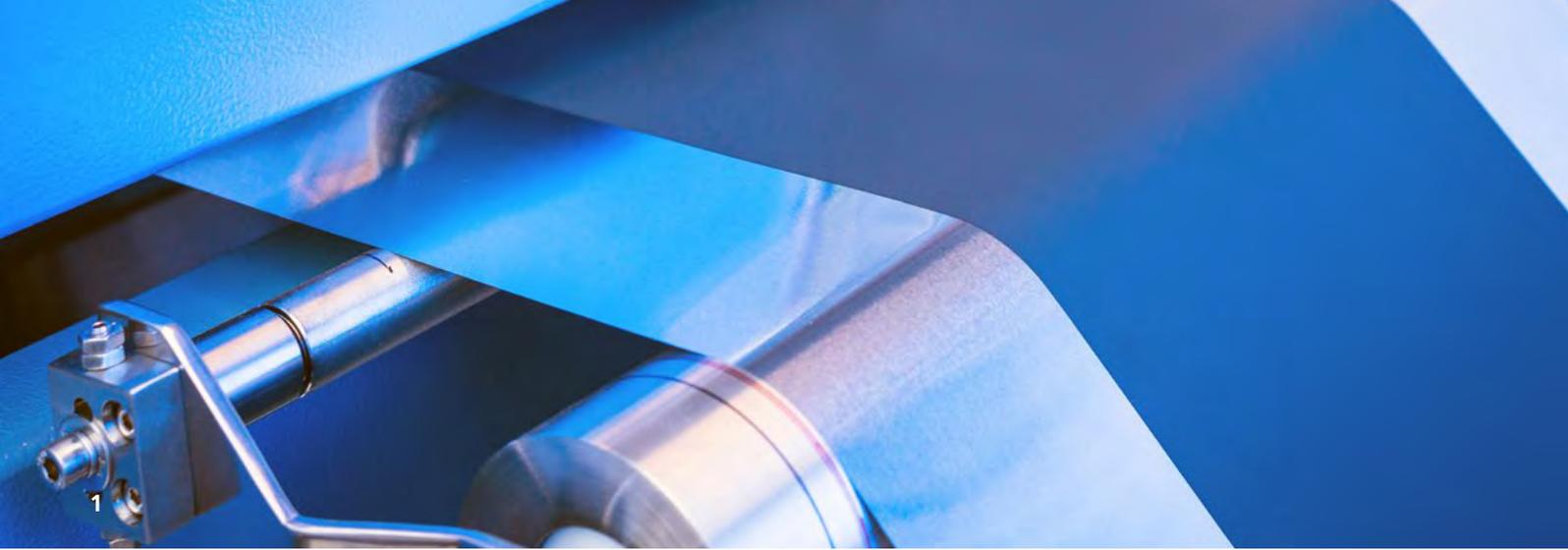
Unser Angebot an technischer Weiterbildung und Beratung sowie an Schulungen, die an individuelle Kundenbedürfnisse angepasst sind, wird kontinuierlich erweitert.

---

### Perspektiven

---

Fortschritte in der Materialentwicklung und Produktionstechnik sind nach wie vor ein wichtiger Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie. Hierzu verfolgt das Fraunhofer IFAM vielseitige Ansätze in den verschiedensten Themengebieten. Im Fraunhofer Leitprojekt »Kritikalität seltener Erden« wird anhand zweier Fallbeispiele von Permanentmagneten in Elektromotoren demonstriert, wie der spezifische primäre Bedarf an schweren Seltenen-Erden-Elementen halbiert bzw. diese später komplett ersetzt werden können.



In einem zweiten Fraunhofer-Leitprojekt »Go Beyond 4.0« unter der Federführung des Fraunhofer ENAS befassen sich neben dem Fraunhofer IFAM noch vier weitere Institute mit den Möglichkeiten, Produkte aus der Massenfertigung mittels Integration von Drucktechniken und Laserbearbeitung in den Fertigungsprozess zu individualisieren.

Im Rahmen des Projektes »Harvest« der Fraunhofer-Zukunftsstiftung wird gemeinsam mit dem Fraunhofer ISE an der Entwicklung und Optimierung metallischer Wärmeübertragungsstrukturen auf der Basis von zellularen metallischen Werkstoffen und metallischen Faserstrukturen gearbeitet. In einem weiteren Projekt der Fraunhofer-Zukunftsstiftung mit Namen »IFEM« befasst sich das Fraunhofer IFAM gemeinsam mit dem Fraunhofer IWU mit der großangelegten industriellen Fertigung gieß- und umformtechnisch hergestellter Spulen.

Das Fraunhofer IFAM ist darüber hinaus in den Auf- und Ausbau eines Forschungs- und Industriernetzwerkes für magnetokalorische Systeme involviert.

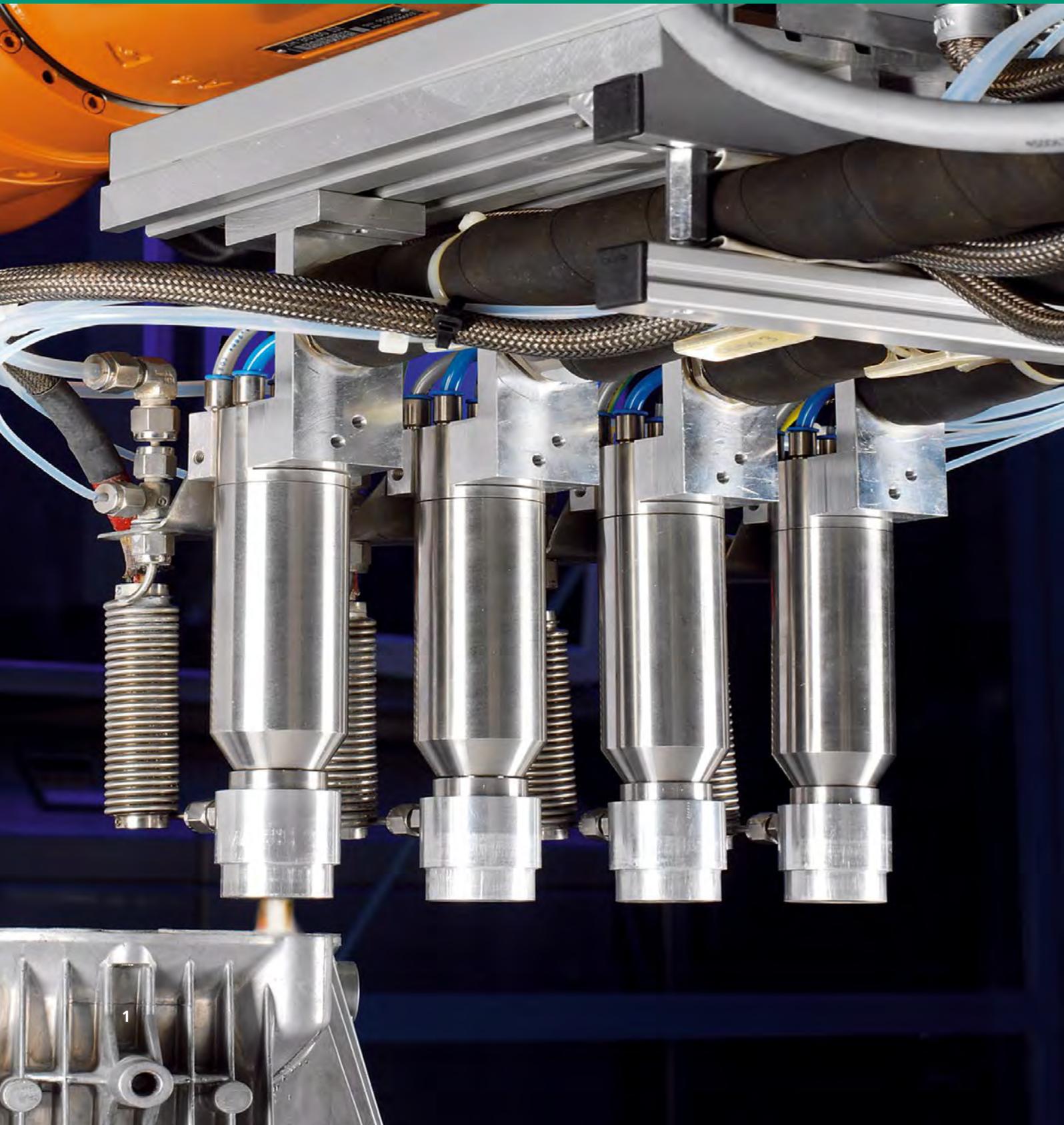
Auch dem enormen Interesse der Industrie an additiven Fertigungstechnologien wird am Fraunhofer IFAM weiter Rechnung getragen. Das am Institut bestehende Technikum wird laufend sowohl räumlich als auch anlagentechnisch erweitert und damit die Qualifizierung von additiven Fertigungstechnologien auch für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt ermöglicht.

## Arbeitsschwerpunkte

- Werkstoffentwicklung und -modifikation: metallische Werkstoffe, Strukturwerkstoffe, Funktionswerkstoffe, Werkstoffverbunde, zelluläre Werkstoffe, Thermal-Management, Thermoelektrik, Kompositwerkstoffe, Magnetwerkstoffe
- Pulvermetallurgische Technologien: Spezialsinterverfahren, Metal Injection Molding, additive Fertigungstechnologien
- Gießereitechnologien: Druckguss, Feinguss, Lost-Foam-Verfahren
- Funktionalisierung von Bauteilen: Sensorik, Aktorik, Nano- und Mikrostrukturierung
- Werkstoffanalytik und Materialographie
- Entwicklung und Aufbau von elektrischen Komponenten und deren Integration in Systeme, Prüfung von Komponenten des elektromotorischen Antriebsstrangs
- Material- und Prozessentwicklung für neuartige Energiespeicher: nanostrukturierte Elektroden, Fertigung von Zellkomponenten, Batteriemesstechnik, elektrochemische Analyse
- Wasserstofftechnologie
- Erprobung und Untersuchung von Ladeinfrastrukturen für Elektromobilität, technische Weiterbildung/Lehrgänge – national und international
- Energieeffiziente Gebäude, Wärme- und Stromnetze
- Kraft-Wärme-Kopplung

1 *Rolle-zu-Rolle Beschichtungsanlage – Schichtdickenmessung der fertigen Elektrode.*

DAS INSTITUT IM PROFIL



# KLEBTECHNIK UND OBERFLÄCHEN

Der Bereich Klebtechnik und Oberflächen des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM ist die größte unabhängige Forschungseinrichtung auf dem Gebiet der industriellen Klebtechnik mit mehr als 300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Im Mittelpunkt stehen anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Klebtechnik, Oberflächentechnik und Faserverbundtechnologie. Hauptziel ist es, Systemlösungen mit und für die Industrie zu erarbeiten.

Neuartige Entwicklungen im Bereich der Werkstoffe und Fügeverfahren erfordern dauernd neue technische Wege, die vom Bereich Klebtechnik und Oberflächen realisiert und erforscht werden, um Kunden Lösungen anbieten zu können. Die Aktivitäten der Wissenschaftler des Bereichs reichen von der Grundlagenforschung über die Fertigung bis zur Markteinführung neuer Produkte gemeinsam mit Kooperationspartnern. Industrielle Einsatzfelder sind überwiegend der Transportmittelbau – Luft, Straße, Schiene, Wasser – sowie dessen Zulieferer, die Energietechnik, die Baubranche, die Verpackungs-, Textil- und Elektroindustrie sowie die Mikrosystem- und Medizintechnik.

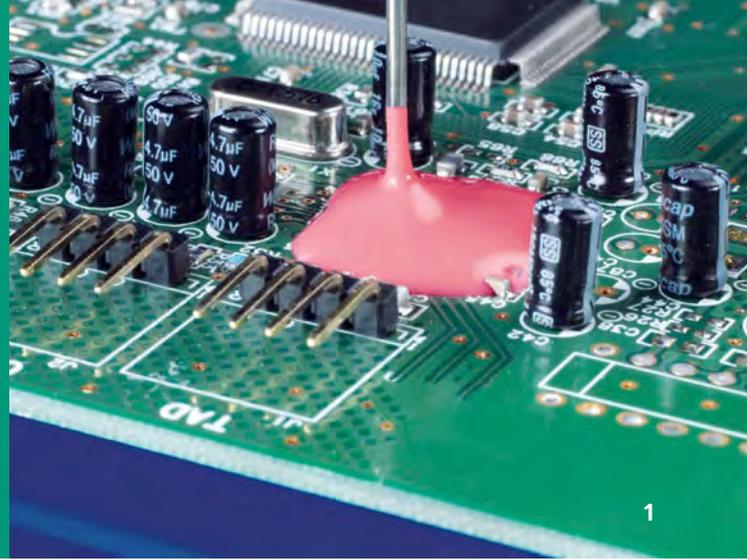
Die Kernkompetenz »Klebtechnik« umfasst die Entwicklung und Charakterisierung von Klebstoffen, die beanspruchungsgerechte konstruktive Auslegung und Simulation von Kleb- und Hybridverbindungen sowie deren Charakterisierung, Prüfung und Qualifizierung. Planung und Automatisierung der industriellen Fertigung sowie Prozess-Reviews. Das Profil des Bereichs wird durch ein überbetriebliches, international anerkanntes und zertifizierendes Weiterbildungsangebot abgerundet, das sich an Betriebe richtet, die die Klebtechnik und Faserverbundtechnologie einsetzen.

Die Kernkompetenz »Oberflächentechnik« umfasst die Gebiete Plasmatechnik, Lacktechnik sowie Adhäsions- und Grenzflächenforschung. Maßgeschneiderte Oberflächenmodifizie-

rungen – wie Oberflächenvorbehandlungen und funktionelle Beschichtungen – erweitern das industrielle Einsatzspektrum vieler Werkstoffe deutlich oder machen deren technische Verwendung überhaupt erst möglich. Die Optimierung der Langzeitbeständigkeit von Klebverbindungen und Beschichtungen inklusive der Früherkennung von Degradations- und Korrosionserscheinungen sowie der Validierung von Alterungsprüfungen und der prozessintegrierten Oberflächenkontrolle stehen im Fokus. Die Forschungsarbeiten zur Alterung und Oberflächenvorbehandlung sind für die Klebtechnik und für Beschichtungen von hoher Relevanz – so werden Klebverbindungen und Beschichtungen sicherer und zuverlässiger.

Mit der Abteilung Automatisierung und Produktionstechnik im Forschungszentrum CFK NORD in Stade baut das Fraunhofer IFAM seine Aktivitäten hinsichtlich der Großstrukturen aus faserverstärkten Kunststoffen zukunftsweisend aus – Fügen, Montieren, Bearbeiten, Reparieren und zerstörungsfreies Prüfen solcher Großstrukturen im 1:1-Maßstab. Dadurch wird in der Kernkompetenz »Faserverbundwerkstoffe« die Lücke zwischen Labor- bzw. Technikumsmaßstab und industrieller Anwendung geschlossen. Die bereits genannten Aspekte der

- 1 *Mehrfach-Düsentool zur flächigen Beschichtung von Bauteilen durch Atmosphärendruck-Plasma.*
- 2 *Zum Schneiden von Granit geeignetes Stammbrett mit angeklebten Schneidsegmenten.*



Klebtechnik, Plasmatechnik, Lacktechnik, Adhäsions- und Grenzflächenforschung sind weitere wesentliche Elemente dieser Kernkompetenz. Sie wird ergänzt durch das Know-how zur Matrixharzentwicklung, zur Faser-Matrix-Haftung bis hin zur Dimensionierung von Verbindungen.

Der gesamte Institutsbereich Klebtechnik und Oberflächen ist nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert, die Prüflaboratorien Werkstoffprüfung, Korrosionsprüfung und Lacktechnik sind zusätzlich nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert. Das Weiterbildungszentrum Klebtechnik ist über DVS-PersZert® als nach DIN EN ISO/IEC 17024 akkreditierte Personalqualifizierungsstelle für die klebtechnische Weiterbildung international anerkannt. Auch das Weiterbildungszentrum Faserverbundwerkstoffe erfüllt die Qualitätsanforderungen der DIN EN ISO/IEC 17024. Die Anerkannte Stelle für die Beurteilung von Betrieben zur Eignung zum Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen nach DIN 6701 wurde erstmalig 2006 durch das seinerzeit zuständige Eisenbahnbundesamt (EBA) anerkannt.

---

## Perspektiven

---

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

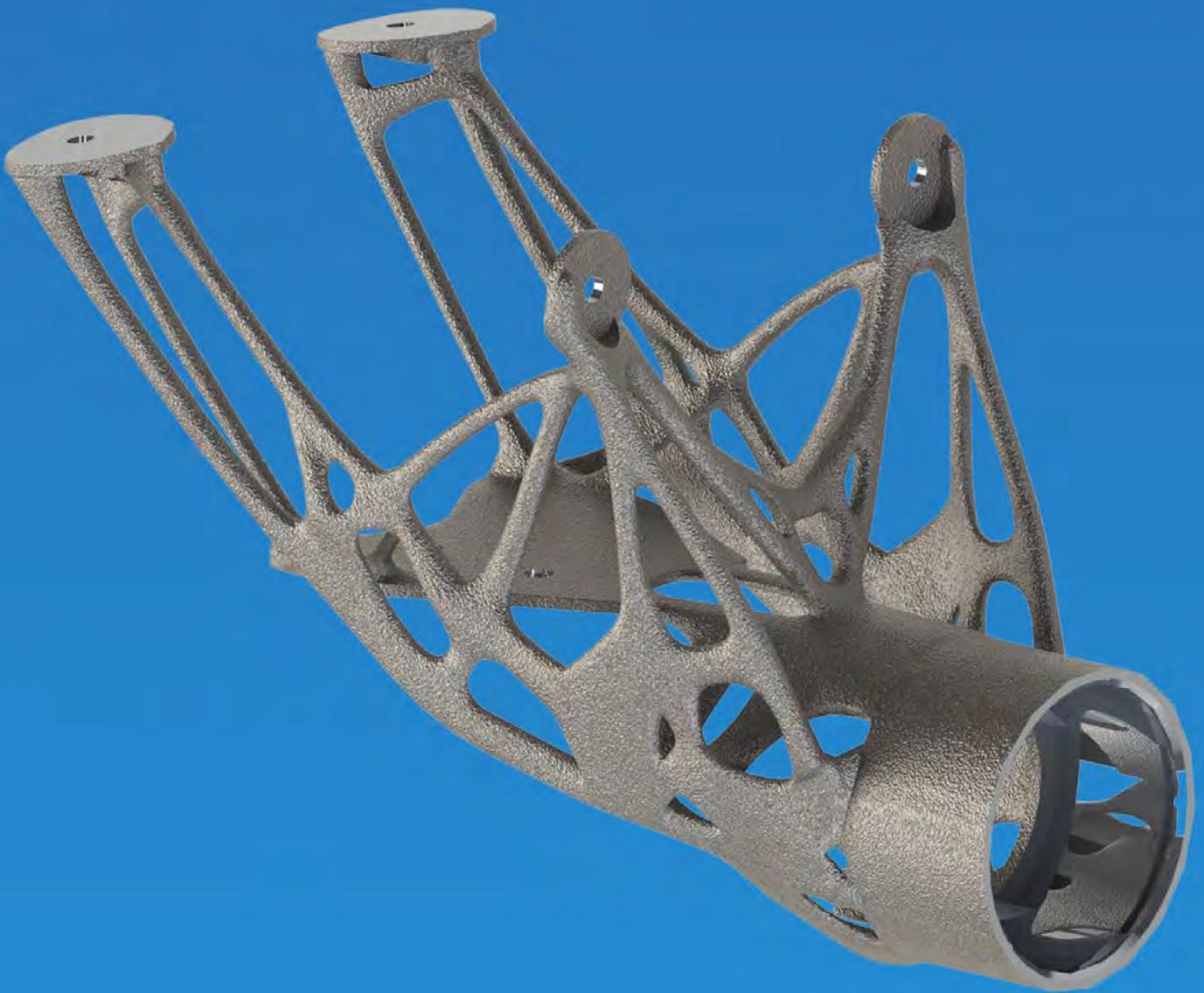
schon länger eingeführte Technologie, deren Potenzial aber bei Weitem noch nicht ausgeschöpft wird. Leichtbau für den ressourcenschonenden Transport, Kleben in der Medizin und der Medizintechnik sowie der Einsatz von nanostrukturierten Materialien bei der Klebstoffentwicklung sind nur einige Beispiele. Um weitere Branchen für die Klebtechnik zu gewinnen, gilt für alle Arbeiten der Anspruch: Der Prozess Kleben und das geklebte Produkt sollen noch sicherer werden! Dieses Ziel lässt sich nur erreichen, wenn alle Stufen der klebtechnischen Fertigung bei der Herstellung von Produkten zusammengefasst und einer ganzheitlichen Betrachtung unterzogen werden. Die neue DIN 2304, welche die Qualitätsanforderungen an Klebprozesse zum Inhalt hat, wird hier in der Klebtechnik neue Impulse setzen. Die Implementierung dieser Norm in der Industrie entwickelt sich zu einem wesentlichen Fokus in den Arbeiten des Institutsbereichs.

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

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

- Synthese, Formulierung und Erprobung neuer Polymere für Klebstoffe, Matrixharze für Faserverbundwerkstoffe, Gießharze und Beschichtungen
- Entwicklung von Zusatzstoffen (Nanofüllstoffe, Initiatoren etc.) für Reaktivpolymere zur Anwendung in Klebstoffen und Matrixharzen
- Biomimetische Konzepte in der Kleb- und Oberflächentechnik, einschließlich Kleben in der Medizin
- Entwicklung und Qualifizierung klebtechnischer Fertigungsprozesse; rechnergestützte Fertigungsplanung
- Applikation von Kleb-/Dichtstoffen, Vergussmassen (Mischen, Dosieren, Auftragen)
- Entwicklung innovativer Verbindungskonzepte – Kleben, Hybridfügen
- Konstruktive Gestaltung geklebter Strukturen (Simulation des mechanischen Verhaltens geklebter Verbindungen und Bauteile mittels FEM, Prototypenbau)
- Kennwertermittlung, Schwing- und Betriebsfestigkeit von Kleb- und Hybridverbindungen; Werkstoffmodellgesetze für Klebstoffe und polymere Werkstoffe
- Entwicklung umweltverträglicher Vorbehandlungsverfahren und Korrosionsschutzsysteme für das langzeitbeständige Kleben und Lackieren von Kunststoffen und Metallen
- Funktionelle Beschichtungen durch Plasma- und Kombinationsverfahren sowie funktionelle Lacksysteme
- Entwicklung von Spezialprüfverfahren (z. B. Bildung und Haftung von Eis auf Oberflächen, Alterungsbeständigkeit)
- Bewertung von Alterungs- und Degradationsvorgängen in Materialverbunden; elektrochemische Analytik
- Computergestützte Materialentwicklung mit quanten-/molekularmechanischen Methoden
- Automatisierung und Parallelisierung von Prozessen in der Faserverbundtechnologie
- Bearbeitung von Faserverbundwerkstoffen
- Qualitätssicherungskonzepte für kleb- und lacktechnische Anwendungen durch fertigungsintegrierte Analyse von Bauteiloberflächen
- Lehrgänge – national und international – zur/zum European Adhesive Bonder – EAB (Klebpraktiker/-in), European Adhesive Specialist – EAS (Klebfachkraft) und European Adhesive Engineer – EAE (Klebfachingenieur/-in)
- Lehrgänge zur/zum Faserverbundkunststoff-Hersteller/-in (FVK-Hersteller/-in), Faserverbundkunststoff-Instandsetzer/-in (FVK-Instandsetzer/-in), Faserverbundkunststoff-Fachkraft (FVK-Fachkraft) und Lehrgangsmodule zum Fraunhofer-Composite Engineer (ehemals Faserverbund-Fachingenieur)



# KERNKOMPETENZ METALLISCHE SINTER-, VERBUND- UND ZELLULARE WERKSTOFFE

Die Entwicklung von Werkstoffen mit maßgeschneiderten Eigenschaften oder Eigenschaftskombinationen und hierfür geeigneten effizienten Herstellungstechnologien stehen im Mittelpunkt dieser Kernkompetenz des Fraunhofer IFAM. Die Nutzung und gezielte Weiterentwicklung von Sinter- und Formgebungsverfahren sowie additiv generativer Fertigungsverfahren schafft zahlreiche Möglichkeiten zur Herstellung und Optimierung innovativer metallischer Werkstoffsysteme sowie Bauteilgeometrien mit außergewöhnlichen Eigenschaftsprofilen, insbesondere auch durch ihre Kombination in neuartigen Verbundwerkstoffen oder durch ihren Aufbau als hochporöse bzw. zellulare Strukturen.

Im Bereich metallischer und intermetallischer Sinter- und Verbundwerkstoffe für funktionelle und strukturelle Anwendungen verfügt das Fraunhofer IFAM über ein tiefes Verständnis von Gefüge-Eigenschaftsbeziehungen und deren gezielter Optimierung für verschiedene Anwendungen. Die vorhandene komplette pulvermetallurgische Technologiekette von der Pulveraufbereitung und Charakterisierung bis hin zu vielfältigen Formgebungs- und Wärmebehandlungsverfahren wird durch Methoden wie die Rascherstarrung metallischer Schmelzen (Meltspinning und -extraktion) und Spezialsinterverfahren (z. B. Spark-Plasma-Sintern) sowie innovative Ofenanalytik deutlich erweitert.

Das Fraunhofer IFAM verfügt über umfangreiche Kenntnisse zur Legierungs- und Verfahrensentwicklung für die Herstellung von Leichtmetallbauteilen insbesondere aus Aluminium für die Gewichtsreduzierung im Fahrzeugbau. Bei den metallischen Verbundwerkstoffen liegt der Fokus auf Werkstoffentwicklungen für das thermische Management im Elektronikbereich, Reib- und Gleitwerkstoffen für hohe tribologische Beanspruchungen sowie Spezialwerkstoffen für mechanische und korrosive Belastungen im Hochtemperaturbereich (> 800 °C).

Zunehmend an Bedeutung gewinnt die Herstellung und Erprobung von Funktionswerkstoffen zur Energiespeicherung und -umwandlung. Zentrale Themen sind hier neue, insbesondere nanostrukturierte Werkstoffe zur Wasserstoffherzeugung und -speicherung, zur Wärmespeicherung, für effiziente thermoelektrische Generatoren und Superkondensatoren. Einen weiteren Entwicklungsschwerpunkt stellen die zellularen metallischen Werkstoffe dar. Durch die breite Auswahl an Werkstoffen und die gezielt einstellbaren unterschiedlichsten Zell- bzw. Porenstrukturen können verschiedenste anwendungsspezifische Eigenschaften sowie Materialeinsparungen realisiert werden. So werden hochporöse metallische Werkstoffe wie fasermetallurgische Werkstoffe, Hohlkugelstrukturen, offenzellige metallische Schäume, 3D-Siebdruckstrukturen, 3D-Drahtstrukturen oder metallisches Sinterpapier beispielsweise für Schallabsorption, Wärmeisolation, Energieabsorption, mechanische Dämpfung, Stoff- und Energietransport oder die Erzielung katalytischer Effekte eingesetzt und weiterentwickelt.

→ [www.ifam.fraunhofer.de/metallwerkstoffe](http://www.ifam.fraunhofer.de/metallwerkstoffe)

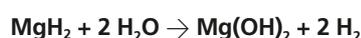


# POWERPASTE – WASSERSTOFF OHNE DRUCKSPEICHER

Die wichtigsten Vorteile von Wasserstoff als Sekundärenergieträger sind lange bekannt. Wasserstoff konnte sich jedoch für viele Anwendungen, beispielsweise für Brennstoffzellenanwendungen im mittleren Leistungsbereich, noch nicht breit am Markt etablieren, weil verfügbare Wasserstoffspeicherlösungen bislang an den Kosten, der technischen Umsetzung oder fehlender Wasserstoffinfrastruktur scheiterten. PowerPaste, eine Neuentwicklung des Fraunhofer IFAM am Dresdner Standort, bietet das Potenzial, dies grundlegend zu ändern.

Bereits seit Langem ist als Alternative zu heute gebräuchlichen Wasserstoffspeichern wie Druck- oder Kryospeichern die Wasserstoffherzeugung durch sogenannte Hydrolysereaktionen bekannt. Die Herausforderungen dieser Technologie bestehen unter anderem in vergleichsweise niedrigen Energiedichten der in der Vergangenheit zur Hydrolyse genutzten Materialien. Problematisch ist jedoch vor allem, dass bei der Wasserstoffherzeugung durch Hydrolyse der benötigte Gesamtwasserstoffbedarf im Vorfeld abgeschätzt werden muss, da das Material mit Wasser stetig zu Wasserstoff abreagiert, wenn beide Komponenten einmal vermischt sind. Außerdem kann prinzipbedingt nur ein vergleichsweise enger, vorher festzulegender Leistungsbereich abgedeckt werden.

Am Fraunhofer IFAM in Dresden wurde erstmals eine neue Technologie entwickelt, die alle drei Probleme löst. Die wichtigste Komponente der Technologie ist die PowerPaste, ein hochenergetisches pastöses Materialgemisch auf Basis von Magnesiumhydrid ( $\text{MgH}_2$ ), das bei Kontakt mit Wasser gemäß der folgenden chemischen Reaktion Wasserstoff freisetzt:



**1** PowerPaste auf Basis von Magnesiumhydrid.

**2** Technologiereifegrad 4-Demonstrator zur Hydrolyse von PowerPaste mit 50 Watt PEM-Brennstoffzelle. Die Abmessungen betragen ca.  $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$ .

Die Freisetzung von Wasserstoff auf diese Weise war in der Vergangenheit so nicht möglich, da Magnesiumhydrid bei Kontakt mit Wasser Passivierungsschichten bildet, die die Reaktionsgeschwindigkeit sehr stark herabsetzen. Erst durch Weiterentwicklung der Technologie am Fraunhofer IFAM ist es gelungen, Magnesiumhydrid für technisch relevante Anwendungen einsetzbar zu machen: Pulverförmiges Magnesiumhydrid wird durch die Zugabe ungiftiger preisgünstiger Additive zunächst so modifiziert, dass die Bildung störender Passivierungsschichten wirkungsvoll unterbunden wird. Im nächsten Schritt wird durch das Zumischen von Estern ein pastöses Material – die sogenannte PowerPaste – hergestellt. Die PowerPaste kann sehr dynamisch mit Wasser reagieren, sodass eine vollständig geregelte Wasserstoffherzeugungsreaktion möglich wird, um eine Brennstoffzelle bedarfsgerecht zu versorgen, die dann direkt elektrischen Strom erzeugt.

Die Machbarkeit funktionsfähiger Stromgeneratoren auf Basis dieser Technologie wurde bereits an einem stationären 50-W-Demonstrator des Technologiereifegrads 4 sowie einem mobilen 300-W-Stromgenerator des Technologiereifegrads 5 nachgewiesen, die beide innerhalb von weniger als einem Jahr am Fraunhofer IFAM entwickelt worden sind. Insgesamt bietet die Technologie ein großes wirtschaftliches Potenzial insbesondere für energiehungrige mobile und portable Brennstoffzellenanwendungen, wie beispielsweise Leichtelektromobilität (z. B. Consumer- und Flotten-E-Bikes) oder Drohnen, aber auch für Notstromsysteme.



1



2

# EFFIZIENTE ENERGIEENTZUG DURCH THERMOELEKTRIK

Energieeffizienzsteigerung, Ressourcenschonung und die Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gehören zu den wichtigen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit. Bei der Energiegewinnung gehen jedoch häufig bis zu 50 Prozent der eingesetzten Primärenergie als Abwärme verloren. Thermo-elektrische Generatoren (TEG) können durch Energierückgewinnung aus dieser Abwärme einen Beitrag zu einer effizienteren und emissionsärmeren Energienutzung leisten.

Die Abwärmenutzung erfolgt nach gegenwärtigem Stand der Technik über Wärmetauscher, Wärmespeicher, Brenner zur Luftvorwärmung oder Wärmepumpen und Kältemaschinen. Im Bereich der Stromerzeugung aus Abwärme stehen der ORC (Organic Rankine Cycle)-Prozess, Dampfturbinen und Stirlingmotoren zur Verfügung. Die Stromerzeugung erfolgt indirekt über Zwischenträgermedien im flüssigen oder gasförmigen Zustand.

TEG hingegen wandeln Abwärme direkt in elektrische Energie um, arbeiten ohne bewegliche Teile, sind geräuschlos, wartungsfrei und können leicht an den jeweils verfügbaren Bauraum angepasst werden, sind also skalierbar. Dadurch bieten sie im Vergleich zu den genannten Technologien deutliche Vorteile und decken ein breiteres Anwendungsspektrum ab.

Das Fraunhofer IFAM entwickelt seit 2007  $n\text{-Mg}_2\text{Si}_{0,4}\text{Sn}_{0,6}$  und  $p\text{-MnSi}_{1,8}$  als thermoelektrische (TE-)Materialien, die aus nicht toxischen Elementen mit großer natürlicher Verfügbarkeit und niedrigem Preis bestehen und bis 550 °C einsetzbar sind. Für TE-Module aus diesen Siliziden werden Wirkungsgrade bis ca. 7 Prozent in der Literatur berichtet. Dies übertrifft die Einsatztemperatur und den Wirkungsgrad kommerziell verfügbarer Module aus Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-basierten Verbindungen (250 °C und ~ 3 Prozent) deutlich. Schwerpunkte der Forschungsaktivitäten am Fraunhofer IFAM sind das Upscaling der Materialherstellung (aktuell bis zu 1 kg Ausgangspulver pro Charge und 0,25 kg pro Sinterkörper) und die Fertigung der TE-Komponenten (TE-Schenkel) in verschiedenen Abmessungen mit

Hinblick auf eine Produktion im industriellen Maßstab. Um die ganze Wertschöpfungskette abzudecken, befindet sich außerdem eine Aufbau- und Verbindungstechnologie zur Modulherstellung aus den Komponenten in der Entwicklung.

Die am Fraunhofer IFAM entwickelten Module aus TE-Silizidchips (Chipdicke nur 0,5 mm) werden im Rahmen eines BMWi-geförderten Projektes zur Energierückgewinnung aus Abwärme in Diesellokomotiven eingebaut.

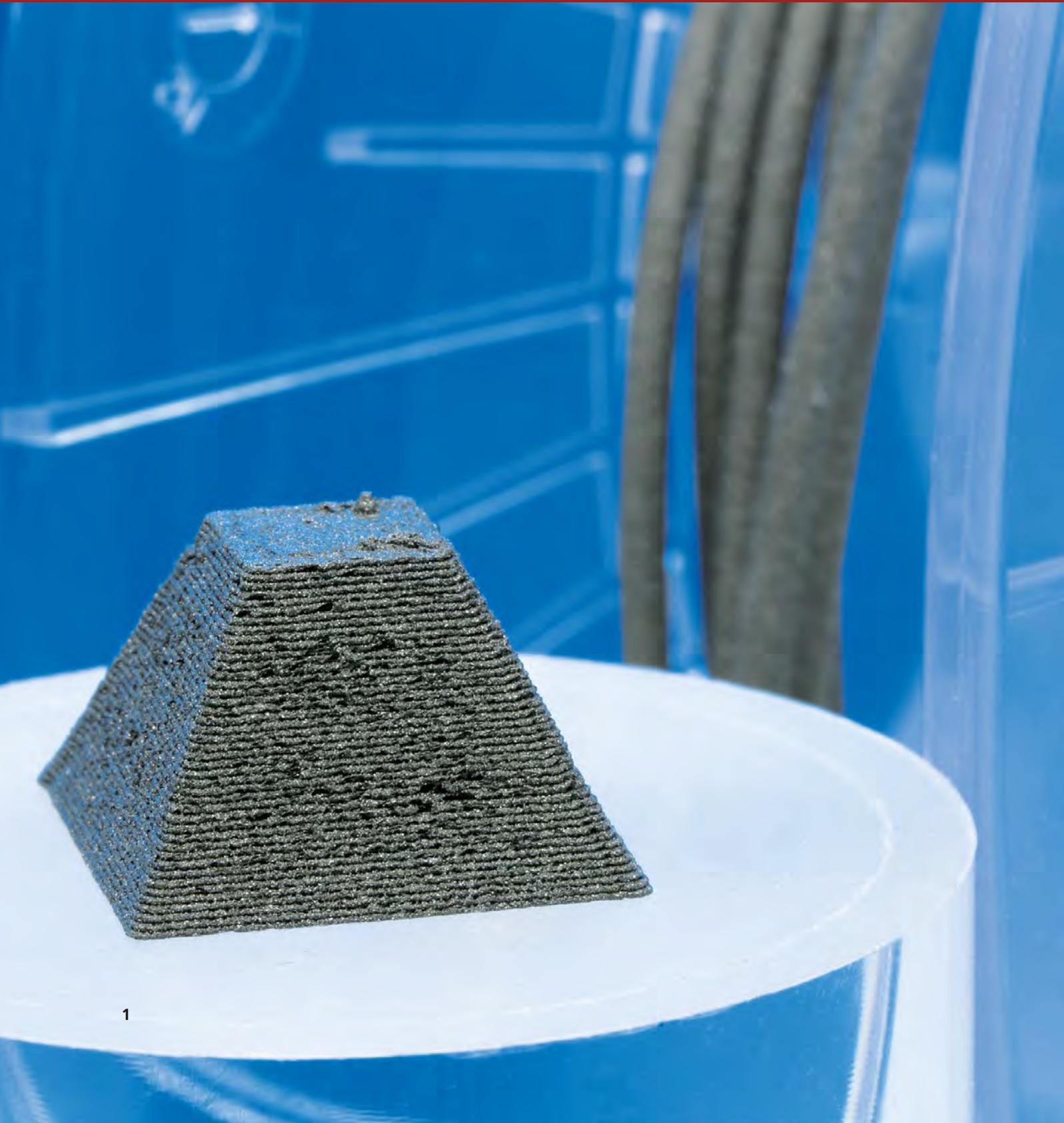
Um Anwender von dieser Technologie zu überzeugen und eine Durchsetzung von TEG am Markt zu erzielen, muss neben den guten Eigenschaften der Materialien eine kosteneffiziente industrielle Herstellung von TE-Modulen in hohen Stückzahlen nachgewiesen werden. Aus diesem Grund soll am Fraunhofer IFAM in Dresden eine teilautomatisierte Fertigungskette für silizidbasierte Module aufgebaut werden, um die bislang hohen Stückkosten erheblich zu reduzieren.

**Auftraggeber:** DFG, BMBF, BMWi, SAB

**Projektpartner:** Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe, FZJ, Universität Tübingen, Universität Hamburg, TU Chemnitz, Fraunhofer IWM, Fraunhofer IPM, Fraunhofer IKT, TU Dresden, Fa. Mahle, Fa. Tenneco, Fa. Curamik, Fa. O-Flexx, Fa. Bombardier

1 *Thermoelektrikmodule aus Silizid-Material.*

2 *Scheiben aus Silizid, 500 µm dick.*



# KERNKOMPETENZ PULVERTECHNOLOGIE

Pulvertechnische Lösungen haben sich seit Langem im industriellen Einsatz bewährt. Ihr wesentlicher Vorteil besteht darin, dass sie als einziger Fertigungsprozess eine maßgeschneiderte Einstellung von Materialeigenschaften und gleichzeitig die Herstellung einer präzisen Geometrie ermöglichen. Die Kernkompetenz Pulvertechnologie am Fraunhofer IFAM umfasst das Prozessverständnis vom Pulver bis zum Bauteil mit den Fragen rund um Werkstoff, Formgebung und Toleranzen, Prozesssicherheit und spezifische Bauteilanforderungen.

Genauere Werkstoffkenntnis ist die Grundlage für erfolgreiche pulvertechnologische Lösungen, denn bereits durch das Mischen von Pulvern können Bauteileigenschaften wie Härte, Zähigkeit, E-Modul, Verschleiß und Wärmedehnung beeinflusst und an die Erfordernisse angepasst werden. Zunehmend spielen neue magnetische Materialien eine wichtige Rolle.

Das umfassende Know-how in unterschiedlichen pulvertechnologischen Formgebungs- und Fertigungsprozessen, insbesondere zu den beiden jeweils wichtigsten Prozessschritten Formgebung und Sintern, bildet die Basis für die Arbeiten innerhalb der Kernkompetenz Pulvertechnologie.

Als wichtiges Formgebungsverfahren hat sich der Metallpulverspritzguss (Metal Injection Molding – MIM) etabliert. Die Experten des Fraunhofer IFAM verfügen über ein tiefgehendes Verständnis der gesamten Prozesskette vom Pulver über Feedstocksysteme und Spritzgießen bis zum gesinterten Bauteil. Das Angebot reicht von der Bauteilentwicklung über die Fertigung von Pilotserien bis zum vollständigen Know-how-Transfer und zur Qualifizierung von Produktionspersonal. Formgebungsprozesse für Spezialprodukte wie Mikro-MIM, Zweikomponenten-MIM und Extrusion ergänzen das Portfolio.

Über langjährige Erfahrung verfügt das Fraunhofer IFAM auch in der additiven Fertigung, bei der Bauteile werkzeuglos aus metallischen Pulvern in nahezu beliebigen und sehr komplexen

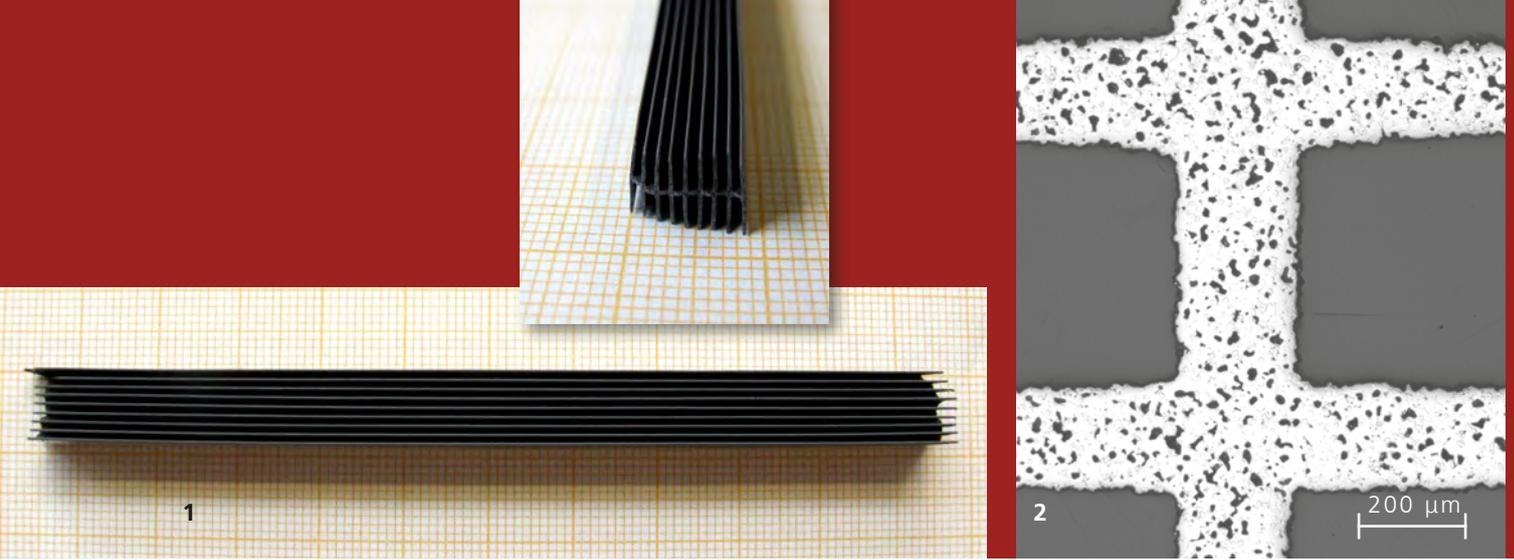
Formen direkt aus 3D-CAD-Daten entstehen. Genutzt werden diese Verfahren inzwischen nicht mehr nur bei der Umsetzung der schnellen Produktentwicklung, sondern vermehrt auch bei der Fertigung hochgradig individualisierter Produkte für den Endanwender. Das Fraunhofer IFAM bietet seine umfangreiche Kompetenz für die drei additiven Verfahren Selective Laser Melting (SLM), Electron Beam Melting (EBM) und 3D Binder Jetting für die gesamte Prozesskette an.

Insbesondere für die Funktionsintegration auf Bauteilen kommt das Functional Printing zum Einsatz. Verschiedene pulverbasierte Printing-Technologien sind darum ebenso Bestandteil der Kernkompetenz. In einer eigens dafür eingerichteten, automatisierten Fertigungsstraße werden die Verfahren im industriellen Maßstab umgesetzt.

Die Kernkompetenz wird abgerundet durch entsprechende unterstützende Technologien. Dazu zählt einerseits die Simulation von Formgebungsprozessen wie auch zur Topologieoptimierung, andererseits die Analytik mit Schwerpunkt auf Pulvercharakterisierung und Rheologie.

→ [www.ifam.fraunhofer.de/pulvertechnologie](http://www.ifam.fraunhofer.de/pulvertechnologie)

1 Leitfähige Spezial-Filamente für den 3D-Druck.



# MAGNETOKALORIK – PULVERMETALLURGISCHE FORMGEBUNG FÜR INNOVATIVE KÜHLTECHNOLOGIE

Magnetokalorische Materialien bieten eine energieeffiziente und treibhausgasfreie Alternative zur Kompressorkühlung. Das Fraunhofer IFAM arbeitet in verschiedenen Projekten an der Etablierung einer pulvermetallurgischen Formgebungstechnologie für diese Materialien, um den Aufbau innovativer magnetokalorischer Kühlsysteme zu ermöglichen. Magnetokalorische Materialien ändern ihre Temperatur, wenn sie einem veränderlichen Magnetfeld ausgesetzt werden. Basierend auf diesem Effekt können Kühlgeräte gebaut werden, die gegenüber der konventionellen Kompressorkühlung theoretisch bis zu 30 Prozent energieeffizienter sind und außerdem ohne klimaschädliche Treibhausgase als Kühlmittel arbeiten.

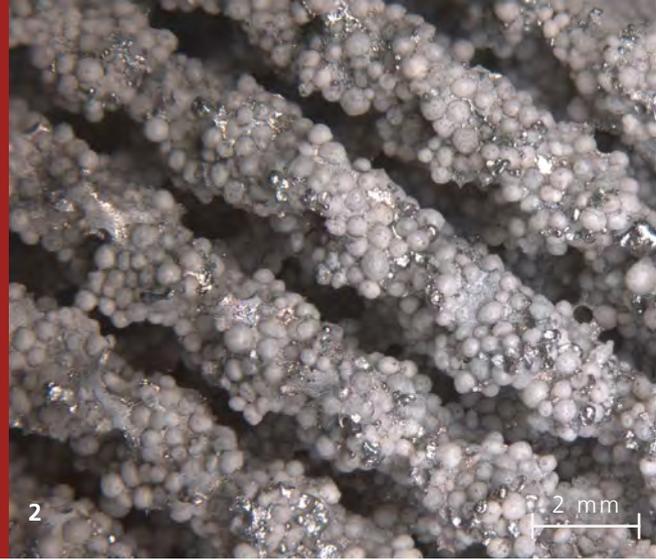
Von zentraler Bedeutung für die Effizienz des Gesamtsystems ist neben einem hohen magnetokalorischen Effekt des Materials auch dessen Formgebung in feine Wärmetauscherstrukturen, da nur so die am Material entstehende Wärme- oder Kühlleistung auch genutzt werden kann. Für die Anwendung werden Platten oder Kanalstrukturen gefordert, die durch eine möglichst große Oberfläche und Wandstärken kleiner 500  $\mu\text{m}$  einen schnellen Wärmeübergang an ein Übertragemedium (i. A. Wasser) garantieren. Allerdings sind die in den letzten Jahren entwickelten Legierungen mit hohem magnetokalorischem Effekt (LaFeSi- und MnFeP-basierte Verbindungen) nur mit großem Aufwand gießtechnisch herstellbar und können aufgrund ihrer Sprödigkeit kaum spanend bearbeitet werden.

Am Fraunhofer IFAM werden deshalb die Verfahren Metallpulverspritzguss bzw. Metallpulverextrusion genutzt, um die erforderlichen feinen Strukturen zu erzeugen und dabei die Herstellung und Formgebung der Materialien in wenigen Prozessschritten zu kombinieren. Mit diesen großserientaug-

lichen Verfahren konnten bereits Strukturen mit Wandstärken von weniger als 300  $\mu\text{m}$  hergestellt werden. Durch gezielte Einstellung des Sinterprozesses wird nicht nur die Porosität variiert, sondern auch direkt der magnetokalorisch aktive Materialzustand eingestellt.

Zusätzlich wird in einem durch die AiF geförderten Projekt die additive Fertigung magnetokalorischer Materialien mittels Laser Beam Melting (LBM) untersucht. Dazu stellt das IWT Bremen durch Gasverdüsen für den Prozess maßgeschneiderte Ausgangspulver her, die dann am Fraunhofer IFAM mittels LBM verarbeitet werden. Die Formfreiheit, die dieses Verfahren bietet, kann zur Evaluierung verschiedenster Wärmetauschergeometrien in Demonstratoren und Prototypen magnetokalorischer Kühlsysteme genutzt werden.

- 1** Extrudiertes Grünteil, dünnwandige Wärmetauschergeometrie.
- 2** Gesinterte Struktur aus magnetokalorischem Material (La(FeSi)<sub>13</sub> Legierung).



# HOCHEFFEKTIVE VERDAMPFERSTRUKTUREN

Im Rahmen des Fraunhofer-Stiftungsprojekts »Hocheffiziente Adsorptions-Verbund-Systeme für die Energietechnik (HARVEST)« entwickelt das Fraunhofer IFAM in Bremen zusammen mit dem Institutsteil in Dresden und dem Fraunhofer ISE in Freiburg innovative Komponenten für Wärme- beziehungsweise Kältemaschinen, welche für besonders energiesparende Heiz, Kühl- und Warmwassersysteme benötigt werden.

Bei diesen Wärme- und Kältemaschinen spielen Verdampfer- oder Kondensatorelemente für Wasser, das in diesem Prozess aufgrund der Niederdruckbedingungen deutlich veränderte Siedeeigenschaften hat, eine wichtige Rolle. Das Wirkprinzip eines Verdampfers besteht darin, durch Wärmezufuhr Flüssigkeiten in den gasförmigen Zustand zu überführen. Dabei bestimmen die notwendige Überhitzungstemperatur und andere Leistungsparameter wesentlich die Verluste, die resultierenden Wirkungsgrade der Gesamtprozesse sowie die notwendigen Bauraumgrößen der einzelnen Elemente und der Gesamtanlage.

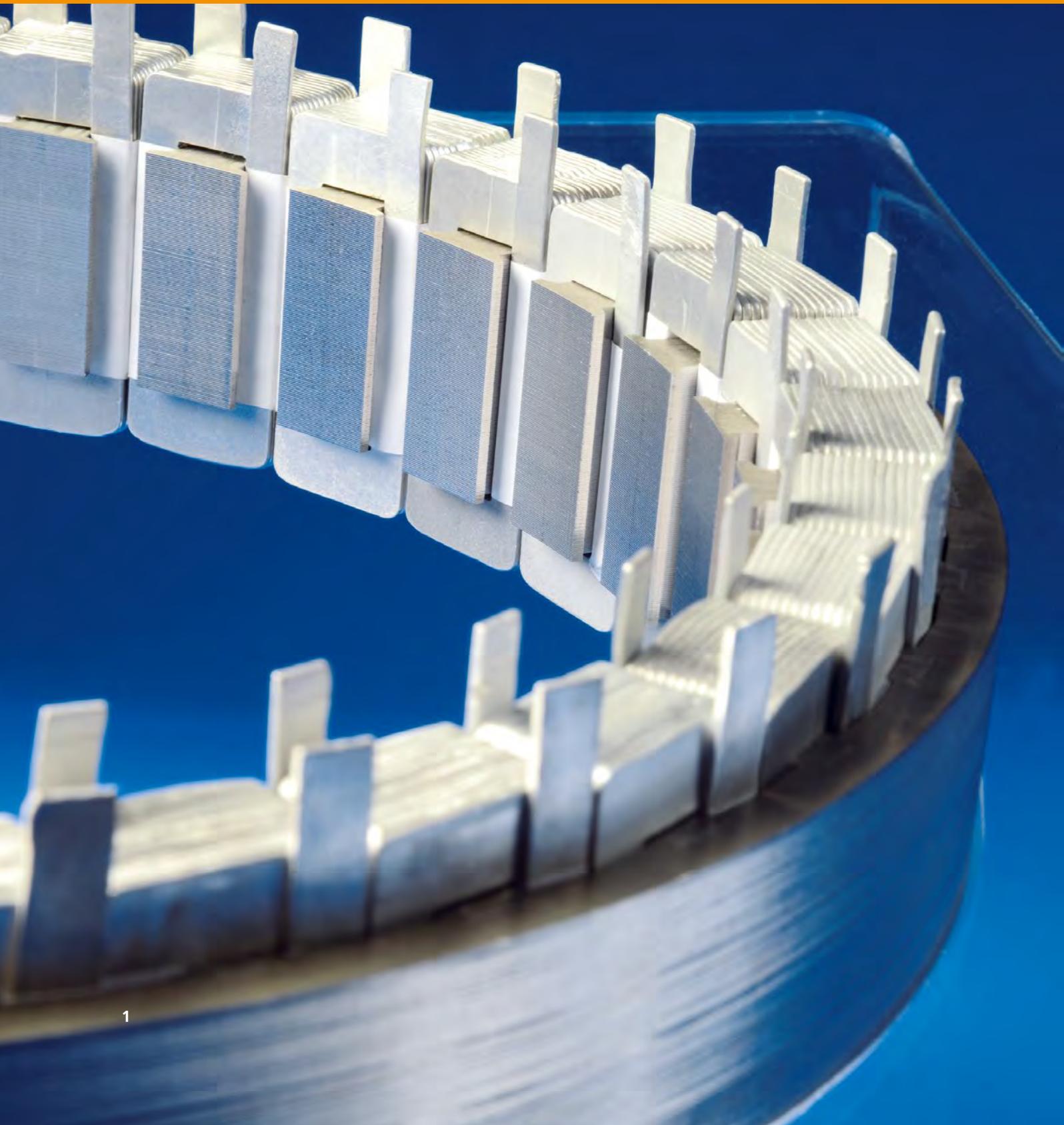
Verdampfungs- und Kondensationsprozesse werden von vielen Teilmechanismen und ihren Parametern bestimmt, wie der Wärmeleitung und Temperaturverteilung, dem Benetzungs- oder Flutungszustand mit dem flüssigen Kältemittel, der Keimbildung, dem Blasenabreißverhalten, dem Anteil an Mikrozonengebieten mit intensiver Verdampfung, dem Strömungsverhalten des Flüssigkeits-Gas-Gemisches oder dem Nachströmen von Flüssigkeit entlang der erhitzten Oberfläche des Verdampferes.

Das vom Fraunhofer IFAM in Bremen entwickelte Verdampfer- und/oder Kondensatorelement besteht aus einem offenporigen Aluminiumschwamm mit hoher Wärmeleitfähigkeit, in dessen Oberfläche eine Vielzahl poröser Partikel so eingebettet sind, dass sie zum Teil aus dieser Oberfläche herausragen. Die porösen Partikel dienen dabei als eine Art Siedestein für die Verdampfung, stellen also Blasenkeimstellen bereit. Neben der Funktion als Siedestein beeinflussen die eingebetteten Partikel

auch die lokale Temperaturverteilung, das lokale Benetzungsverhalten und die Mobilität der 3-Phasen-Grenzfläche entlang der Oberfläche des Verdampferes. Sie dienen darüber hinaus auch als Reservoir für Dampfreste, welche bevorzugte Keime für neue Blasen darstellen. Neben der Verbesserung der Verdampfung selbst können die eingebetteten Partikel auch als lokale Flüssigkeitsreservoir dienen und ein Abtropfen der Flüssigkeit verhindern.

Messungen im Siedekennlinienteststand des Fraunhofer ISE ergaben bei der Vermessung von Wasser bei einem Siededruck von 13 mbar und einer Probenüberflutung von 11 mm, dass bei der neuentwickelten Verdampferstruktur das Blasensieden bereits bei einer Übertemperatur von nur 3 K stattfindet. Darüber hinaus wurde bei einer Übertemperatur von 11 K eine hervorragende Wärmestromdichte von 36.000 W/m<sup>2</sup> gemessen. Das Grundprinzip der direkten Integration von porösen Granulaten in die Oberfläche gut leitfähiger Metallschwämme ist nicht auf Verdampfer begrenzt, sondern wird auch für andere Strukturen und Anwendungen – z. B. die Integration von Kieselgelen oder Zeolithen in Metallstrukturen – genutzt.

- 1 *Blasenbildung bei 11 K Übertemperatur im Siedekennlinienteststand des Fraunhofer ISE. (© Fraunhofer ISE)*
- 2 *Verdampferstruktur aus offenporösem Aluminiumschwamm mit eingebetteten Siedesteinen.*



# KERNKOMPETENZ GIESSEREITECHNOLOGIE

Mit der Kernkompetenz begleitet das Fraunhofer IFAM industrielle Kunden bei der gießtechnischen Umsetzung einer Idee vom ersten Prototyp bis zum anwendbaren Produkt. Passend zur jeweiligen Fragestellung stehen unterschiedliche Gießverfahren und Werkstoffe zur Verfügung.

Die langjährige Erfahrung und die aufgebaute Prozess- und Anlagentechnik für Druckguss, Feinguss, Lost Foam und Niederdruckguss sowie die numerische Simulation und eine umfassende Analytik sind wichtige Elemente der Kernkompetenz.

Druckguss als produktivstes Gießverfahren bietet unverändert großes Potenzial zur Steigerung der Wertschöpfung. Forschungsschwerpunkte sind u. a. verlorene (Salz-)Kerne, gegossene Strukturteile, die gießtechnische Herstellung von Hybridmaterialien aus Fasern (Kohlenstoff-, Glasfaser, Drahtgewebe etc.) und Gusswerkstoffen sowie die direkte Integration elektronischer Komponenten zur Sensorierung oder Bauteilkennzeichnung.

Anspruchsvolle und filigrane Strukturen mit hochwertigen Oberflächen bietet der Feinguss, für den am Fraunhofer IFAM verschiedene Gießanlagen bereitstehen. Hier werden z. B. die innovativen »gegossenen« Spulen für elektrische Maschinen entwickelt und hergestellt. Dabei wird ein Gießmodell aus Wachs mit frei gestaltbarer Geometrie mittels RP-Verfahren aufgebaut oder im Spritzguss hergestellt, in Formstoff eingebettet und ausgeschmolzen, bevor der entstandene Hohlraum für maximale elektrische Leitfähigkeit mit hochreiner Schmelze ausgefüllt wird.

Bei der Lost-Foam-Technologie werden große wie kleine Gussteile mit maximaler Komplexität direkt endformnah in einem Stück gegossen. Die Technologie erlaubt die Herstellung komplexer Bauteile mit frei gestaltbaren Kanälen und Hinterschneidungen – ohne Ausformschrägen oder Grat bei geringster Nacharbeit und höchster Funktionsintegration.

Mit dem Niederdruckguss werden Gussteile mit hohen Qualitätsansprüchen in Dauerformen oder verlorenen Formen hergestellt. Indem der Schmelzofen mit Druck beaufschlagt wird, steigt die Schmelze über ein Steigrohr in die Form. Somit kann eine beruhigte und kontrollierte, gleichmäßige Formfüllung bei zugleich hoher Reproduzierbarkeit und geringem Kreislaufmaterial erreicht werden. Die flexibel einsetzbare Niederdruckgießanlage ist mit einem wechselbaren Schmelztiegelsystem ausgestattet, wodurch das Abgießen von Aluminium, Stahl, Kupfer und anderen hochschmelzenden Werkstoffen ebenso möglich ist wie von nichtmetallischen Schmelzen. Zu den verwendeten Gusswerkstoffen gehören Aluminium, Magnesium, Zink, Kupfer, Stahl sowie kundenindividuelle Sonderlegierungen. Weiterhin werden Sonderwerkstoffe wie Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe entwickelt bzw. verbessert und so neue Applikationsfelder für gießtechnische Anwendungen und Gussbauteile erschlossen.

Zunehmende Bedeutung erlangen funktionsintegrierte Gussteile, bei denen elektronische Komponenten wie z. B. Sensoren und RFID-Transponder bereits während des Gießprozesses eingegossen werden. Mit der sogenannten CAST<sup>TRONICS</sup>®-Technologie sind erweiterte elektronische, sensorische oder aktorische Funktionalitäten von Gussteilen möglich.

→ [www.ifam.fraunhofer.de/giessereitechnologie](http://www.ifam.fraunhofer.de/giessereitechnologie)

1 *Gegossene Aluminiumspulen für luftgekühlten Radnabenmotor, montiert auf Blechpaket.*



# RFID UND INTEGRIERTE SENSORIK MACHEN BAUTEILE FIT FÜR INDUSTRIE 4.0

Die Produktionszyklen von Druckgussbauteilen werden immer kürzer und die Anforderungen an die Qualität steigen stetig. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, werden Produktionsabläufe immer strenger überwacht. Im Zeitalter der Digitalisierung ist nun die vierte industrielle Revolution in vollem Gange. Dabei werden immer häufiger eine individuelle Kennzeichnung der Bauteile und deren Rückverfolgbarkeit nachgefragt. Dazu kommt der Wunsch, dass die Bauteile »intelligent« Informationen über ihren Zustand melden können. Das wird über kontaktlose, funkbasierte Identifikation, eben mithilfe eines RFID-Transponders, erreicht. Für die Zustandsüberwachung kommt integrierte Sensorik zum Einsatz. Auch Gussbauteile mit hohen Jahresproduktionsraten sollen nicht mehr auf Chargen-Ebene, sondern individuell identifizierbar sein.

Am Fraunhofer IFAM ist es gelungen, die direkte Integration von RFIDs in Druckgussbauteile im laufenden Produktionsprozess kostengünstig zu demonstrieren. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, um Druckgussprodukte bei ihrer Entstehung individuell identifizierbar zu machen – ein wichtiger »Enabler« für die Umsetzung von Industrie 4.0 in Aluminium-Gießereien. Um die Bauteile intelligent zu machen, forscht das IFAM weiter an der Sensorintegration, aktuell im Projekt »Sensorintegration in Aluminiumguss – SINA«.

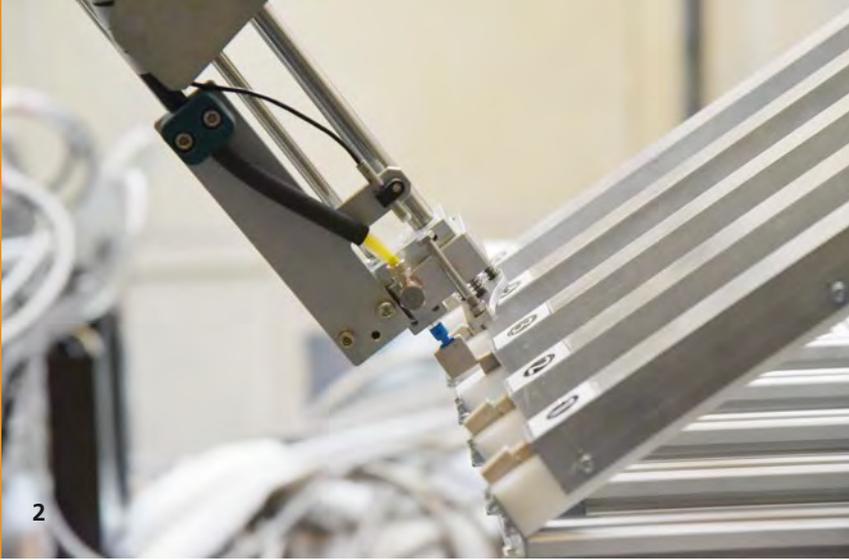
## Herausforderungen durch Digitalisierung der Industrie

Die Steigerung der Effizienz im Zuge von Industrie 4.0 soll die wirtschaftliche Herstellung der »Losgröße 1« erlauben. In den Prozessabläufen ist der Einsatz von Radio Frequenz Identifikation (RFID) längst Standard. Dabei dient die Identifikation der Überwachung des Materialflusses und damit der Rückverfolgbarkeit. Bei Gussbauteilen findet diese Identifikation bisher – wenn überhaupt – optisch statt und nicht unbedingt bauteilgenau.

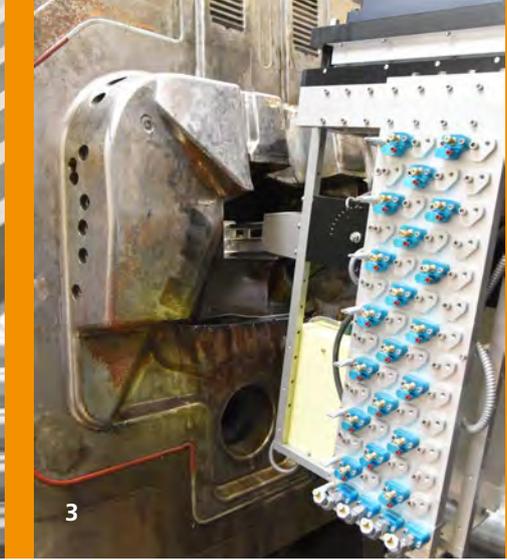
Am Fraunhofer IFAM wird seit zehn Jahren an der Funktionsintegration geforscht. Damit ist gemeint, dass Gussbauteile

durch die Integration von Transpondern und/oder Sensoren »intelligenter« werden sollen. Angefangen hat alles mit einer »Tretkurbel« mit eingebauten piezoelektrischen Sensoren. Damit konnten dynamische Kräfte erstmals direkt im Bauteil gemessen werden. Die daraus resultierende, patentierte CAST<sup>TRONICS</sup>-Technologie wurde auch verwendet, um Reflektoren aus Zink während des Urformprozesses mit RFIDs eindeutig identifizierbar zu machen.

Es folgten Untersuchungen der verwendbaren Isolationsmaterialien und unterschiedlichen Transpondergrößen. Im Rahmen des europäischen »MUSIC«-Projekts (Multi-layers control & cognitive System to drive metal and plastic production line for Injected Components) konnte dann die Demonstration im industriellen Produktionsprozess erfolgen. Hierfür wurden Untersuchungen an der Hochschule Aalen/Gießerei Technologie Aalen (GTA) an einer Probegeometrie vorgenommen, um den Einsatz von gekapselten RFIDs im Aluminium-Druckguss zu prüfen. Anschließend wurde ein Konzept erarbeitet, die gekapselten Transponder vollautomatisch in das Druckgusswerkzeug einzulegen.



2



3

Dies wurde dann in der Versuchsgießerei von Audi erfolgreich umgesetzt. Die Transponder wurden aus einem Magazin oberhalb der Druckgussanlage von einem am Trennmittelsprühroboter befestigten Greifer genommen und nach dem Trennmittelauftrag in der Form platziert. Direkt nach dem Abguss und dem Abkühlen des Bauteils wurde die Lesbarkeit des Transponders geprüft und im Anschluss der individuelle Unique Code des Transponders mit den Gießparametern des Abgusses verknüpft. Alle zum Abguss gehörenden Daten und Parameter können so mit dem eindeutigen Bauteil »Losgröße 1« verknüpft werden. Anschließend erfolgte das Entgraten.

#### **RFID-Integration im Serienprozess kostengünstig realisierbar**

Der Aufbau in der Gießzelle bei Audi zeigt, dass eine Prozessintegration mit geringem Aufwand und Kosten schnell umzusetzen ist und die Zykluszeit nur geringfügig verändert. Das Beschreiben der Transponder mit den Prozessdaten dauert wenige Sekunden, während traditionelle Kennzeichnungssysteme wie das Nadeln von Data Matrix Code (DCM) und Klarschrift über eine halbe Minute erfordern. Das Verfahren erwies sich zudem als sehr stabil: Alle vergossenen Transponder waren lesbar und konnten das Bauteil eindeutig identifizieren.

Alle verwendeten Materialien sind am Markt erhältlich, das gilt vor allem für die verwendete RFID-Technologie. Die Bereitstellung der Kapsel mittels Magazin sowie der Greifer am Trennmittelroboter und die Ausleseeinheiten sind modular gefertigt und konnten nach den Versuchen wieder entfernt werden. Die Verwendung des Trennmittelsprühroboters als Träger des Greifers macht eine Integration kostengünstig möglich. Durch die standardisierten Schnittstellen der RFID-Auswerteeinheiten ist eine Integration ins ERP-System bzw. in die Prozesssteuerung problemlos umsetzbar. Dabei hat die Funkidentifikation gegenüber der optischen, kamerabasierten Erkennung den klaren Vorteil, dass eine Verschmutzung der Bauteiloberfläche durch Ruß oder Schmutz keinen Einfluss auf die Lesbarkeit hat. Die Bauteile können anschließend sogar lackiert werden.

#### **»Smart Materials«**

Neben der Identifikation steht die »Intelligenz« von Bauteilen im Forschungsfokus. Damit ist gemeint, dass sicherheitsrelevante und tragende Bauteile über eine integrierte Sensorik Auskunft über ihre thermische und mechanische Belastung geben können.

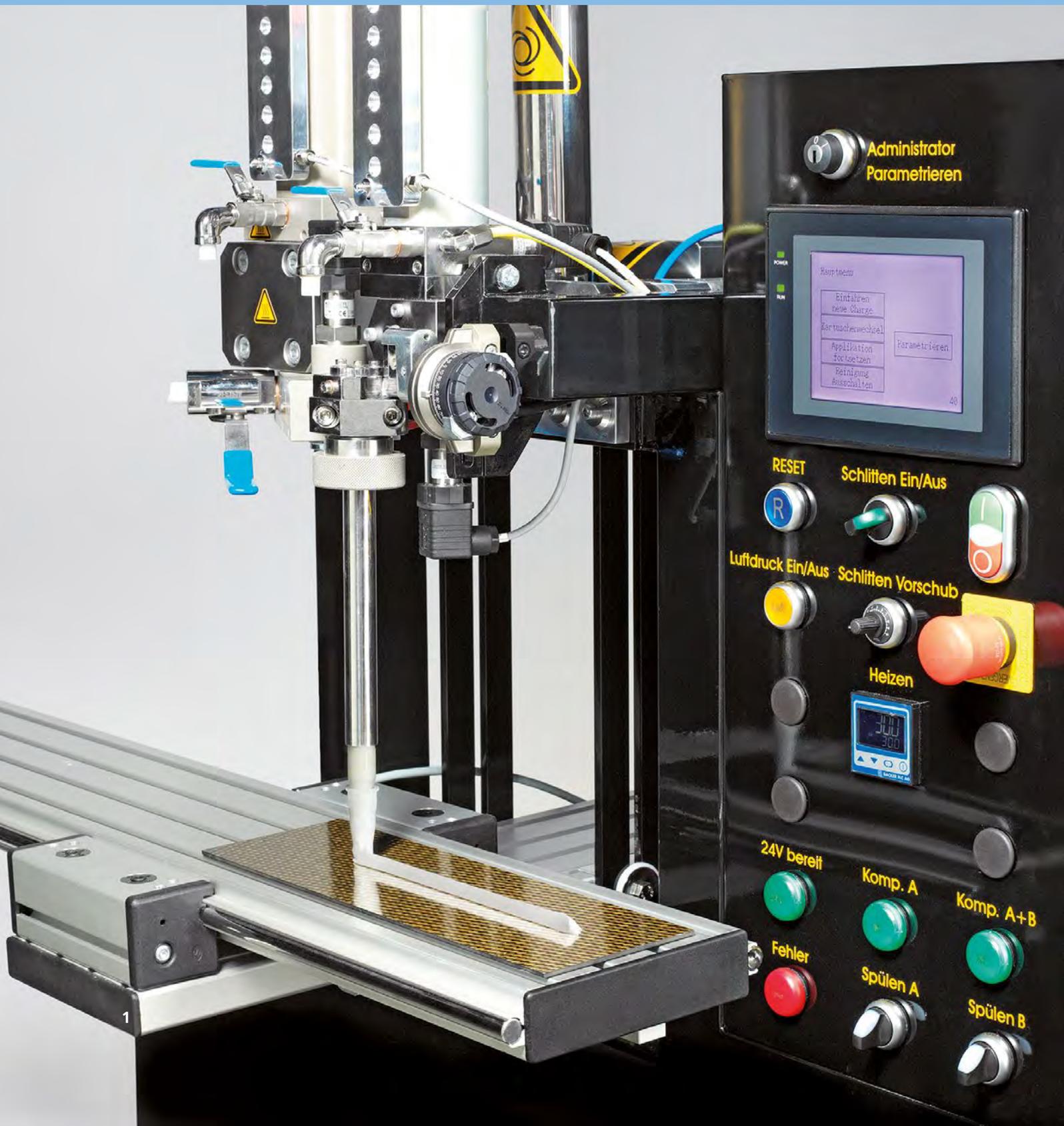
Die widrigen Bedingungen in der Fertigung von Metallbauteilen haben eine Integration sensibler Elektronik bisher unmöglich gemacht. Neue Materialkombinationen und die Erfahrungen aus einem Jahrzehnt Funktionsintegration am Fraunhofer IFAM sollen nun in einem neuen DFG-Forschungsprojekt zusammen mit Prof. Dr.-Ing. Walter Lang vom Institut für Mikrosensoren, -aktoren und -systeme (IMSAS) der Universität Bremen erforscht und die Machbarkeit demonstriert werden. Das Ziel ist es, Druckgussbauteile mit piezoresistiven Sensoren herstellen zu können. Die Kombination aus Sensortechnologie und Gießereitechnik stellt hier einen neuartigen Forschungsansatz dar.

#### **Vorschau**

In den kommenden Jahren sollen sowohl die RFID-Integration als auch die »Smart Materials« zur Serienreife gebracht werden. Für die RFID-Technologie sind bereits Lösungen für die zentralen Herausforderungen gefunden. Mit den ersten eingegossenen UHF-Transpondern konnte die Machbarkeit für eine in der Logistik weitverbreitete RFID-Frequenz nachgewiesen werden.

Im »SINA«-Projekt baut das Fraunhofer IFAM jetzt seine Kompetenz in Bezug auf Funktionsintegration in Gussteile weiter aus und zeigt sich damit für die aktuellen Fragestellungen aus der Industrie gut aufgestellt.

- 1 *Eingegossener Transponder; DMC mit Klarschrift; integrierter RFID-Transponder (oben im Bild).*
- 2 *Aufnahme des Transponders aus dem Magazin. (© Audi AG)*
- 3 *Einsetzen des Transponders in die DG-Form. (© Audi AG)*



# KERNKOMPETENZ KLEBTECHNIK

In den letzten Jahrzehnten hat sich das Kleben branchenübergreifend durchgesetzt. Das Fraunhofer IFAM hat das Potenzial der Klebtechnik frühzeitig erkannt und arbeitet seit nunmehr fast 50 Jahren auf dem Gebiet. Hierdurch hat es sich als international führende unabhängige Forschungseinrichtung auf dem Gebiet »Kleben« etabliert.

Die Kernkompetenz Klebtechnik des Fraunhofer IFAM umfasst die Materialentwicklung, Klebstoffauswahl und Charakterisierung, die Entwicklung und Anwendung verschiedenster Applikationsprozesse, die Auslegung und Validierung von Strukturen sowie die Qualitätssicherung und die detaillierte Gestaltung des Prozesses Kleben in kundenspezifischen industriellen Prozessen sowie die überbetriebliche, hierarchie-übergreifende Qualifizierung des Personals im Betrieb.

Das Fraunhofer IFAM verfügt über vielseitiges Know-how zur Darstellung und Modifizierung von Polymersystemen sowie der Entwicklung von Kleb- und Dichtstoffen. Herausforderungen wie Schnellhärtung, Haftvermittlung und Alterungsschutz von Klebstoffen gehören ebenso zum Portfolio wie die Entwicklung und der Einsatz von biomimetischen Klebstoffen. Bei der Charakterisierung von Klebstoffen und Klebverbunden bedient man sich eines breiten Spektrums chemischer, physikalischer und mechanischer Prüfverfahren. Oft kommt der Beschreibung des Alterungsverhaltens und der Lebensdauerabschätzung von Klebverbunden eine entscheidende Bedeutung zu.

Bei höherwertigen Verbindungen oder schwierigen Oberflächen ist oft die Vorbehandlung der Oberflächen vor dem Kleben notwendig. Die Werkstoffe werden gereinigt und aktiviert oder modifiziert, damit Klebstoffe langzeitbeständig darauf haften. Die Integration des Klebens in die industrielle Fertigung erfordert eine auf die Anwendung abgestimmte Applikationstechnik. Der Prozessautomatisierung kommt daher eine zentrale Bedeutung zu. Gleiches gilt für die Auslegung von Klebverbindungen und die Berechnung geklebter Strukturen. Grundlage sind experimentelle Kennwerte von Klebstoffen, Werkstoffen, Verbindungen und Bauteilen, die in einem nach DIN EN ISO 17065

akkreditierten Prüflabor unter Berücksichtigung der spezifischen Randbedingungen der Anwendung ermittelt werden.

Die umfassende Beratung der Industrie zum industriellen Kleben ist eine häufig angefragte und vom Fraunhofer IFAM beherrschte Aufgabenstellung. Sie beginnt bei der Auswahl geeigneter Klebstoffe für spezifische Anforderungen des Kunden. Optional beinhaltet sie die spezifische Oberflächenbehandlung der Füge-teile und die Automatisierung des Klebstoffauftrags und kann bis zur Einführung eines qualitätsgesicherten Fertigungsprozesses im Unternehmen reichen. Additiv können optische Messtechnik und Inline-Analytik sowie zerstörende und zerstörungsfreie Prüfungen zum Einsatz kommen.

Ein langjährig etabliertes, umfassendes und weltweit angebotenes Portfolio an klebtechnischer Weiterbildung mit international anerkannten Abschlüssen ist ein weiterer Ausdruck und ein wesentliches Element des Qualitätssicherungskonzepts für die Klebtechnik.

Das Fraunhofer IFAM ist zudem Anerkannte Stelle nach DIN 6701 für die Prüfung und Zulassung von Unternehmen im Schienenfahrzeugbau, die klebtechnische Arbeiten ausführen oder beauftragen, mit geklebten Produkten handeln oder Dienstleistungen im Bereich klebtechnischer Konstruktion oder Auslegung anbieten. Auf Grundlage der DIN 2304 »Klebtechnik – Qualitätsanforderungen an Klebprozesse« ist die normgerechte Überprüfung industrieller Klebprozesse Bestandteil der Kernkompetenz Klebtechnik.

→ [www.ifam.fraunhofer.de/klebtechnik](http://www.ifam.fraunhofer.de/klebtechnik)

1 *Optimierung der Klebstoffapplikation.*



# SCHNELLAUSHÄRTUNG IM HOLZBAU: DIE 5-MINUTEN-VERBINDUNG

Eingeklebte Stangen haben sich im Holzbau als ein sehr leistungsfähiges Verbindungsmittel erwiesen. Allerdings bringt die aktuelle Praxis mit der Verwendung von kalthärtenden 2K-Klebstoffen eine Reihe von Nachteilen mit sich. Für eine vollständige Aushärtung werden Stunden oder Tage benötigt. Außerdem erfordert sie Mindesttemperaturen auf der Baustelle, die nicht immer vorliegen.

Einen Ausweg aus dieser Situation bietet die induktive Erwärmung, bei der in mehreren Schritten gezeigt werden konnte, dass sie die Aushärtung in fünf Minuten gewährleisten kann. Sie bietet eine berührungslose Methode der kontrollierten Erwärmung. Sind die Bauteile selbst nicht per Induktion erwärmbar, so z. B. bei Holz, Glasfaserverbundkunststoff (GFK) und Glas, werden Suszeptoren direkt in den Klebstoff eingebracht. Dafür können Metallnetze in die Klebschicht eingelegt, aber auch Partikel direkt untergemischt werden. Die erfolgte Versuchsreihe, auf Basis von Curie-Material, zeigt einen konzeptuellen Ausweg aus der Problematik der Temperaturkontrolle bei der induktiven Erwärmung unter Verwendung von speziellen Partikeln. Diese sind nur unterhalb einer gewissen Temperatur (der Curie-Temperatur, TC) induktiv erwärmbar. Werden dem Klebstoff Curie-Partikel zugesetzt, dann »schalten« diese den induktiv erzeugten Wärmeeintrag oberhalb TC einfach ab und stellen somit eine sehr effektive und vor allem robuste Steuerung und Regelung des Induktionsprozesses dar.

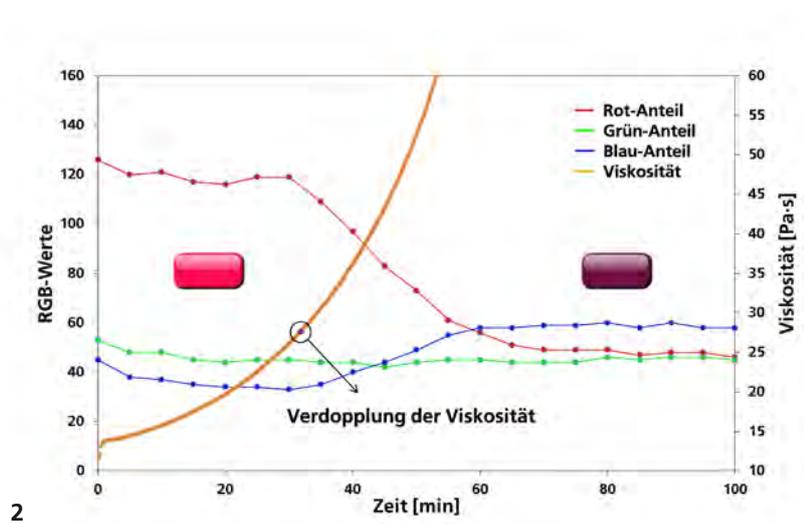
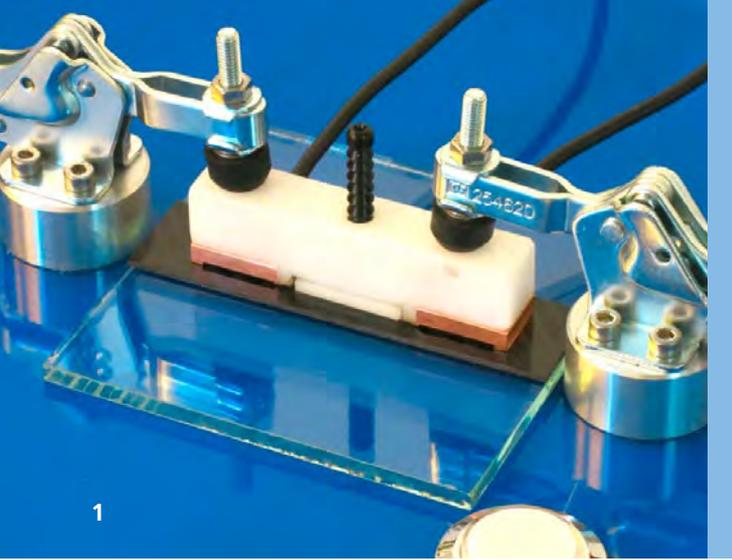
In zwei Jahren wurden drei Versuchsreihen zur induktiven Erwärmung durchgeführt, die Erfolge, Probleme, aber auch deren mögliche Lösungen aufzeigen:

- Eingeklebte Gewindestangen in Buche
- Mit PASA® eingeklebte GFK-Stäbe in Buche
- Eingeklebte GFK-Stäbe in Buche mit Curie-Partikeln

Die Verwendung von vorapplizierten Klebstoffen (Versuch 2) vereinfacht durch die Trennung der Klebstoffapplikation den Herstellungsprozess signifikant. Die erste und zweite Versuchsreihe zeigten, dass zwar eine Aushärtung in fünf Minuten gelingt, eine Temperaturregelung jedoch nur über in den Klebstoff eingebettete Thermoelemente gewährleistet wird, was für praktische Anwendungen einen erheblichen Nachteil bedeutet. In der dritten Versuchsreihe ging es darum, die aufwendige Regelung der Induktionsleistung während des Prozesses zu beseitigen. Zu diesem Zweck wurden anstelle des Magnetits Partikel bestehend aus einem Curie-Material verwendet. Es zeigte sich, dass Curie-Partikel allein nicht ausreichen, um eine schnelle Erwärmung zu gewährleisten; dies gelingt erst durch den Zusatz von Magnetit. Des Weiteren verbesserte sich die konstante Temperaturverteilung.

Bevor die induktive Erwärmung zum Stand der Technik wird, müssen jedoch noch Fragen zum Einfluss der Partikel auf die Festigkeit und Dauerhaftigkeit der entsprechenden Klebverbindungen beantwortet werden, aber auch eine auf die Baupraxis zugeschnittene technische Umsetzung erfolgen. An beiden Fragen arbeiten Wissenschaftler des Fraunhofer IFAM zurzeit intensiv.

1 Versuchsaufbau für eingeklebte Gewindestangen.



# KLEBEN: SCHNELL, KONTROLLIERT, SICHER

Die Ansprüche an Klebverbindungen werden bezüglich Zuverlässigkeit, Kosteneffizienz und Sicherheit immer größer. Um die Produktivität der Klebprozesse zu steigern, wird zum einen eine möglichst schnelle Härtung angestrebt, zum anderen ist gleichzeitig eine lange Verarbeitungszeit der Klebstoffe gefordert, um Prozesse gut kontrollieren und flexibel agieren zu können. Um diesen intrinsischen Widerspruch zu überwinden, kommen zunehmend Schnellhärtungsprozesse zum Einsatz.

In den meisten Fällen erfolgt die Schnellhärtung durch eine schnelle Erwärmung auf eine hohe Temperatur, wobei davon ausgegangen wird, dass sich die Härtungsgeschwindigkeit nach Arrhenius bei einer Temperaturerhöhung um jeden 10-°C-Schritt jeweils in etwa verdoppelt. Bei einer echten Schnellhärtung, auch »Snap-Cure« genannt, sollte die Härtung innerhalb von Sekunden bis wenigen Minuten abgeschlossen sein. Hierbei treten in der Praxis einige Schwierigkeiten auf, die es zu überwinden gilt. Zum einen ist die Messung und Kontrolle des Temperaturverlaufs eine echte Herausforderung, zum anderen stellt sich die Frage, welche Eigenschaften der Klebstoff nach einer Schnellhärtung aufweist, denn nicht alle Klebstoffe eignen sich dafür.

Am Fraunhofer IFAM steht eine Reihe von Methoden für die thermische Schnellhärtung zur Verfügung. Zu erwähnen sind: Induktion (Arbeitsfrequenz 50–800kHz, Leistung 10kW), Infrarotstrahler, Mikrowellenkalorimeter und Freistrahlmikrowelle, die Kontakterwärmung mit beheizten Stempeln und die Heißluft-erwärmung. Es stellt sich aber immer wieder die Frage, wie die Temperatur in der Klebfuge gemessen und kontrolliert wird, wobei bereits die Messung der Bauteiltemperatur während der Schnellhärtung eine Herausforderung sein kann.

Zwei Methoden wurden entwickelt, um die Temperatur in der Klebfuge zu messen und damit zur Prozesssteuerung zu nutzen. Bei dem E-FAST®-Verfahren wird ein beidseitig mit dem Klebstoff (z. B. PASA®, vorbeschichtbarer Reaktivklebstoff) beschichteter

Metalstreifen zwischen den Bauteilen platziert. Ein angelegter Strom erwärmt den Streifen, wobei der Klebstoff aushärtet. Da der Widerstand des Metalls temperaturabhängig ist, kann er als Messgröße für eine schnelle Temperaturmessung in der Klebfuge herangezogen werden. Ebenso lässt sich die Temperatur in der Klebfuge durch die Temperaturabhängigkeit der elektromagnetischen Resonanz von zugesetzten Partikeln ermitteln. Dieses Verfahren ist für eine Reihe von Schnellhärtungsmethoden einsetzbar.

Für die visuelle Kontrolle, ob ein Klebstoff wirklich ausgehärtet ist, wurden zudem Farbreaktionen entwickelt. Mittels Farbmatrik lassen sich Farbänderungen und damit auch der Härtungs-zustand quantifizieren, oftmals ist man jedoch darauf angewiesen, die Farbe am Rand der Klebfuge zu messen.

Die Beispiele zeigen, dass sich auch bei Schnellhärtungsprozessen kritische Prozessparameter messen und steuern lassen. Was im Sinne der DIN 2304 »Klebtechnik – Qualitätsanforderungen an Klebprozesse« jeweils sinnvoll und notwendig ist, muss im Einzelfall erarbeitet und entschieden werden.

- 1 Prototyp einer E-FAST®-Anlage: Kleben eines Kunststoffbolzens auf CFK.
- 2 Kontrolle des Aushärteverlaufs eines Epoxidklebstoffes mittels Farbmatrik: Beginn des Abfalls des Rot-Anteils der Farbe korreliert mit der Verdopplung der Viskosität (Ende der Topfzeit).



# KERNKOMPETENZ OBERFLÄCHENTECHNIK

Neue Werkstoffe sind vielfach Treiber für Innovation und finden sich in Schlüsseltechnologien des täglichen Lebens. Das industrielle Einsatzspektrum vieler Werkstoffe wird durch maßgeschneiderte Oberflächenmodifizierungen deutlich erweitert oder deren technische Verwendung erst ermöglicht. Das Fraunhofer IFAM verfügt über eine breite und langjährige Kompetenz in der Oberflächentechnik, die es in Projekten mit Partnern aus verschiedensten Branchen und durch eine Reihe von Innovationen unter Beweis gestellt hat.

In der Regel erfolgt die Auslegung von Werkstoffen anhand zuvor definierter Eigenschaften wie Festigkeit, Elastizität, Temperaturbeständigkeit oder nach Anforderungen des Produktionsprozesses. Sollen Bauteile bestimmte zusätzliche Anforderungen erfüllen, ist das oft nur mithilfe spezieller Oberflächentechnik möglich. Intelligente Oberflächentechniken wie Vorbehandlungen oder Beschichtungen können Werkstoffe und Bauteile in ihren Eigenschaften verbessern oder sie mit zusätzlichen Funktionen versehen.

Die Kompetenz des Fraunhofer IFAM umfasst dabei die gesamte Prozesskette in der Oberflächentechnik, von der Materialentwicklung über die Charakterisierung und Bewertung von Oberflächen, deren Funktionalisierung und Modifizierung bis hin zu verschiedenen Applikationsverfahren. Die Entwicklung von Prozessen, wie z. B. trocken- und nasschemischen Reinigungen und Vorbehandlungen, Plasmaverfahren, lacktechnischen Verfahren, Druckverfahren sowie Dünnschicht- und Dickschichttechnologien, zählt ebenso zu den Arbeitsschwerpunkten wie die Qualitätssicherung in der Anwendung. Die Charakterisierung und Bewertung von Oberflächen mittels chemischer, elektrochemischer und struktureller Analysen sind wesentliche Elemente; zudem kommen verschiedene Simulationsverfahren zur Anwendung.

Über umfangreiche Kenntnisse verfügen die Experten am Fraunhofer IFAM beim gezielten Modifizieren und Funktionalisieren von Oberflächen. Dies umfasst die Reinigung und Aktivierung ebenso wie eine entsprechende Vorbehandlung vor dem Lackieren und Kleben. Insbesondere die Oberflächen sind vielfältig und von der jeweiligen Anwendung abhängig: strömungsgünstig, eis- und schmutzabweisend, antibakteriell, bio-kompatibel oder mit Anti-fouling-Charakter. Auch spezifische tribologische oder optische Anforderungen sowie die Sensorierung von Oberflächen können bedient werden. Zudem werden verschiedenste Applikationsverfahren abgedeckt, ausgehend vom Labormaßstab über Pilotanlagen bis zum Upscaling für die (Groß-) Serienfertigung.

Qualitätssicherung spielt in der Oberflächentechnik eine zentrale Rolle. Am Fraunhofer IFAM werden darum fertigungsintegrierte Qualitätssicherungskonzepte und Prüfverfahren entwickelt, die eine stabile Prozesskontrolle erlauben. Das Institut verfügt über akkreditierte Prüfeinrichtungen, die auch für Schadensanalytik genutzt werden. Themenspezifische Schulungen und ein regelmäßiger Technologietransfer in die industrielle Praxis runden die Kernkompetenz Oberflächentechnik ab.

→ [www.ifam.fraunhofer.de/oberflaechentechnik](http://www.ifam.fraunhofer.de/oberflaechentechnik)

1 *Robotergeführte Benetzungsprüfung eines CFK-Bauteils.*



# MIKROBIELL INDUZIERTE KORROSION UND ANTIFOULING-BESCHICHTUNG

Der biologische Aufwuchs (Biofouling) auf Oberflächen in wasserbasierten Systemen verursacht weltweit große wirtschaftliche Einbußen. Umweltaspekte und Ressourceneffizienz spielen in diesem Kontext ebenfalls eine bedeutende Rolle, z. B. der Einsatz von Bioziden als Schutzmechanismus, erhöhter Treibstoffverbrauch bei Schiffen und Material- und Energieverluste durch die Überdimensionierung von Bauteilen. Das Fraunhofer IFAM entwickelt innovative, biozidfreie Beschichtungen, um Fouling zu verhindern. Durch den Einsatz von Prüfmethoden und Freibewitterungsprüfständen kann eine ganzheitliche Betrachtung von der Formulierung über die Applikationstechnik bis hin zur praktischen Erprobung im Feld erfolgen.

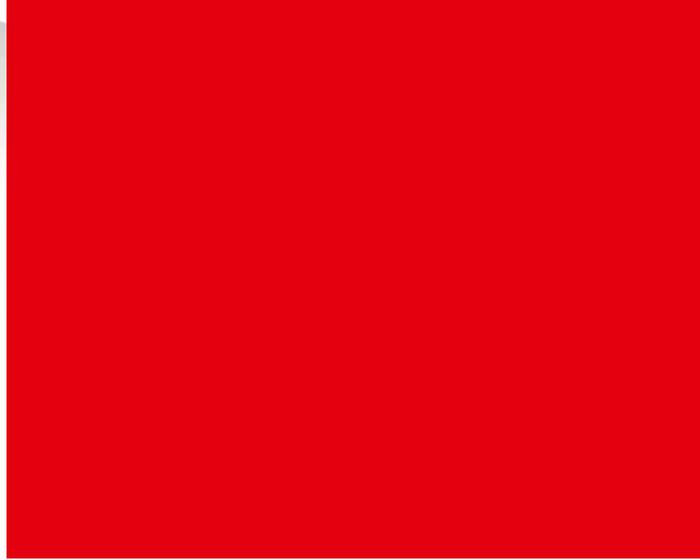
Die Besiedlung von Oberflächen in einem wasserbasierten System beginnt bereits innerhalb weniger Minuten. Was mit der Adhäsion einfacher Moleküle beginnt wird u. a. von Bakterien und Algen rasch zu einer komplexen, höchst diversen Lebensgemeinschaft aufgebaut. Die biologische Variabilität und die Organisation in einem Biofilm schafft ein chemisch komplexes Milieu, das zu einer Einflussgröße bei der Materialauswahl und der -beständigkeit wird. Diese erste Stufe des Fouling spielt insbesondere bei der mikrobiell beeinflussten Korrosion (MIK) eine entscheidende Rolle. Schadensfälle treten vornehmlich im Stahlwasserbau und in Rohrleitungen auf. Bislang führt lediglich eine Kette von Indizien zu der Aussage, ob es sich um MIK handelt oder nicht. Wer jedoch Kosten senken und Risiken minimieren möchte, der ist auf eine rechtzeitige Detektionsmethode angewiesen. Das Fraunhofer IFAM erforscht in einem mikrobiologischen Labor wirksame Detektionsmethoden und Lösungsstrategien zur Vermeidung von MIK. Hierbei stehen vor allem funktionalisierte Oberflächen und anti-mikrobielle Substanzen im Vordergrund.

**1** *Biochemischer Nachweis mikrobieller Aktivität im Labor des Fraunhofer IFAM.*

**2** *Bergung von Testkörpern auf einem Auslagerungsrahmen am Feldprüfstand auf Sylt.*

Doch nicht nur im Kontext von MIK spielt der mikrobielle Bewuchs eine Rolle. Auf einem Schiffsrumpf führt der Biofilm bereits bei einer Rauigkeit von 100 µm zu einem signifikanten Effizienzverlust. Propeller und Schiffsrumpf müssen daher vor Fouling bewahrt werden. Der Effizienzverlust, der in der Praxis durch einen höheren Treibstoffverbrauch ausgeglichen wird, nimmt mit der Besiedlung durch makroskopische Fouling-Organismen exponentiell zu. Muscheln, Seepocken und diverse andere Meereslebewesen vermögen zentimeterdicke Schichten auf der Oberfläche zu bilden.

Fouling erschwert zudem die Inspektion von Unterwasserbauwerken, verstopft Leitungssysteme und sorgt durch das beachtliche Gewicht auch für veränderte Lastverteilungen. Bis zum vollständigen Bann durch die IMO im Jahr 2008 war Tributylzinn (TBT) wirksamer Beschichtungsbestandteil gegen Fouling. Das Ende der TBT-haltigen Antifouling-Beschichtungen nahm der Industrie auch ihr wirksamstes Mittel. In einem ganzheitlichen Ansatz entwickeln die Experten des Fraunhofer IFAM neuartige Antifouling-Strategien im Kundenauftrag oder in öffentlichen Projekten. Moderne Labore sowie statische und schwimmende maritime Feldprüfstände erlauben Neu- und Weiterentwicklungen unter Berücksichtigung der vielfältigen Stadien und Effekte des Fouling.



# KOSTENGÜNSTIGE LOKALE ABSCHIEDUNG VON TITANDIOXIDSCHICHTEN

Dünne Beschichtungssysteme werden in vielen Anwendungsbereichen genutzt, um die Oberflächen gezielt mit bestimmten Funktionalitäten auszustatten. Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) bietet dabei aufgrund seiner chemischen und physikalischen Eigenschaften vielfältige Anwendungsmöglichkeiten von der Halbleitertechnik bis zu Medizin-Implantaten und -Instrumenten. Die Erzeugung von  $\text{TiO}_2$ -Beschichtungen erfolgt jedoch typischerweise mit einem hohen apparativen Aufwand in Vakuumprozessen und ist dadurch mit Einschränkungen bei der Wahl der verwendeten Werkstoffe verbunden. Eine Alternative bietet in diesem Zusammenhang ein am Fraunhofer IFAM entwickelter, kostengünstiger Abscheidungsprozess unter Atmosphäre.

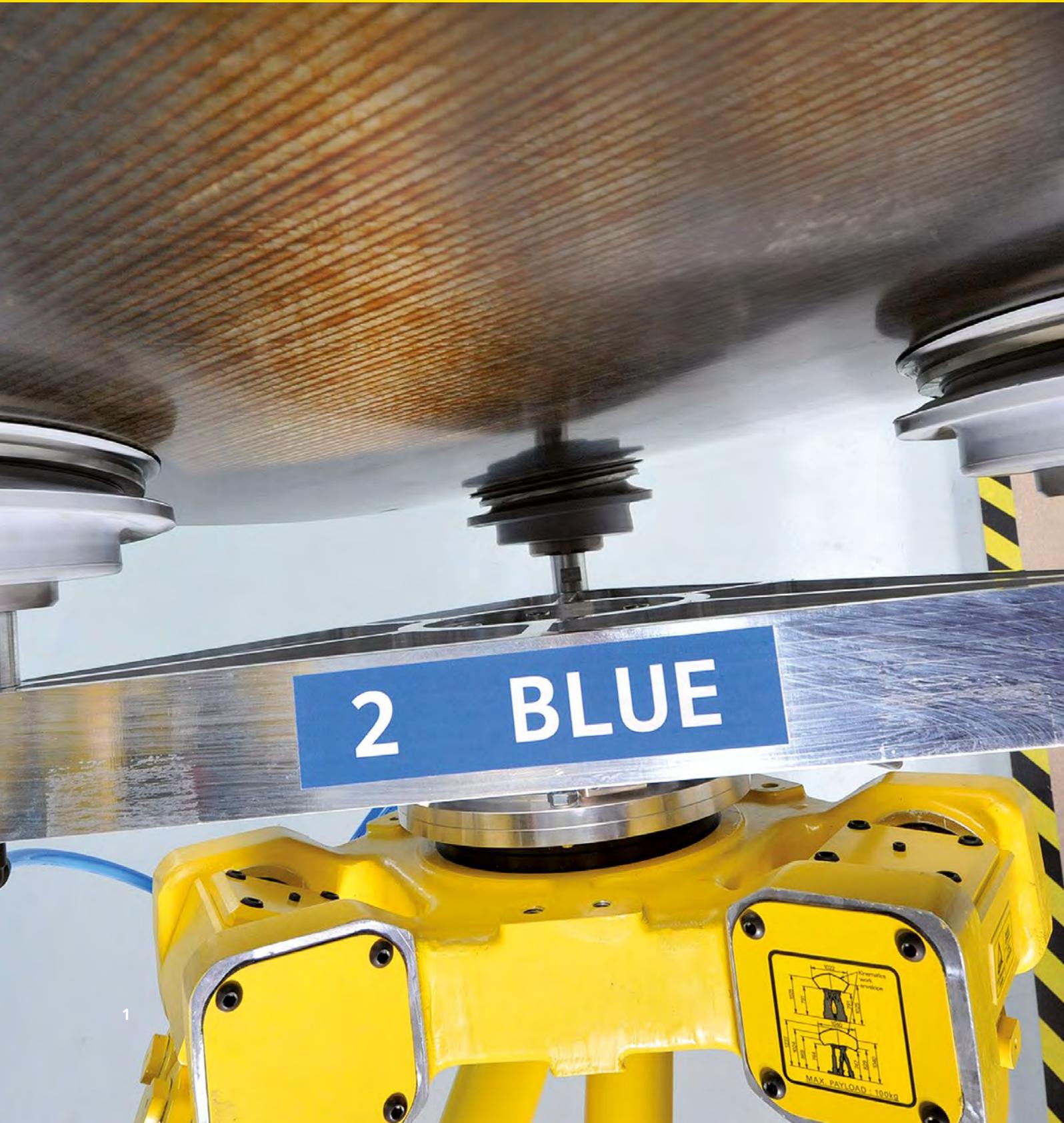
Je nach Abscheidungsbedingungen und Art der Nachbehandlung können  $\text{TiO}_2$ -Schichten so eingestellt werden, dass sie selbstreinigende und photokatalytische Eigenschaften, eine hohe und langzeitstabile Benetzbarkeit sowie dekorative Eigenschaften aufweisen. Die von Wissenschaftlern am Fraunhofer IFAM entwickelte AP-CVD-Technologie (AP-CVD: »Chemische Gasphasenabscheidung bei Atmosphärendruck«) basiert auf einer chemischen Schichtabscheidung durch die Reaktion eines titanorganischen Präkursors mit gezielt zudosierter Feuchte. Eine zusätzliche Energiezufuhr, z. B. durch einen thermischen Eintrag auf das Substrat, ist in diesem Fall nicht notwendig, wodurch der Prozess auch für temperatursensitive Materialien geeignet ist. Zusätzlich können durch die Kombination mit einem angepassten Vorbehandlungsprozess die  $\text{TiO}_2$ -Schichten auf eine Vielzahl von metallischen und polymeren Werkstoffen angewendet werden. Durch die Prozessführung unter atmosphärischen Bedingungen ist das Verfahren kostengünstig, inline kompatibel, flexibel und kann für die gezielte Ausstattung von individuellen Bauteiloberflächen genutzt werden.

Die lokale, farbliche Gestaltung von metallischen Bauteiloberflächen ist ein Anwendungsbeispiel dieser Beschichtungstechnologie, welche zu einer hohen Designfreiheit bei dekorativen

Anwendungen führt. Muster können dabei sowohl über eine Maskierung als auch durch einen gezielten und schichtweisen Abtrag der  $\text{TiO}_2$ -Beschichtung mittels Laser erreicht werden. Aufgrund der ausgezeichneten Biokompatibilität von  $\text{TiO}_2$  sind die Schichten insbesondere für medizintechnische Anwendungen von Interesse, um eine verwechslungssichere Kennzeichnung von Implantaten und Instrumenten zu gewährleisten. Denkbar ist auch die Integration eines Datamatrix- oder QR-Codes, was Gegenstand aktueller Forschungsbemühungen darstellt.

Die  $\text{TiO}_2$ -Schichten werden aktuell im Rahmen eines BMBF-Projektes mit Industriepartnern und der Universität Bremen auch aufgrund ihrer dielektrischen Eigenschaften weiterentwickelt. Hintergrund ist die Reduzierung von Foulingeffekten an Filtrationsmembranen mittels elektrischer Felder (Dielektrophorese), um die Aufbereitung von Wasser zu verbessern. Notwendig für die Ausbildung der Felder ist eine dielektrische Verkapselung der Elektroden durch eine adaptierte  $\text{TiO}_2$ -Schicht, welche mittels des AP-CVD-Prozesses hergestellt werden kann. Die Filtrationsleistung der Membranen kann so nachhaltig und langfristig deutlich verbessert werden.

**1** *Dekorative Gestaltung einer Oberfläche mit  $\text{TiO}_2$ -Schichten, hergestellt mittels AP-CVD.*



# KERNKOMPETENZ FASERVERBUNDWERKSTOFFE

Faserverbundwerkstoffe, allen voran die mit Glasfasern oder Carbonfasern verstärkten Duomere, sind unverzichtbar geworden, um etwa im Flugzeug- oder Fahrzeugbau ressourcenschonende Leichtbaustrukturen zu realisieren. Auch im Bereich der regenerativen Energien, insbesondere der Windenergie, gestatten sie energieeffiziente Bauweisen und erhöhen so die Wirtschaftlichkeit. Ihre Vorteile liegen in der hohen Steifigkeit in Faserrichtung in Verbindung mit der Formgebung durch die Matrix.

Das Kompetenzspektrum des Fraunhofer IFAM auf den Gebieten der glas-, carbon- oder auch naturfaserverstärkten Kunststoffe reicht von der Harzentwicklung über Design und Herstellung von Bauteilen und deren Oberflächenmodifikation bis zur automatisierten Montage und Bearbeitung.

Ausgangspunkt ist die Auswahl bzw. Entwicklung geeigneter Harzsysteme, sowohl für Bauteile mit sehr guten mechanischen Eigenschaften als auch für spezielle Anforderungen wie elektrische Leitfähigkeit, Blitzschutz und die Schlagzäh-Modifizierung. Darüber hinaus bestimmt das Harzsystem im Wesentlichen den Verarbeitungsprozess und die Verarbeitungszeiten. Im Fokus der Entwicklung stehen neuartige Duomere, die sich trotz dreidimensionaler Netzwerkstruktur thermoplastisch verarbeiten lassen, auch bei hohem Automatisierungsgrad. Halbzeuge und Bauteile können so effizient und durch Verwendung nachwachsender Rohstoffe ressourcenschonend hergestellt werden.

Herausragende Werkstoffcharakteristika werden erst durch optimale Wechselwirkungen zwischen Fasern und Matrixharz erzielt. Dies gelingt nicht zuletzt durch den Einsatz verschiedener Oberflächentechniken wie der Plasmabehandlung von Faseroberflächen. Auch bei der Herstellung und Weiterverarbeitung von Bauteilen spielen Oberflächenmodifikationen wie das Reinigen und Aktivieren, das Lackieren und das Aufbringen von Funktionsschichten eine zentrale Rolle. Klebtechni-

sche Lösungen und angepasste Korrosionsschutzkonzepte helfen, Kontaktkorrosion bei Materialverbunden zwischen CFK und metallischen Werkstoffen zu vermeiden.

Schnelle, qualitätsgesicherte Prozesse sind unerlässlich für die Serienproduktion. Das Fraunhofer IFAM bietet Automatisierungslösungen an, die auch bei sehr großen, wenig maßhaltigen Faserverbundstrukturen die präzise Montage und Bearbeitung unter erheblicher Zeitersparnis ermöglichen. Besonderer Wert wird dabei auf leichte, mobile und modular kombinierbare Systemkomponenten gelegt, die sich im Sinne einer wandlungsfähigen Produktion ohne nennenswerten Aufwand und Kosten anpassen lassen.

Ein übergreifender Kompetenzbaustein ist die Qualitätssicherung. Die durchgängige Überwachung des Zustandes von Bauteiloberflächen durch maßgeschneiderte Inspektionsverfahren ist hier beispielsweise ein wesentliches Ziel zur Optimierung spezifischer Fertigungsprozesse. Dies wird durch umfassende, branchen- und produktübergreifende Personalqualifizierungen unterstützt. Im Rahmen der Weiterbildung findet ein Technologietransfer statt, bei dem wissenschaftliche Erkenntnisse und Methoden den Weg in die industrielle Anwendung finden.

→ [www.ifam.fraunhofer.de/fvk](http://www.ifam.fraunhofer.de/fvk)

1 *Entwicklungsplattform CFK-AFMO.*



# MOBILER FRÄSROBOTER FÜR DIE WANDLUNGSFÄHIGE PRODUKTION

6-Achs-Industrieroboter sind dafür optimiert, sich ständig wiederholende Bewegungsabläufe auszuführen. Eine wandlungsfähige Produktion mit Bauteilen von geringer Formtreue benötigt jedoch Roboter, die ihre Bewegungen wechselnden Aufgaben und Bauteilen präzise anpassen. Handelt es sich dabei um Großbauteile im Flugzeugbau, so erhält man die größtmögliche Produktionsflexibilität, wenn mehrere arbeitende Roboter sich zur gleichen Zeit an ihnen entlang bewegen.

Aus diesen Anforderungen leiteten sich die Ziele des vom Land Niedersachsen geförderten Projekts »ProsihP II« ab. Zum Projektabschluss im November 2016 bewiesen die Projektpartner mit einer Live-Vorführung zum Umrissfräsen an einer CFK-Seitenleitwerksschale, dass das aus einem autonomen Bodenfahrzeug (AGV) und einem Industrieroboter bestehende System Anwendungen beherrscht, für die 6-Achs-Roboter bisher aufgrund unzureichender Absolutgenauigkeit und zu geringen Arbeitsraums nicht eingesetzt werden konnten.

Eine ganze Reihe von Innovationen ermöglicht diese neuen Anwendungen. Das Automatisierungsteam des Fraunhofer IFAM hat in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern ein mobiles Trägerfahrzeug für Schwerlastroboter mit bis zu drei Tonnen Gewicht konzipiert und in Betrieb genommen. Die kosteneffizient aus marktüblichen Komponenten aufgebaute Bewegungsplattform setzt für die Prozessdurchführung mit drei Stützen statisch bestimmt auf dem Boden auf. Drei ausfahrbare Räder geben dem gesamten Aufbau eine weitreichende Bewegungsfreiheit bis hin zur Drehung auf der Stelle. Mit einer neu entwickelten Software wird das System zum Bauteil eingemessen.

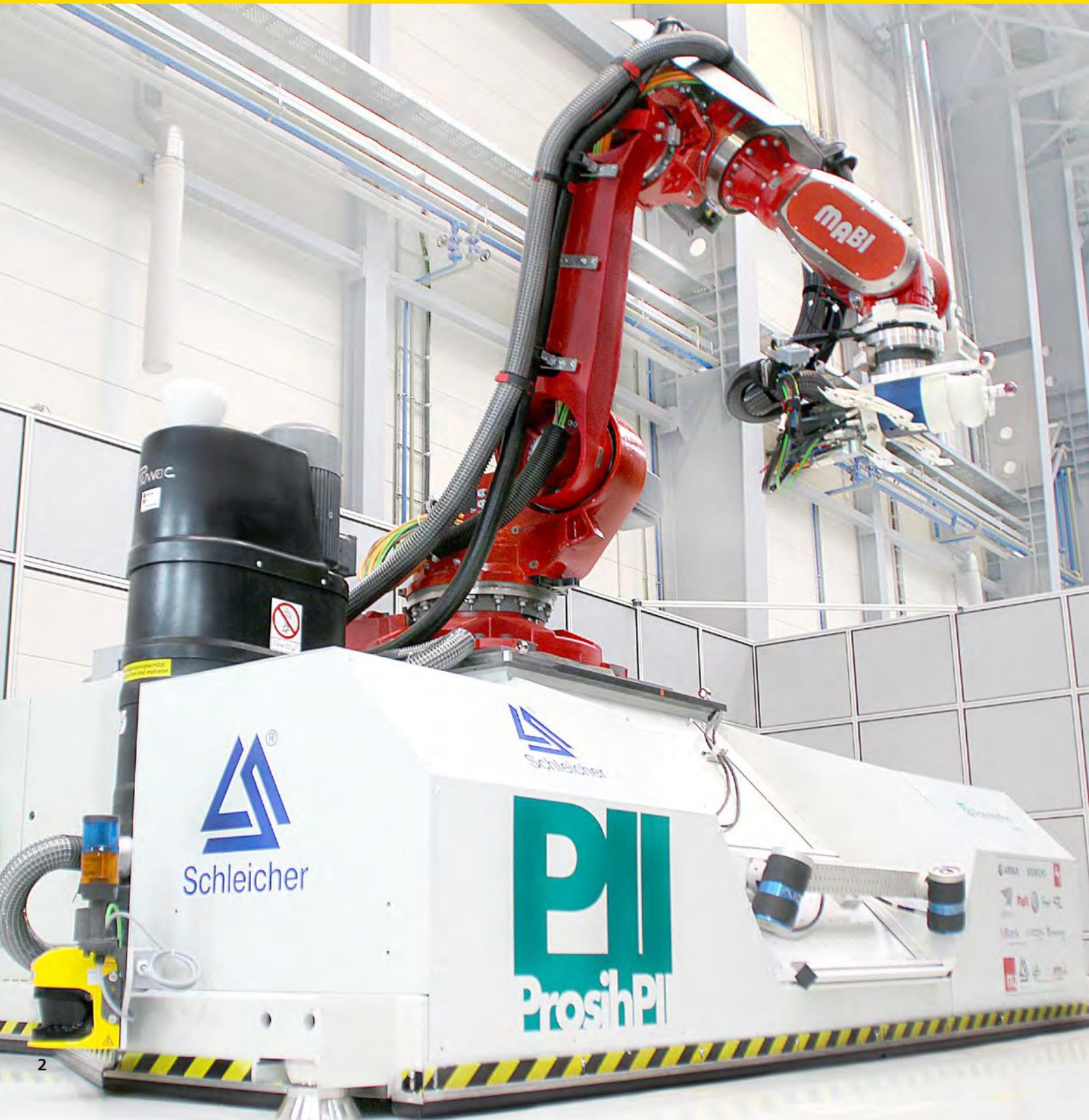
Für das Projekt waren die Anforderungen an die absolute Positionier- und Bahnengenauigkeit des Gesamtsystems aus Roboter und AGV so hoch, dass es notwendig war, die Leistungsfähigkeit des

gewählten Roboters entscheidend zu steigern. Dazu wurde die Roboterkinematik mit einer CNC-Steuerung (Siemens SINUMERIK 840D sl) ausgestattet, kompatible Motoren eingebaut und abtriebsseitige Winkelmesssysteme an jeder Achse zur Korrektur von Positionsabweichungen ergänzt. Zudem ermittelt ein weiterentwickeltes Kamerasystem die aktuelle Pose des Roboters für eine Echtzeitkorrektur durch Abgleich mit den Soll-Daten. Durch die gemeinsame Entwicklung ist einer der genauesten Bearbeitungsroboter weltweit entstanden. Das Fraunhofer IFAM arbeitete für diesen Fortschritt im Bereich Robotik eng mit PD Dr.-Ing. Jörg Wollnack von der TU Hamburg zusammen.

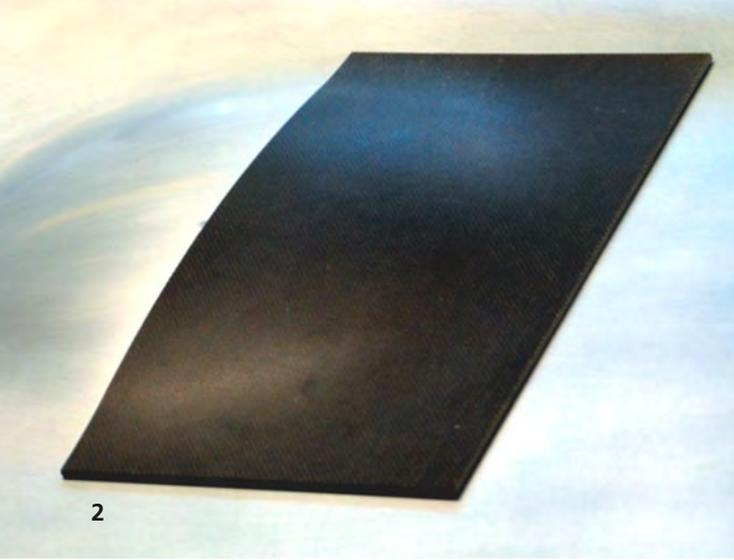
Das System ist bisher für Bauteile mit Längen von bis zu 30 Metern ausgelegt, lokal können Genauigkeiten von 0,1 mm erreicht werden. Damit ist es für unterschiedliche Flugzeug-Primärstrukturen wie Flügelschalen oder Rumpfssegmente anwendbar. Darüber hinaus kann es mit geringen Modifikationen für z. B. Rotorblätter von Windkraftanlagen oder Großbauteile im Schiffsbau zum Einsatz kommen.

**An dem Projekt waren beteiligt:** Aicon 3D Systems GmbH, Airbus Operations GmbH, Artis GmbH, CTC GmbH Stade, Fraunhofer IFAM, IPMT der TU Hamburg, Ludwig Schleicher Anlagenbau GmbH, Mabi AG, mz robolab GmbH, Siemens AG und Volkswagen AG.

- 1 *ProsihP-II-Gesamtanlage zur Bearbeitung eines A320-Seitenleitwerkes.*
- 2 *Mobiler CNC-Roboter für die Bearbeitung von Großstrukturen.*







# NEUE HALBZEUGE FÜR DIE AUTOMATISIERTE FERTIGUNG VON DUROMEREN FVK

Faserverbundwerkstoffe (FVK) werden entweder mit Reaktivharzen oder Thermoplasten als Matrixpolymer hergestellt. Die Reaktivharze bilden Duromere mit guten mechanischen Eigenschaften, benötigen aber aufwendigere Prozesse bei der Herstellung der FVK als bei der Verwendung von Thermoplasten. Eine Kombination beider vorteilhaften Eigenschaften war das Ziel der Entwicklung.

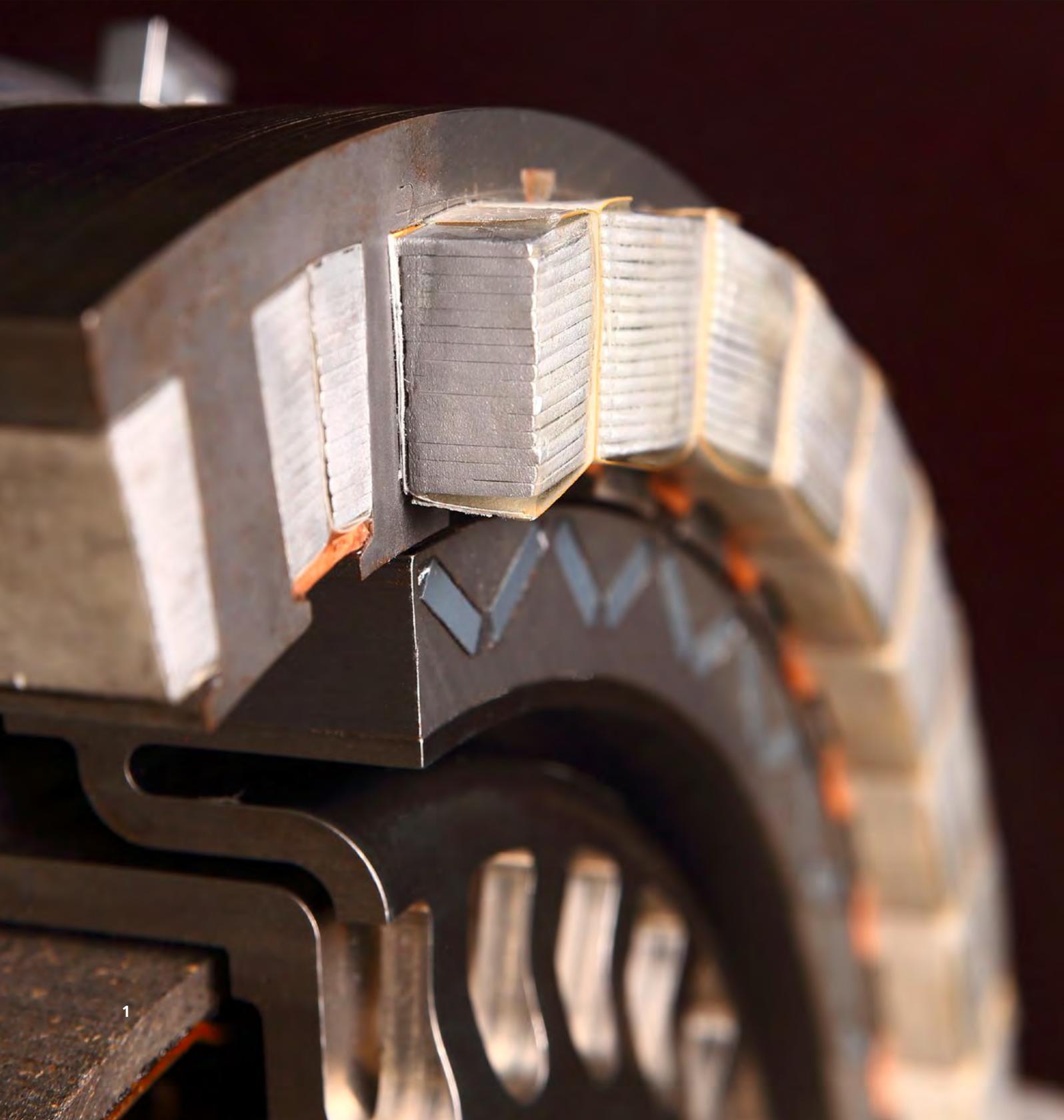
Diese neuartigen faserbasierten Halbzeuge, z. B. als Prepreg, zeichnen sich durch ihre thermoplastisch verarbeitbaren und zum Duromer vernetzbaren Matrices aus. Die Eigenschaften der Harze können in einem weiten Bereich durch Formulierung angepasst werden. Bei der Herstellung des Prepregs werden durch Verwendung wasserbasierter Systeme keine Lösemittel benötigt. Hohe Temperaturen wie bei der kostenintensiven Schmelz-impregnierung mit konventionellen Thermoplasten werden vermieden, sodass auch thermisch labile Fasern wie Polyethylen oder Cellulose einsetzbar sind. Bei den neuartigen Harzen erfolgt lediglich eine Trocknung bei moderaten Temperaturen.

Zur Herstellung der Halbzeuge ist keine neue Infrastruktur notwendig. Die Faserbeschichtung erfolgt z. B. mit Tauch-, Raket- oder Sprühauftrag im Rolle-zu-Rolle-Verfahren. Nach der Trocknung sind die Fasern gegen Verrutschen geschützt und erleichtern somit auch ein lastpfadgerechtes Ablegen im Werkzeug. Das fertige Halbzeug ist unterhalb der Erweichungstemperatur von ca. 60 °C nicht klebrig, aber dennoch flexibel und drapierbar. Im Gegensatz zu üblichen Prepregs ist es bei Umgebungsbedingungen viele Monate lagerstabil. Unter 60 °C ist es formstabil und zwischen der Erweichungstemperatur und der Härtungstemperatur (ab 120 °C) ist das Halbzeug umformbar. Die Härtung zum duromeren Bauteil erfolgt entweder während oder nach der Umformung in einem nachgelagerten

Schritt. Hierzu wird der trockene Lagenaufbau beispielsweise in einer Heizpresse verformt und ausgehärtet. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit der Bauteilentnahme im noch heißen, formbeständigen Zustand.

Bei der Bauteilfertigung müssen, wie auch bei anderen Verfahren zur FVK-Herstellung, Formtrennmittel verwendet werden. Hierfür haben sich die am Fraunhofer IFAM entwickelten Flex<sup>Plas</sup>®-Trennfolien besonders bewährt. Die Folien werden gemeinsam mit den Fasergelegen verformt und weisen auf beiden Seiten permanente Releaseschichten mit unterschiedlicher Trennwirkung auf. Die Schicht hoher Trennwirkung sorgt für eine einfache Entnahme aus der Form, wogegen die dem Bauteil zugewandte Seite der Folie einen geringeren Release zeigt und die Folie somit bis zur weiteren Verwendung auf dem Bauteil bleibt. Nach dem Abziehen kann das Bauteil ohne die sonst übliche Oberflächenbehandlung weiter verarbeitet werden.

- 1 *Thermoplastisches Prepreg zur Herstellung duromerer Bauteile: nicht klebrig, lagerstabil, Rolle-zu-Rolle-Verarbeitung.*
- 2 *In der Heizpresse hergestelltes duromeres Jutefaser-Bauteil, analog dem Blechumformen.*



# KERNKOMPETENZ ELEKTRISCHE KOMPONENTEN UND SYSTEME

Elektrisch betriebene Systeme spielen in sämtlichen Branchen der Industrie und in der Gesellschaft eine zentrale Rolle. Die Bereitstellung und der effiziente Einsatz elektrischer Energie in komplexen technischen Systemen erfordert ein umfassendes Systemverständnis. Ausgehend von den elektrischen und elektrochemischen Materialeigenschaften entwickelt das Fraunhofer IFAM technische Lösungen für den effizienten Einsatz elektrischer Energie.

Die sichere Speicherung elektrischer Energie mit hoher Energiedichte und Leistung stellt eine ständige Herausforderung dar und spielt insbesondere für mobile Anwendungen eine wichtige Rolle. Werkstoff- und verfahrenstechnische Aspekte stehen am Fraunhofer IFAM im Vordergrund, um Lösungen für zukünftige elektrochemische Energiespeicher zu erarbeiten. Neben Li-Ionen- und Metall-Luft-Batterien liegt der Fokus zunehmend auf Festkörperbatterien, bei denen anstelle flüssiger Elektrolyte ionenleitende Keramiken oder Polymere eingesetzt werden. Hier kommen die werkstoff- und fertigungstechnischen Kompetenzen des IFAM für die benötigte Material- und Prozessentwicklung voll zur Geltung. Aber auch mit kundenspezifischen Materialien wird die Prozesskette vom Pulver bis zur fertigen Batteriezelle entwickelt.

Die elektrische Antriebstechnik fokussiert sich auf die Entwicklung, den prototypischen Aufbau und die Erprobung hocheffizienter elektrischer Maschinen. Zudem werden neue Ansätze zur Steigerung der funktionalen Sicherheit von Antriebssystemen sowie eine wirkungsgradoptimierte Ansteuerung insbesondere von permanenterregten Synchronmaschinen erarbeitet. Im Vordergrund stehen die Steigerung von Leistungs- und Drehmomentdichte sowie die Entwicklung von speziellen Fertigungstechniken für elektrische Antriebe. Klebtechnik, Oberflächentechnik und Beschichtungen ergänzen die Kernkompetenz um Aspekte wie das Verbinden, Kontaktieren, Isolieren und Schützen von elektrisch leitfähigen Materialien.

Das fahrzeugtechnische Know-how des Fraunhofer IFAM umfasst die Konzipierung, die sichere Steuerung, den Aufbau und die Erprobung von Fahrzeugen mit Elektro- und Hybridantrieb. Um ihre Zuverlässigkeit im Betrieb zu bewerten und zu steigern, werden einzelne Komponenten – wie der elektrische Antriebsstrang – mit »Hardware in the Loop«-Simulationen des Betriebsverhaltens auf einem Antriebsstrangprüfstand qualifiziert. Einen bereichsübergreifenden Baustein in diesem Konzept stellt die Analyse und Bewertung von komplexen technischen Energiesystemen dar – idealerweise unter Einbindung von Elektrofahrzeugen als mobile Speicher. Die Kopplung elektrischer Systeme mit der Wärmeversorgung auf lokaler (Haus/Quartier) und regionaler Ebene bedingt den Einsatz von Wärme- und elektrochemischen Speichern und Wandlern. Hierzu bietet das Fraunhofer IFAM Studien an, in denen auch wirtschaftliche und aktuelle regulatorische Rahmenbedingungen des Strom- und Wärmemarktes berücksichtigt werden.

Schließlich wird auch die Einbindung von mobilen und stationären Speichern in Hausenergiesystemen zwecks Optimierung der Energieeffizienz und/oder der Energieautarkie modelliert und in einem modular aufgebauten Prüffeld mit konkreten Komponenten simuliert.

→ [www.ifam.fraunhofer.de/elkos](http://www.ifam.fraunhofer.de/elkos)

1 *Stator des Radnabenmotors montiert am Fraunhofer electric concept car „FreccO 2.0“.*



# POLYMERKOMPOSITE FÜR FESTKÖRPERBATTERIEN

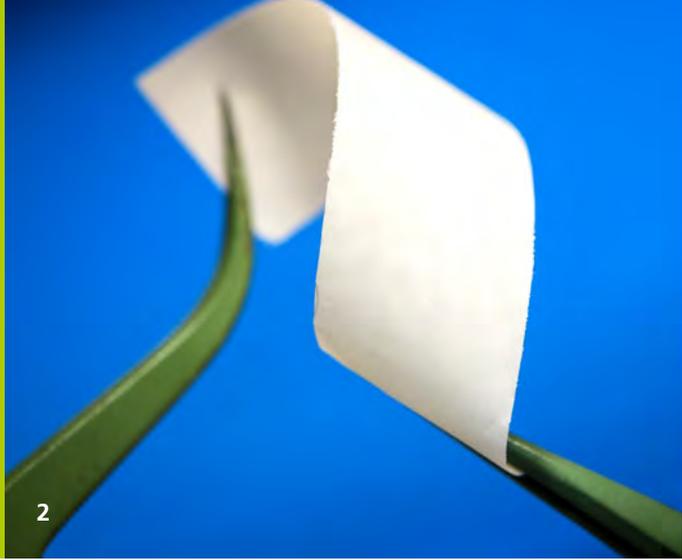
Wiederaufladbare Festkörper-Lithium-Batterien werden als Hochenergiespeicher der nächsten Generation angesehen. Sie haben Vorteile gegenüber den derzeit eingesetzten Lithium-Ionen-Batterien mit aprotischen, flüssigen oder gelförmigen Elektrolyten bezüglich Miniaturisierung, elektrochemische Stabilität, Energiedichte und insbesondere Betriebssicherheit. Eine Herausforderung besteht darin, Materialien/Verfahren für Festkörperbatterien zu entwickeln, die zu zyklenstabilen Phasengrenzen mit niedrigen Übergangswiderständen führen. Für die Elektrodenherstellung bedeutet dies zwingend den Einsatz einer geänderten Produktionstechnik, und – abhängig vom Zelldesign – auch neuer Techniken bei der Zellmontage. Daher können auch noch keine Fertigungskonzepte für die Serienproduktion von Festkörperbatterien definiert oder gar prototypisch entwickelt werden. Die Herstellung dieser Polymerkomposite ist der Ansatzpunkt für die Arbeiten des Fraunhofer IFAM.

Elektrochemische Energiespeicher sind für viele Anwendungen von zentraler Bedeutung. Neben stationären Anwendungen in Form von Zwischenspeichern für regenerative Energien, spielen diese auch eine entscheidende Rolle bei mobilen Anwendungsfeldern. Gerade die immer größer werdende Funktionsdichte im Consumerbereich und die hohen Anforderungen an Elektrofahrzeuge erfordern leistungsstarke und zuverlässige Energiespeicher. Laut zahlreicher Roadmaps wird speziell die Lithium-Ionen-Technologie in den nächsten Jahren die dominierende Rolle spielen.

Festkörperbatterien auf Lithium-Ionen-Basis besitzen ein hohes Entwicklungspotenzial. Der wesentliche Grund liegt in der Erhöhung der Energiedichte und der intrinsischen Sicherheit, die mit der Substitution des flüssigen Elektrolyten durch einen Feststoff (Polymer/Keramik/Glas) verknüpft ist. Des Weiteren sind deutlich vereinfachte Systemlösungen durch das Entfallen von Kühlsystemen und Sicherheitstechnik (Brandschutz) denkbar. Deshalb ist diese Technologie insbesondere für die OEMs der Automobilbranche von besonderem Interesse. Zurzeit ist jedoch noch völlig unklar,

welches Materialkonzept, anorganisch oder polymerbasiert, sich durchsetzen wird. Bei der Verwendung von Festkörperelektrolyten stellen sich vor allem zwei Aufgabenfelder: Zum einen weisen die verwendeten Materialien generell eine geringere intrinsische Lithium-Ionen-Leitfähigkeit auf als flüssige Elektrolyten, zum anderen ist die Fertigung einer Batterie, die nur aus festen Materialien besteht, sowohl für eine Zelle als auch für das System herausfordernd. Die Voraussetzung ist ein tiefes wissenschaftliches Grundverständnis über die Verarbeitbarkeit der eingesetzten Materialien, um zyklenstabile Phasengrenzen mit niedrigen Übergangswiderständen zu realisieren.

Während Keramiken mit Hochtemperaturprozessen hergestellt werden müssen, können Polymere entweder direkt oder mithilfe von Lösungsmitteln, die im Nachgang wieder entfernt werden, verarbeitet werden. Diese Flexibilität spiegelt sich auch in den hergestellten Komponenten wider: Die Volumenänderungen beim Lade- und Entladebetrieb der Batterie können durch die elastischen Eigenschaften der Polymere gut abgefangen werden.



Hier liegt auch der Ansatz für das Fraunhofer IFAM, mit den Kompetenzen Pulvertechnologie, Grenzflächen- und Polymerchemie die Entwicklung von Festkörperbatterien auf Polymerbasis zu forcieren. Neben Fragestellungen zur Materialauswahl gehen die Wissenschaftler der Frage nach, mit welchen Prozesstechnologien derartige Batteriezellen im industriellen Maßstab gefertigt werden können. Der Formgebung von Polymermatrix-Verbundwerkstoffen kommt dabei eine besondere Rolle zu, um nach Einarbeitung von Additiven und Füllstoffen organisch-anorganische Compositelektroden reproduzierbar herstellen zu können. Dabei ist ein Hauptaugenmerk die Interaktion zwischen den festen Keramiken und dem Polymer in dem Komposit. Die sich hier ausbildenden Grenzflächen sind von entscheidender Bedeutung für die Funktion der Batterie.

In Kooperation mit der Sensor- und Funktionswerkstoffe-Nachwuchsgruppe der Universität Bremen wird die Möglichkeit evaluiert, lithiumionenleitende Keramiken in eine Polymermatrix einzubetten, um einen flexiblen und frei stehenden Elektrolyten herzustellen, der die Vorteile der keramischen und polymerbasierten Systeme vereint. Es ist möglich durch gezieltes Einrühren von keramischen Partikeln in die Polymere, die Festigkeit und Leitfähigkeit der Festkörperelektrolyte anzupassen.

Um den Energiegehalt von Festkörperbatterien wesentlich zu steigern, sind alternative Elektrodenarchitekturen und Zelldesigns notwendig. Im Fokus steht dabei die Entwicklung von pulverbasierten Formgebungsverfahren zur Herstellung kompakter und homogener Compositelektroden. Die Herausforderung liegt dann in der Zusammenführung der Einzelkomponenten zu einem funktionsfähigen Zellstapel. Dazu stehen unterschiedlichste und verschiedenste Verfahren lösemittelbasiert oder lösemittelfrei wie z. B. das Dispergieren, Kneten und Compoundieren, Extrudieren, Kalandrieren oder Laminieren zur Verfügung, die angewendet in der Lack- und Pulvertechnik sowie bei den Klebstof-

fen und in der Formgebung über viele Jahre eine zentrale Rolle für die Herstellung von Polymer-Metall und Polymer-Keramik Composite spielen. Ziel ist es, polymerbasierte Compositelektroden herzustellen und in Festkörperbatterien physikalisch und elektrochemisch zu charakterisieren.

1 Leitfähiges Polymer im Flügelmischer.

2 Frei stehender und flexibler Compositelektrolyt.

MENSCHEN UND MOMENTE





2

# ERÖFFNUNG DER OPEN HYBRID LABFACTORY

Der Forschungscampus Open Hybrid LabFactory entwickelt zusammen mit Forschungseinrichtungen und Unternehmen in Wolfsburg Schlüsseltechnologien für den Fahrzeugbau der Zukunft. Das Forschungszentrum, in dem auch drei Fraunhofer-Institute interdisziplinär unter der Leitung des Fraunhofer IFAM zusammenarbeiten, wurde am 22. September 2016 mit einem Festakt eingeweiht.

Leichtere Werkstoffe und neue Produktionstechniken helfen dabei, dass Autos in großen Stückzahlen umweltfreundlicher hergestellt werden können. Im LeichtbauCampus wird die gesamte Wertschöpfungskette für hybride Bauteile abgebildet, von der Konzeption über die Herstellung von Verstärkungstextilien und den hybriden Fertigungsprozessen bis hin zum Recycling. Ziel ist es, die Grundlage für die Produktion von besonders leichten und somit energie- und ressourceneffizienten Fahrzeugkarosserien und Antriebssystemen in hohen Stückzahlen zu schaffen. Forscher entwickeln dazu die sogenannte Hybridbauweise weiter. Dabei werden Werkstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften, wie Metall, Kunststoff und textile Strukturen, zu möglichst leichten Bauteilen zusammengefügt. Dabei bieten sie dieselbe hohe Sicherheit und Leistung wie konventionelle Autos.

Die Forschung in der Open Hybrid LabFactory wird im Rahmen des Forschungscampus-Programms des Bundes mit bis zu 30 Millionen Euro gefördert. In dem Wettbewerb war das LeichtbauCampus-Konsortium unter Federführung des Niedersächsischen Forschungszentrums Fahrzeugtechnik (NFF) der Technischen Universität Braunschweig mit dem Engagement von Industriepartnern wie der Volkswagen AG als eines von neun geförderten Campi erfolgreich. Insgesamt werden über 90 Millionen Euro für Ausstattung und erste Forschungsprojekte vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, dem Land Niedersachsen, der Stadt Wolfsburg und Industriepartnern bereitgestellt. 60 Millionen Euro davon wurden in die Gebäudeerstellung, die Anlagentechnik und

die Ersteinrichtung investiert. In den kommenden 15 Jahren sollen Forschungsprojekte mit einem Volumen von über 200 Millionen Euro in der Open Hybrid LabFactory durchgeführt werden.

Um dies zu ermöglichen, arbeiten in der Forschungsfabrik Expertinnen und Experten aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und Industrie auf Augenhöhe unter einem Dach zusammen. Unter der Federführung des Niedersächsischen Forschungszentrums Fahrzeugtechnik (NFF) der TU Braunschweig kooperieren dort Volkswagen, BASF, DowAksa, Engel, IAV, Magna, Siempelkamp, ThyssenKrupp, Zwick Roell, Institute der Fraunhofer-Gesellschaft, der TU Clausthal und der Universität Hannover sowie eine Vielzahl weiterer Unternehmen. International agierende Technologieführer bringen damit ihre Kompetenzen in den Forschungsprozess ein und ziehen ihrerseits einen Gewinn aus dem Know-how der beteiligten akademischen Institute. Auch Studierende und Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler profitieren von den vielfältigen Perspektiven und den Erfahrungen der Partner. Das neue Kompetenz- und Forschungszentrum für wirtschaftlichen Leichtbau und innovative Werkstoff- und Fertigungstechnologien ist in Wolfsburg, unweit des Stammwerks der Volkswagen AG, in direkter Nähe zum MobileLifeCampus entstanden.

- 1 *Forschungscampus Open Hybrid LabFactory. (© OHLF e. V.)*
- 2 *Vertreter aus Politik, der Fraunhofer-Gesellschaft sowie weiteren an der Open Hybrid LabFactory beteiligten Instituten. (© OHLF e. V.)*



# »1. BREMER FASERVERBUND-TAGE« STARTEN ERFOLGREICH

Die »Bremer Klebtage« sind seit 2003 eine Institution – nicht nur für ehemalige Teilnehmende der klebtechnischen Weiterbildungslehrgänge des Fraunhofer IFAM. Vom 29. bis 30. September 2016 konnten analog hierzu die ersten »Bremer Faserverbundtage« angeboten werden.

Die Geschichte hinter dieser Veranstaltung: 2007 wurde am Fraunhofer IFAM das Weiterbildungszentrum Faserverbundwerkstoffe (WZF) gegründet, in dem analog zur Klebtechnik ein Weiterbildungssystem im Faserverbundwerkstoffbereich entwickelt wurde und hierarchieübergreifend und branchenunabhängig personalzertifizierende Lehrgänge durchgeführt werden.

Im Jahr 2016 war die Zeit reif, auch den ehemaligen Teilnehmenden des WZF die Möglichkeit zu bieten, sich über Neuigkeiten aus dem Bereich der Faserverbundtechnologie zu informieren, alte Kontakte zu pflegen und neue Kontakte zu knüpfen. Die »Bremer Faserverbundtage« waren angetreten, eine Ergänzung zu den Lehrgängen des Weiterbildungszentrums Faserverbundwerkstoffe zu schaffen und gleichzeitig Interessierten, die bislang nicht an den Kursen teilgenommen haben, eine interessante und aktuelle Informationsmöglichkeit zu eröffnen.

Dieses Konzept mit dem gleichzeitigen Anspruch, eine Plattform zu kreieren, um »aus der Praxis für die Praxis« Herausforderungen und Lösungen beim Umgang mit Faserverbundwerkstoffen vorzustellen und zu diskutieren, ist aufgegangen. Nach interessanten Vorträgen und anschließenden Diskussionen bot zusätzlich das abendliche Get-together

unter dem Motto »Een und een is meer as twee« den 65 Teilnehmerinnen und Teilnehmern hinreichend Gelegenheit, sich mit neuesten Entwicklungen aus dem Bereich der Faserverbundwerkstoffe in kleiner oder großer Runde auseinanderzusetzen.

Die »2. Bremer Faserverbundtage« sind vom 31.8. bis 1.9.2017 terminiert.

**1** Beate Brede, Leiterin des Weiterbildungszentrums Faserverbundwerkstoffe, bei den »Bremer Faserverbundtagen«.



# PROF. DR. ANDREAS HARTWIG FÜR WISSENSTRANSFER AUSGEZEICHNET

Prof. Dr. Andreas Hartwig wurde auf der European Adhesion Conference EURADH 2016 in Glasgow mit der De Bruyne Medaille für seinen herausragenden Wissenschaftstransfer ausgezeichnet.

Dieser renommierte Preis wird alle drei Jahre von der Society for Adhesion and Adhesives an einen Forscher verliehen, der sich um die Klebtechnik besonders verdient gemacht hat. Norman Adrian de Bruyne FRS, geboren am 8. November 1904 in Punta Arenas, Chile, war ein britischer Wissenschaftler und Pionier des Leichtbaus, der es auf besondere Weise verstand, theoretische Erkenntnisse der Wissenschaft in praktische Anwendungen umzusetzen. Er entwickelte die ersten Strukturklebstoffe und erfand später Wabenkernplatten, die auch heute noch im Flugzeugbau eingesetzt werden.

Vor diesem Hintergrund überreichte Matthew Cleaver, Repräsentant der Hexcel Composites Ltd., am 21. September Prof. Dr. Andreas Hartwig die De Bruyne Medaille. In seiner Funktion als stellvertretender Leiter des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM und Abteilungsleiter für Klebstoffe und Polymerchemie widmet sich der Chemiker Andreas Hartwig seit 1992 wissenschaftlichen Fragestellungen rund um das Thema Kleben. Für seine wichtigen Forschungsbeiträge zur Klebstoffchemie und Klebtechnik sowie den Transfer dieser Erkenntnisse in die industrielle Praxis hat er sich einen internationalen Ruf erworben.

Besonders lobend erwähnt wurden bei der Preisübergabe seine Arbeiten zu kationisch härtenden Epoxidharzen und vorbeschichtbaren Reaktivklebstoffen – kurz PASA®. In seinem Festvortrag »Polyurethane adhesives: Influence of curing on dynamics and property changes with time« ist der Preisträger entsprechend des Stiftungszwecks auf industriell wichtige Aspekte eingegangen.

**1** Prof. Dr. Andreas Hartwig (links) erhält von Matthew Cleaver, Repräsentant der Hexcel Composites Ltd., die De Bruyne Medaille.



## DR. GESA PATZELT VON DER GDCh AUSGEZEICHNET

Mit ihrem Vortrag »Omniphobe Oberflächen zur Verbesserung der Anti-Eis- und Anti-Kontaminationseigenschaften« konnte Dr. Gesa Patzelt auf der 80. Jahrestagung der Fachgruppe Lackchemie am 14. September 2016 in Paderborn die Jury überzeugen. Unter 25 Referaten wurde ihr Beitrag für den besten wissenschaftlichen Inhalt und eine hervorragende Vortragsqualität prämiert.

Dr. Gesa Patzelt forscht in der Abteilung Lacktechnik des Fraunhofer IFAM seit vielen Jahren an Anti-Eis- und Anti-Kontaminationseigenschaften von Beschichtungen. Gerade im Bereich der Luftfahrtindustrie und Windenergieanlagen-Herstellung ist eine kontinuierliche Performance der Oberflächen hinsichtlich der Energieeffizienz wichtig. Doch durch Eisbildung oder Verschmutzung durch Insekten wird die Effizienz beeinträchtigt. Verschiedene Möglichkeiten zur Modifikation der Oberflächen durch die chemische Zusammensetzung der Beschichtungen, die Rauheit und die Oberflächenstruktur werden untersucht. Bereits seit 2009 forschen Wissenschaftler an innovativen Oberflächen. In den letzten Jahren wanderte der Fokus immer mehr auf omniphobe Beschichtungen.

Omniphobe Oberflächen zeichnen sich durch sowohl hydrophobe als auch lipophobe Eigenschaften aus, dies führt zu einer Reduzierung der Eisbildung auf Oberflächen sowie zu einer sehr leichten Entfernbarkeit von Insekten. Eine Variante zur Herstellung solcher Oberflächen stellt der SLIPS-Ansatz (slippery liquid-infused porous surface) dar, bei dem poröse Oberflächenstrukturen mit funktionellen Ölen getränkt werden. Die biologischen Vorbilder dieses Ansatzes sind die fleischfressenden Kannenpflanzen *Nepenthes* spp., deren Wachskristalle bei Insekten zu einer verstärkten Sekretion von Adhäsionsflüssigkeit und somit zu deren Abgleiten führt. Es konnte gezeigt werden, dass eine solche Oberfläche ver-

schiedene Verschmutzungen, wie z. B. Öl, Klareis und Blut, sehr effektiv abweist und – im Gegensatz zur klassischen Superhydrophobie und dem damit verbundenen sogenannten Lotuseffekt – kleine Beschädigungen durch Verfließen der Funktionsflüssigkeit selbst regenerieren kann.

Für die Weiterentwicklung dieses Ansatzes diente hier eine auf einer Aluminiumlegierung (AA 2024) gewachsene Böhmitstruktur als Reservoir für funktionelle Öle. Als funktionelle Öle wurden sowohl synthetische Öle, wie zum Beispiel Hydrauliköl, als auch fluormodifizierte Öle verwendet. Weiterhin wurde die Struktur vor dem Befüllen mit funktionellen Ölen mittels Sol-Gel-Prozess an der Oberfläche modifiziert. Hier zeigte sich nach der chemischen Modifizierung und Verwendung von fluormodifizierten Ölen eine eindeutige omniphobe Oberfläche.

In weiteren Untersuchungen wurden Metalloberflächen durch Laserstrahlung mit einer Mikro- und Nano-Strukturierung versehen, die sich über ein spezielles Verfahren mit hoher Genauigkeit in eine Beschichtung übertragen lässt. Diese Oberflächen ließen sich ebenfalls modifizieren und befüllen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass sowohl Wasser als auch Öle von der Oberfläche abgewiesen werden.

1 Dr. Gesa Patzelt bei der Preisvergabe mit Dr. Michael Hilt von der GDCh.



# ANASTASSIJA WITTMER ERHÄLT DIE AUSZEICHNUNG »BEST YOUNG SCIENTIST«

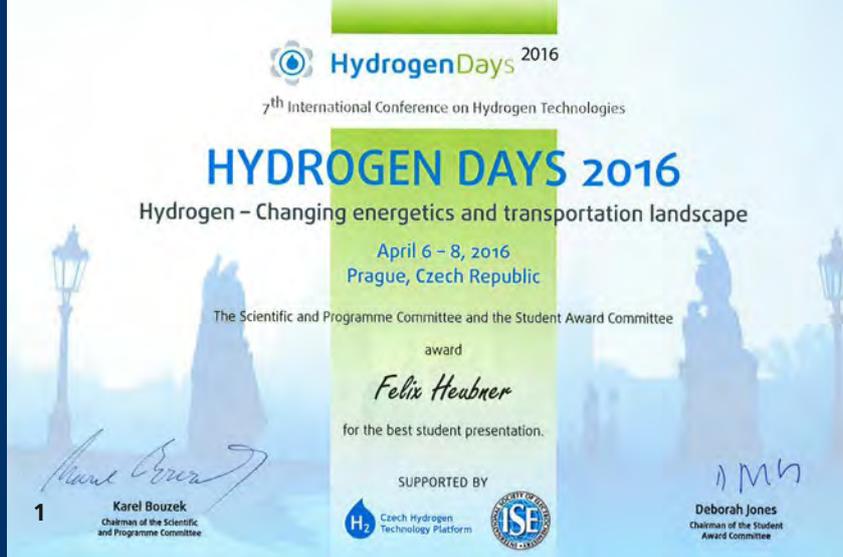
Anastassija Wittmer erhält die Auszeichnung »Best Young Scientist« für den besten Vortrag auf dem European Technical Coatings Congress 2016. Mit ihrem Vortrag »Intrinsic self-healing coatings« konnte sie auf dem international angesehenen Kongress am 25. Mai in Birmingham die Jury überzeugen. Unter 56 Referaten wurde ihr Beitrag für wissenschaftliche Originalität mit herausragenden Resultaten und als beste Präsentation prämiert.

Seit November 2014 ist Anastassija Wittmer Doktorandin in der Abteilung Lacktechnik am Fraunhofer IFAM und beschäftigt sich im Rahmen ihrer Doktorarbeit mit der intrinsischen Selbstheilung von Polymeren. Die Wissenschaftler der Lacktechnik forschen schon seit vielen Jahren an der extrinsischen Selbstheilung von Beschichtungen auf Basis von Kapselsystemen, was bereits zu einem ersten kommerziellen Produkt, einem selbstheilenden Fensterlack, geführt hat.

Die intrinsische Selbstheilung beruht auf einem speziellen Polymernetzwerkaufbau, bei der das Polymer zur Ausbildung einer Vielzahl von reversiblen physikalischen Bindungen befähigt ist. Ein Selbstheilungsreagenz kann dabei kovalent an ein polymeres Netzwerk fixiert oder als Co-Bindemittel in den Lack additiviert werden. Die Moleküle können in beiden Fällen über inter- und intramolekulare physikalische Wechselwirkungen supramolekulare Netzwerke aufbauen. Solche Systeme sind in der Lage Beschädigungen, wie z. B. Mikrorisse, durch Reorganisation der Moleküle zu heilen. Die Selbstheilung findet dabei bevorzugt bei erhöhter Luftfeuchte und/oder Temperatur statt. Es konnte gezeigt werden, dass das Wasser aus der Luftfeuchte eine entscheidende Rolle beim Selbstheilungsprozess einnimmt.

Hintergrund der Forschung ist, dass Beschichtungstoffe häufig extremen Umwelteinflüssen und prozessgeschuldeten Beanspruchungen ausgesetzt sind. UV-Licht, Baumharz, mechanischer Abrieb und innere Spannungen schädigen den Lack mit der Zeit zunehmend und führen so zu feinen Mikrorissen. Diese feinen Beschädigungen sind Auslöser für größere Werkstoffschäden und führen letztlich zum Ausfall des Bauteils. Materialien mit selbstheilenden Eigenschaften sind in der Lage, diese mikroskopischen Schäden selbstständig oder durch einen externen Stimulus zu heilen. Dieser Umstand kann so zu einer Verlängerung der Lebensdauer und zum Erhalt des Erscheinungsbildes eines Materials führen.

1 *Anastassija Wittmer bei der Preisverleihung auf dem European Technical Coatings Congress.*



# INNOVATIVE METALLHYDRID- VERBUNDWERKSTOFFE – AUSZEICHNUNG ALS »BEST STUDENT PRESENTATION«

Im Rahmen der 7<sup>th</sup> International Conference on Hydrogen Technologies, die vom 6. bis 8. April 2016 in Prag stattfand, wurde Felix Heubner vom Fraunhofer IFAM in Dresden mit dem »Award for the Best Student Presentation« ausgezeichnet.

In seinem Vortrag unter dem Titel »Anisotropic Stress Generation of Metal Hydride Composites« beschäftigte sich der junge Wissenschaftler mit einer grundlegenden und systematischen Evaluierung von ausgewählten Metallhydrid-Verbundwerkstoffen (MHV) und den sich daraus ergebenden Randbedingungen für Wasserstoffspeichersysteme. Hydridbildende Metalllegierungen werden industriell für die H<sub>2</sub>-Speicherung eingesetzt, beispielsweise für marine Anwendungen, für stationäre Energiesysteme oder für portable brennstoffzellenbetriebene Elektronik. Die hier vorgestellten Verbundmaterialien, die neben dem H<sub>2</sub>-absorbierenden Speicher material auch aus einer formstabilisierenden und hochwärmleitfähigen Zweitphase bestehen, stellen eine Neuheit dar und sind herkömmlich eingesetzten reinen Metallhydriden deutlich überlegen, beispielsweise hinsichtlich der volumetrischen Speicherkapazität, der Speicherdynamik oder der Prozesssicherheit.

Des Weiteren stellte Felix Heubner in seiner Präsentation die Abbildung des Realverhaltens der MHV im Speichertank unter Berücksichtigung der mit der Hydrierung einhergehenden Volumenausdehnung dar. Außerdem lässt sich die Volumenausdehnung des Metalls in die Poren des Verbundwerkstoffs

einleiten, was zur Generierung einer messbaren Kraft führt. Dieser Zusammenhang wurde genutzt, um den Füllstand und den state-of-health eines Metallhydrid-basierten Speichersystems abzubilden (DE-Patent 10 2015 100 584 B3).

Träger des vorgestellten Projektes, das gemeinsam von der Technischen Universität Dresden und dem Fraunhofer IFAM realisiert wird, sind die Friedrich und Elisabeth Boysen-Stiftung, die Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG sowie das Bundesministerium für Bildung und Forschung.

1 Award for the Best Student Presentation für Felix Heubner.



# ELEKTRONENSTRAHL- SCHMELZEN – PREIS FÜR BESTES FUNKTIONSTEIL

Im Rahmen des Arcam User Group Meetings, einem Treffen der weltweiten Experten im Bereich Elektronenstrahlschmelzen (EBM), wurde Dr. Burghardt Klöden vom Fraunhofer IFAM in Dresden mit dem Preis für das Best Functional Part ausgezeichnet.

Vom 20. bis 22. September 2016 kamen in Falkenberg (Schweden) Nutzer der Arcam-Anlagentechnik sowie weitere Gäste aus dem Bereich der Additiven Fertigung zusammen. Alle Teilnehmer waren eingeladen, eigene Bauteile mitzubringen und sich um einen der ausgeschriebenen Preise in den drei Kategorien Best Innovative Part, Best Functional Part sowie Best Creative Part zu bewerben. Alle Bauteile wurden während der Veranstaltung ausgestellt und konnten nicht nur angeschaut, sondern auch angefasst werden. Schließlich waren alle Teilnehmer aufgerufen, an der Abstimmung der Preisträger teilzunehmen.

Das Team des Fraunhofer IFAM Dresden erhielt den Preis in der Rubrik Best Functional Part für das Main Gear Bracket, ein Helikopterbauteil, das innerhalb des Projekts GenFly optimiert und mittels EBM gefertigt wurde. Mit dem Preis wird nicht nur die Leistung für ein einzelnes Bauteil gewürdigt, sondern auch das Renommee der Preisträger innerhalb der weltweiten Gemeinschaft der EBM-Fachleute und darüber hinaus gestärkt.

# INFIANA UND FRAUNHOFER IFAM ERHALTEN AIMCAL AWARD

Beim Management Meeting des amerikanischen Branchenverbandes »Association of International Metallizers, Coaters and Laminators« (AIMCAL) im kalifornischen Carlsbad haben Infiana und das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM gemeinsam zum ersten Mal einen der begehrten AIMCAL Awards erhalten – eine besondere Anerkennung für den weltweit agierenden Anbieter für Spezialfolien und für die Entwicklungsleistung des Fraunhofer IFAM. Ausgezeichnet wurden die Kooperationspartner für die Flex<sup>PLAS®</sup>-Trennfolie mit dem »2016 Technology of the Year Award«.

Flex<sup>PLAS®</sup>, eine plasmabeschichtete Trennfolie, die in Kooperation weiterentwickelt wurde und vertrieben wird, spielt bei der Herstellung von großen und komplexen Faserverbundkunststoffen für Leichtbauanwendungen eine entscheidende Rolle. Wer sie einsetzt, spart bis zu 60 Prozent Zeit im Herstellungsprozess. Leichtbauteile, die etwa in Flugzeugen, Windenergieanlagen oder in der Automobilindustrie benötigt werden, lassen sich ohne den Einsatz von flüssigen Trenn- und Lösungsmitteln aus der jeweiligen Form herauslösen. Genau dieser innovative Ansatz war bei der Entscheidung der fachkundigen AIMCAL-Jury maßgebend.

Der Branchenverband AIMCAL ist ein internationales Netzwerk mit rund 260 Mitgliedern. Vertreten sind hier vor allem Unternehmen aus der Folien- und Papierindustrie. Einmal im Jahr findet für die Mitglieder das dreitägige Management Meeting statt, das – neben der Auslobung der Awards – vor allem durch Fachbeiträge, Workshops und den Experten-Austausch geprägt ist. Keith Fedewa, Vizepräsident Sales Infiana USA, der stellvertretend für die Infiana Group und das Fraunhofer IFAM den Preis in Empfang genommen hat, erklärt: »Diese Auszeichnung und

das Netzwerken beim Management Meeting sind für uns die perfekte Gelegenheit, unseren Partnern, Lieferanten und Kunden zu zeigen, wie innovativ wir arbeiten und wie konstant wir unsere Produkte weiterentwickeln.«

1 Flex<sup>PLAS®</sup>-Trennfolie nach dem Tiefziehen in eine doppelt gekrümmte Form.



# KOOPERATIONEN UND WISSENSCHAFTLICHES

## Kooperation mit Hochschulen

Die intensive Zusammenarbeit und Vernetzung mit den Universitäten und Hochschulen an den Standorten des Instituts spielt für das Fraunhofer IFAM eine große Rolle. Das gilt insbesondere für die Universität Bremen sowie die Technische Universitäten in Dresden und Hamburg. Forscher und Forscherinnen des Fraunhofer IFAM waren im Sommersemester 2016 und im Wintersemester 2016/2017 wieder mit zahlreichen Lehrveranstaltungen u. a. an der Universität Bremen, der Technischen Universität Dresden, der Hochschule Bremen und der Hochschule Bremerhaven aktiv.

Eine Übersicht über die Vorlesungen und Seminare, die von Mitarbeitern an den verschiedenen Institutionen gehalten werden, finden Sie unter:

→ [www.ifam.fraunhofer.de/vorlesungen](http://www.ifam.fraunhofer.de/vorlesungen)

## Wissenschaftliche Vernetzungen

Etwa 200 Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Publikationen dokumentieren am Fraunhofer IFAM erzielte Forschungsergebnisse und bestätigen die starke Position des Instituts auch im akademischen Netzwerk. Ehrungen und Preise für Angehörige des Instituts unterstreichen das.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IFAM waren auch 2016 wieder intensiv beteiligt an Konferenzen, Tagungen und Messen. Neben der aktiven Teilnahme an Veranstaltungen, die in Deutschland, dem europäischen Ausland sowie Asien, Nord- und Südamerika gehalten wurden, tritt das IFAM auch immer öfter selbst als Veranstalter auf.

Die detaillierte Aufstellung wissenschaftlicher Veröffentlichungen findet sich im Internet:

→ [www.ifam.fraunhofer.de/veroeffentlichungen](http://www.ifam.fraunhofer.de/veroeffentlichungen)

## Patente

Patente dokumentieren die Innovationsfähigkeit einer Organisation. Mit der Erteilung von 18 Patenten im Jahr 2016 hält das Fraunhofer IFAM das hohe Niveau der letzten Jahre. Des Weiteren konnte das IFAM im letzten Jahr 17 Patente anmelden und veröffentlichen. Eine Übersicht finden Sie unter:

→ [www.ifam.fraunhofer.de/patente](http://www.ifam.fraunhofer.de/patente)

# FRAUNHOFER-VERBUND WERKSTOFFE, BAUTEILE – MATERIALS

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS bündelt seit nunmehr 20 Jahren die Kompetenzen der materialwissenschaftlich orientierten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft. Mit über 2500 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern und einem Gesamthaushalt von jährlich ca. 500 Millionen Euro im Leistungsbereich Vertragsforschung ist er der größte Verbund innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft.

Materialwissenschaft und Werkstofftechnik umfassen bei Fraunhofer die gesamte Wertschöpfungskette, von der Entwicklung neuer und der Verbesserung bestehender Materialien und Werkstoffe über die passenden Fertigungsverfahren im quasi-industriellen Maßstab, die Charakterisierung der Eigenschaften bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens. Entsprechendes gilt für die aus den Werkstoffen hergestellten Bauteile und Produkte und deren Verhalten in den jeweiligen Anwendungssystemen. In all diesen Feldern werden neben den experimentellen Untersuchungen in Labors, Technika und Pilotanlagen stets gleichrangig Verfahren der numerischen Simulation und Modellierung eingesetzt, dies über alle Skalen, vom Molekül über das Bauteil bis hin zum komplexen System und zur Prozesssimulation. Stofflich deckt der Fraunhofer-Verbund MATERIALS den gesamten Bereich der metallischen, anorganisch-nichtmetallischen, polymeren und aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugten Werkstoffe sowie Halbleitermaterialien ab. Eine große Bedeutung haben in den letzten Jahren hybride Materialien und Verbundwerkstoffe gewonnen.

Mit der 2015 gegründeten Initiative Materials Data Space® (MDS) legt der Verbund eine Roadmap zu industrie-4.0-tauglichen Werkstoffen vor. In der Digitalisierung von Werkstoffen entlang ihrer gesamten Wertschöpfungskette sieht der Verbund eine wesentliche Voraussetzung für den nachhaltigen Erfolg von Industrie 4.0.

#### Ziele des Verbunds sind:

- Unterstützung beschleunigter Innovationen in den Märkten unserer Kunden und Partner
- Erfolgssteigerung von Industrie 4.0 durch passende Werkstoffkonzepte (digitale Zwillinge, Materials Data Space®)

- Erhöhung der Integrationsdichte und Verbesserung der Gebrauchseigenschaften von Bauteilen der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik
- Verbesserung der Nutzung von Rohstoffen und Qualitätsverbesserung der daraus hergestellten Produkte, Recyclingkonzepte
- Erhöhung von Sicherheit und Komfort sowie Reduzierung des Ressourcenverbrauchs in den Bereichen Verkehrstechnik, Maschinen- und Anlagenbau, Bauen und Wohnen
- Steigerung der Effizienz von Systemen der Energieerzeugung, Energiewandlung, Energiespeicherung und -verteilung
- Verbesserung von Biokompatibilität und Funktion von medizin- oder biotechnisch eingesetzten Materialien, Verbesserung von Materialsystemen für medizinische Diagnose, Prävention und Therapie
- Verbesserung des Schutzes von Menschen, Gebäuden und Infrastruktur durch leistungsfähige Werkstoffe in spezifischen Schutzkonzepten

#### Vorsitzender des Verbundes

Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner

#### Stellvertretender Vorsitzender

Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn

#### Ansprechpartner am Fraunhofer IFAM

Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Busse

matthias.busse@ifam.fraunhofer.de

Prof. Dr. Bernd Mayer

bernd.mayer@ifam.fraunhofer.de

# FRAUNHOFER-ALLIANZEN

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

## FRAUNHOFER-ALLIANZ AUTOMOBILPRODUKTION

Ansprechpartner Fraunhofer IFAM  
**Dipl.-Ing. Franz-Josef Wöstmann**  
franz-josef.woestmann@ifam.fraunhofer.de  
**Dr.-Ing. Heinrich Kordy**  
heinrich.kordy@ifam.fraunhofer.de

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

## FRAUNHOFER-ALLIANZ GENERATIVE FERTIGUNG

Ansprechpartner Fraunhofer IFAM  
**Dipl.-Ing. Claus Aumund-Kopp**  
claus.aumund-kopp@ifam.fraunhofer.de  
**Dr. Burghardt Klöden**  
burghardt.kloeden@ifam-dd.fraunhofer.de

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

## FRAUNHOFER-ALLIANZ BATTERIEN

Ansprechpartner Fraunhofer IFAM  
**Dr. Julian Schwenzel**  
julian.schwenzel@ifam.fraunhofer.de

→ [www.batterien.fraunhofer.de](http://www.batterien.fraunhofer.de)

## FRAUNHOFER-ALLIANZ LEICHTBAU

Ansprechpartner Fraunhofer IFAM  
**Dr. Markus Brede**  
markus.brede@ifam.fraunhofer.de  
**Dr.-Ing. Olaf Andersen**  
olaf.andersen@ifam-dd.fraunhofer.de

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

## FRAUNHOFER-ALLIANZ NANOTECHNOLOGIE

Ansprechpartner Fraunhofer IFAM  
**Prof. Dr. Andreas Hartwig**  
andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de  
**Prof. Dr. Bernd Günther**  
bernd.guenther@ifam.fraunhofer.de

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

**FRAUNHOFER-ALLIANZ  
POLYMERE OBERFLÄCHEN (POLO)**

Ansprechpartner Fraunhofer IFAM  
Dr. Uwe Lommatzsch  
uwe.lommatzsch@ifam.fraunhofer.de

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

**FRAUNHOFER-ALLIANZ  
SPACE**

Ansprechpartner Fraunhofer IFAM  
Gerhard Pauly  
gerhard.pauly@ifam.fraunhofer.de

→ [www.space.fraunhofer.de](http://www.space.fraunhofer.de)

**FRAUNHOFER-ALLIANZ  
REINIGUNGSTECHNIK**

Ansprechpartner Fraunhofer IFAM  
Dr. Jörg Ihde  
joerg.ihde@ifam.fraunhofer.de

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

**FRAUNHOFER-ALLIANZ  
VERKEHR**

Ansprechpartner Fraunhofer IFAM  
Dr.-Ing. Gerald Rausch  
gerald.rausch@ifam.fraunhofer.de

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

**FRAUNHOFER-ALLIANZ  
NUMERISCHE SIMULATION VON  
PRODUKTEN, PROZESSEN**

Ansprechpartner Fraunhofer IFAM  
Andreas Burbliès  
andreas.burbliès@ifam.fraunhofer.de

→ [www.nusim.fraunhofer.de](http://www.nusim.fraunhofer.de)

**FRAUNHOFER ACADEMY**

Die Fraunhofer Academy bündelt die Weiterbildungsangebote der Fraunhofer-Gesellschaft unter einem Dach.

Ansprechpartner Fraunhofer IFAM  
Prof. Dr. Andreas Groß  
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)  
Dr.-Ing. Gerald Rausch  
gerald.rausch@ifam.fraunhofer.de  
[www.ifam.fraunhofer.de/tqb](http://www.ifam.fraunhofer.de/tqb)

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

# IMPRESSUM

---

## Institutsleitung

---

Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Busse  
Formgebung und Funktionswerkstoffe  
Telefon +49 421 2246-100  
Telefax +49 421 2246-300

Prof. Dr. Bernd Mayer  
Klebtechnik und Oberflächen  
Telefon +49 421 2246-401  
Telefax +49 421 2246-430

---

## Standort Bremen

---

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM  
Wiener Straße 12  
28359 Bremen  
Telefon +49 421 2246-0  
info@ifam.fraunhofer.de  
www.ifam.fraunhofer.de

---

## Institutsteil Dresden

---

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM  
Institutsteil Dresden  
Winterbergstraße 28  
01277 Dresden  
Telefon +49 351 2537-300  
info@ifam-dd.fraunhofer.de  
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

---

Stephanie Uhlich, M. A.  
Dipl.-Biol. Martina Ohle  
Cornelia Müller, M. A.

---

## Externe Dienstleister

---

### Satz und Layout

Jens Oertel Design

### Druck und Verarbeitung

Berlin Druck GmbH

---

## Bildquellen

---

Alle Abbildungen © Fraunhofer IFAM oder Quellenangaben.

Folgen Sie uns auf



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

**[info@ifam.fraunhofer.de](mailto:info@ifam.fraunhofer.de)  
[www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)**