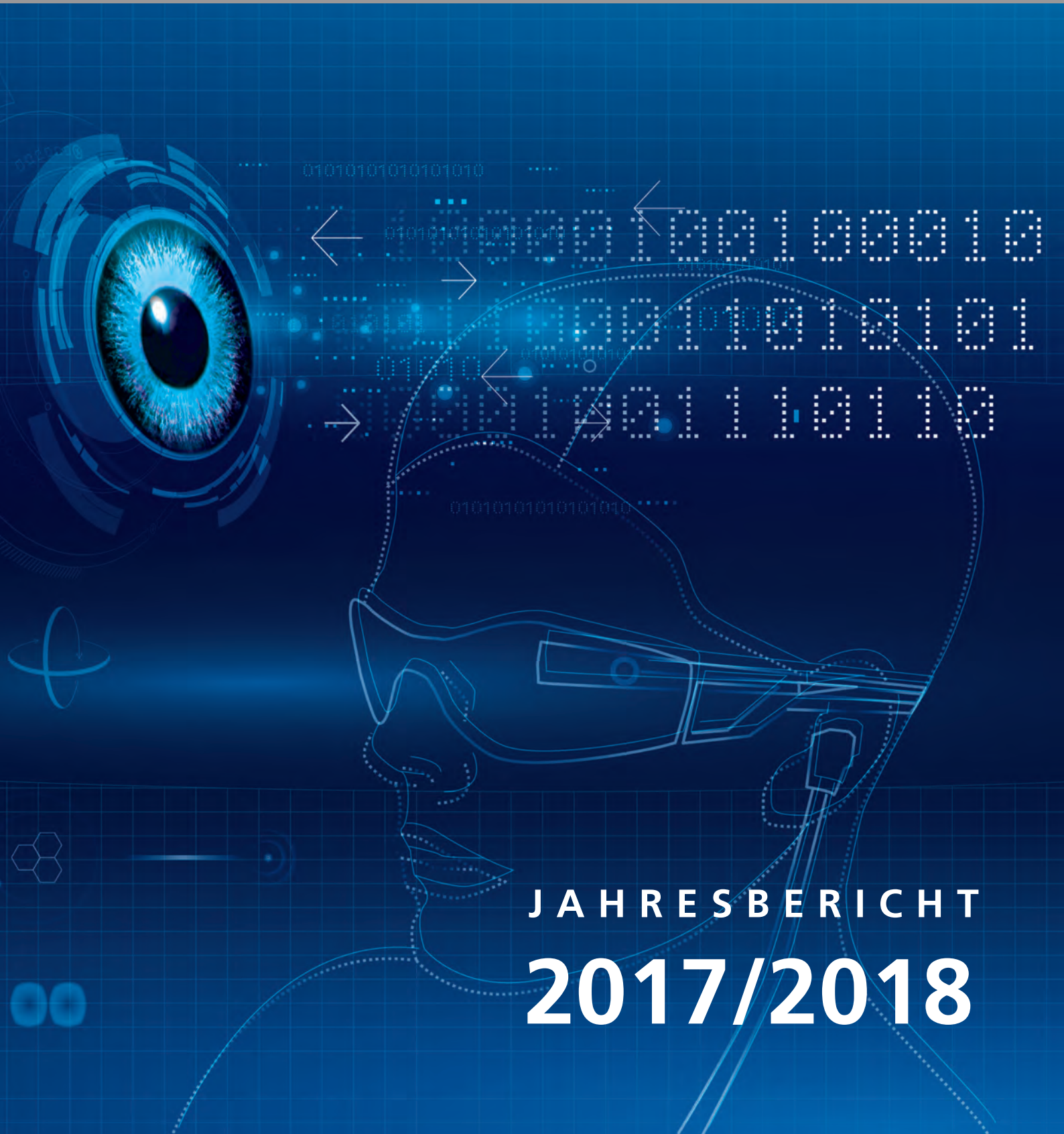




**Fraunhofer**  
IFAM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK UND ANGEWANDTE MATERIALFORSCHUNG IFAM



**JAHRESBERICHT**  
**2017/2018**

JAHRESBERICHT

**2017/2018**

# VORWORT

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



Liebe Leserinnen und Leser,

2017 war für das Fraunhofer IFAM ein erfolgreiches Geschäftsjahr. Wir verzeichnen seit mehreren Jahren ein gesundes Wachstum; damit dies in Zukunft so bleibt, wurde ein Strategieprozess zur wissenschaftlich-technischen Schärfung des Institutsprofils durchgeführt. Das Fraunhofer IFAM ist permanent gefordert, sich mit veränderten Technologieanforderungen und Märkten auseinanderzusetzen. Energie, Rohstoffe, Medizin, Mobilität, Automatisierung und Digitalisierung – diese Themen bewegen die Gesellschaft weltweit. Mit unseren Kernkompetenzen konzentrieren wir uns auf die Entwicklung anwendungsorientierter Lösungen und stellen diese unterschiedlichen Branchen zur Verfügung.

Das Fraunhofer IFAM hat zur Elektromobilität eine hohe Systemkompetenz aufgebaut, die in allen Mobilitätsbranchen nachgefragt wird. Dieser Bereich hat sich zu einer weiteren Kernkompetenz des Instituts entwickelt. Neben der Energiesystemanalyse stehen Energiespeicher sowie elektrische Antriebe und die Erprobung elektrischer Maschinen im Fokus. Für zukünftige Anforderungen an Batterien und Brennstoffzellen wird eine größere Breite an technischen Lösungen notwendig sein. In enger Kooperation mit der Battery LabFactory Braunschweig plant die Fraunhofer-Gesellschaft und das Land Niedersachsen ein Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und -systeme in Braunschweig\*. Das Fraunhofer IFAM ist Impulsgeber und einer der Koordinatoren für den neuen Standort.

Strategisch wichtige Technologien werden auch im Geschäftsfeld Luftfahrt verfolgt. Das Institut ist sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene eng mit den Kernpartnern der Branche aus Wissenschaft und Wirtschaft vernetzt. Gemeinsam mit dem Flugzeugbauer Airbus realisiert das IFAM die »Future Factory«; Kernelement ist dabei der digitalisierte »End-to-End«-Datenfluss. Die Beiträge des Instituts bestehen vor allem in der Automatisierung, der Mensch-Roboter-Kooperation und der Logistik in der Kabinenmontage sowie dem robotischen Fügen. 3D-Drucktechnologien sowie Functional Printing bilden sowohl

in der Luftfahrt als auch in anderen Branchen einzigartige Möglichkeiten im Bereich der digitalen Fertigung.

Für die maritime Branche bringt das Fraunhofer IFAM Entwicklungen in den Bereichen Korrosionsschutz, funktionelle Beschichtungen sowie Kleben im Schiffbau voran. Im letzten Jahr wurde das Angebot um Prüfeinrichtungen auf Sylt, am Leuchtturm »Alte Weser« und auf Helgoland erweitert; hier können Untersuchungen unter einsatznahen Umgebungsbedingungen durchgeführt werden. Das neue Zentrum für Inline-Vorbehandlung im Bereich der Oberflächentechnik komplettiert das Angebot für Industrie- und Forschungspartner.

Im Geschäftsfeld Medizintechnik konnte das IFAM wichtige Projekte mit dem Fokus auf die Infektionsprävention in der Orthopädie starten. Gemeinsam mit der Charité – Universitätsmedizin Berlin werden zur Erschließung von technologischen und gesellschaftlichen Innovationen Antibiosen untersucht. Parallel dazu wird in einem internen Projekt das Thema der synergistischen Wirkung von Metallionen und Antibiotika bearbeitet; auch hier sind mehrere Universitätskliniken eingebunden.

In allen Geschäftsfeldern leistet das Institut wichtige Beiträge zum technologischen Wandel; dies gelingt insbesondere im Verbund starker Akteure. In diesem Zusammenhang gilt ein besonderer Dank unseren über 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die mit großem Engagement neue Entwicklungen vorantreiben. Für die gemeinsame Gestaltung des Fortschritts und für das uns entgegengebrachte Vertrauen danken wir zudem unseren Auftraggebern und Projektpartnern.

Im vorliegenden Jahresbericht finden Sie einen Querschnitt ausgewählter Forschungsergebnisse unseres Instituts.

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

14

Arbeitsgebiete und Ansprechpartner

17

Formgebung und Funktionswerkstoffe

25

Klebertechnik und Oberflächen

29

## METALLISCHE WERKSTOFFE

Kernkompetenz

33

Fused Filament Fabrication –  
vielfältig und kostengünstig

34

Additive Fertigung technischer Metallfedern

35

## POLYMERE WERKSTOFFE

Kernkompetenz

37

Valorisierung von biobasierten Rohstoffen

38

Funktionsintegration in FVK

mit digitalen Druckverfahren

39

## OBERFLÄCHENTECHNIK

Kernkompetenz

41

Oberflächen für die Medizintechnik

42

Digitalisierung in der Qualitätssicherung  
von Oberflächen

43

Treibstoffeinsparung durch

Laservorbehandlung von Titan

45

## KLEBEN

Kernkompetenz

47

Schwingfestigkeit geklebter Stahlverbindungen  
unter Schwellbelastung

48

Klebertechnik studieren:

Berufsbegleitende Weiterbildung

50

Eingeklebte Stäbe in Laubholz

51



## FORMGEBUNG UND FUNKTIONALISIERUNG

Kernkompetenz	53
Textile Hohlfaserstrukturen für thermische Anwendungen	54
Effiziente Verfahren zur Herstellung komplexer Formen	55

## ELEKTROMOBILITÄT

Kernkompetenz	57
Pulvermetallurgie neu gedacht: Gas-Feststoff-Energiespeicher	58
Radnabenantriebe ermöglichen optimale Rekuperation	59

## AUTOMATISIERUNG UND DIGITALISIERUNG

Kernkompetenz	61
Innovationen bei Faser-Metall-Laminaten (FML) für den Flugzeugbau	62

## MENSCHEN UND MOMENTE

Neues Geschäftsfeld bündelt Kernkompetenzen zu maritimen Technologien	65
Fraunhofer errichtet neues Projektzentrum für Energiespeicherforschung	66
Automatisierte Seitenleitwerkmontage ausgezeichnet	67
Erste »Composite Engineers« zertifiziert	68
Neue Fachtagung zur klebtechnischen Fertigung	69
Fabio La Mantia erhält ERC Consolidator Grant	70
Netzwerkprojekt fördert Zusammenarbeit von JAXA und Fraunhofer	71
futureAM – Next Generation	72
Additive Manufacturing	72
Leichtbautag in Stade – Börse für Zukunftstechnologien	73
Neues Zentrum für Inline-Oberflächen-vorbehandlung eingeweiht	74

## KOOPERATIONEN UND WISSENSCHAFTLICHES

Kooperationen und Wissenschaftliches	76
Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – Materials	77
Fraunhofer-Allianzen	78
IMPRESSUM	80

# 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 72 Institute und Forschungseinrichtungen. Knapp 25 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2,3 Milliarden Euro. Davon fallen über 2 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

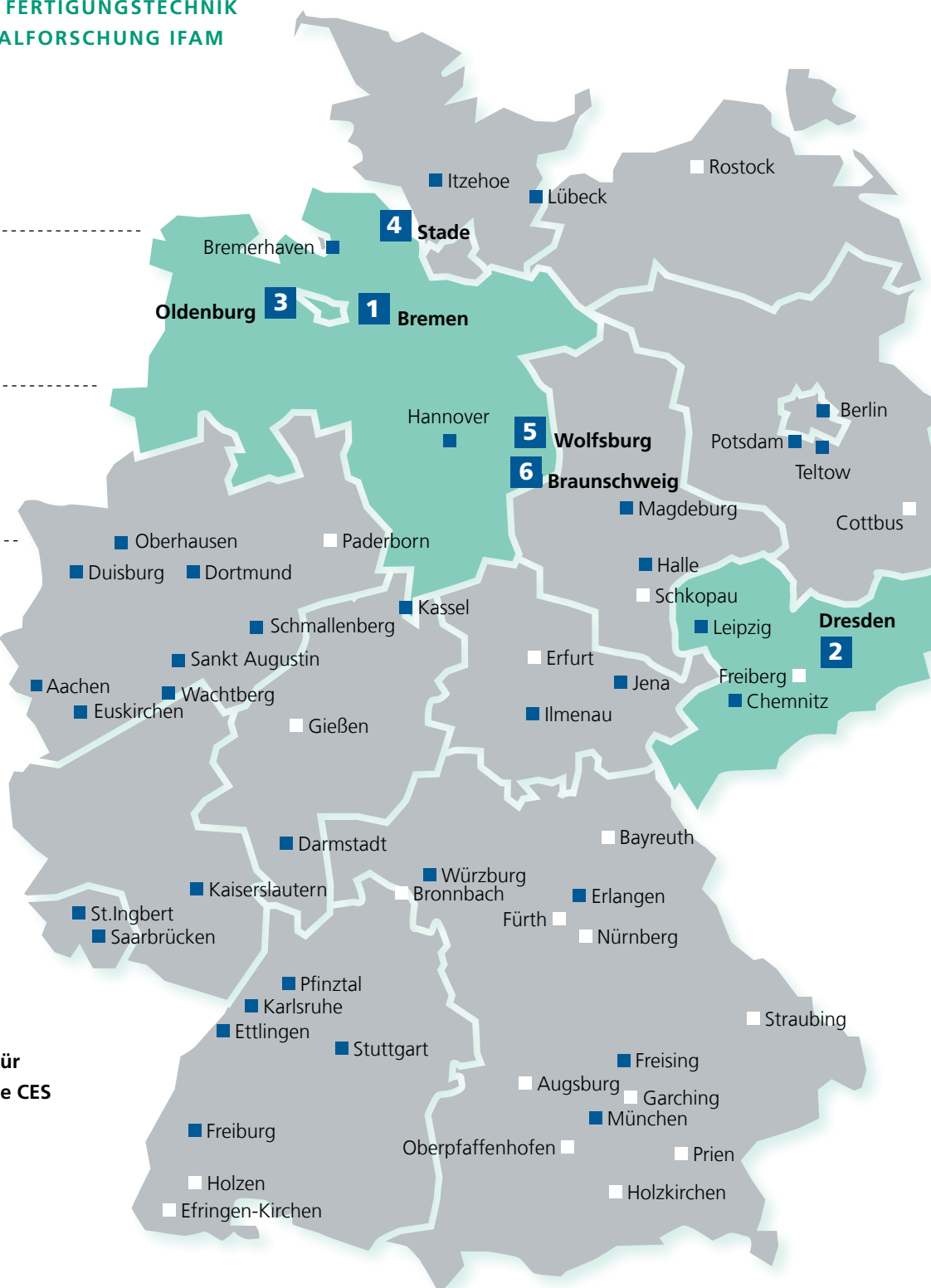
**3** Elektrische Energiespeicher  
Marie-Curie-Straße 1–3  
26129 Oldenburg

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

**5** Fraunhofer-Projektzentrum  
Wolfsburg  
Elektromobilität und  
Leichtbau  
Hermann-Münch-Straße 1  
38440 Wolfsburg

**6** Fraunhofer-Projektzentrum für  
Energiespeicher und -systeme CES  
Braunschweig  
Standort im Aufbau

- Institute und Einrichtungen
- Weitere Standorte

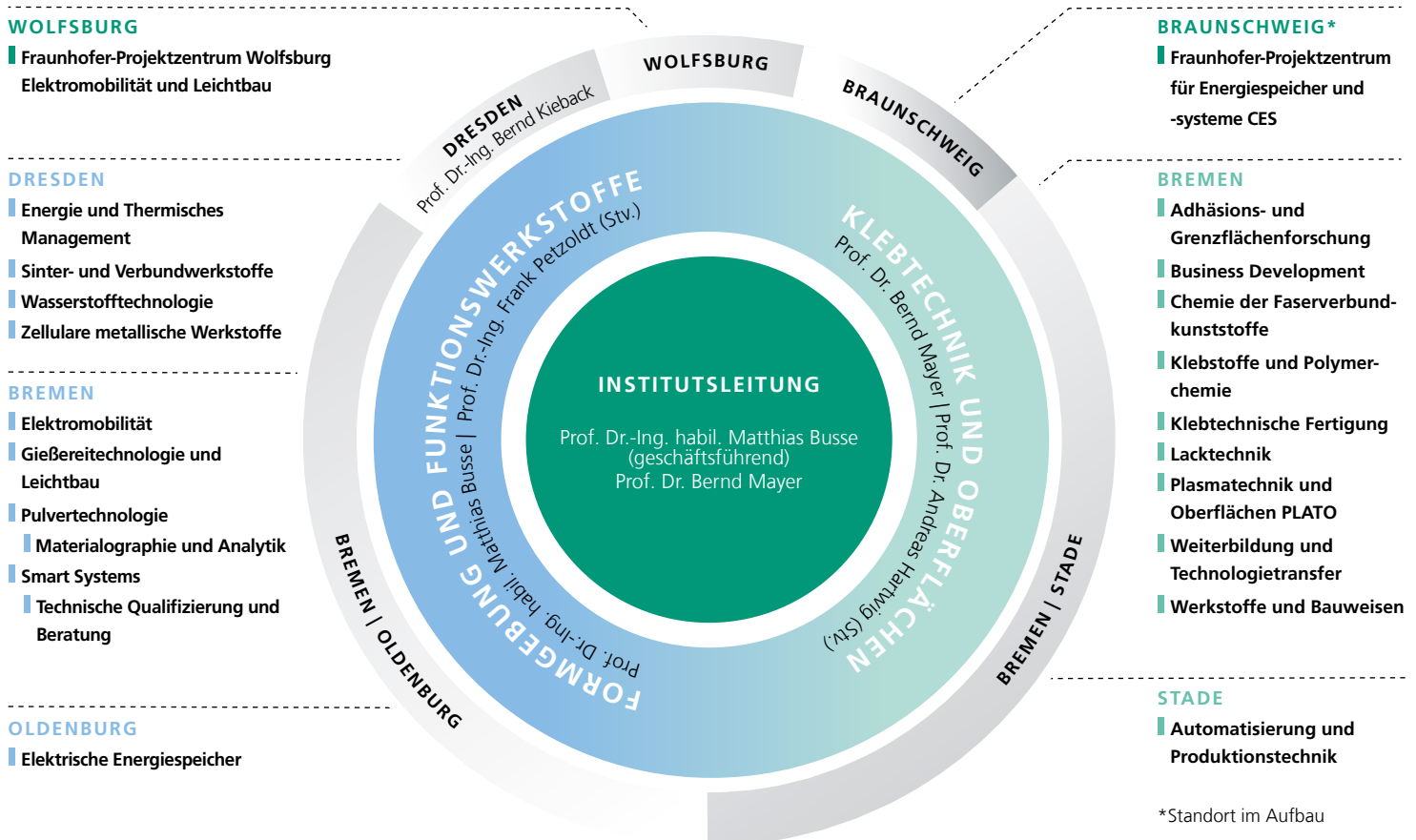




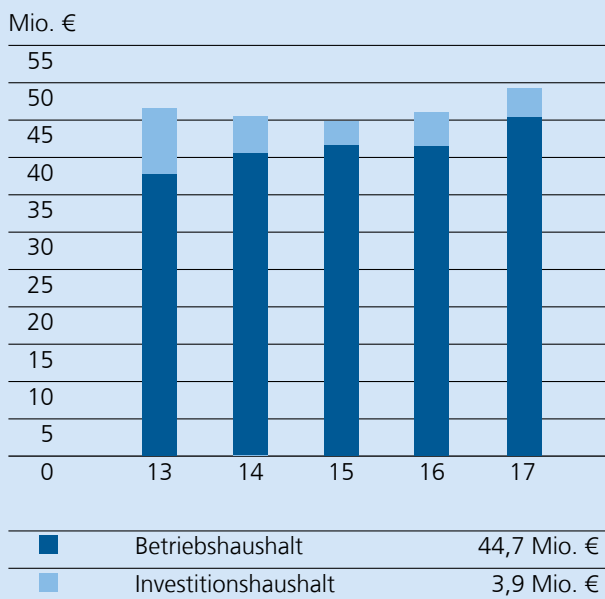
# KURZPORTRÄT UND ORGANIGRAMM

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, Wolfsburg und zukünftig an einem weiteren Standort in Braunschweig\* – zählen wissenschaftliche Exzellenz mit starker Anwendungsorientierung und messbarem Kundennutzen sowie höchste Qualität zu den zentralen Leitlinien des Instituts. Derzeit bündeln über

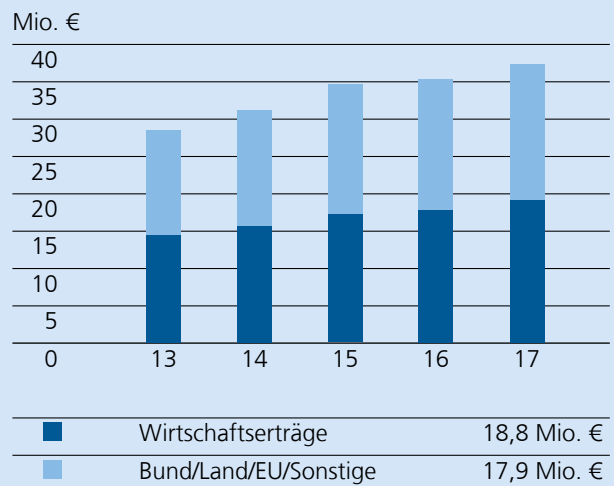
600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus 20 Abteilungen ihr breites technologisches und wissenschaftliches Know-how in sieben Kernkompetenzen: Metallische Werkstoffe, Polymere Werkstoffe, Oberflächentechnik, Kleben, Formgebung und Funktionalisierung, Elektromobilität sowie Automatisierung und Digitalisierung. 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.



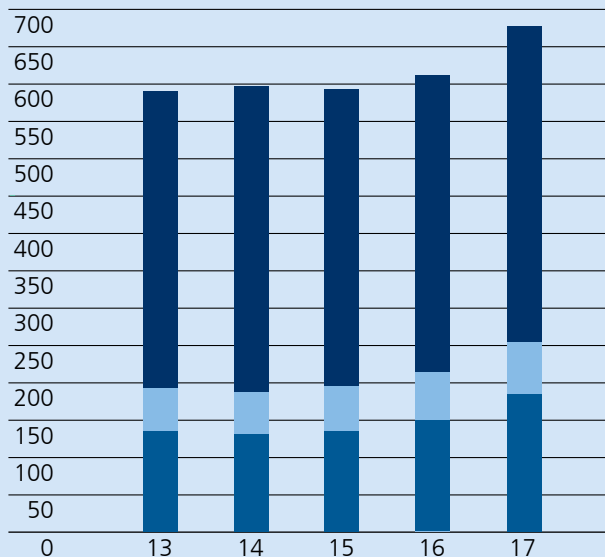
### Betriebs- und Investitionshaushalt 2013–2017



### Erträge 2013–2017



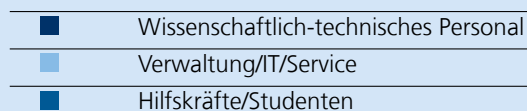
### Personalentwicklung 2013–2017

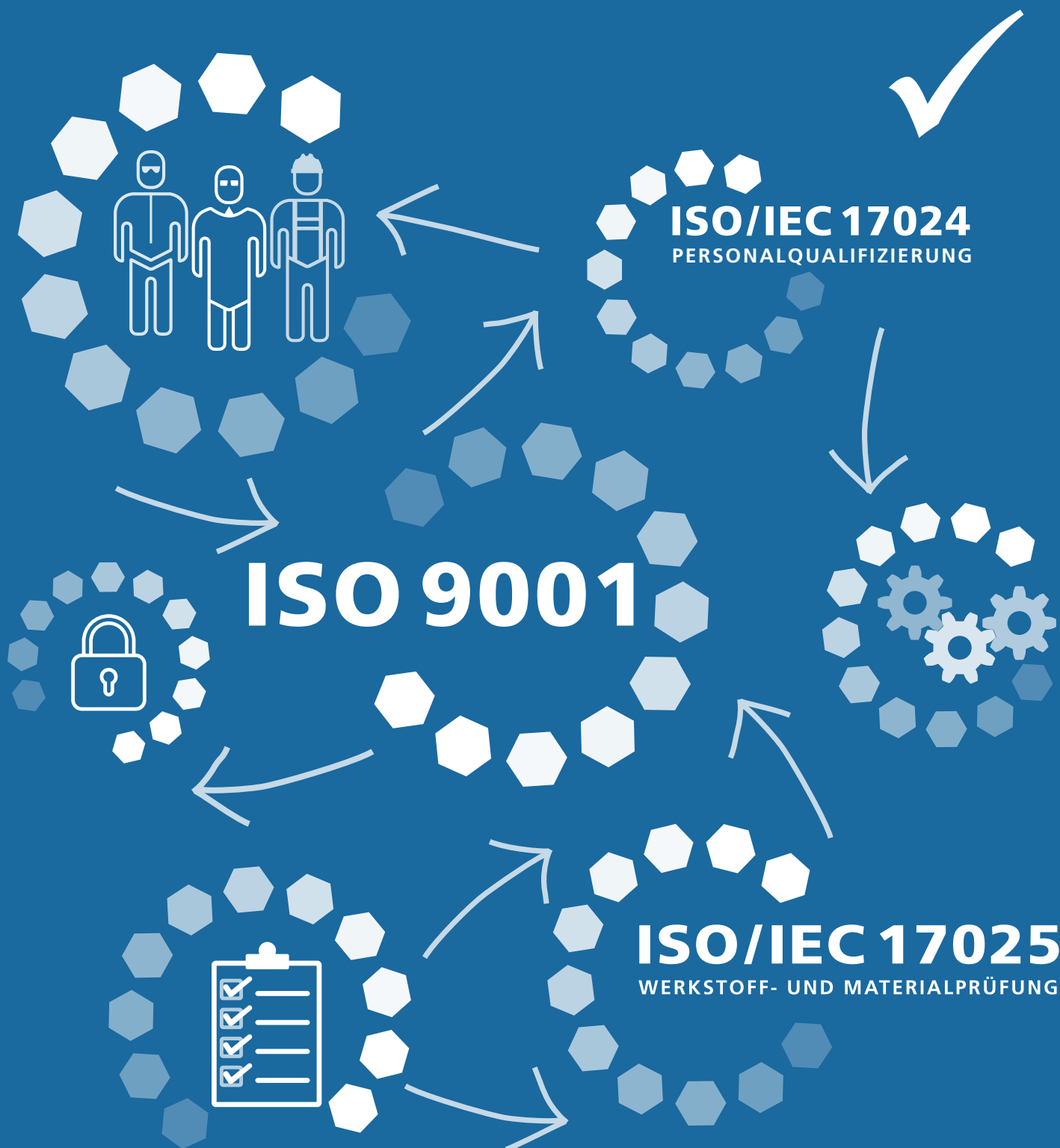


### Personalstruktur 2017

Am 31. Dezember 2017 waren am Fraunhofer IFAM an den Standorten Bremen, Dresden, Oldenburg, Stade und Wolfsburg insgesamt 668 Personen tätig.

■	Wissenschaftlich-technisches Personal	418
■	Verwaltung/IT/Service	68
■	Hilfskräfte/Studenten	182
■	Mitarbeiter gesamt	668





# 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 akkreditierte Personalqualifizierungsstelle für die klebtechnische Weiterbildung international anerkannt.

DAS INSTITUT IM PROFIL



Forschen Forschen Forschen Forschen Forschen Forschen Forschen Forschen Forschen  
Entwickeln Entwickeln Entwickeln Entwickeln Entwickeln Entwickeln Entwickeln Entwickeln  
Anwenden Anwenden Anwenden Anwenden Anwenden Anwenden Anwenden Anwenden

# DAS KURATORIUM DES INSTITUTS

## Mitglieder

### Dr. Rainer Rauh

Vorsitzender des Kuratoriums  
Airbus Deutschland GmbH  
Bremen

### Prof. Dr. Andreas Breiter

Universität Bremen  
Bremen

### 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

### Staatsrat

#### Gerd-Rüdiger Kück

Die Senatorin für Wissen-  
schaft, Gesundheit und  
Verbraucherschutz der Freien  
Hansestadt Bremen  
Bremen

### Dr. Georg Oenbrink

Evonik Industries AG  
Essen

### Dr. Stefan Röber

tesa SE  
Hamburg

### Dr. André Walter

Airbus Operations GmbH  
Bremen

### Christoph Weiss

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

## Gäste

### Dr. Heide Ahrens

Hochschulen und Forschung  
der Senatorin für Wissen-  
schaft, Gesundheit und  
Verbraucherschutz  
Bremen

### Ansgar van Halteren

Industrieverband  
Klebstoffe e.V.  
Düsseldorf

### Dr. Mathias Kraas

Olympus Winter & Ibe GmbH  
Hamburg

### Werner Lotz

FFT Produktionssysteme  
GmbH & Co. KG  
Fulda

### Dr. Christian Terfloth

Jowat AG  
Detmold

### Carsten Utikal

Sächsisches Staatsministerium  
für Wissenschaft und Kunst  
Dresden

# GESCHÄFTSFELDER

## **Automotive**

Der Fahrzeugbau ist geprägt durch Zeit-, Innovations-, Qualitäts- und Kostendruck. Aktuelle Entwicklungsziele sind Elektrifizierung, Umweltverträglichkeit, Energieeffizienz, Digitalisierung und Leichtbau. Das Fraunhofer IFAM unterstützt die Fahrzeugindustrie diese Herausforderungen auf hohem technologischen Niveau umzusetzen.

Durch sein ganzheitliches Vorgehen ist das Fraunhofer IFAM der führende Entwicklungspartner zur Realisierung moderner Mischbauweisen durch Kleben und Hybridfügen. Verfahrensentwicklungen für den Einsatz neuer metallischer und polymerer Werkstoffe sowie die Funktionalisierung von Oberflächen und Komponenten sind weitere Kompetenzen.

Das Fraunhofer IFAM besitzt ein umfassendes Systemverständnis im Bereich der Elektromobilität und bietet der Automobilbranche technische Lösungen für die Elektrifizierung und Hybridisierung des Antriebsstrangs sowie neue Batterie- und Mobilitätskonzepte. Weiterbildungs- und Qualitätsangebote in den Bereichen Klebtechnik, Faserverbundwerkstoffe und Elektromobilität sichern den notwendigen Technologietransfer.

> [www.ifam.fraunhofer.de/automotive](http://www.ifam.fraunhofer.de/automotive)

## **Energietechnik**

Das Geschäftsfeld Energietechnik adressiert Unternehmen, die mit Energiewandlung (z. B. über Kraft-Wärme-Kopplung und Elektrolyse), Energieverteilung und Energiespeicherung 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 für Unternehmen in der Energie-, Umwelt- und maritimen Technik sowie für das Bau- und Transportwesen.

> [www.ifam.fraunhofer.de/energie](http://www.ifam.fraunhofer.de/energie)

## **Luftfahrt**

Das Geschäftsfeld Luftfahrt adressiert Hersteller von Flugzeugen und Hubschraubern sowie die dazugehörige Zulieferkette. 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 (Wartung, Reparatur und Instandhaltung – MRO) treibt die Suche nach wirtschaftlich besseren Optionen an.

Mit seinen Kernkompetenzen bietet das Fraunhofer IFAM den Unternehmen der Luftfahrtindustrie anwendungsorientierte Lösungen.

> [www.ifam.fraunhofer.de/luftfahrt](http://www.ifam.fraunhofer.de/luftfahrt)

### **Maritime Technologien**

In dem Geschäftsfeld Maritime Technologien bündelt das Fraunhofer IFAM seine Expertise zu den Forschungsschwerpunkten Beschichtungen für den Korrosions- und Bewuchsschutz, funktionelle Oberflächen, klebtechnische Fertigung und Leichtbau. Die Entwicklungsprozesse werden durch analytische Verfahren und einer Qualitätssicherung entlang der gesamten Fertigungskette begleitet. Die Elektrifizierung von Schiffsantrieben und elektrische Energiespeicher für Über- und Unterwasseranwendungen sind weitere Entwicklungsziele.

Neben den Entwicklungsarbeiten im Technikum bietet das Fraunhofer IFAM Test- und Prüfmöglichkeiten unter einsatznahen Umgebungsbedingungen an. In List auf Sylt, am Leuchtturm »Alte Weser« und auf der Hochseeinsel Helgoland können insgesamt mehrere hundert Proben zum Korrosions- und Bewuchsschutz sowohl im Dauertauchbereich, in der Gezeitenzone als auch im Bereich des Spritzwassers sowie an Land geprüft werden.

> [www.ifam.fraunhofer.de/maritime-technologien](http://www.ifam.fraunhofer.de/maritime-technologien)

### **Medizintechnik und Life Sciences**

Im Bereich der Medizintechnik wendet sich das Fraunhofer IFAM an Hersteller von Implantaten, Instrumenten, medizintechnischen und medizinischen Klebstoffen sowie an Beschichtungsdienstleister. In den Life Sciences stehen funktionale Materialien und Biosurface-Engineering im Forschungsfokus.

Das Fraunhofer IFAM entwickelt neben Materialien und Beschichtungen auch die Herstellungsprozesse, sodass die benötigte Leistungsfähigkeit bzw. Wirksamkeit der Produkte erreicht und gleichermaßen die hohen Qualitätsanforderungen der Branche erfüllt werden.

Bei den Entwicklungen der Materialien und Oberflächen werden, entsprechend der Zweckbestimmung der Produkte, die normativen und technischen Anforderungen wie Biokompatibilität, Degradationsverhalten, chemische, physikalische, mechanische und morphologische Charakterisierung von Beginn an berücksichtigt und umgesetzt.

> [www.ifam.fraunhofer.de/medizin](http://www.ifam.fraunhofer.de/medizin)



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

## VERWALTUNGSLEITER

- Oliver A. Dreher  
Telefon +49 421 2246-333  
oliver.dreher@ifam.fraunhofer.de

## STANDORTE

### OLDENBURG

- Dr. Julian Schwenzel  
Telefon +49 441 36116-262  
julian.schwenzel@ifam.fraunhofer.de

### STADE

- Dr. Dirk Niermann  
Telefon +49 4141 78707-101  
dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de

### WOLFSBURG

- Dr.-Ing. Torben Seemann  
Telefon +49 421 2246-126  
torben.seemann@ifam.fraunhofer.de

### BRAUNSCHWEIG\*

- Dr. Julian Schwenzel  
Telefon +49 441 36116-262  
julian.schwenzel@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
- 

### 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
- Neuartige Matrixsysteme für Faserverbundkunststoffe
- Reversible Reaktionen
- Entwicklung schaltbarer, multifunktionaler Polymere
- Biobasierte Faserverbundkunststoffe

### 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
- Zelluläre Metalle in kompakten Wärmeübertragern
- Strukturierung von Verdampferoberflächen
- Thermomanagement Wärme erzeugender Bauteile
- Konturnahe Werkzeugtemperierung
- Mathematische Modellierung des Wärmetransportes
- Simulation von Schmelz- und Erstarrungsvorgängen
- Messung thermischer Stoff- und Transportgrößen

### ELEKTROMOBILITÄT

Dipl.-Ing. Felix Horch  
 Telefon +49 421 2246-171  
 felix.horch@ifam.fraunhofer.de  
 > [www.ifam.fraunhofer.de/emob](http://www.ifam.fraunhofer.de/emob)

- Entwicklung, Auslegung und Simulation elektrischer Antriebe
- Regelung, Steuergeräte- und Softwareentwicklung
- Prüfung von Komponenten und Antrieben
- Analysen, Potenzialstudien und Beratung zu: Energieversorgung, Klimaschutz
- Energieeffiziente Gebäude und Quartiere
- Kraft-Wärme-Kopplung
- Batterie-Zellchemie
- Pastenentwicklung und Elektrodenherstellung
- Zellenbau und Design für Lithium-Ionen-, Metall-Luft- und Festkörperbatterien

### FRAUNHOFER-PROJEKTZENTRUM WOLFSBURG ELEKTROMOBILITÄT UND LEICHTBAU

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

### FRAUNHOFER-PROJEKTZENTRUM FÜR ENERGIESPEICHER UND -SYSTEME CES

Dr.-Ing. Julian Schwenzel  
Telefon +49 441 36116-262  
julian.schwenzel@ifam.fraunhofer.de

- Festkörper-Lithium-Batterien für E-Mobilität
- Systementwicklung für stationäre Natriumbatterien
- Systementwicklung für Power-to-X-Systeme und Wasserstoffsysteme
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren bei der Herstellung von Speichern und deren Betrieb
- Innovative Produktionsverfahren für Speicher

### GIESSEREITECHNOLOGIE UND LEICHTBAU

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 (Aluminium, 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 auf Basis nachwachsender Rohstoffe
- 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/fertigung-kleben](http://www.ifam.fraunhofer.de/fertigung-kleben)

- Industrieller Fertigungsprozess Kleben
- Auswahl und Charakterisierung von Kleb- und Dichtstoffen sowie Vergussmassen
- Fertigungsplanung, Simulation, Prozessgestaltung und Automatisierung
- Dosier-, Misch- und Applikationstechnik
- Fertigung geklebter Prototypen
- Beratung und Auditierung zum industriellen Kleben
- Kleben in der Mikrosystemtechnik (elektrisch/optisch)
- Beschichtung von bahnförmigen Materialien (Klebstoffe, Lacke, funktionelle Materialien)
- Polymerverguss, Thermoanalytik und Rheologie
- Kleben von lastabtragenden Strukturen im 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

### 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
- Lasertechnik
- Anlagentechnik und -bau
- Neue Oberflächentechnologien
- CVD-Prozesse
- Tribologie
- Funktionsbeschichtungen
- Bahnware/Folientechnologien
- Vorbehandlung, Reinigung, Aktivierung

### 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
- Additive Manufacturing (SLM, binderbasierte Verfahren)
- Pressen und Sintern
- Magnetwerkstoffe
- Kompositwerkstoffe
- Metallschäume
- Analytik (Pulveranalysen, Thermoanalysen, REM)
- Metallographie
- Schadensgutachten

### SINTER- UND VERBUNDWERKSTOFFE

Dr.-Ing. Thomas Weißgärber

Telefon +49 351 2537-305

thomas.weissgaerber@ifam-dd.fraunhofer.de

> [www.ifam.fraunhofer.de/svw](http://www.ifam.fraunhofer.de/svw)

- Pulvermetallurgische Technologien, Rascherstarrung
- Generative Fertigung (Elektronenstrahlschmelz-technologie, Dispenstechnologie)
- Verbundwerkstoffe, Multimaterialverbunde
- Dispersionsverfestigte Werkstoffe
- Leichtmetalle
- Werkstoffe für tribologische Anwendungen und deren Prüfung
- Werkstoffe zur Energieumwandlung (Thermoelektrik) und -speicherung (Supercaps)
- Hochtemperaturwerkstoffe und Hochtemperaturwerkstoffprüfung
- Sputter-Targets
- Thermoanalytische Verfahren

### SMART SYSTEMS

Dr. Volker Zöllmer

Telefon +49 421 2246-114

volker.zoellmer@ifam.fraunhofer.de

> [www.ifam.fraunhofer.de/smartsystems](http://www.ifam.fraunhofer.de/smartsystems)

- Gedruckte Elektronik und 3D-Druck
- Sensorintegration
- Verdruckbare Tinten und Pasten
- (Nano-)Komposite und Funktionswerkstoffe
- Teststand für elektrische Speichersysteme
- Testfeld für elektrische Energiesystemkomponenten
- Messdatenerfassung und -auswertung
- Technische Weiterbildung Elektromobilität
- Wissens- und Technologietransfer

### WASSERSTOFFTECHNOLOGIE

Dr. Lars Röntzsch

Telefon +49 351 2537-411

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

> [www.kleben-in-bremen.de](http://www.kleben-in-bremen.de)

> [www.faserverbund-in-bremen.de](http://www.faserverbund-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

> [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

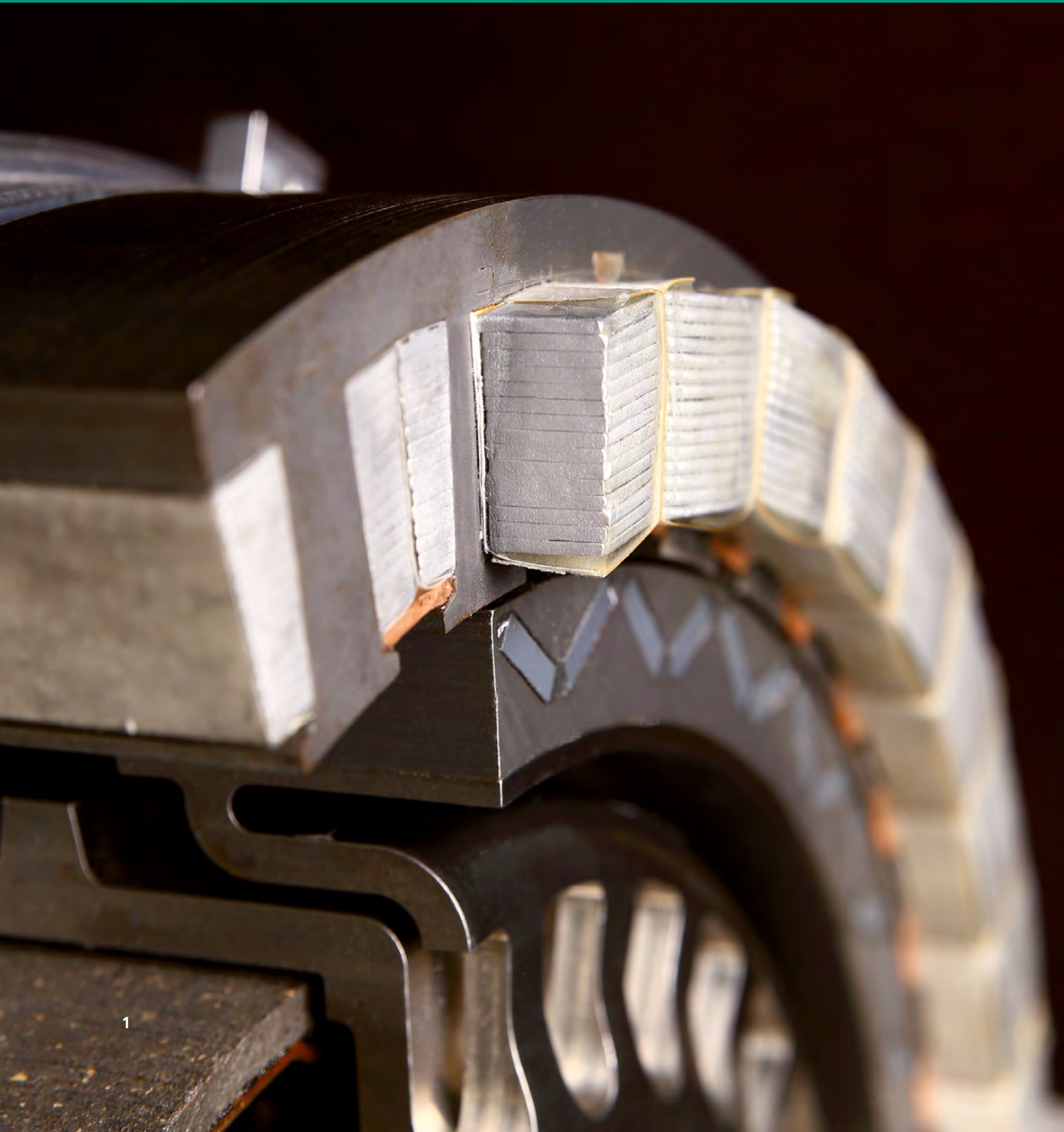
Telefon +49 351 2537-319

olaf.andersen@ifam-dd.fraunhofer.de

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

- Zellulare Metalle aus beliebigen Sonderwerkstoffen
- Generative Bauteilfertigung mit 3D-Sieb- und Filamentdruck
- Offenzellige Faserstrukturen und 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
- Optimierung von Entbinderungsprozessen durch In-situ-Gasanalyse





# 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. 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.

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« werden Formulierungen von funktionellen Tinten und Pasten sowie Kenntnisse zu deren Applikation auf Komponenten erarbeitet. 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.

- 1 *Bei der Konstruktion des Radnabenmotors wurden die am Fraunhofer IFAM entwickelten gegossenen Spulen aus Aluminium mit maximalem Nutfüllfaktor in den Motoren eingesetzt.*
- 2 *Hochleitfähige Komposit-Filamente für den 3D-Druck.*

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 Gießertechnikum 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 Composite 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.

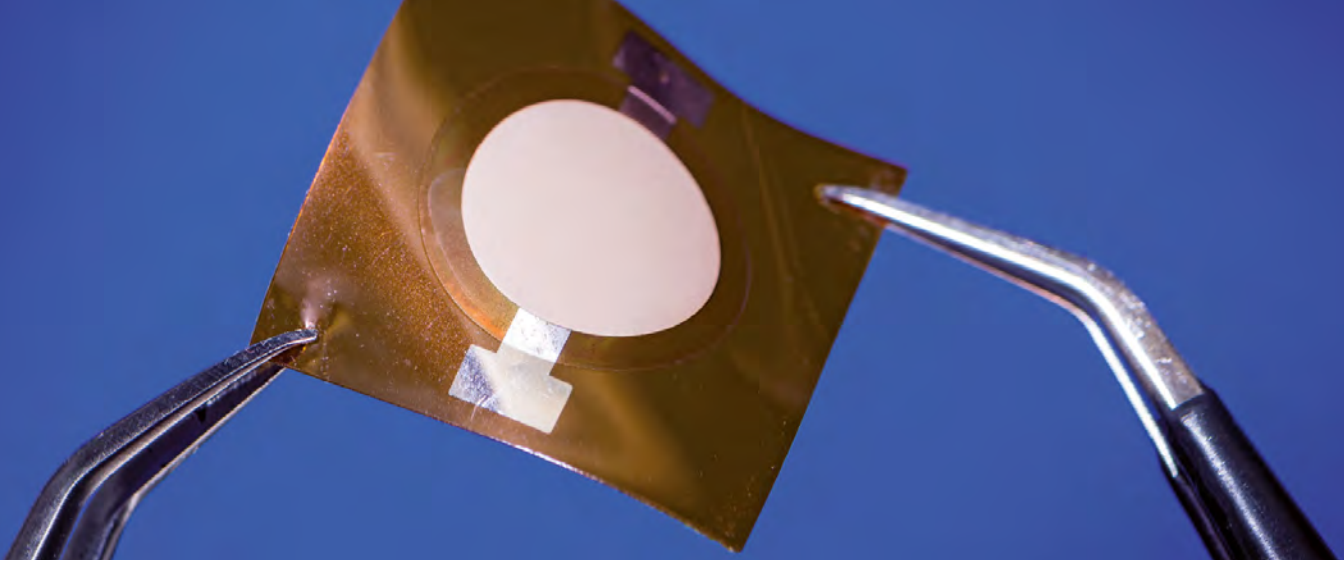
Unser Angebot an technischer Weiterbildung und Beratung sowie an Schulungen zu den Themen Elektromobilität, Additive Manufacturing, Functional Printing und Gießtechnik, die jeweils an die individuellen Kundenbedürfnisse angepasst sind, wird kontinuierlich erweitert.

---

### Perspektiven

---

Im 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. Anhand dreier marktrelevanter Anwendungsbereiche aus dem Automobilbau, der Luftfahrt und der Beleuchtungstechnik werden neue Fertigungsstrategien und Prozessinnovationen entwickelt. Digitale Druck- und Laserprozesse sollen je nach Bedarf in bestehende Prozessketten integriert werden. Durch die Integration von Sensoren, Aktoren oder LEDs wird eine Spezifizierung von Produkten bis zur Losgröße 1 ermöglicht.

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.

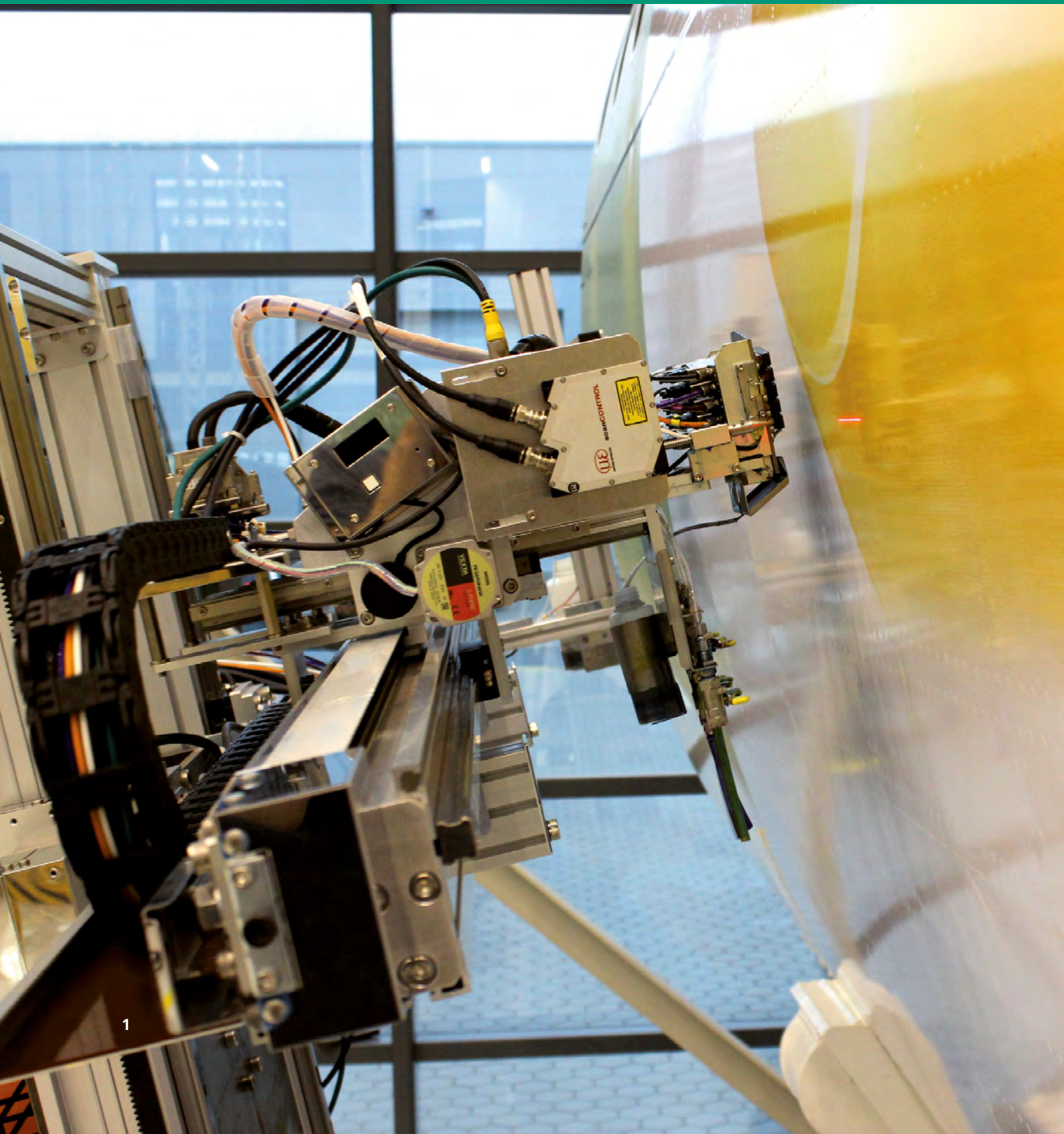
Im Fokusprojekt »futureAM« arbeitet das Fraunhofer IFAM mit fünf anderen Fraunhofer-Instituten daran, neue digitale Prozessketten, skalierbare und robuste AM-Prozesse, Systemtechnik und Automatisierung zu entwickeln und außerdem die Palette an verarbeit- und bezahlbaren Werkstoffen zu erweitern.

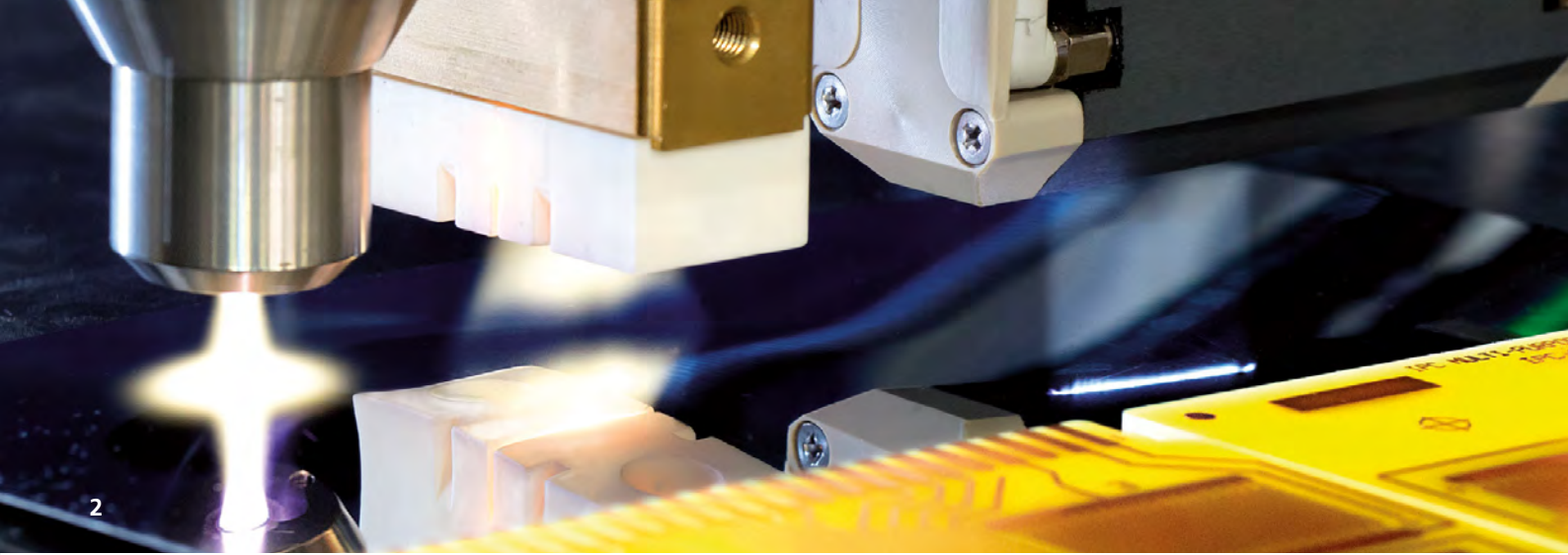
Gemeinsam mit dem Forschungs- und Industrienetzwerk für magnetokalorische Systeme ist das Fraunhofer IFAM an mehreren Projekten zu Herstellung von Demonstratoren beteiligt.

## Arbeitsschwerpunkte

- Werkstoffentwicklung und -modifikation: metallische Werkstoffe, Strukturwerkstoffe, Funktionswerkstoffe, Werkstoffverbunde, zelluläre Werkstoffe, Thermal Management, Thermoelektrik, Kompositwerkstoffe, Magnetwerkstoffe
- Pulvermetallurgische Technologien: Spezialinterverfahren, 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

DAS INSTITUT IM PROFIL





# KLEBTECHNIK UND OBERFLÄCHEN

Der Institutsbereich Klebtechnik und Oberflächen des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM ist mit mehr als 350 Mitarbeitenden die größte unabhängige Forschungseinrichtung auf dem Gebiet der industriellen Klebtechnik und der damit in Zusammenhang stehenden Technologien. Im Mittelpunkt stehen anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu polymeren Werkstoffen, zum Kleben, zur Oberflächentechnik sowie zur Automatisierung und Digitalisierung. Hauptziel ist das Erarbeiten von Systemlösungen für industrielle Anwendungen.

Sich stetig wandelnde Anforderungen der Kooperationspartner erfordern permanent neue und ausgereifte Entwicklungen im Bereich der Werkstoffe und Fügeverfahren. Die wissenschaftlichen Aktivitäten des Institutsbereichs reichen von der Grundlagenforschung über die industrielle Forschung und die experimentelle Entwicklung bis hin zur Implementierung der Ergebnisse in die Fertigung und Unterstützung bei der Markteinführung neuer Produkte gemeinsam mit unseren Partnern. Neue Prozesslayouts und neue Prüfmethode werden in nationale und europäische Normungsprozesse eingebracht. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse werden in international angesehenen Fachzeitschriften, ggf. im Rahmen von Peer-Review-Prozessen publiziert. Industrielle Einsatzfelder sind überwiegend der Transportmittelbau – Luft, Straße, Schiene, Wasser – sowie dessen Zulieferer, die Energietechnik, die Baubranche und die maritime Branche, die Verpackungs-, Textil- und Elektroindustrie sowie die Mikrosystem- und Medizintechnik.

Die Kernkompetenz »Polymere Werkstoffe« beinhaltet die Formulierung und anwendungsorientierte Charakterisierung von Klebstoffen, Beschichtungen und Vergussmassen sowie den gesamten Bereich der Faserverbundwerkstoffe und Kompositmaterialien. Der Schwerpunkt liegt auf Reaktivpolymeren und deren Technologie. Hierzu gehört auch die Synthese und Charakterisierung neuer Rohstoffe, wie Monomere, Härtungskatalysatoren oder Füllstoffe. Ergänzt wird

dies durch Weiterbildungsangebote im Bereich der Faserverbundtechnologie.

Die werkstofflichen Arbeiten stellen eine wichtige Basis für die Kernkompetenz »Kleben« dar, welche die Auswahl, Charakterisierung und Qualifizierung von Klebstoffen, die beanspruchungsgerechte konstruktive Auslegung und Simulation von Kleb- und Hybridverbindungen sowie die Planung und Automatisierung der industriellen Fertigung von Klebverbindungen sowie Prozess-Reviews umfasst. Das Profil wird durch ein überbetriebliches, international anerkanntes und zertifizierendes Weiterbildungsangebot abgerundet, das sich an Betriebe richtet, die die Klebtechnik einsetzen. Der Institutsbereich stellt darüber hinaus Auditoren für die Beurteilung von Betrieben zur Eignung zum Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen nach DIN 6701.

Die Kernkompetenz »Oberflächentechnik« impliziert trocken- und nasschemische Oberflächenbehandlungsprozesse sowie die umfassende Charakterisierung und Qualifizierung

- 1 *Neuartige Beschichtungskonzepte und Dekoration durch Digitaldruck im Flugzeugbau.*
- 2 *Bedarfsgerechte Oberflächenbehandlung mittels Atmosphärendruck-Plasmaquellen.*

von Oberflächen. Schwerpunkte liegen bei der Plasmatechnik und Lacktechnik, elektrochemischen Prozessen sowie der Entwicklung von Online- und Inline-Oberflächencharakterisierungsverfahren für industrielle Prozesse. Maßgeschneiderte Oberflächenmodifizierungen durch Vorbehandlungen und funktionelle Beschichtungen erweitern das industrielle Einsatzspektrum vieler Werkstoffe deutlich oder machen deren technische Verwendung überhaupt erst möglich. Die Optimierung der Langzeitbeständigkeit inklusive der Früherkennung von Degradations- und Korrosionserscheinungen sowie der Validierung von Alterungsprüfungen stehen im Fokus. Die Forschungsarbeiten zur Alterung und Oberflächenvorbehandlung sind sowohl für die Klebtechnik als auch für Beschichtungen von hoher Relevanz – so werden Klebverbindungen und Beschichtungen noch zuverlässiger.

Im Rahmen der Kernkompetenz »Automatisierung und Digitalisierung« steht die automatisierte Montage großer Strukturen im Fokus. Dies schließt Arbeiten zum automatisierten Vermessen von Bauteilen, einer robotergeführten Oberflächenvorbehandlung sowie einer bauteilangepassten Applikation von Klebstoffen ein. Dies geht hin bis zur Entwicklung mobiler Robotersysteme, die deutlich flexibler und dennoch präziser als übliche Industrieroboter sind. Parallel dazu werden Aspekte der Digitalisierung vorangetrieben, beispielsweise bei der Charakterisierung von Oberflächen für die industrielle Qualitätssicherung.

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.

---

### Perspektiven

---

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

Obwohl die Klebtechnik beispielsweise im Fahrzeugbau eine schon länger eingeführte Technologie ist, wird das Potenzial jedoch bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. Kleben in der Medizin und der Medizintechnik, in der Luft- und Raumfahrt sowie im Bauwesen sind nur einige Beispiele dafür. Um weitere Branchen für die Klebtechnik zu gewinnen, gilt für alle Arbeiten der Anspruch: Der Fertigungsprozess 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 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 der Arbeiten des Institutsbereichs.

Der Institutsbereiche Klebtechnik und Oberflächen setzt mehr und mehr auf rechnergestützte Entwicklungsmethoden. 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. Darüber hinaus werden Themen der Digitalisierung intensiv vorangetrieben, etwa bei der Oberflächencharakterisierung und bei automatisierten Montageprozessen.



Verschiedene spektroskopische, mikroskopische und elektrochemische Verfahren geben einen Einblick in die Vorgänge bei der Degradation und Korrosion von Werkstoffverbunden. Mit maßgeschneiderten Analyseverfahren und begleitenden Simulationsrechnungen werden Erkenntnisse gewonnen, die empirische Testverfahren auf der Basis von standardisierten Alterungs- und Korrosionstests allein nicht bieten. Branchen mit hohen Ansprüchen an die Oberflächen- und Fügetechniken greifen auf das hohe technologische Niveau des Instituts zurück; dies gilt insbesondere für langlebige Gebrauchsgüter mit entsprechend hohen Anforderungen an deren Langzeitbeständigkeit.

## Arbeitsschwerpunkte

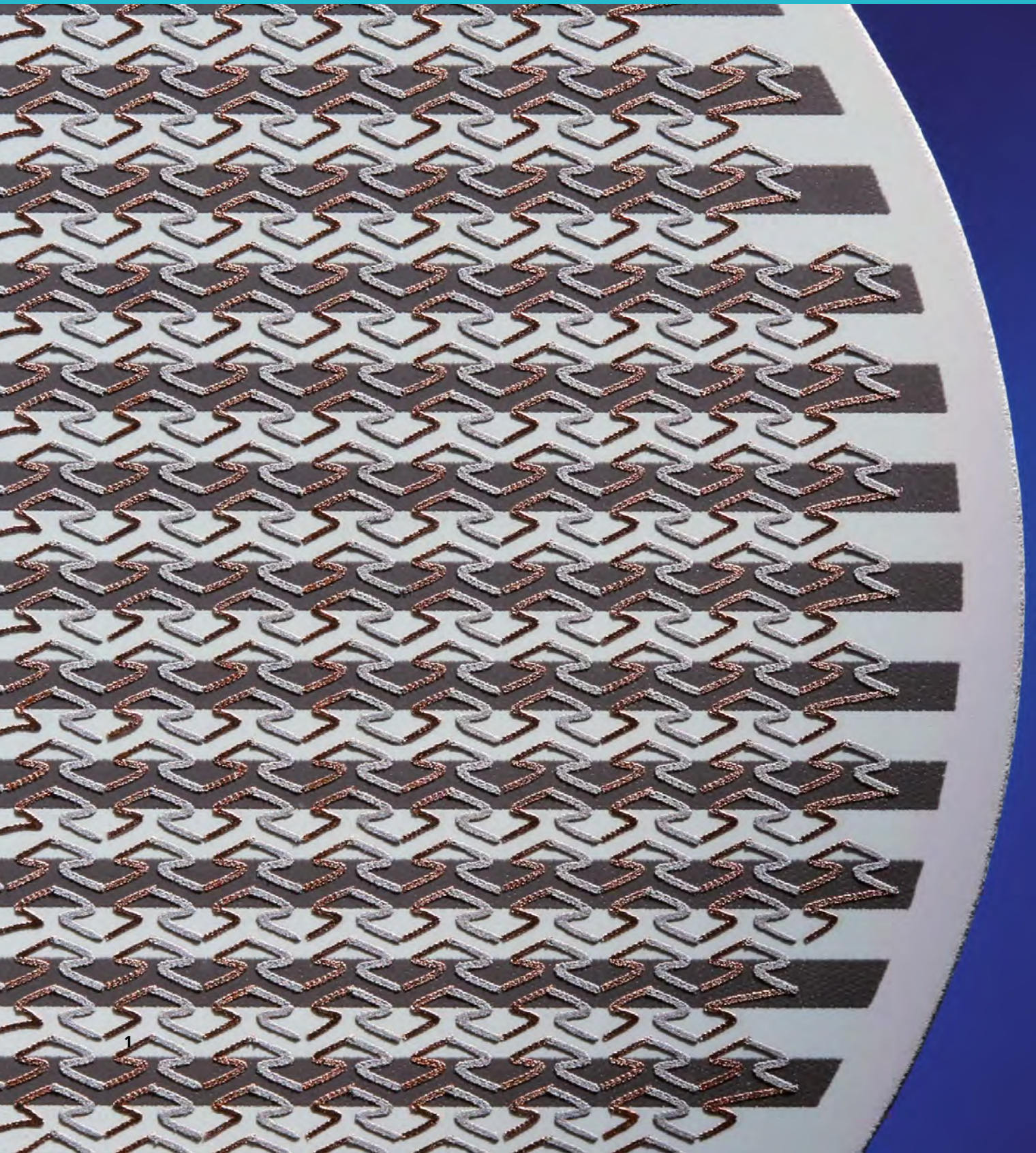
- Neue Polymere für Klebstoffe, Matrixharze für Faserverbundwerkstoffe, Gießharze und Beschichtungen
- Synthese, Formulierung, Verarbeitungseigenschaften und Erprobung
- Zusatzstoffe (Nanofüllstoffe, Initiatoren etc.) für Reaktivpolymere
- Werkstoffmodelle für polymere Materialien
- Lehrgänge zur/zum Faserverbundkunststoff-Hersteller/-in (FVK-Hersteller/-in), Faserverbundkunststoff-Instandsetzer/-in (FVK-Instandsetzer/-in), Faserverbundkunststoff-Fachkraft (FVK-Fachkraft) und Lehrgangsmodule zum Fraunhofer-Composite Engineer
- Innovative Verbindungskonzepte durch Kleben und Hybridfügen
- Auswahl und Qualifizierung von Klebstoffen
- Biomimetische Konzepte in der Kleb- und Oberflächentechnik
- Entwicklung und Qualifizierung klebtechnischer Fertigungsprozesse; rechnergestützte Fertigungsplanung
- Applikation von Kleb-/Dichtstoffen, Vergussmassen (Mischen, Dosieren, Auftragen)
- Konstruktive Gestaltung geklebter Strukturen (Simulation

des mechanischen Verhaltens geklebter Verbindungen und Bauteile mittels FEM, Prototypenbau)

- Kennwertermittlung, Schwing- und Betriebsfestigkeit von gefügten Verbindungen
- Lehrgänge – national und international – zur/zum European Adhesive Bonder – EAB (Klebpraktiker/-in), European Adhesive Specialist – EAS (Klebfachkraft) und European Adhesive Engineer – EAE (Klebfachingenieur/-in) sowie kunden- und technologiespezifische Weiterbildungsangebote
- Upscaling neuer Fügeprozesse bis zum Prototypenstadium
- Neue Verfahren zum Modifizieren und Beschichten von Oberflächen
- Entwicklung umweltverträglicher Vorbehandlungsverfahren und Korrosionsschutzsysteme für Kunststoffe und Metalle
- Funktionelle Beschichtungen durch trocken- und nasschemische Verfahren sowie funktionelle Lacksysteme
- Plasmaverfahren für die Oberflächenbehandlung bis zum Design von Fertigungsanlagen
- Entwicklung spezieller Prüfverfahren (z. B. Bildung und Haftung von Eis auf Oberflächen, Alterungsbeständigkeit)
- Bewertung von Alterungs- und Degradationsvorgängen in Materialverbunden; elektrochemische Analytik
- Materialentwicklung mit quanten-/molekularmechanischen Methoden
- Upscaling neuer Verfahren bis zum Prototypenstadium
- Automatisierung, Parallelisierung und Digitalisierung von Prozessen
- Robotergestützte Montage von Großstrukturen
- Bearbeitung von Faserverbundwerkstoffen
- Mobile Robotersysteme in Kooperation mit humanen Arbeitsanteilen
- Softwareentwicklung und Regelungstechnik
- Qualitätssicherungskonzepte für kleb- und lacktechnische Anwendungen durch die fertigungsintegrierte und digitale Analyse von Bauteiloberflächen

### 1 Automatisierte Klebfilmablage.





# KERNKOMPETENZ METALLISCHE WERKSTOFFE

Die Entwicklung von Werkstoffen mit maßgeschneiderten Eigenschaften oder Eigenschaftskombinationen steht im Mittelpunkt der Kernkompetenz Metallische Werkstoffe des Fraunhofer IFAM. Die Anwendung und gezielte Weiterentwicklung von Gießtechnik, 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. zelluläre 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 Pulvertechnologie erlaubt die Herstellung von Werkstoffen mit einem definierten Eigenschaftsprofil. In der Gießereitechnik wird die gesamte Werkstoffpalette der Gusswerkstoffe verarbeitet, hierzu gehören Aluminium, Magnesium, Zink, Kupfer, Stahl sowie die individuellen Sonderlegierungen unserer Kunden. Weiterhin werden Sonderwerkstoffe wie beispielsweise Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe entwickelt und für gießtechnische Anwendungen optimiert.

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).

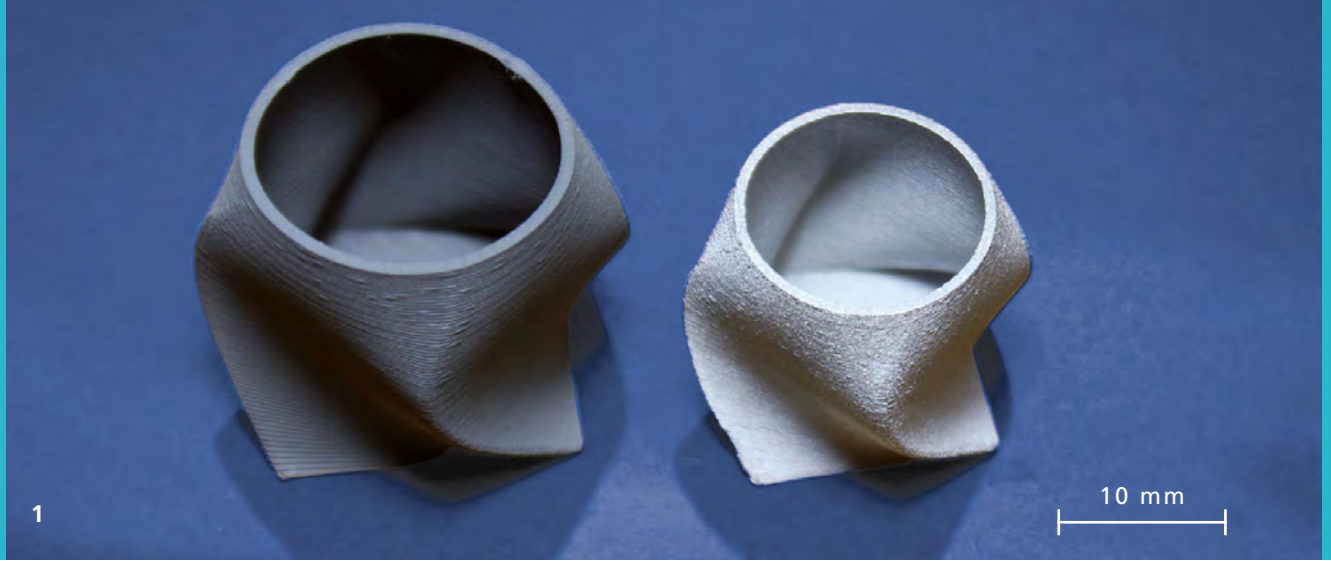
Zunehmend an Bedeutung gewinnt die Herstellung und Erprobung von Funktionswerkstoffen zur Energiespeicherung und

-umwandlung. Zentrale Themen sind hier neue, insbesondere nanostrukturierte Werkstoffe zur Wasserstofferzeugung und -speicherung, zur Wärmespeicherung, für effiziente thermoelektrische Generatoren und Superkondensatoren sowie magneto-kalorische Werkstoffe.

Zu den Materialien, die in der Energietechnik oder in alternativen Antriebstechnologien eine wichtige Rolle spielen, gehören die magnetischen Werkstoffe. Am Fraunhofer IFAM werden sowohl hart- als auch weichmagnetische Materialien entwickelt, fertigungstechnisch erprobt und charakterisiert. Hierzu zählt auch das zukunftsreiche Gebiet der Soft Magnetic Composites (SMC).

Einen weiteren Entwicklungsschwerpunkt stellen die zellulären 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.

1 *Multilayer-Siebdruck von metallischen Sensorstrukturen.*  
(i.Z.m. Fa. Ecomatik)



# FUSED FILAMENT FABRICATION – VIELFÄLTIG UND KOSTENGÜNSTIG

Additive Fertigungsverfahren für metallische Werkstoffe erfahren zunehmend größere Bedeutung im industriellen Alltag. Zukünftige Entwicklungsziele sind zusätzliche Funktionalitäten bei gleichzeitiger Kostenreduktion. Am Fraunhofer IFAM werden neue Werkstoffe und Methoden auf pulvermetallurgischer Basis entwickelt, um bisherige Grenzen der Einsatzbereiche additiver Verfahren zu überwinden.

Fused Filament Fabrication (FFF) ist ein additives Fertigungsverfahren, das bisher auf Kunststoffe beschränkt war. Dabei wird ein Filament aus einem thermoplastischen Polymer durch eine beheizte Düse extrudiert und entsprechend dem Layout lagenweise auf einer Unterlage abgelegt. In den letzten Jahren wurden erste Anstrengungen unternommen, das Verfahren auf metallische Bauteile zu adaptieren. In dieser Verfahrensvariante wird das thermoplastische Material homogen mit Metallpulver gefüllt. Das fertig gedruckte Bauteil wird anschließend entbindert, um zur Vermeidung von Verunreinigungen den Kunststoff auszutreiben. Schließlich wird die Struktur zu einem vollmetallischen dichten Bauteil versintert.

Die Vorteile des FFF für additive metallische Bauteile liegen insbesondere in den Kosten und in der Werkstoffvielfalt. So betragen die Anschaffungskosten für einen FFF-Drucker nur etwa 10 Prozent der Kosten einer Anlage für strahlbasierte additive Verfahren. Die potenzielle Legierungsvielfalt ist durch die Nutzung von industriellen Standardpulvern sehr hoch und erweitert die Werkstoffpalette anderer additiver Verfahren deutlich. Besonders attraktiv ist zudem die Möglichkeit, das Bauteil vor dem Sintern mechanisch bearbeiten zu können, um mit geringstem Werkzeugverschleiß weitere Funktionalitäten wie eine Oberflächenglättung einzubringen.

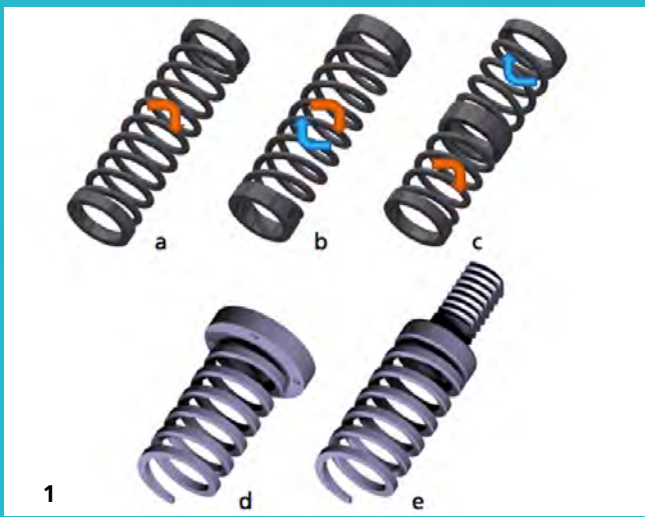
In der Entwicklung des metallischen FFF nimmt das Fraunhofer IFAM mit seinen Standorten in Dresden und Bremen eine Vorreiterrolle ein. Angelehnt an die Erfahrungen aus der Entwick-

lung von MIM-Feedstocks konnten mit 316L-Edelstahl-Filamenten mit sehr hohen Füllgraden von 60 Volumenprozent erreicht werden. Das entwickelte Filament kann zudem problemlos in kommerziellen FFF-Druckern eingesetzt werden. Im weiteren Werkstoffportfolio sind der Stahl 17-4PH und die Keramik  $ZrO_2$ , sowohl einzeln als auch als Verbundwerkstoff; in Vorbereitung sind in Kooperationsprojekten Kupfer und Werkzeugstähle.

Die Beherrschung der Wärmebehandlung zur Entbinderung und Sinterung spielt beim FFF eine besondere Rolle, da dies entscheidenden Einfluss auf Endformnähe, erreichbare Dichten und Verunreinigungsgehalte hat. Hier besitzt das Fraunhofer IFAM durch seine einzigartige pulvermetallurgische Kompetenz eine Alleinstellung.

Im laufenden Projekt AMCC-Line<sup>1</sup> wird mit industriellen Partnern eine Fertigungslinie entwickelt, die für Kunden die komplette Kette vom Druck über eine mechanische Bearbeitung zur Grün- und Endbearbeitung bis hin zum Wärmebehandlungssofen in einer kompakten modularen Fertigungseinheit zur Verfügung stellen wird. Die Anwendungsgebiete für FFF und AMCC-Line liegen daher in allen Bereichen des Industriestandortes Deutschland. Dies gilt besonders für Anwendungen, bei denen kleine bis mittlere Stückzahlen, komplex geformte Spezialwerkstoffe oder Individualisierung gefragt sind.

<sup>1</sup> *Gedrehtes Gefäß aus 316L (Grünteil und gesintert).*



# ADDITIVE FERTIGUNG TECHNISCHER METALLFEDERN

Technische Metallfedern werden in verschiedenen Formen und Größen für eine breite Palette technischer Geräte und Maschinen benötigt. In der Regel interagieren sie mit vielen anderen Komponenten als Teil einer Baugruppe. Die Fertigung mittels Laserstrahlschmelzen (LBM) bietet neue Möglichkeiten.

Forderungen nach Miniaturisierung und Reduzierung von Montagevorgängen erfordern neue Federkonstruktionen, die nicht durch Aufwickeln realisiert werden können. Diese Möglichkeit bietet jedoch die Additive Fertigung (AM) – insbesondere für komplex geformte Federn (Abb. 1).

## Ausgeglichene Momente beim Komprimieren

Wird eine herkömmliche »Einzeldrahtfeder« (Abb. 1a) zusammengedrückt, verursachen innere Momente eine Biegung aufgrund ihrer asymmetrischen Geometrie. Eine »Doppeldrahtfeder« (Abb. 1b) mit zwei um 180° versetzten Drahtwicklungen gleicht dieses sowohl beim Komprimieren als auch beim Dekomprimieren aus.

## Rotationsfreiheit beim Komprimieren

Wird eine herkömmliche Feder zusammengedrückt, führt dies zu einer leichten Drehung der Federenden. Ist die Bewegung aufgrund einer Festmontage eingeschränkt, führt dies zu unerwünschten Spannungen. Eine Lösung zeigt Abbildung 1c. Die Feder ist in zwei Segmente mit jeweils unterschiedlicher Wickelrichtung unterteilt, sodass die radialen Bewegungen beider Segmente kompensiert werden.

## Zusätzliche Funktionen von Federenden

Da technische Federn immer Teil einer Baugruppe sind, ist die Reduzierung von Montagearbeiten von großem Interesse. Endbefestigungen an Federn ermöglichen den Anschluss an andere Komponenten. Die einzigartige Gestaltungsfreiheit

bei mittels Laserstrahlschmelzen (LBM) gefertigten Federn, bietet die Möglichkeit Bauteile mit Befestigungselementen in einem Prozess zu fertigen. Abbildung 1 zeigt Konstruktionskonzepte für Befestigungselemente als integrierten Flansch mit Befestigungsbohrungen (d) und einer integrierten Schraube mit Außengewinde (e). Auch Zahnräder, Kupplungen oder Gewindebohrungen können realisiert werden.

LBM weist insgesamt Vorteile auf, die neue Designkonzepte für technische Federn ermöglichen und zusätzliche Funktionen integrierbar machen. Durch die ständige Erweiterung der Materialpalette ist zu erwarten, dass auch LBM-geeignete Pulverwerkstoffe für die etablierten Federstähle entwickelt werden. Für einige Anwendungen und neue Federkonstruktionen könnte die hohe Gestaltungsfreiheit von LBM im Vergleich zu Drahtwicklung und -bearbeitung die einzige Fertigungsmöglichkeit sein. Somit kann LBM die Vorteile bearbeiteter Federn erweitern. Abbildung 2 zeigt am Fraunhofer IFAM entwickelte und mittels LBM gebaute Federn, die die generelle Verarbeitbarkeit komplexer Formen mit zusätzlichen funktionalen Eigenschaften demonstrieren.

- 1 Varianten zylindrischer Spiralfedernden: a) »Einzeldrahtfeder«, b) »Doppeldrahtfeder«, c) – von beiden Seiten gewunden, d) Feder mit integriertem Flansch, e) Feder mit integriertem Außengewindestück.
- 2 Mittels LBM gefertigte Varianten zylindrischer Spiralfedernden.



# KERNKOMPETENZ POLYMERE WERKSTOFFE

Die Bedeutung polymerer und polymermodifizierter Werkstoffe hat in den letzten Jahren aufgrund ihrer variablen und einzigartigen Eigenschaften und dem Potenzial zur Ressourcenschonung weiter zugenommen. Neuartige Polymerwerkstoffe schaffen technisch interessante Perspektiven und stellen einen wichtigen Forschungsschwerpunkt in den Bereichen Kleben, Lacktechnik und Faserverbundwerkstoffe am Fraunhofer IFAM dar. Hierbei stehen Werkstoffe im Fokus, die sowohl aus fossilen als auch nachwachsenden Rohstoffen synthetisch erzeugt oder durch Umwandlung von Naturstoffen gewonnen werden.

Das Kompetenzspektrum im Bereich Polymere Werkstoffe reicht von der Entwicklung über die Verarbeitung und Formulierung bis hin zur Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung und umfasst dabei die gesamte Wertschöpfungskette vom Molekül bis zum Bauteil. Ausgangspunkt sind das Moleküldesign und die Synthese von Rohstoffen für Klebstoffe, Beschichtungen und Matrixharze. Im Vordergrund stehen Reaktivsysteme, die zu duromeren, elastomeren oder thermoplastischen Polymeren verarbeitet werden. Das Institut befasst sich intensiv mit der Entwicklung neuer, maßgeschneiderter Polymersysteme, aus denen Produkte für Anwendungen im Leichtbau, Komponenten für elektrische Energiespeicher oder die Medizintechnik resultieren.

Mit dem Ziel, Bauteile und Werkstoffe mit zusätzlichen Funktionalitäten auszustatten, werden »stimuliresponsive« Klebstoffe, selbstheilende Lacksysteme oder auch adaptive Verbundwerkstoffe entwickelt. Vor dem Hintergrund der Ressourcenknappheit und zunehmender Verschmutzung der Umwelt mit Kunststoffen spielen polymere Werkstoffe, die auf nachwachsenden Rohstoffen basieren oder biologisch abbaubar sind, eine große Rolle. So werden u. a. stärkebasierte Klebstoffe für Holzklebungen, Biokomposite aus Biopolymeren und Naturfasern für die Verpackungindustrie oder Agrarwirtschaft und Additive aus Chitosan für Antifouling-Lackierungen entwickelt.

Ein zentraler Bestandteil ist die Werkstoffcharakterisierung zur Ermittlung von Materialkennwerten, die in Kombination mit

numerischen Simulationsmethoden zur Vorhersage der Funktions- und Lebensdauer herangezogen werden. Für die rechnerische Nachweisführung von Faserverbundwerkstoffen und geklebten Strukturen werden vereinfachte mathematische Modelle und die Finite-Elemente-Methode (FEM) eingesetzt, aus denen sich polymerspezifische Werkstoffmodelle und Modellierungstechniken ableiten lassen. Mit Unterstützung des angegliederten Werkstoffprüflabors können Materialkarten für FEM-Programme erstellt werden, die eine werkstoff- und anwendungsgerechte Bemessung von Klebverbindungen und Bauteilen ermöglichen.

Ein übergreifender Kompetenzbaustein ist die Qualitätssicherung. Die durchgängige Überwachung der Reaktionsprozesse von polymeren Werkstoffen sowie der daraus gefertigten Bauteile durch maßgeschneiderte Analyseverfahren ist hierbei ein wesentliches Werkzeug zur Sicherung einer zuverlässig hohen Qualität der Endprodukte. Dies wird durch eine zertifizierte, branchen- und produktübergreifende Personalqualifizierung unterstützt. Im Rahmen der beruflichen Weiterbildung findet ein Technologietransfer statt, bei dem wissenschaftliche Erkenntnisse und Methoden den Weg in die industrielle Anwendung finden.

> [www.ifam.fraunhofer.de/polymere-werkstoffe](http://www.ifam.fraunhofer.de/polymere-werkstoffe)

1 Fortbewegung des Seeigels unter Verwendung von adhäsiven Sekreten und Enzymen, die die Bindung zum Substrat wieder lösen.



# VALORISIERUNG VON BIOBASIERTEN ROHSTOFFEN

Die Entwicklung von auf Biomasse basierten Rohstoffen gewinnt im Zuge von verschiedenen legislativen Initiativen und einer sich verändernden Konsumenten- und Hersteller-Einstellung an Attraktivität und Bedeutung. Es ist davon auszugehen, dass das Volumen des »Grünen Material«-Marktes wächst. Das Projekt ValorPlus erarbeitete in den Bereichen Biotechnologie, Bioproducte und industrielle Anwendungen von biobasierten Rohstoffen neue Ansätze und Ergebnisse.

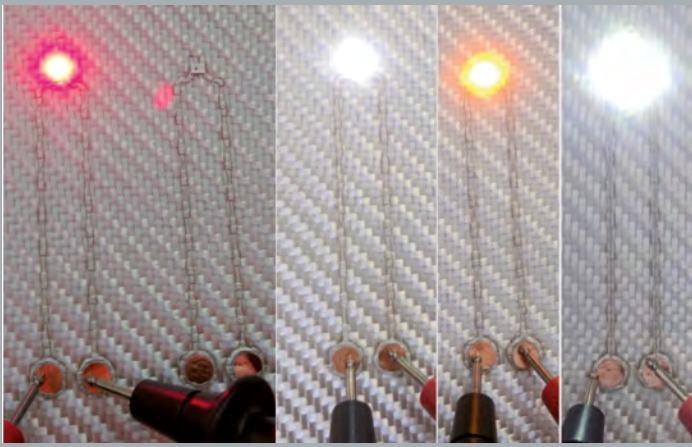
Diese drei Bereiche sind eng miteinander verknüpft, da nur eine optimierte Biotechnologie konkurrenzfähige biobasierte Rohstoffe in breiter Masse zur Verfügung stellen kann. Umgekehrt dazu wird sich die Entwicklung von Bioraffinerien von der ersten Generation zur zweiten oder dritten Generation nur weiterentwickeln, wenn potenzielle Endanwendungen der Rohstoffe soweit fortgeschritten sind, dass die Hersteller der biobasierten Rohstoffe mögliche Absatzmärkte erkennen können. Einfache Bioraffinerien, die gleichbleibende Qualitäten einzelner Biomassen verwenden, sind technischer Standard, aber um Fortschritte erzielen zu können, ist die Verwendung verschiedenster Ausgangsstoffe unabdingbar, um daraus eine höhere Anzahl an Produkten herzustellen, inklusive der Erzeugung von Energie und chemischen Produkten.

## **Biobindemittel für Primer-Formulierung**

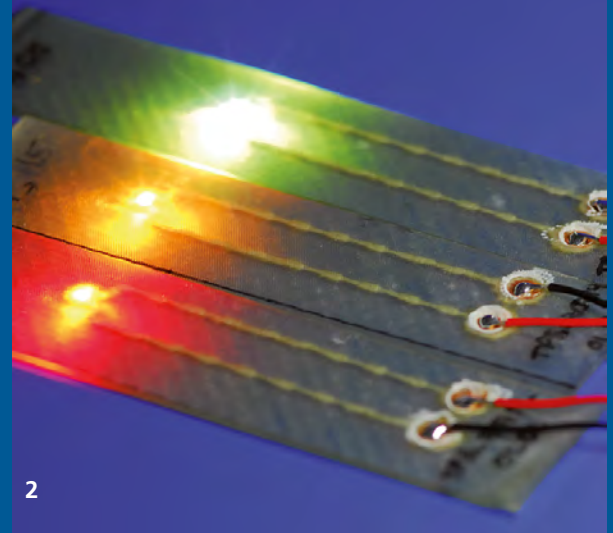
Ein Ergebnis des Projekts zeigt die Möglichkeit der Verwendung von Lignin als Ausgangsstoff bei der Herstellung von Bindemitteln für die Klebstoff- und Lackindustrie. Bei der Entwicklung von Alternativen zu petrochemischen Substanzen rückte Lignin schon häufig in den Fokus, der Holzstoff konnte sich aber aufgrund seiner herausfordernden Eigenschaften bisher allerdings nicht durchsetzen. So ist die genaue chemische Zusammensetzung der Ligninmasse zum Beispiel davon abhängig, ob sie aus der Papierproduktion stammt und mit anderen Stoffen versetzt ist oder ob sie bei der Herstellung

von Biokraftstoff angefallen ist. Dementsprechend ist die größte Herausforderung die Produktion eines stets gleich reagierenden Stoffes. Die meisten bisherigen Ansätze basierten darauf, aus dem Lignin monomere Ausgangsstoffe herzustellen, die stets dieselben Eigenschaften aufweisen. Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der Ausgangsmasse ist dies recht komplex, durch Standardisierung und Modifizierung kann ein Grundstoff erzeugt werden, der sich innerhalb bestimmter Grenzen immer gleich verhält. Der erhaltene Grundstoff kann als Baustein für Bindemittel für Primer-Formulierungen eingesetzt werden. Das Resultat ist ein Primer, der Schlüsseleigenschaften wie Korrosionsschutz, Haftung und Applizierbarkeit aufweist, die mit Grundierungen, die auf petrochemischen Rohstoffen basieren, vergleichbar sind.

**1** *Lignin ist eine echte Alternative zu fossilen Rohstoffen bei der Herstellung von Grundierungen oder Klebstoffen.*



1



2

# FUNKTIONSINTEGRATION IN FVK MIT DIGITALEN DRUCKVERFAHREN

Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) und carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) finden zunehmend im Leichtbau Verwendung. Sie zeichnen sich durch ihr geringes Gewicht bei gleichzeitig hoher Steifigkeit aus. In der Verarbeitung treten jedoch Qualitätsschwankungen auf, da faserverstärkte Kunststoffe (FVK) häufig noch in manuellen Prozessketten gefertigt werden. Die Vorteile dieser Leichtbauwerkstoffe können derzeit noch nicht vollständig ausgenutzt werden, da mögliche Schädigungen der Faserstrukturen durch einen starken Aufprall oder Schlag (Impact) nicht erkannt werden.

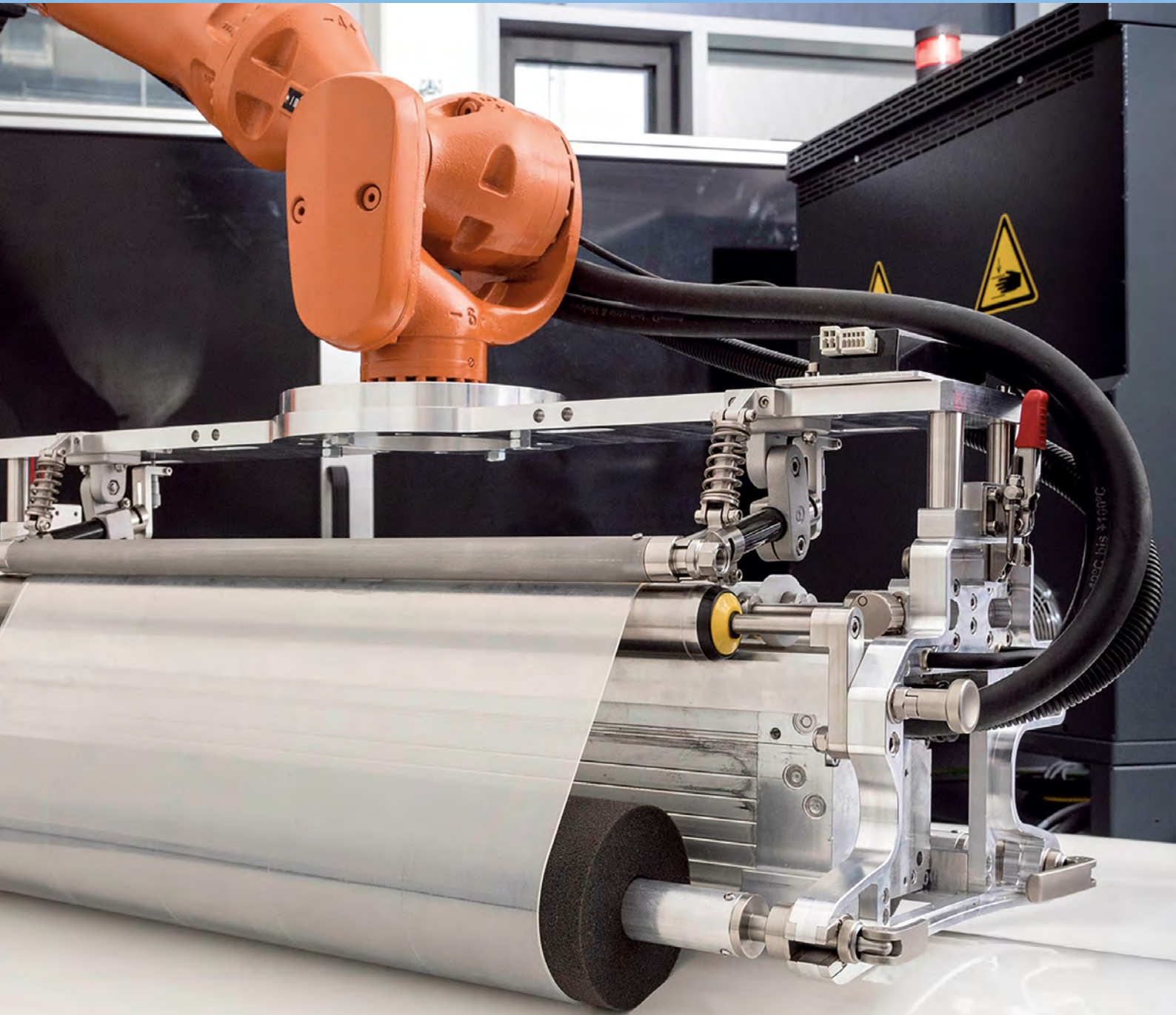
Strukturbauteile aus FVK werden daher mit großen Sicherheitsaufschlägen ausgelegt, um eine ausreichende Zuverlässigkeit sicherzustellen. Dies führt zu erhöhten Kosten. Ein Belastungsmonitoring (»Predictive Maintenance«) während des Betriebes (Structural Health Monitoring, SHM) kann die Sicherheitsfaktoren reduzieren und damit Kosten sparen. Hierzu müssen Sensoren und die entsprechenden Elektronik in Faserverbundstrukturen integriert werden. Idealerweise werden dabei Schädigungen nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Inneren des Bauteils erkannt, wobei die Stabilität des FVKs selbst nicht gestört werden darf. So ist die Integration sehr dünner folienbasierter Sensoren problematisch, da diese im Extremfall zu Delaminationen in einem FVK-Bauteil und damit zum Ausfall einer FVK-Struktur bei erhöhter Belastung führen können.

Im Teilprojekt B »Smart Wing« des Fraunhofer-Leitprojekts »Digitale Fertigung in der Massenproduktion – Innovation der Serienfertigung mit Digitalen Druck- und Laserverfahren – Go Beyond 4.0« werden Sensoren und Elektronik zum Monitoring der auftretenden Belastungszustände mittels digitaler Druckprozesse in und auf FVK-Bauteile integriert. Hierdurch können diese Bauteile zuverlässig hohen Belastungen ausgesetzt werden, da sich durch permanente Überwachung eventuelle Schädigungen frühzeitig erkennen lassen. Darüber hinaus können während der Fertigung an relevanten Stellen

auch Sensoren, Aktoren sowie Heizstrukturen oder Antennen in ein FVK-Bauteil integriert werden. Digitale Druck- und Laserprozesse ermöglichen es, Funktionsmaterialien wie Sensorstrukturen lokal auf FVK-Oberflächen aufzudrucken und so ein Bauteil zu funktionalisieren. Eine Integration von elektrischen, sensorischen oder kapazitiven Funktionen in den Faserverbund hinein ist ebenfalls möglich: Mit digitalen Druckprozessen können Funktionsstrukturen mit hoher Auflösung direkt auf Glasfaservliese oder -gewebe appliziert werden, die als Gewebelage im Herstellungsprozess des Faserverbundwerkstoffs eingesetzt werden. Im Fall von Kohlenstofffasern müssen diese zuvor elektrisch isoliert werden. Für diesen Schritt bieten sich ebenfalls Druckprozesse an, mit denen Isolations- und Barriere-materialien direkt auf die Fasern aufgebracht werden können. Nach dem Druckprozess müssen die applizierten Funktionsmaterialien meist einer thermischen Nachbehandlung unterzogen werden, die lokal mittels Laser oder mit energiereicher UV-Strahlung stattfinden kann. Die bedruckten textilen Halbzeuge können direkt mit herkömmlichen Technologien zur Herstellung funktionsintegrierter FVK eingesetzt werden.

- 1 *Mittels digitalem Dispensverfahren gedruckte Leiterbahnen aus Silber-Polymer-Komposite auf Glasfasergewebe, anschließende Integration von LEDs.*
- 2 *Funktionsintegrierte LEDs in GFK-Verbundwerkstoff.*





# KERNKOMPETENZ OBERFLÄCHENTECHNIK

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

Die Ausrichtung des Fraunhofer IFAM orientiert sich an den industriellen Entwicklungs- und Fertigungsprozessen in der Oberflächentechnik, d. h. sie reicht von der materialwissenschaftlichen Forschung bis hin zur Entwicklung neuer Beschichtungsstoffe und Behandlungsprozesse. Dabei stehen die Kompetenzen in der Charakterisierung und Bewertung von Oberflächen, in der Funktionalisierung und Modifizierung sowie hinsichtlich der zugehörigen Applikationsverfahren mit entsprechender Qualitätssicherung für die Zusammenarbeit mit unseren Partnern zur Verfügung.

Zu den Arbeitsschwerpunkten zählen die Entwicklungen von z. B. nass- und trockenchemischen Reinigungs- und Oberflächenvorbehandlungstechniken, von lacktechnischen Materialien und Beschichtungsverfahren, von Druckverfahren sowie von Dünnschicht- und Dickschichttechnologien ebenso wie die Aspekte der modernen Qualitätssicherung in der Fertigungsüberwachung. Die Charakterisierung und Bewertung von Oberflächen mittels chemischer, elektrochemischer und struktureller Analysen liefert wertvolle Informationen über deren Beschaffenheit und Eigenschaften und wird durch verschiedene computergestützte Simulationsverfahren und aussagekräftige Prüf- und Testmöglichkeiten ergänzt.

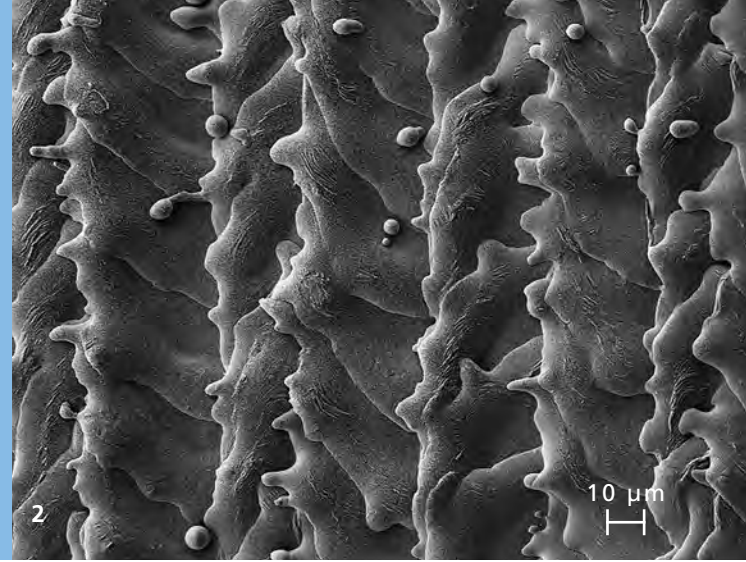
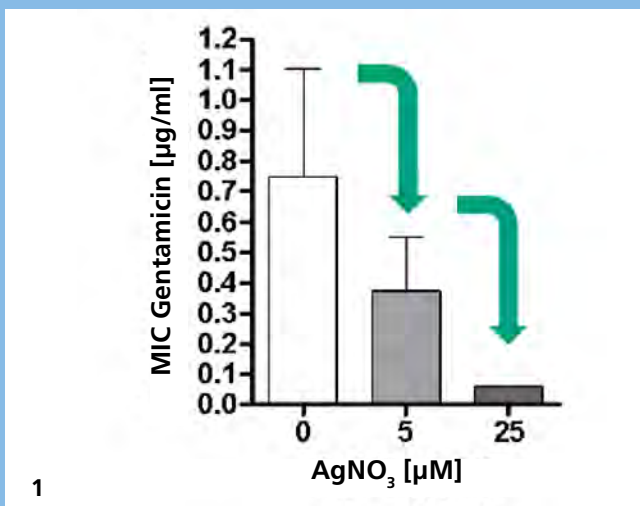
Die Experten am Fraunhofer IFAM verfügen über umfangreiche Kenntnisse beim gezielten Modifizieren und Funktionalisieren von Oberflächen. Dies umfasst die Reinigung und Aktivierung ebenso

wie eine entsprechende Vorbehandlung vor dem Lackieren und Kleben. Die Anforderungen an technische Oberflächen sind vielfältig und von der jeweiligen Anwendung abhängig. So wird z. B. an Entwicklungen für strömungsgünstige, eis- und schmutzabweisende, antibakterielle, biokompatible oder mit Antifouling-Eigenschaften gearbeitet. Auch spezifische tribologische, optische oder elektrische Anforderungen sowie die Sensorierung von Oberflächen können bedient werden. Zudem stehen verschiedenste Applikationsverfahren zur Verfügung, ausgehend vom Labormaßstab über Pilotanlagen bis zum Upscaling und die roboterassistierte Automatisierung für die (Groß-)Serienfertigung.

Qualitätssicherung spielt in der Oberflächentechnik eine zentrale Rolle. Am Fraunhofer IFAM werden daher fertigungsintegrierte Qualitätssicherungskonzepte und Prüfverfahren entwickelt, die eine stabile Prozesskontrolle erlauben. Hierbei werden auch die neuen Anforderungen an die Qualitätssicherung durch den Trend zur Digitalisierung im Fertigungsbereich berücksichtigt. Darüber hinaus verfügt das Institut 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 *Riblet-Applikator.*



# OBERFLÄCHEN FÜR DIE MEDIZINTECHNIK

Die Oberflächentechnik spielt in der Implantattechnologie eine sehr große Rolle, da die Wechselwirkungen eines Titanimplantats mit dem umgebenen Gewebe als auch mit anderen Materialien durch die Eigenschaften Rauigkeit und Oberflächenenergie dominiert wird.

Ziel des MAVO-Projektes »Synergy-Boost« ist die Unterdrückung von implantatassoziierten Infektionen, indem eine poröse Implantatoberfläche geschaffen wird, die ein Antibiotikum aufnimmt. Um die topische Antibiose weiter zu unterstützen, sollen Silberionen die Wirkung des Antibiotikums über einen synergistischen Effekt (Abb. 1) vervielfachen. Es sollen besonders günstige Kombinationen aus Ag<sup>+</sup> und verschiedenen Antibiotika konzentrationsabhängig gefunden werden. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Entwicklung einer antibakteriellen Beschichtung für Traumaimplantate. Ein besonderes Merkmal der patentgeschützten Beschichtung ist, dass sie eine patientenspezifische Wahl des Antibiotikums erlaubt, da der antimikrobielle Wirkstoff erst kurz vor der Implantation in die Implantatoberfläche durch ein Imprägnierungsverfahren eingebracht wird. Die poröse Oberfläche wird entweder durch ein etabliertes Micro-Arc-Oxidations- oder durch ein innovatives Laserverfahren hergestellt. Das Projekt endet mit zwei Tierstudien (»Orthopädie« und »Dental«), um den Nachweis der Brauchbarkeit des Beschichtungskonzepts zu zeigen.

Bei der osteosynthetischen Versorgung von Knochenfrakturen werden Traumaimplantate und Marknägel eingesetzt, die nach der Frakturheilung regelmäßig wieder entfernt werden. Die Entnahme des Implantats kann durch hydrophobe Niedrigenergieoberflächen vereinfacht werden, sodass die Weichteilschädigung reduziert und die Heilungszeit verkürzt wird sowie die Risiken von Komplikationen vermindert werden. Im

Rahmen des Projekts »Trauma« wurde eine geeignete zelladhäsionsmindernde, nicht zytotoxische Beschichtung auf Basis der Light<sup>PLAS</sup>-Technologie entwickelt. Als Schichtausgangsstoff dienen nicht reaktive, medizinisch zugelassene Ausgangsmaterialien, die mittels Vakuum-UV-Strahlung zu einer Beschichtung vernetzt werden.

Formgedächtnis-Legierungen aus Nitinol (TiNi) stellen ein wichtiges Material für die Medizintechnik (Stents, Endoskope) dar. Das Fügen von Nitinol mit anderen Materialien kann, mithilfe der Klebtechnik besonders platzsparend realisiert werden, sodass auch Hybridmaterialien aus TiNi und medizinischem Stahl zum Einsatz kommen können. Aufgrund der feuchtwarmen Umgebungsbedingungen ist die Klebung eine besondere Herausforderung. Mithilfe von Laserprozessen soll im Rahmen des Projekts »Dr. Bond« eine Oberfläche (Abb. 2) geschaffen werden, die eine langzeitstabile Haftung der biokompatiblen Materialien gewährleistet.

- 1 Durch die Zugabe einer nicht antimikrobiell wirksamen Menge von Silber kann die minimale Inhibitorkonzentration (MIC) um Faktor zehn gesenkt werden.
- 2 Laserstrukturierte Nitinol(NiTi)oberfläche für eine verbesserte Klebfestigkeit bei feuchten Umgebungsbedingungen.



# DIGITALISIERUNG IN DER QUALITÄTSSICHERUNG VON OBERFLÄCHEN

Die Digitalisierung hält Einzug in alle Bereiche der Industrie und des täglichen Lebens. Auch für die Qualitätssicherung, als prozessübergreifende Funktion entlang der gesamten Produktionskette, bietet die Digitalisierung Potenziale, die bisher häufig ungenutzt blieben. Das Fraunhofer IFAM forscht daher im Bereich der Kleb- und Oberflächentechnik an neuen Ansätzen, die sich der Technologien der Industrie 4.0 bedienen. Konkret geht es um die Symbiose und Verschmelzung neuer Technologien mit dem bestehenden Know-how sowie den Verfahrensweisen in der Qualitätssicherung von Oberflächen.

Eine der wesentlichen Herausforderungen der Digitalisierung besteht darin zu evaluieren, welche der aktuellen Technologiefortschritte einen vielversprechenden Mehrwert bringen können und wie sich diese in ein industrielles Umfeld integrieren lassen. Fortschritte in Bereichen wie dem maschinellen Lernen in Verbindung mit den erzeugten Messdaten erlauben heute sehr viel präzisere und frühzeitigere Rückschlüsse auf Ursachen von Ausschuss oder Ausfallzeiten in der Produktion. Zusammen mit der industriellen Bildverarbeitung sowie der stark verbesserten Zugänglichkeit fortschrittlicher Algorithmen lassen sich diese Fortschritte effektiv in die Qualitätssicherung von Oberflächen transferieren. Damit können z. B. Defekte auf Oberflächen durch Experten eingelernt und im Anschluss automatisch erkannt werden. Repetitive Aufgaben der visuellen Oberflächenkontrolle können so mithilfe von maschinellem Lernen in Kombination mit Robotik bedarfsgerecht und flexibel automatisiert werden.

Ein weiteres wichtiges Forschungsfeld betrifft die Einführung eines Expert-on-Demand-Systems, genannt IRIES. Durch den Einsatz neuer Technologien wie Datenbrillen oder Smartphones kann ein Techniker unmittelbar vor Ort, etwa in der Werkshalle, direkte Unterstützung von einem Experten anfordern. Inspektionen lassen sich damit ortsunabhängig und bedarfsgerecht begleiten.

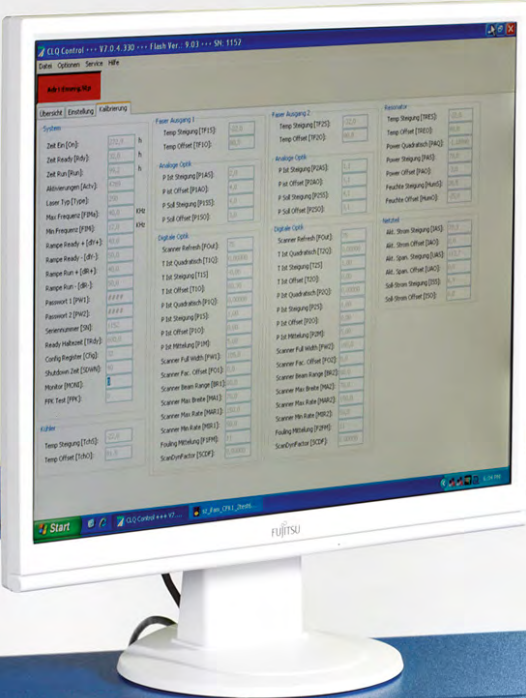
Das große Fachwissen der Experten am Fraunhofer IFAM lässt sich so in Zukunft effizienter nutzen und dem Kunden einfacher bereitstellen.

Um die erzeugten Daten auch langfristig nutzen zu können, müssen diese zentral erfasst und in eine geeignete Struktur überführt werden. Unter diesem Aspekt untersuchen Forscher am Fraunhofer IFAM die Nutzung von standardisierten Datenformaten. Damit können speziell Daten aus den vielfältigen Material- und Oberflächenprüfungen effizient verwaltet werden. Eine grafische Aufbereitung dieser Daten kann gleichzeitig helfen, um Messergebnisse besser zu verstehen und allen Prozessbeteiligten einen einfachen und geeigneten Datenzugang zu ermöglichen.

In Summe hilft die Digitalisierung damit, Prozesse besser zu verstehen und Ursachen für Probleme schneller auszumachen, um den Menschen bei seiner Arbeit bestmöglich zu unterstützen: angefangen bei verbesserten Schnittstellen zu Messgeräten und der benutzerfreundlichen Visualisierung der Ergebnisse bis hin zu einer vollständig autonomen Messdatenerfassung mithilfe von Robotern und der automatischen Datenanalyse in der Cloud.

**1+2** *Expert-on-Demand-System IRIES im Einsatz.*

OBERFLÄCHENTECHNIK



# TREIBSTOFFEINSPARUNG DURCH LASERVORBEHANDLUNG VON TITAN

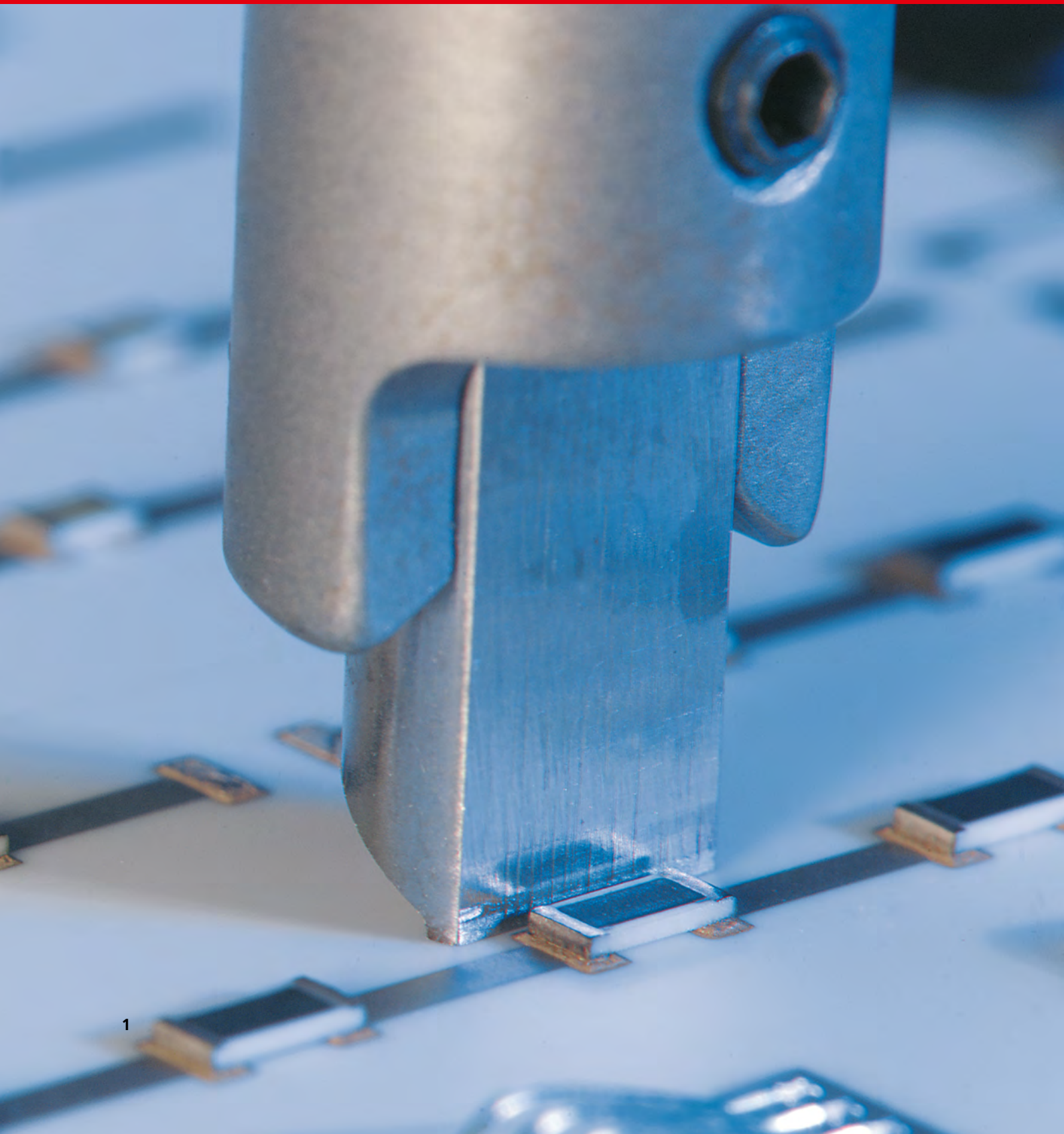
Hybride Strukturen aus Titan und kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK) gewinnen im Bereich der Luftfahrt immer mehr an Bedeutung. Zur Reduktion des Treibstoffverbrauchs sollen bei Flugzeugen der nächsten Generation beispielsweise perforierte Titanbleche im Bereich der Flügelvorderkante angebracht werden. Durch die spezielle Perforation der Bleche werden turbulente Strömungen vermieden und damit die Luftreibung und der Kerosinverbrauch verringert. Idealerweise werden die Titanbleche und der CFK-Flügel durch Kleben miteinander verbunden. Das Fraunhofer IFAM entwickelt dazu Prozesse zur Vorbehandlung des Titans mittels Laser, um die notwendige strukturelle Festigkeit an dieser für das Fliegen essenziellen Struktur zu erreichen.

»CleanSky« ist das größte europäische Forschungsprogramm mit dem Ziel, die Emission von CO<sub>2</sub> und Lärm beim Betrieb von Luftfahrzeugen durch die Bereitstellung innovativer Technologien signifikant zu reduzieren. Zusammen mit vielen namhaften Unternehmen der Luftfahrtindustrie unter der Führung von Airbus arbeitet das Fraunhofer IFAM in enger Kooperation an der Validation und weiteren Erforschung einer der zukünftigen Schlüsseltechnologien zur Emissionsreduktion, dem sogenannten HLFC (Hybrid Laminar Flow Control)-Konzept. Hierbei wird durch unterschiedliche aerodynamische Maßnahmen im Bereich der Tragflächen eine signifikante Reduktion des Reibungswiderstandes angestrebt. In diesem Rahmen ist das Fraunhofer IFAM an der Konzeption, Fertigungsplanung und Herstellung eines Demonstrator-Bauteils im 1:1-Maßstab für Großraumflugzeuge (»large passenger aircrafts«) beteiligt. Eine wesentliche Schlüsselkomponente bei der Fertigung des Demonstrators und bei der zukünftigen Produktion ist das Sicherstellen einer langzeitstabilen Klebverbindung von Titan und CFK-Flügelvorderkante. Der Schwerpunkt der Arbeiten am Fraunhofer IFAM zum Erreichen dieses Ziels ist die Entwicklung eines geeigneten Vorbehandlungsverfahrens mittels Laser für das Titan. Wissenschaftler der Abteilungen Werkstoffe und Bauweisen sowie Plasmatechnik und Oberflä-

chen konzentrieren sich auf die Modifikation der Titanoberfläche. Es wird gezielt der Einfluss von Parametern bei der Laserbehandlung (wie Wellenlänge, Fluenz, Strahlparameter) auf die Erzeugung unterschiedlicher Titanoxid-Oberflächen untersucht. Die Arbeiten werden begleitet durch strukturmechanische Charakterisierung und Prüfung der so hergestellten Klebverbunde, um die Rolle der Titanoxid-Oberfläche für langzeitstabile Klebungen aufzuklären.

Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass die hohen Sicherheitsanforderungen im Flugzeugbereich an eine strukturelle Titan-CFK-Klebung durch die Laserbehandlung gewährleistet werden können. Die Ergebnisse sind selbstverständlich auf andere Anwendungen übertragbar und erweitern signifikant unsere Kompetenzen zur Entwicklung optimaler Vorbehandlungsprozesse für unsere Kunden. Im Zusammenspiel mit unserem neuen Zentrum zur Inline-Vorbehandlung können dabei auch die notwendigen zeitlichen, räumlichen und budgetären Rahmenbedingungen für die Integration der Vorbehandlung in die industrielle Fertigung optimiert werden.

- 1 *Nd-YAG Laser zur Vorbehandlung mit infraroter Laserstrahlung.*
- 2 *Wechselwirkung Laserpuls mit Titanoberfläche.*



# KERNKOMPETENZ KLEBEN

Das Fraunhofer IFAM ist das international führende, unabhängige Forschungsinstitut auf dem Gebiet »Kleben«. Seit fast 50 Jahren arbeiten hoch qualifizierte, multidisziplinär aufgestellte Teams an der Weiterentwicklung dieser facettenreichen Fügetechnik. Die langjährige Erfahrung, die Diversifizierung der Mitarbeiter und die umfassende apparative Ausstattung ermöglichen eine zügige und hochqualitative Bearbeitung von Dienstleistungen sowie von Forschungs- und Entwicklungsaufträgen.

Die Kernkompetenz Kleben des Fraunhofer IFAM umfasst die Klebstoffauswahl, die Charakterisierung mechanischer Merkmale, Verarbeitungseigenschaften von Klebstoffen, die Auslegung und Validierung geklebter Strukturen, die Entwicklung und Anwendung von Dosier- und Applikationsprozessen, die Qualitätssicherung, die kundenspezifische Gestaltung industrieller Prozesse, die Analyse von Schadensfällen, die Behebung von Fertigungsstörungen sowie die überbetriebliche, hierarchieübergreifende Qualifizierung des Personals im Betrieb.

Herausforderungen wie Haftvermittlung, Hochtemperaturanwendungen und Alterungsschutz gehören ebenso zum Portfolio wie die Schnellhärtung und das Hybridfügen. Zur Charakterisierung von Klebstoffen und Klebverbindungen wird ein breites Spektrum thermoanalytischer, spektroskopischer, rheologischer, physikalischer und mechanischer Prüfverfahren genutzt. Diese haben eine entscheidende Bedeutung zur Abschätzung des Alterungsverhaltens und der Lebensdauer des späteren Produkts.

Bei anspruchsvollen Verbindungen oder schwierigen Oberflächen kann vor dem Kleben die Vorbehandlung der Oberflächen notwendig sein. Dies gewährt eine langzeitbeständige Haftung der Klebstoffe. Die Integration des Klebens in die industrielle Fertigung erfordert eine auf die Anwendung abgestimmte Applikationstechnik. Der Prozessautomatisierung kommt somit eine zentrale Bedeutung zu. Gleiches gilt für die Auslegung von Klebverbindungen und für die Berechnung geklebter Strukturen. Grundlage sind experimentelle Kennwerte von Klebstof-

fen, Werkstoffen, Verbindungen und Bauteilen, die im DIN EN ISO 17065 akkreditierten Prüflabor ermittelt werden.

Kunden aus der Industrie schätzen unsere Beratung zu klebtechnischen Fragestellungen. Diese Beratung beginnt oftmals mit einer Betriebsbegehung und der Erstellung eines Lastenhefts. Die Auswahl geeigneter Klebstoffe wird auf die spezifischen Anforderungen des Kunden abgestimmt. Optional beinhaltet diese spezifische Oberflächenbehandlung der Füge-teile, die Automatisierung des Klebstoffauftrags und kann bis hin zur Einführung eines qualitätsgesicherten Fertigungsprozesses im Unternehmen reichen.

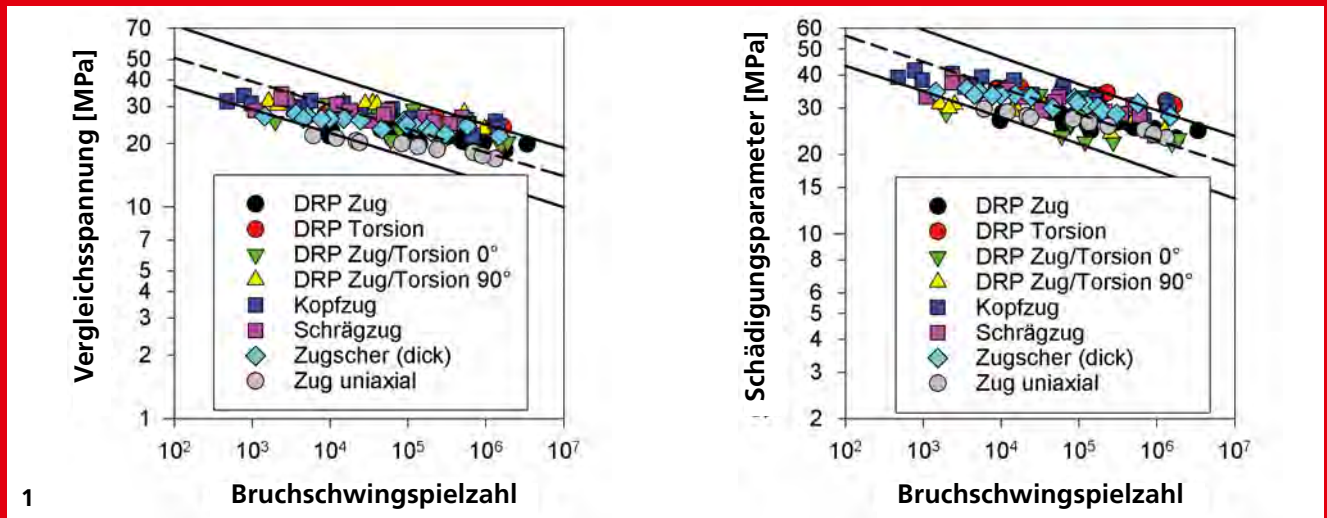
Ein langjährig etabliertes, umfassendes und weltweit angebotenes Portfolio an klebtechnischer Weiterbildung mit international anerkannten Abschlüssen ist ein weiterer Ausdruck und ein wesentliches Element des Qualitätssicherungskonzepts für das Kleben.

Die Überprüfung der normgerechten Umsetzung industrieller Klebtechnik auf Grundlage der DIN 2304 »Klebtechnik – Qualitätsanforderungen an Klebprozesse« ist Bestandteil des Leistungsangebots. Das Fraunhofer IFAM stellt zudem nach DIN 6701 zugelassene Auditoren für das Kleben im Schienenfahrzeugbau.

> [www.ifam.fraunhofer.de/kleben](http://www.ifam.fraunhofer.de/kleben)

1 *Prüfung der Verbundfestigkeit eines mittels elektrisch leitfähigem Klebstoff kontaktierten SMD-Bauteils.*





# SCHWINGFESTIGKEIT GEKLEBTER STAHLVERBINDUNGEN UNTER SCHWELLBELASTUNG

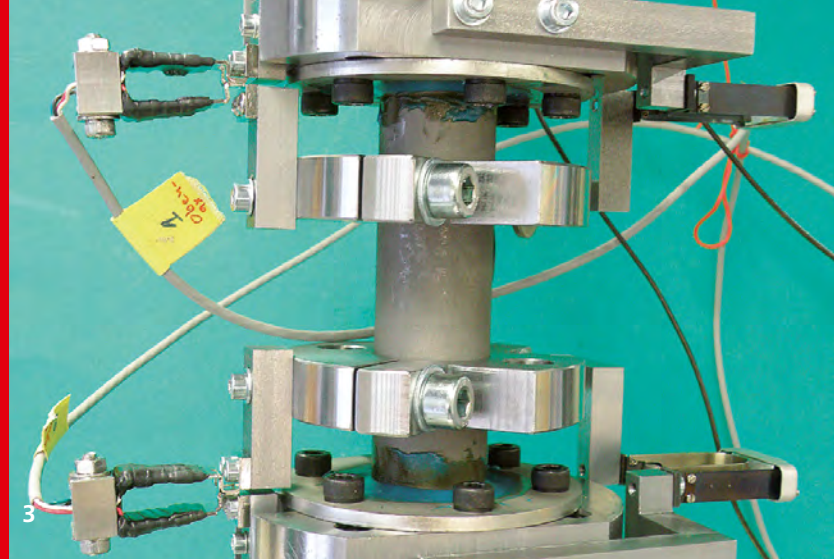
Das mechanische Verhalten struktureller Klebschichten wurde unter mehrkanaliger, schwingender Belastung untersucht. Die dabei wirkenden Last-Zeit-Funktionen wurden sowohl einzeln als auch in Kombination aufgeprägt, wobei sich mehrachsige, zur wirkenden Belastung entweder proportionale oder nicht proportionale Spannungszustände ergaben. Diese Art der Beanspruchung stellt den allgemeinen Fall dar, die für die Anwendung relevant ist. Die Untersuchung wurde durch den Bedarf an Daten und Methoden zur Auslegung geklebter Stahlverbindungen in der Automobilindustrie motiviert.

Zur Abschätzung der Lebensdauer geklebter Bauteile wurden spannungsbasierte Versagenskriterien untersucht und weiterentwickelt. Betrachtet wurden sowohl Invarianten des Spannungstensors als auch Spannungskomponenten in der Schnittebene. Von beiden Ansätzen ist aus dem Bereich metallischer Werkstoffe bekannt, dass sich mehrachsige Spannungszustände auf eine gemeinsame Referenz-Wöhlerlinie abbilden lassen. Die Abbildung auf eine gemeinsame Wöhlerlinie trägt der Tatsache Rechnung, dass ein valides Versagenskriterium für beliebige Spannungszustände am Versagenspunkt den gleichen Wert annehmen muss. Invarianten sind einfacher anzuwenden, unterliegen jedoch der Einschränkung, dass eine nicht proportionale Belastung im Allgemeinen nicht gut beschrieben wird. Mit Spannungen in der Schnittebene lassen sich sowohl proportionale als auch nicht proportionale Belastungen beschreiben [1–3].

Parametersätze wurden für beide Gruppen von Versagenskriterien anhand von Versuchen an Probekörpern mit homogenem Spannungszustand in der Klebschicht identifiziert. Durch geeignete geometrische Gestaltung wurden unterschiedliche Verhältnisse von Schub- zu Normalspannung

erzielt. Mit stumpf geklebten Doppelrohrproben wurden Schub- und Normalspannungen in der Klebschicht proportional oder nicht proportional überlagert. Geprüft wurde unter kraftkontrollierter, schwingender Belastung in servo-hydraulischen Zug- und Zug-Torsions-Prüfmaschinen. Die Bruchbilder der geprüften Proben zeigten vollständig kohäsives Versagen innerhalb der Klebschicht. Demzufolge konnten die Ergebnisse vollständig auf die kohäsiven Eigenschaften der Klebschicht zurückgeführt werden [3].

Abbildung 1 zeigt beispielhaft Schwingversuchsergebnisse mit unterschiedlichem Mehrachsigkeitsgrad und Phasenverschiebung auf einer gemeinsamen Wöhlerlinie anhand eines Invarianten-Kriteriums und eines auf die Schnittebene bezogenen Normalspannungskriteriums. Es handelt sich um einen einkomponentigen, wärmehärtenden Epoxidharzklebstoff, der für strukturelle Klebverbindungen im Automobilbau eingesetzt wird. Das Schub-Normalspannungs-Verhältnis bei kombinierten Versuchen lag bei etwa 1:1, die Phasenverschiebung bei 0° bzw. 90° und das Lastverhältnis bei  $R = 0,1$ . Die Abbildungen legen nahe, dass beide Kriterien bezüglich der Prognosefähigkeit vergleichbar sind. Bei einer tiefergehenden



Betrachtung zeigte sich jedoch, dass die Lebensdauer unter phasenverschobener Belastung bei Anwendung von Schnitt-ebene-Kriterien besser beschrieben wurde.

Die Prognosefähigkeit der Modelle wurde anhand weiterer Versuche verifiziert. Dazu wurden mithilfe der zuvor identifizierten Modelle Lebensdauerprognosen für bauteilähnliche Probekörper mit inhomogenen Spannungszuständen in der Klebschicht unter schwingender Belastung erstellt. Als bauteilähnliche Probekörper wurden Flansch-Rundstab-Proben verwendet (Abb. 2), mit denen sowohl phasengleiche als auch phasenverschobene Belastung realisiert werden konnte.

An den zuvor berechneten Flansch-Rundstab-Proben wurden Schwingversuche durchgeführt. Die generierte Datenbasis erfüllt den Anspruch der Unabhängigkeit zur Verifikation der Prognosefähigkeit, d. h., sie wurde nicht zur Parameteridentifikation herangezogen. Die Verhältnisse von Last und Drehmoment sowie die Abnahme des ertragbaren Drehmomentes bei überlagerter Axiallast wurden von dem Modell gut beschrieben. Das tendenziell frühere Versagen im Versuch war eine Folge von Imperfektionen in der Klebschicht infolge der Fertigung.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Lebensdauer des betrachteten Klebstoffs unter multiaxialer Belastung auf Basis spannungsbasierter Versagenskriterien prognostizieren lässt. Der allgemeine Fall nicht proportionaler Belastung wird von Schnitt-ebene-Kriterien besser beschrieben als von Invarianten. Die weitere Absicherung der untersuchten Berechnungsansätze bezüglich Gültigkeit bei Wechsellast und Übertragbarkeit auf andere Klebstoffe erfordert weitere Untersuchungen.

### Auftraggeber

Das IGF-Vorhaben 18107 N der Forschungsvereinigung Stahl-anwendung e. V. (FOSTA), Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

- [1] D. F. Socie und G. B. Marquis, *Multiaxial Fatigue*, Warrendale: Society of Automotive Engineers, 2000.
- [2] E. Haibach, *Betriebsfestigkeit: Verfahren und Daten zur Bauteilberechnung*, Berlin: Springer, 2006.
- [3] D. Radaj und M. Vormwald, *Ermüdungsfestigkeit: Grundlagen für Ingenieure*, Berlin: Springer, 2007.

- 1 *Abbildung von Dauerschwingversuchen auf eine gemeinsame Wöhlerlinie  $\sigma = \sigma_f N^{1/k}$  mithilfe eines Invarianten-Kriteriums (links) und mit mithilfe eines Critical-Plane-Kriteriums (rechts).*
- 2 *Flansch-Rundstab-Proben.*
- 3 *Dauerschwingversuch an einer Flansch-Rundstab-Probe.*



# KLEBTECHNIK STUDIEREN: BERUFS- BEGLEITENDE WEITERBILDUNG

Das Weiterbildungszentrum Klebtechnik des Fraunhofer IFAM, die Steinbeis Hochschule Berlin – SHB und das Steinbeis Center of Management and Technology – SCMT haben in Kooperation eine berufsbegleitende Weiterbildung mit dem akademischen Abschluss »Master of Engineering (M. Eng.)« und dem international anerkannten Abschluss »DVS®/EWF-European Adhesive Engineer – EAE« entwickelt.

## Die Idee

Ziel dieser neuen berufsbegleitenden Weiterbildung ist es, Mitarbeiter schnell und fundiert aus klebtechnischer und wirtschaftswissenschaftlicher Sicht weiterzubilden, daneben werden auch soziale und interkulturelle Aspekte berücksichtigt.

## Aufbau und Inhalte des Studiums

Im Mittelpunkt der berufsbegleitenden Weiterbildung steht das zweijährige Projekt-Kompetenz-Studium PKS, bei dem neben der fachlichen Wissensvermittlung immer ein konkretes Projekt innerhalb eines Unternehmens im Zentrum steht.

Die Studieninhalte werden in kurzen Präsenzzeiten (ein- bis zweiwöchigen Seminarblöcken) vermittelt. Zentraler Bestandteil dieser Seminarblöcke ist unter anderem der DVS®/EWF-Lehrgang EAE mit seinen acht einwöchigen Modulen. Trotzdem steht der Mitarbeiter seinem Unternehmen weiterhin für verantwortungsvolle Aufgaben zur Verfügung.

Eine Besonderheit stellen die mit dem PKS verbundenen Projektkompetenzen dar. Hierzu wird aus der betrieblichen Praxis des Studierenden ein Projekt definiert und während der Projektphasen bearbeitet. Es endet mit der wissenschaftlichen Ausarbeitung der Masterthesis.

Der Aufbau des Studiums wird untergliedert in Projekt- und Präsenzphasen (16 Seminarwochen).

Die Prüfungs- und Unterrichtssprache des Masters of Engineering inklusive DVS®/EWF-EAE ist Englisch, lediglich der EAE wird

in Deutsch oder in Englisch durchgeführt. Die Studierenden besuchen während der Regelstudienzeit von insgesamt 24 Monaten die Studienorte Berlin, Stuttgart und Bremen, erweitert um Auslandsaufenthalte in Europa und Asien.

## Inhalte

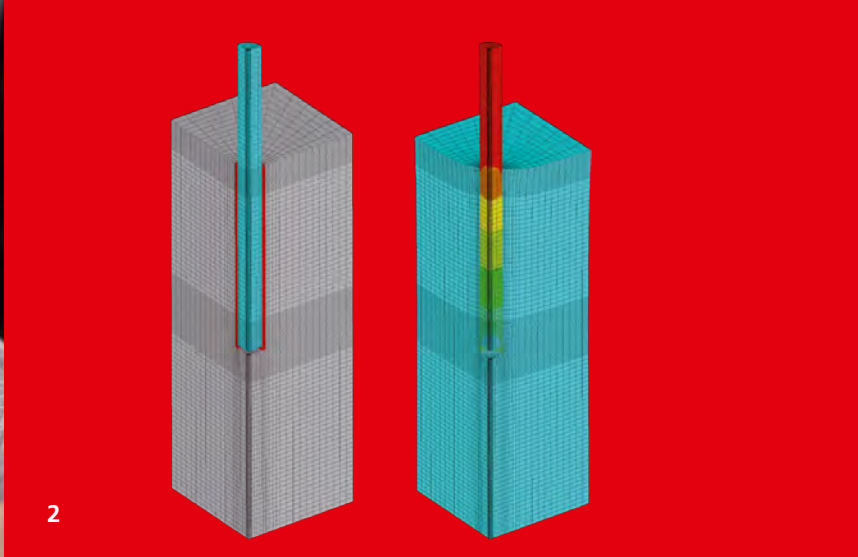
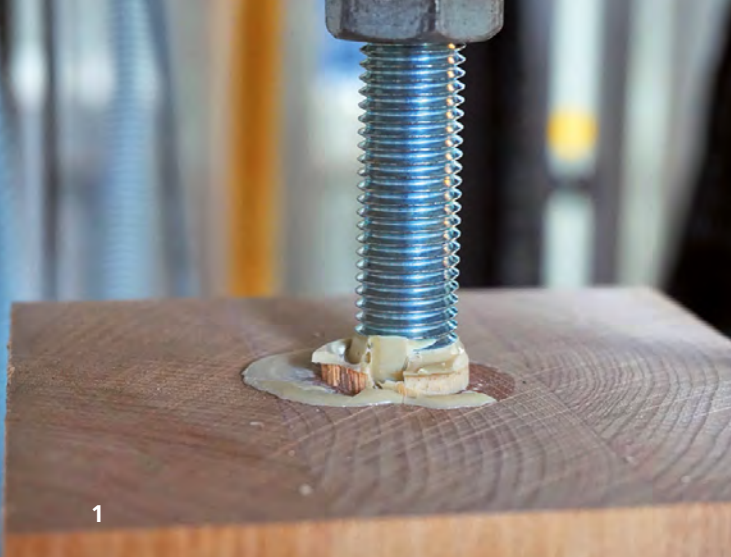
Die Inhalte des Studiums lassen sich in zwei Teile untergliedern (40 Prozent Wirtschaftswissenschaften und 60 Prozent Ingenieurwissenschaften).

- Wirtschaftswissenschaftliche Schwerpunkte
- Projektmanagement und Organisation
- Volkswirtschaftslehre – Wirtschaft und Recht
- Strategien in der Betriebswirtschaftslehre
- Marketing und Unternehmensführung
- Ingenieurwissenschaftliche Schwerpunkte
- Produktions- und Verfahrenstechnik – eine Einführung
- DVS®/EWF-Lehrgang European Adhesive Engineer – EAE

## Ausblick

Potenzialträger aus den Unternehmen können sich in der Klebtechnik berufsbegleitend akademisch mit zweifachem Abschluss weiterbilden: »Master of Engineering – M. Eng.« sowie »DVS®/EWF-European Adhesive Engineer – EAE« und sofort die erworbenen Kompetenzen in den Unternehmen anwenden.

1 Unterrichtssituation.



# EINGEKLEBTE STÄBE IN LAUBHOLZ

Holz als Baustoff erlebt derzeit einen deutlichen Aufschwung. Die große Verfügbarkeit, der wirtschaftliche Nutzen, die durch den Einsatz dieses natürlichen Rohstoffs eröffneten architektonischen Möglichkeiten und ein durch Holz bedingtes angenehmes Raumklima stärken den Einsatz dieses Werkstoffs in der Baubranche.

Bezogen auf strukturelle Werkstoffe ermöglicht die Klebtechnologie in Kombination mit modernen, computergestützten Verfahren die Entwicklung von leistungsfähigen Holzprodukten wie Brettschichtholz (BSH) und Furnierschichtholz (FSH). Eingeklebte Stäbe stellen eine besondere Form des geklebten Anschlusses im Holzbau dar, und ermöglichen die Herstellung sehr leistungsfähiger und ästhetisch hochwertiger Anschlüsse. Verglichen mit mechanischen Anschlüssen weisen sie sowohl eine höhere Tragfähigkeit als auch eine größere Steifigkeit auf. Diese Eigenschaften sind für Nadelholz ausreichend untersucht worden, und normativ geregelt, jedoch nicht für Laubholz.

Am Fraunhofer IFAM wurden dazu nun umfangreiche experimentelle und numerische Arbeiten durchgeführt. Untersucht wurden auf Laubholz basierende Holzprodukte (Buche BSH, Eiche BSH und Buche FSH), in denen vier Stabtypen mit neun Klebstoffen kombiniert wurden (Abb. 1). Im Rahmen der Untersuchungen wurden für diese Anwendungen optimale Klebstoffe bestimmt und charakterisiert. Es konnte gezeigt werden, dass die Tragfähigkeit für Laubholz, bei entsprechender Klebstoffauswahl, mindestens doppelt so hoch ist wie bei Nadelhölzern, sowohl unter quasi-statischen Lasten als auch unter Ermüdung.

Es konnte auch gezeigt werden, dass der Spannungszustand in eingeklebten Stäben komplex ist und nicht auf reine Scherspannung reduziert werden kann. Signifikante, transversale Spannungen interferieren mit Scherspannungen und heben die Vorhersage und Berechnung von Festigkeiten auf eine komplexere Ebene. Durch ein am Fraunhofer IFAM entwickel-

tes computergestütztes Berechnungsverfahren konnten die quasi-statischen Tragfähigkeiten von in Laubholz eingeklebten Stäben zuverlässig bestimmt werden (Abb. 2). Dieses Verfahren wurde erfolgreich auf die Abschätzung der Restfestigkeit unter Ermüdungslasten erweitert. Die Modellierung des Ermüdungsverhaltens eingeklebter Stäbe erfolgte durch die Erfassung der Schadensakkumulation. Es wurde damit möglich, Ermüdungslasten nachzurechnen und den Einfluss der Festigkeitsdegradation auf die Festigkeit nach jedem Zyklus als Restfestigkeit zu bestimmen.

Durch die Untersuchungen konnten erste grundlegende Forschungserkenntnisse über eingeklebte Stäbe in Laubholz geschaffen werden. Diese helfen dabei, die Leistungsfähigkeit laubholzbasierter Tragwerke künftig zu steigern und die Anwendung in der Baupraxis zu ermöglichen. Die Ergebnisse tragen besonders im Hinblick auf die Anwendung bei zyklischen Lasten dazu bei, die Bemessung weniger konservativ und damit effizienter auszulegen.

**1** Zugversuch an einem in Buchenfurnier eingeklebten Gewindestab (Ø 16 mm).

**2** Numerisches Modell zur rechnerischen Ermittlung der Traglasten von in Laubholz eingeklebten Stäben.



# KERNKOMPETENZ FORMGEBUNG UND FUNKTIONALISIERUNG

Die Kernkompetenz Formgebung und Funktionalisierung beinhaltet über das reine Prozessverständnis vom Werkstoff zum Bauteil hinaus die Entwicklung innovativer Fertigungsprozesse, um Bauteile ohne zusätzlichen Aufwand mit weiteren Funktionen auszustatten.

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Arbeiten in dieser Kernkompetenz stellt das umfassende Know-how in unterschiedlichen pulvertechnologischen Formgebungs- und Fertigungsprozessen, insbesondere zu den beiden jeweils wichtigsten Prozessschritten Formgebung und Sintern, dar. Wie kein zweiter Fertigungsprozess ermöglicht die pulvertechnologische Herstellung von Bauteilen die gleichzeitige Einstellung von Materialeigenschaften und Bauteilgeometrie. Das Angebot reicht von der Bauteilentwicklung über die Fertigung von Pilotserien bis hin zum Know-how-Transfer und zur Qualifizierung von Produktionspersonal.

Der Einsatz von additiven Fertigungstechnologien, bei denen Bauteile werkzeuglos aus pulverförmigen Materialien in nahezu beliebigen und sehr komplexen Formen direkt aus CAD-Dateien entstehen, ermöglicht die Fertigung sowohl von Prototypen für die schnelle Produktentwicklung als auch von hochgradig individualisierten Produkten für den Endanwender.

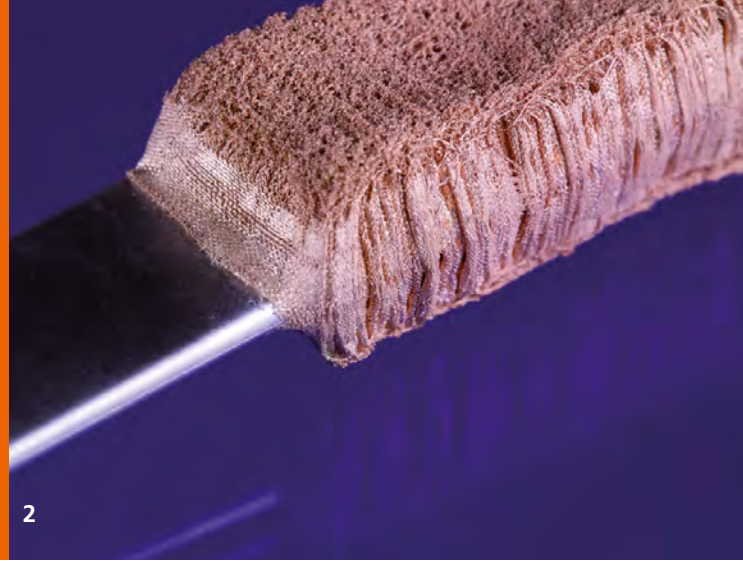
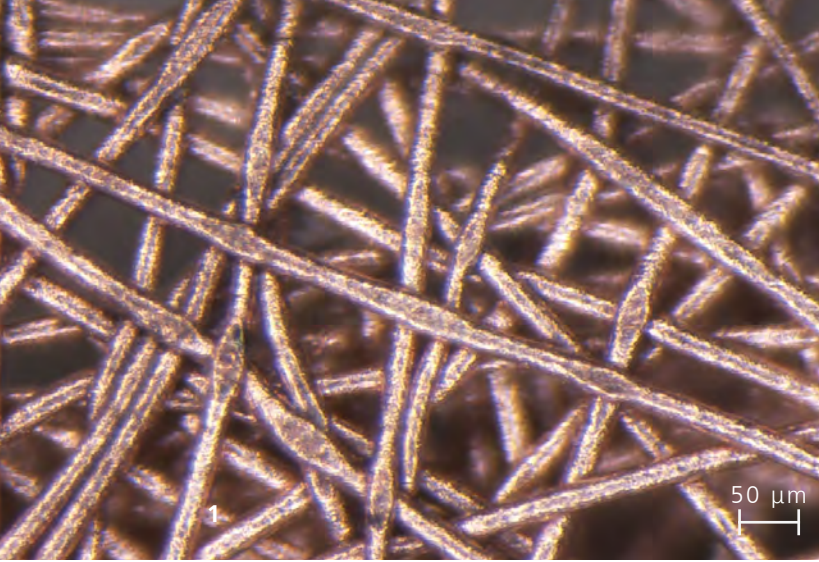
Neben dem Aufbringen von Funktionsbeschichtungen lassen sich Bauteile auch mithilfe des Functional Printing nachträglich funktionalisieren. Verschiedene pulverbasierte Printing-Technologien sind darum ebenso Bestandteil der Kernkompetenz. In einer eigens dafür eingerichteten automatisierten Fertigungsstraße werden die Verfahren in industriellem Maßstab umgesetzt.

In der Gießereitechnik werden industrielle Kunden bei der Umsetzung ihrer Ideen vom Prototyp bis zum anwendbaren Produkt begleitet. Wesentliche Elemente der Kernkompetenz sind die langjährige Erfahrung und die am Fraunhofer IFAM zur Verfügung stehenden Prozessketten und Anlagentechnik für Druckguss, Niederdruckguss, Lost-Foam- und Feinguss. Auch in der Gießereitechnik steht die Entwicklung funktionsintegrierter Gussteile im Vordergrund der Arbeit. Bereits bei der gießtechnischen Herstellung werden Fasern, wie z. B. Kohlenstoff-, Keramik- oder Glasfasern, direkt in das Gussteil integriert und verändern gezielt mechanische Eigenschaften wie Zugfestigkeit oder Steifigkeit. Eingegossene RFID-Transponder ermöglichen die eindeutige Kennzeichnung und Rückverfolgung von Gussteilen und bieten Plagiatschutz. Das Eingießen von Sensoren und Aktoren macht erweiterte sensorische oder aktorische Funktionalitäten bei Gussteilen möglich.

Die Kernkompetenz Formgebung und Funktionalisierung 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/formgebung-funktionalisierung](http://www.ifam.fraunhofer.de/formgebung-funktionalisierung)

1 *Designstudie zum Laserstrahlschmelzen.*



# TEXTILE HOHLFASER-STRUKTUREN FÜR THERMISCHE ANWENDUNGEN

Metallische Wärmetauscher spielen eine wesentliche Rolle in vielen technischen Prozessen, z.B. bei Kältemaschinen, Wärmepumpen und Dampferzeugern. Die optimale Gestaltung der Wärmetauscher bestimmt die Leistungsparameter der jeweiligen Systemkomponenten und diese wiederum die Wirkungsgrade der Gesamtprozesse, aber auch die notwendigen Bauraumgrößen der Elemente und der Gesamtanlage.

Poröse Metallstrukturen bieten verschiedene Vorteile für die optimale Gestaltung von Wärmetauscher-Komponenten: Ihre komplexe Stegstruktur weist gute Wärmeleitfähigkeiten auf und kann für einen intensiven Wärme- und Stoffaustausch genutzt werden. Die hohe spezifische Oberfläche bietet die Möglichkeit der Abscheidung dünner Schichten aus Aktivmaterialien, wie z. B. Zeolithen oder metall-organischen Gerüsten (metal organic frameworks – MOFs).

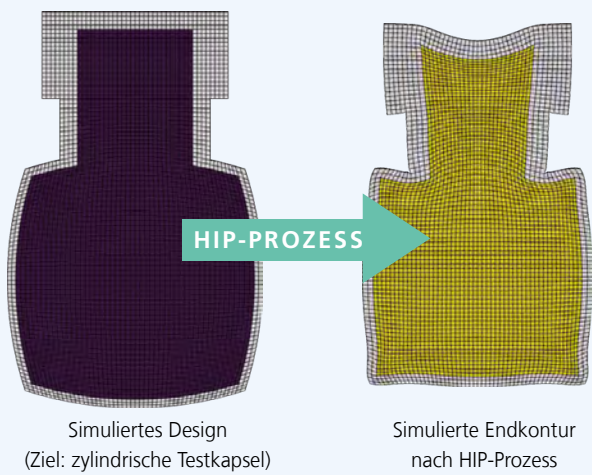
Verschiedenste Ausgangsmaterialien (z. B. Schmelzen, Pulver, Fasern) und Verfahren (z. B. Gießen, Abscheide- oder pulvermetallurgische Prozesse) können für die Herstellung poröser Metallstrukturen verwendet werden. Im Rahmen des Fraunhofer-Stiftungsprojekts »Hocheffiziente Adsorptions-Verbund-Systeme für die Energietechnik (HARVEST)« entwickelt das Fraunhofer IFAM sehr feine metallische Kupfer-Wärmetauscher-Strukturen. Ausgangspunkt der Fertigung sind metallbeschichtete Polyamid-Textilien, z. B. Vliese oder Gewebe, der Firma Statex Produktions & Vertriebs GmbH in Bremen. Mithilfe spezieller Wärmebehandlungen kann das zugrundeliegende Polymer entfernt werden. Zurück bleibt eine rein metallische textile Struktur, die aus Hohlfasern besteht. Diese kann sehr einfach mit massiven Bauteilen wie Rund- oder Flachrohren, Lamellen oder Folien durch Sintern verbunden werden. Die sehr dünnen Wandstärken der Metallbeschich-

tung (ca. 1-3  $\mu\text{m}$ ) sowie die Flexibilität der Fasern erleichtern die gut leitfähige Verbindung von Hohlfasern untereinander und zu Massivkomponenten.

Mittels dieses Verfahrensansatzes können die sehr weitreichenden Gestaltungsmöglichkeiten der Textilverarbeitung genutzt werden, um anwendungsoptimale hochporöse Metallstrukturen herzustellen. Die Strukturvielfalt reicht von eher regellosen Vliesen über regelmäßige Gewebe bis zu stark ausgerichteten Strukturen, z. B. gefransten Gewebeabschnitten oder Klettbandern.

Potenzielle Anwendungsfelder werden für Wärmetauscherkomponenten gesehen, die eine hohe Porosität, hohe Oberflächen-Volumen-Verhältnisse und gute Wärmeleitfähigkeiten benötigen. Beispiele hierfür sind Verdampfer-Strukturen oder Träger für thermische Aktivmaterialien wie Adsorbensmaterialien (Zeolithe, metall-organische Gerüste) oder Latentwärmespeicher (PCM). Weitere mögliche Anwendungsfelder sind in chemischen Anlagen zu finden, z. B. für die Verdampfung und Kondensation von Chemikalien.

- 1 *Detailaufnahme eines gesinterten Vlieses aus Kupfer-Hohlfasern.*
- 2 *Flachrohr mit aufgesintertem, teilweise gefranstem Gewebe aus Kupfer-Hohlfasern.*



1



2

# EFFIZIENTE VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG KOMPLEXER FORMEN

Um die Herstellung von komplex geformten Bauteilen mit integrierter Funktionsschicht (z. B. Korrosions- oder Verschleißschutz) zu ermöglichen, werden im Projekt »Komplex geformte Net-shape-Verbundbauteile mittels HIP und Additive Manufacturing« Laserstrahlschmelzen (laser beam melting, LBM) und heißisostatisches Pressen (HIP) zur endkonturnahen Herstellung von Verbundbauteilen kombiniert.

Durch den HIP-Prozess lassen sich aus Pulver Bauteile mit isotropen Eigenschaften und der theoretischen Dichte des Materials erzeugen, sodass dieser bisher für die industrielle Herstellung höchstbeanspruchter, monolithischer Teile, z. B. in Luftfahrtantrieben, im Offshorebereich und im Verschleißschutz, verwendet wird. Die Komplexität der dabei benötigten Kapseln wird bisher durch die Grenzen der zur Kapselherstellung genutzten Verfahren beschränkt. Das LBM-Verfahren ermöglicht es, mit geringem Aufwand Metallkapseln in komplexen Formen herzustellen, und hat somit das Potenzial, den Pulver-HIP-Prozess deutlich zu vereinfachen und Nachbearbeitungskosten zu reduzieren. Wird die Kapsel aus einem Funktionsmaterial hergestellt, das nach dem Prozess als Oberflächenschicht auf dem Bauteil verbleibt, entstehen Verbundbauteile. Diese bestehen beispielsweise aus einem Kern mit hoher Festigkeit und Zähigkeit sowie einer Randschicht aus einem korrosions- oder verschleißbeständigen Werkstoff.

Herausforderungen bei diesem Projekt ergeben sich aus der während des HIP-Prozesses auftretenden starken Volumenänderung von 20 bis 30 Prozent. Mittels FEM-Simulation kann der Verzug vorhergesagt werden, sodass durch entsprechendes Kapseldesign eine endkonturnahe Produktion ermöglicht wird (Abb. 1). Eine weitere Herausforderung ist die Verarbeitung der Materialien mittels LBM zu gasdichten Kapseln. Vor allem für das Laserschmelzen verschleißbeständiger Materialien liegen bisher nur wenige experimentelle Ergebnisse vor. Bedingt durch ihre Härte und geringe Zähigkeit neigen diese Werkstoffe

aufgrund innerer Spannungen zur Rissbildung. Geeignete Materialien in Hinblick auf die erwartete Funktionalität und Verarbeitbarkeit sowie auf die Verfügbarkeit von Pulvern wurden im projektbegleitenden Ausschuss bestimmt.

Für den korrosionsbeständigen Werkstoff 316L und den Vergütungsstahl 56NiCrMoV7 wurde die Optimierung der Prozessparameter, wie insbesondere die Scangeschwindigkeit und Laserleistung, erfolgreich abgeschlossen. Somit konnten erste Kapseln gefertigt (Abb. 2), mit Pulver gefüllt und erfolgreich gehipt werden. Analog zu den anderen Werkstoffen sollten für den hochkarbidhaltigen Stahl FeCrV10 zuerst Würfel mit variiertem Laserleistung und Scangeschwindigkeit hergestellt werden. Nur mit einer zusätzlichen Bauplattenheizung (300 °C erreichbar) war es möglich, Würfel mit der gewünschten Bauhöhe von 5 Millimetern herzustellen. Da es dabei jedoch zu starker Rissbildung kam, mussten zur Erhöhung der Duktilität der Matrixphase verschiedene Mengen eines kohlenstoffarmen ferritischen Stahls (X6Cr17) zugemischt werden. Mit Pulvermischungen ab 25 Prozent X6Cr17 konnten erfolgreich rissfreie Würfel gebaut und metallographisch untersucht werden.

Beteiligte Forschungseinrichtungen (IGF-Vorhaben 18968 N, Jul. 2016–Dez. 2018): Fraunhofer IFAM; RWTH Aachen.

- 1 *Vorhersage des Verzugs aufgrund des HIP-Prozesses anhand einer einfachen zylindrischen Testkapsel.*
- 2 *Im LBM-Verfahren gebaute HIP-Kapseln aus 316L mit Supportstruktur.*



ELEKTROMOBILITÄT



# KERNKOMPETENZ ELEKTROMOBILITÄT

Elektrisch betriebene Systeme spielen in sämtlichen Branchen der Industrie 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 in mobilen Anwendungen. Hierzu zählen neben Pkw und Nutzfahrzeugen auch Flugzeuge und Schiffe.

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-Batterien liegt der Fokus zunehmend auf Festkörperbatterien, bei denen anstelle flüssiger Elektrolyte ionenleitende Keramiken oder Polymere in fester Phase eingesetzt werden. Hier kommen die werkstoff- und fertigungstechnischen Kompetenzen des IFAM für die benötigte Material- und Prozessentwicklung systematisch zur Anwendung. Aber auch mit kundenspezifischen Materialien wird die Prozesskette vom Pulver bis zur fertigen Batteriezelle entwickelt. Die Speicherung von Wasserstoff als Energieträger mittels Metallhydrid-Technologie ist ein weiterer wichtiger Aspekt.

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. Um ihre Leistungsfähigkeit im Betrieb zu

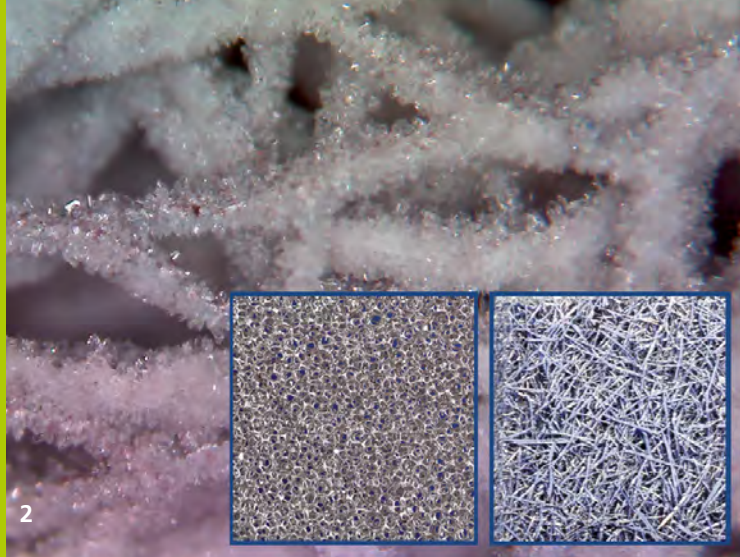
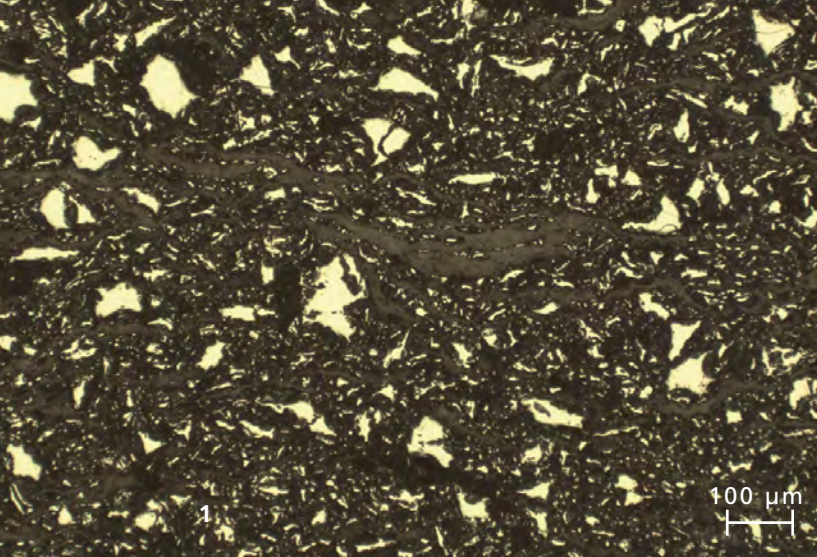
bewerten und zu steigern, werden einzelne Komponenten – wie der elektrische Antriebsstrang – auf einem Prüfstand qualifiziert. Klebtechnik, Oberflächentechnik und Beschichtungen ergänzen die Kernkompetenz um Aspekte wie das Verbinden, Kontaktieren, Isolieren und Schützen von elektrisch leitfähigen Materialien.

Einen wichtigen 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/elektromobilitaet](http://www.ifam.fraunhofer.de/elektromobilitaet)

1 *Leichtbau und Fahrzeugkonzepte – von der Entwicklung bis zur Weiterbildung.*



# PULVERMETALLURGIE NEU GEDACHT: GAS-FESTSTOFF-ENERGIESPEICHER

Energiespeicher für Brennstoffe (chemisch) und Wärme (thermisch) zählen zu den wichtigsten Komponenten effizienter Energiesysteme für stationäre und mobile Anwendungen. Am Fraunhofer IFAM, Institutsteil Dresden, werden auf der Basis pulvermetallurgischer Fertigungsverfahren kapazitäts- und leistungsoptimierte chemische und thermische Energiespeicher entwickelt, die spezielle Eigenschaften von Gas-Feststoff-Systemen nutzen.

Wasserstoff ( $H_2$ ) besitzt als Brennstoff die höchstmögliche gravimetrische Energiedichte und lässt sich durch vielfältige Verfahren herstellen, wie z. B. Elektrolyse von Wasser unter Einsatz überschüssiger elektrischer Energie. Besonders bei mobilen und portablen Anwendungen mit wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen ist zur Minimierung der Speichergöße eine hohe volumetrische Speicherdichte bei gleichzeitig möglichst niedrigem Druck (Sicherheit) erforderlich.

Diese Anforderungen werden von sogenannten Hydridspeichern erfüllt, in denen gasförmiger Wasserstoff über eine chemische Reaktion in einen metallischen Feststoff eingelagert wird. Derartige metallische Feststoffe können auf pulvermetallurgischem Wege hergestellt werden. Dies hat den Vorteil, dass definiert Zusatzstoffe feindispers im Feststoff verteilt werden können, um weitere Anforderungen, die an das Speichermaterial gestellt werden, zu erfüllen, z. B. einen zügigen Wärme- und Gastransport. Die Entwicklung dieser sogenannten Metallhydrid-Verbundwerkstoffe (Abb. 1) hat ergeben, dass diverse Naturgraphite geeignete Zusatzstoffe sind, um gleichzeitig eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit, eine definierte Porosität sowie eine gewünschte Dichte zu erzielen.

Auf der Basis eines solchen Gas-Feststoff-Systems können auch thermochemische Wärmespeicher entwickelt werden, die eine hohe Speicherdichte (bis über  $1000 \text{ kWh/m}^3$ ) und minimale Verluste garantieren. Das Be-/Entladen der Speicher erfolgt über

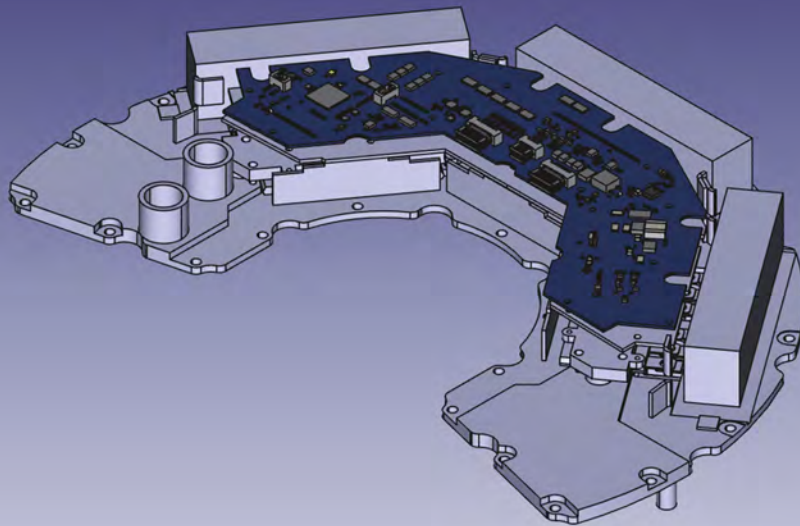
endo-/exotherme chemische Reaktionen zur Trennung/Verbindung des Stoffsystems. Neben  $H_2$  als gasförmige Komponente kann auch Wasserdampf ( $H_2O$ ) zur Bildung von Salzhydraten aus Metallsalzen genutzt werden.

Zur Erreichung optimaler Speicherparameter offeriert auch hier die Pulvermetallurgie innovative Entwicklungsansätze in Form zellulärer Metalle (Schäume, Fasern, Drähte). Während die Speicherkapazität direkt von der Reaktionswärme des reagierenden Materials abhängt, wird die Speicherleistung von zahlreichen Faktoren wie der Schichtdicke des Feststoffes sowie der Gasdurchlässigkeit bzw. den Wärmetransporteigenschaften der Struktur beeinflusst.

Aufbauend auf dem umfangreichen Know-how bei der Nutzung zellulärer Metalle in Hochleistungs-Latentwärmespeichern werden in einem aktuellen Projekt<sup>1</sup> hochporöse Metall-Metallsalz-Strukturen für thermochemische Wärmespeicher entwickelt (Abb. 2), die eine extrem hohe volumenbezogene Metallsalzoberfläche (Speicherkapazität) auf einer sehr gut wärmeleitenden sowie hoch porösen und damit für Wasserdampf durchlässigen zellulären Metallstruktur (Speicherkinetik) aufweisen.

1 Metallhydrid-Graphit-Verbundwerkstoff im Querschliff.

2 Zeolith-beschichtete Aluminium-Faserstruktur (prinzipiell ähnliches Verfahren) und Strukturaufnahmen zellulärer Metalle (© SorTech AG).



1

# RADNABENANTRIEBE ERMÖGLICHEN OPTIMALE REKUPERATION

Im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi geförderten Verbundprojekt »RABBIT – Radnabenantrieb ohne Bremse/Bremswiderstand integriert in Thermomanagement« werden Radnabenantriebe konstruiert, mit denen eine optimale Ausnutzung des Rekuperationspotenzials ermöglicht wird. Das Fraunhofer IFAM entwickelt hierfür ein integriertes Antriebssteuergerät.

Die Elektromobilität ist maßgeblich motiviert durch die Decarbonisierung des Verkehrs. Hierfür muss u. a. die Gesamteffizienz des Fahrzeugs erhöht werden, um die Mobilität soweit möglich von CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Energiewandlungskette zu befreien. Elektrofahrzeuge mit Radnabenantrieben bieten erstmalig die Chance, Fahrzeuge ohne ein mechanisches Reibungsbremssystem an der Hinterachse zu realisieren. Zusätzlich zu den CO<sub>2</sub>-Einsparungen infolge der Elektrifizierung des Antriebsstranges trägt dieses Konzept zur Reduzierung der beim Bremsen anfallenden Feinstaubemission (»Bremsstaub«) bei.

Zwei Radnabenantriebe stellen die notwendige Bremsleistung generatorisch bereit. Sie erlauben gleichzeitig eine radindividuelle Regelung des Drehmoments, was Voraussetzung für zulassungsrelevante Fahrdynamikregelsysteme ist. Um die anfallende Bremsenergie zu jedem Zeitpunkt sicher aufnehmen zu können, ist eine alternative Energiesenke erforderlich. Hierfür wird ein elektrothermischer Rekuperator, ausgeführt als Bremswiderstand, eingesetzt. Er erlaubt die Nutzung der Bremsenergie auch bei für das Batteriesystem ungünstigen Umgebungsbedingungen bzw. Ladezuständen. Durch Bereitstellung der rekuperierten Energie für das Thermomanagement des Gesamtfahrzeugs wird ein Beitrag zur Erhöhung der Reichweite geleistet.

Die Herausforderung beim voll-rekuperativen Bremsen liegt in der Erfüllung gesetzlicher Zulassungsbestimmungen und den noch strengeren Anforderungen der Fahrzeughersteller. Das Projektziel des seit April 2015 vom BMWi geförderten und durch das DLR als Projektträger betreuten Forschungsprojekts RABBIT ist daher die Entwicklung eines elektrischen Antriebsstrangs mit alternativer Energiesenke, der all diesen Anforderungen genügt und gleichzeitig eine vollständige elektrische und thermische Nutzung der beim Bremsen anfallenden Energie ermöglicht. Neben dem Fraunhofer IFAM sind am Projekt RABBIT die Unternehmen Schaeffler AG (als Konsortialführer), Continental AG und Ford AG sowie die Leibniz-Universität Hannover beteiligt.

Schwerpunkt der Arbeiten am Fraunhofer IFAM ist die Entwicklung und der prototypische Aufbau eines in den Radnabenantrieb integrierten Antriebssteuergeräts. Dieses Steuergerät bildet die Schnittstelle zwischen dem Leistungsteil des Radnabenantriebs und dem Gesamtfahrzeug. Wesentliche Herausforderungen bestehen in der für den speziellen Bauraum maßgeschneiderten Konstruktion und Lösungen für mehrphasige Antriebssysteme.

1 CAD-Modell des integrierten Antriebssteuergeräts (ECU).

AUTOMATISIERUNG UND DIGITALISIERUNG



# KERNKOMPETENZ AUTOMATISIERUNG UND DIGITALISIERUNG

Ergänzend zu den vielfältigen werkstoffwissenschaftlichen und verfahrenstechnischen Forschungsaktivitäten runden die Arbeiten im Bereich der Schlüsseltechnologien Automatisierung und Digitalisierung das Kompetenzspektrum des Fraunhofer IFAM ab. Im Fokus stehen dabei vor allem Prozesse, die sich ständig und mit hoher Präzision an wenig maßhaltige oder wechselnde Bauteile, veränderliche Produktionsabläufe oder menschliche Arbeitsanteile anpassen müssen.

Diese Kernkompetenz umfasst Arbeitsschwerpunkte des IFAM aus den Kategorien Fügen, Dichten, Oberflächenbehandeln, Bearbeiten und Drucken, einschließlich der Interaktion mit einer digitalisierten Produktionsumgebung (Internet of Things, Big Data), sowie von Kunden oder Projektpartnern im Rahmen gemeinsamer Projekte eingebrachte Fragestellungen. Hierbei werden auch Lösungen für eine ganzheitliche Qualitätssicherung von Fertigungsprozessen, Materialien, Materialverbunden und Beschichtungen durch den Einsatz innovativer Methoden zur Erfassung, Auswertung und Visualisierung von Messdaten sowie durch die Nutzung intelligenter Materialien erarbeitet.

Die Automatisierungs- und Digitalisierungslösungen des Fraunhofer IFAM dienen der Steigerung von Effektivität und Effizienz von Fertigungs- und Reparaturprozessen, der Verbesserung von Ergonomie und Arbeitssicherheit in der Produktion, der Optimierung des Produktlebenszyklus durch Qualitäts- und Zustandsüberwachung, der Verbesserung der Produktqualität sowie der Reduzierung von Prozesskosten.

Schnelle, qualitätsgesicherte Prozesse sind unerlässlich für die Serienproduktion. Das Fraunhofer IFAM bietet Automatisierungslösungen an, die auch bei sehr großen, wenig maßhaltigen Leichtbaustrukturen sowohl Bauteile als auch Toleranzen

erkennen und sich individuell und mit hoher Präzision darauf einstellen. Unter dem Motto »Präzision durch Messtechnik und Sensorik anstatt durch schweren Stahlbau« legt das Fraunhofer IFAM besonderen Wert auf leichte, mobile und modular kombinierbare Systemkomponenten, die über Industrie 4.0-Architekturen zu hochgradig wandlungsfähigen Produktionssystemen verknüpft werden können.

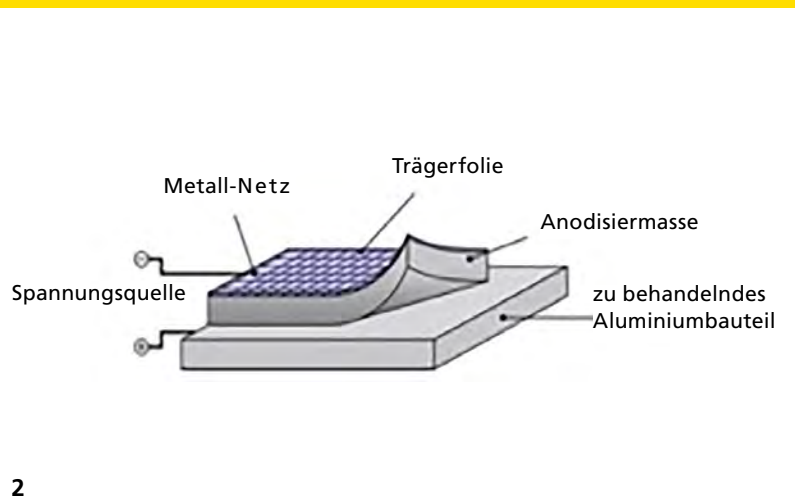
Ein übergreifender Kompetenzbaustein ist die Qualitätssicherung – bei der Herstellung, der Montage sowie bei der Reparatur von Bauteilen und Strukturen. Die durchgängige Überwachung des Zustandes von Bauteiloberflächen durch maßgeschneiderte Inspektionsverfahren ist hier beispielsweise ein wesentliches Ziel zur Optimierung anwendungsspezifischer Fertigungsprozesse. Dies wird durch ein umfassendes, branchen- und produktübergreifendes und gleichzeitig personalzertifizierendes Schulungsangebot flankierend 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/automatisierung-digitalisierung](http://www.ifam.fraunhofer.de/automatisierung-digitalisierung)

1 *Montageanlage für Flugzeugrümpfe mit flexiblen Aufnahmen zur Form- und Lagekorrektur von Großbauteilen.*



1



2

# INNOVATIONEN BEI FASER-METALL-LAMINATEN (FML) FÜR DEN FLUGZEUGBAU

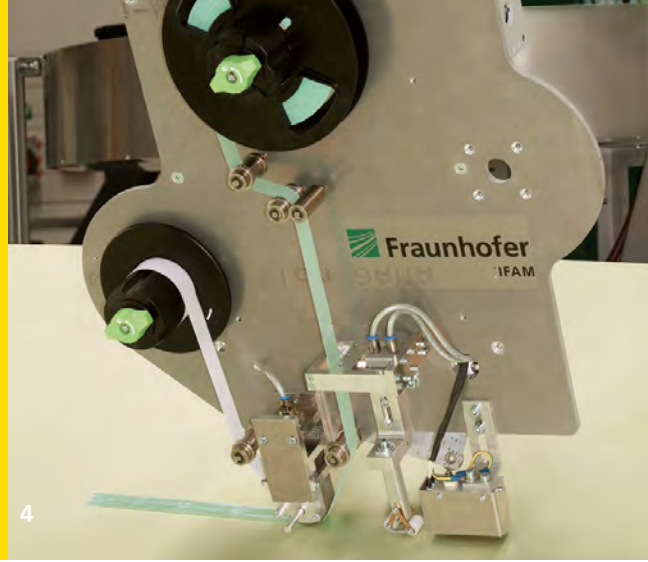
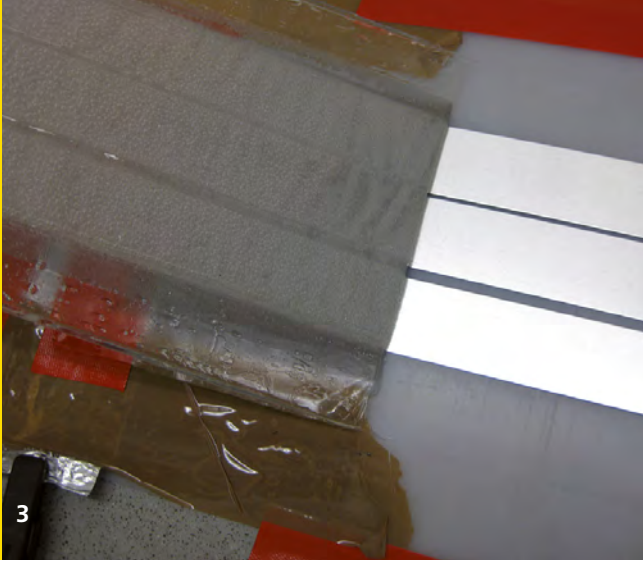
Neben dem stetigen Bestreben der Luftfahrtindustrie zur Einsparung des Treibstoffverbrauchs durch fortschrittliche Leichtbaukonzepte für neue Flugzeugstrukturen rückt die Notwendigkeit zum ressourceneffizienten und kostengünstigen Umgang mit den eingesetzten Werkstoffen im Bereich der Flugzeugfertigung immer stärker in den Fokus der Entwicklungen. Das Erreichen beider Ziele wird durch den Einsatz moderner Faser-Metall-Laminatbauteile (FML) in Kombination mit neuen automatisierten Fertigungsverfahren angestrebt. Hierzu werden in dem aktuellen Forschungsprojekt »NFM-GLARE«, im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms V-II, verschiedene Aspekte zur Oberflächenbehandlung der in der FML-Fertigung verwendeten dünnen Aluminiumbleche sowie zur Automatisierung einzelner Fertigungsschritte untersucht.

## Oberflächenbehandlung von Aluminiumblechen

Im Flugzeugbau werden die verwendeten Aluminiumbleche für FML-Bauteile derzeit durch eine Kombination aus Anodisierung (Phosphor-Schwefelsäure-Anodisierung, PSA) und einem darauf applizierten chromathaltigen Klebprimer sowie an den außenliegenden Blechen durch einen zusätzlichen Lackaufbau, bestehend aus Lackprimer und Decklack, gegen Korrosion geschützt. An Schnittkanten kommen lokale Korrosionsschutzmaßnahmen durch den manuellen Auftrag von chromathaltigen Konversionsbeschichtungen zum Einsatz. Für die in der FML-Fertigung verwendeten Aluminiumdünnbleche wurden innerhalb des o. g. Projekts alternative Vorbehandlungstechniken für den Korrosionsschutz und zum Erzielen der notwendigen Adhäsionseigenschaften erprobt. Dazu wurden Laser-, Plasma- und Anodierklebeband-Techniken untersucht. Im Hinblick auf den erforderlichen Korrosionsschutz und die Klebfestigkeit wurden diese Verfahren mit der bisherigen Fertigungsweise, d. h. einer Anodisierung der Aluminiumbleche durch den PSA-Prozess, verglichen. Für die Atmosphärendruck-Plasmatechnik wurden geeignete Parameter für die Behandlung verschiedener Blechdicken

evaluiert, um eine wärmeintragsbedingte Deformation der Dünnbleche zu minimieren. Darauf aufbauend wurden für den flächigen Korrosionsschutz geeignete Plasmapolymerschichten auf siliziumorganischer Basis mit Sperrwirkung gegenüber korrosiven Medien ausgewählt. Insgesamt zeigten die Ergebnisse, dass die Aluminiumbleche, die im Anlieferungszustand eine undefinierte Oberflächenbeschaffenheit aufweisen, zunächst mit einem abtragenden Verfahren behandelt werden müssen, um im Nachgang eine geeignete Plasmabehandlung durchführen zu können, die zu einer verbesserten Haftfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit führt.

Das Anodierklebeband ermöglicht eine flächige Vorbehandlung von Aluminiumfügeteilen in der Fertigung oder bei lokalen Anwendungen. Alle zur Anodisierung benötigten Komponenten sind in das Klebeband integriert. Durch die rückstandsfreie Ablösbarkeit werden nachträgliche Reinigungsprozesse vereinfacht, was im Fall von Nacharbeiten oder Reparaturanwendungen vorteilhaft ist. Es konnte gezeigt werden, dass mithilfe des Anodierbands auf den relevanten



Blechmaterialien der Aluminiumlegierung AA2024 strukturierte Oxidschichten erzeugt werden können, deren Morphologie mit dem PSA-Oxid vergleichbar ist und die eine gute Anbindung des Klebprimers bzw. Klebstoffs ermöglichen. Zudem wurden erste Versuche zu lokalen Oberflächenbehandlungen für klebtechnische Reparaturkonzepte von FML-Hautfeldern betrachtet.

Die resultierenden Adhäsionseigenschaften aller untersuchten badfreien Verfahren erfüllen zum derzeitigen Entwicklungsstand die grundlegenden Anforderungen aus dem Luftfahrtbereich. Für einen industriellen Einsatz müssen jedoch weitere Eigenschaften geprüft bzw. validiert werden, wie z. B. das Ermüdungsverhalten und die Korrosionsbeständigkeit geklebter Verbindungen.

### Automatisierte FML-Fertigung

Der Aufbau des FML-Laminats erfolgt derzeit durch manuelles, abwechselndes Auflegen von Aluminiumdünnblechen und Glasfaser-Prepregs mit unterschiedlichen Faserorientierungen. FML-Schalen sind aus kleineren Blechen zusammengesetzt, wobei die Kanten durch sogenannte »Splices« mit wechselseitigem Übereinandergreifen von Aluminium- und Glasfaserlagen verbunden werden. Als Abstandhalter dienen interlaminaire Aluminiumdoppler, Klebebandstreifen fixieren die Komponenten und füllen Hohlräume aus, die durch den Lagenversatz entstehen. Zur Versteifung der Schalen werden Aluminiumstringer auf das ungehärtete FML aufgelegt, ein manuell auf den Stringerfuß aufgebracht Klebfilm sichert diese gegen Verrutschen.

Zu den Zielen des Projekts »NFM-GLARE« gehört die Automatisierung des bisher manuell ausgeführten Aufbringens von Klebebandstreifen und Stringern. Der entwickelte Klebfilmendeffektor erfüllt eine Vielzahl von speziellen Anforderungen. Für den Betrieb am Roboter liegt sein Gewicht unter 100 kg, inklusive eines Moduls, das den automatisierten Werkzeugwechsel ermöglicht. Er referenziert sich am Ablage-Tooling und errechnet die genauen Bahnen, auf die er das Klebeband

ablegt. Um eine passgenaue Ablage zu gewährleisten, fördert er aktiv das Klebeband von der eingelegten Vorratsrolle, trennt es sowohl vom oberhalb befindlichen Liner als auch vom darunter liegenden Trägerpapier, schneidet es mit sauberer Kante, ohne das Trägerpapier zu beschädigen, und drückt es über eine Andruckrolle auf das Laminat. Damit lassen sich beliebig lange Klebebandstreifen auch auf unebene Laminatoberflächen in zylindrischen oder sphärischen Bereichen der FML-Schalen ablegen. Eine im Endeffektor integrierte Infraroteinheit stellt unabhängig von den Umgebungsbedingungen die Haftung des Klebebands sicher. Abgerundet wird das Leistungsspektrum durch eine automatische Überwachung des Füllstands, des Andrucks, der Prozesstemperatur sowie der applizierten Klebebandlängen.

Das Klebeband dient auch zur Fixierung der Aluminiumstringer, die aufgrund ihrer Länge von sechs Metern mit zwei kooperierenden Robotern abgelegt werden. Die dazu konstruierten Rollengreifer ermöglichen die notwendige Förderung der Stringer in Längsrichtung sowie die Feinsteuerung von Andruckkräften und lokalen Erwärmungen zur punktuellen Fixierung.

### Auftraggeber

Das Verbundprojekt »NFM-GLARE« wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms V-II gefördert, Förderkennzeichen 20W1517D, Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2015 bis 31.08.2018.

- 1 *Atmosphärendruck-Plasmatechnologie: Düsen-Array zur automatisierten, robotergeführten Behandlung.*
- 2 *Anodisierklebband, schematische Skizze der Anwendung.*
- 3 *Anodisierklebband, Abziehen des Anodisierbandes nach erfolgter Anodisierung.*
- 4 *Klebfilmendeffektor zur automatisierten Ablage von Klebebändern.*



MENSCHEN UND MOMENTE



# NEUES GESCHÄFTSFELD BÜNDELT KERNKOMPETENZEN ZU MARITIMEN TECHNOLOGIEN

Seit vielen Jahren ist das Fraunhofer IFAM aktiv in der Forschung und Entwicklung in den Bereichen Korrosionsschutz, funktionelle Beschichtungen sowie Kleben im Schiffbau tätig. In unterschiedlichsten öffentlichen und bilateralen Projekten sind bereits beachtliche Entwicklungsarbeiten geleistet worden. Die Wissenschaftler des Instituts rechnen in den kommenden Jahren mit einem weiteren Entwicklungsschub in diesem Technologiefeld. Aber: Forschung ist ein langwieriger Prozess. Von der ersten Idee bis zur Markteinführung vergehen häufig Jahre. Mit dem neuen Geschäftsfeld werden alle Aktivitäten des Instituts gebündelt, um noch früher zukünftige Bedarfe zu erkennen und Entwicklungsziele darauf abzustimmen.

Die maritime Wirtschaft zählt zu den wichtigsten Branchen in Deutschland, insbesondere auch im Land Bremen. Um diesen leistungsfähigen Wirtschaftszweig zu sichern und auszubauen, sind Produkte und Dienstleistungen auf höchstem Niveau notwendig.

Als materialwissenschaftliches Forschungsinstitut sind am Fraunhofer IFAM Entwicklungsschwerpunkte wie Beschichtungen für den Korrosions- und Bewuchsschutz, strömungswiderstandreduzierende Oberflächen, klebtechnische Fertigung im Schiffbau sowie Leichtbau die tragenden Säulen des Geschäftsfelds. Aber auch Themen wie die Elektrifizierung von Schiffsantrieben und elektrische Energiespeicher für Über- und Unterwasseranwendungen gewinnen mehr und mehr an Bedeutung. Zusätzlich eröffnen sich durch die Industrie 4.0 neue Fertigungsmöglichkeiten für die Branche und weitere maritime Geschäftsfelder.

Für die maritime Industrie sind, neben den klassischen Entwicklungsarbeiten im Technikum, Test- und Prüfmöglichkeiten

für neue Technologien unter einsatznahen Umgebungsbedingungen sehr wichtig. Hierfür betreibt das Institut mit eigenen Wissenschaftlern verschiedene Prüfstände. In List auf Sylt, am Leuchtturm »Alte Weser« und auf der Hochseeinsel Helgoland können insgesamt mehrere hundert Proben zum Korrosions- und Bewuchsschutz sowohl im Dauertauchbereich, in der Gezeitenzone als auch im Bereich des Spritzwassers sowie an Land geprüft werden. An der Umsetzung weiterer Offshore-Testeinrichtungen wird bereits mit mehreren Industrie- und Forschungspartnern gearbeitet. Für öffentliche Forschungsprojekte und Entwicklungen im Kundenauftrag stehen mit dem neuen Geschäftsfeld »Maritime Technologien« optimale Kapazitäten und Prüfmöglichkeiten für maritime Anwendungen zur Verfügung.

**1** *Prüfstand Leuchtturm »Alte Weser« mit Korrosionsproben im küstennahen Schifffahrtsbereich.*



# FRAUNHOFER ERRICHTET NEUES PROJEKTZENTRUM FÜR ENERGIESPEICHERFORSCHUNG

Die Fraunhofer-Gesellschaft errichtet mit Unterstützung des Landes Niedersachsen ein Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und -systeme im Großraum Braunschweig als gemeinsame Forschungsplattform von zunächst zwei Instituten, dem Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS und dem Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in enger Kooperation mit der Battery LabFactory Braunschweig (BLB) der TU Braunschweig.

Das Ziel des Fraunhofer-Projektzentrums ist die Erarbeitung von Systemlösungen für Batterien und Brennstoffzellen im Bereich Elektromobilität sowie für stationäre Speicher als Bestandteil der Energiewende. Hierfür wird die intensive Zusammenarbeit mehrerer Fraunhofer-Institute sowie Forschungseinrichtungen der TU Braunschweig gefördert, um insbesondere material-, produktions- und systemtechnisches Know-how für die und mit der Industrie zu bündeln und auszubauen.

»Niedersachsen geht die Fragen zukünftiger Mobilität an: Neue Fahrzeugkonzepte, autonomes Fahren und alternative Antriebstechnologien sind die aktuellen Herausforderungen für den Fahrzeugbau. Wir stehen für effiziente und klimaschonende Antworten durch eine zeitgemäße Mobilitätsforschung. Die Entwicklung des gemeinsamen Projektzentrums baut die Stärken der TU Braunschweig mit dem Partner Fraunhofer zusammen aus«, sagt Gabriele Heinen-Kljajić, niedersächsische Ministerin für Wissenschaft und Kultur.

Prof. Reimund Neugebauer, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, ergänzt: »Bei der Entwicklung von Batterien der nächsten Generation ergibt sich für Deutschland die einma-

lige Gelegenheit, sich wieder an die Spitze dieser strategisch wichtigen Technologie zu setzen. Wenn dies gelingt, wird ein wichtiger Beitrag zur Sicherung von qualifizierten Arbeitsplätzen in Produktion und Entwicklung geleistet. Zusammen mit unseren Partnern setzen wir heute ein Zeichen und aktivieren unser gewaltiges Innovationspotenzial für morgen.«

Durch einen interdisziplinären Lösungsansatz soll im Rahmen des Projektzentrums die komplette Wertschöpfungskette für mobile und stationäre Speichertechnologien, von den Rohstoffen über die Komponenten, die Verfahrens- und Produktionstechnik sowie Qualitätssicherung bis zur Systemintegration entwickelt werden. Das Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und -systeme bettet sich synergistisch in die bestehende Forschung bei Fraunhofer in diesem Themenfeld ein.

**1** Gabriele Heinen-Kljajić, niedersächsische Ministerin für Wissenschaft und Kultur (im Amt bis November 2017), Prof. Jürgen Hesselbach, Präsident TU Braunschweig (im Amt bis April 2017), und Prof. Reimund Neugebauer, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft bei der Vereinbarungsunterzeichnung für das Projektzentrum.



# AUTOMATISIERTE SEITENLEITWERKMONTAGE AUSGEZEICHNET

Die Experten für Automatisierung und Produktionstechnik des Fraunhofer IFAM wurden im Mai 2017 stellvertretend für das Projektkonsortium »FlexMont« für die erstmalige Automatisierung der Montage von Flugzeugseitenleitwerken aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) mit dem CFK Valley Innovation Award 2017 auf der 11. CFK Valley Convention vor mehr als 300 Besuchern aus 20 Nationen in Stade ausgezeichnet.

Dr. Dirk Niermann, Leiter der Abteilung Automatisierung und Produktionstechnik des Fraunhofer IFAM im Forschungszentrum CFK NORD, nahm den von der Hansestadt Stade gestifteten, mit 7.500 € dotierten Preis von Prof. Dr.-Ing. Axel Herrmann, Geschäftsführer des Composite Technology Center CTC, Stade, und Thomas Friedrichs, Leiter der Wirtschaftsförderung Stade, als Repräsentant des Projektkonsortiums entgegen. Er freute sich gemeinsam mit Projektleiter Fabian Ehmke, Fraunhofer IFAM, und Gruppenleiter Dr.-Ing. Gregor Graßl, Fraunhofer IFAM, sowie den Projektpartnern Airbus Deutschland, CTC GmbH, FFT Produktionssysteme, Mahr Metering Systems und Quiss AG über die Würdigung ihrer gemeinsamen Arbeitserfolge.

Ausschlaggebend für die Auszeichnung mit dem CFK Valley Innovation Award 2017 war, dass mit dem Ergebnis des FlexMont-Projekts ein wichtiges Etappenziel auf dem sowohl vielfältigen als auch äußerst anspruchsvollen Weg von der bisher manuell ausgeführten Boxmontage hin zur industriefähigen kostensenkenden Automatisierungslösung, die viele Spezialentwicklungen beinhaltet, erreicht wurde.

Ziel des vom Niedersächsischen Wirtschaftsministerium geförderten Verbundprojekts FlexMont war eine signifikante Reduzierung von Montagezeiten und -kosten für die CFK-Box des Seitenleitwerks von Passagierflugzeugen der A320-Familie. Als konkretes Beispiel diente ein zukunftsweisendes Boxdesign (VTP-NG), das die Automatisierung von Montageprozessen unterstützt. Zu den Besonderheiten der Designlösung gehören Seitenschalen aus CFK-Sandwich, die auf der Innenseite der Box jeweils mit acht horizon-

tal verlaufenden Halbrippen mit Doppel-T-Profil versteift werden. Geometrische Toleranzen akkumulieren sich dann beim Schließen der Box nach innen im Abstand der im spitzen Winkel aufeinander zulaufenden Halbrippen. Der sich daraus ergebende Spalt wird mit einem individuell 3D-gedruckten Schubkeil geschlossen.

Der Automatisierungsprozess umfasst

- das automatisierte Kleben der Halbrippen auf die Schalen mithilfe eines zweiteiligen Multifunktionsgreifers mit Fixiereinheit am Roboter.
- das Schließen der Box mit Vorder- und Hinterholm in einer Boxmontagestation mittels einer Verpresseinheit und einem Leichtbaurobter, der von einem Industrieroboter als Endeffektor navigiert wird.
- das Versiegeln aerodynamisch relevanter Nähte im Außenbereich durch einen Handapplikator.
- automatisierte Prozesse zur Versiegelung von Nietköpfen und unregelmäßig breiten und tiefen Stoßkanten sowie ein robotergeführtes Kamerasystem zur qualitätssichernden Inspektion.

- 1 Auszeichnung des Projektkonsortiums »FlexMont« mit dem CFK Valley Innovation Award 2017 – Thomas Friedrichs, Wirtschaftsförderung Stadt Stade, Dr. Gunnar Merz, CFK Valley, Prof. Dr.-Ing. Axel Herrmann, CTC, Dr.-Ing. Gregor Graßl, Fraunhofer IFAM, Dr. Dirk Niermann, Fraunhofer IFAM, Christophe Korth, FFT Produktionssysteme, Fabian Ehmke, Fraunhofer IFAM, Joachim Piepenbrock, CTC, und Dr. Lars Fiedler, Airbus Operations (v. l. n. r.; © CFK Valley e. V.).
- 2 Station zur Boxmontage mit Verpresseinheit im CFK NORD, Stade.



# ERSTE »COMPOSITE ENGINEERS« ZERTIFIZIERT

Nach 240 Stunden Weiterbildung und erfolgreich bestandenen Prüfungen konnten im August 2017 die weltweit ersten »Composite Engineers« ihre Zertifikate stolz in den Händen halten. Die modular aufgebaute Weiterbildung zum Composite Engineer qualifiziert die Teilnehmenden nun, den gesamten Lebenszyklus eines aus faserverstärkten Werkstoffen hergestellten Bauteils von der Produktentwicklung über die Fertigung bis zur Reparatur verantwortlich zu betreuen. Diese ganzheitliche Qualifizierung ist international einzigartig und komplettiert das umfassende Faserverbund-Weiterbildungsangebot des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Bremen.

Seit 2007 bietet das Fraunhofer IFAM in seinem Weiterbildungszentrum Faserverbundwerkstoffe Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus Industrie und Handwerk überbetriebliche personalzertifizierende Qualifizierungen für verschiedene Zielgruppen im Bereich der Faserverbundtechnologie an. Das Weiterbildungsangebot wird den aktuellen Anforderungen aus den Unternehmen und dem technologischen Fortschritt immer wieder angepasst und weiterentwickelt. Mit der Qualifizierung zum »Composite Engineer« können sich am Fraunhofer IFAM nunmehr alle betrieblichen Hierarchieebenen – vom Werker über den Meister/Vorarbeiter bis zum Entscheider – im Faserverbundbereich weiterbilden. Am Ende des Kurses können die Teilnehmer den gesamten Produktlebenszyklus eines aus faserverstärkten Werkstoffen hergestellten Bauteils betreuen und den fachgerechten Einsatz der Technologie interdisziplinär bewerten.

Damit ein umfassender und direkter Wissens- und Technologietransfer gewährleistet werden kann, werden innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft die Kompetenzen zum Thema Faserverbundwerkstoffe in der Fraunhofer-Allianz Leichtbau gebündelt. Gemeinsam mit der Allianz werden die Kurse konzipiert und durchgeführt. Teilnehmende dieses Lehrgangs haben so die Gewissheit, von Fachleuten aus der

Forschung und Entwicklung in den verschiedenen Faserverbundwerkstoff relevanten Themengebieten immer aktuell und kompetent weitergebildet zu werden.

Inhaltlich ist ein Schwerpunkt der Allianz die Erforschung und Entwicklung von Verfahren zur Realisierung und Beurteilung von Leichtbauelementen in Hinblick auf die Einhaltung von Sicherheitsanforderungen. Denn mit zunehmendem Ausnutzungsgrad technischer Systeme besteht die Gefahr, dass die Bewertung der Einsetzeignung von Leichtbausystemen auf Basis konventioneller Methoden zu Fehlern führt. Insbesondere fehlende Kenntnisse für im Betrieb auftretende reale Einsatzbedingungen, Lasten usw. können materialspezifisch zu unzutreffenden Lastannahmen führen – und damit zum Versagen im Einsatz. Dies am Ende des Kurses beurteilen zu können, ist nur ein Beispiel aus dem Weiterbildungsangebot.

**1** Prof. Dr. Bernd Mayer (2. Reihe, Mitte) hat den weltweit ersten »Composite Engineers« das begehrte Zertifikat überreicht.



# NEUE FACHTAGUNG ZUR KLEBTECHNISCHEN FERTIGUNG

Am 12. und 13. September 2017 fand zum ersten Mal der »Branchentreff Klebtechnische Fertigung« am Fraunhofer IFAM statt. Der Branchentreff ist ein neues Tagungsformat, das sich auf das Kleben als Technologie zur industriellen Fertigung von Produkten konzentriert. Die Veranstaltung richtet sich an Anwender und Hersteller von Systemen zur klebtechnischen Fertigung und umfasst thematisch die fertigungsgerechte Klebstoffauswahl, Klebstoffverarbeitung, Prozessautomatisierung, wirtschaftliche Prozessketten und Qualitätssicherung.

Namhafte Hersteller maschineller Dosier- und Applikationstechniken, innovative Anwender der klebtechnischen Fertigung sowie Forschungsinstituten trugen durch Vorträge ihren Teil zur Veranstaltung bei. Die Fachvorträge zu den aktuellen Herausforderungen der Klebtechnik, Anwendungsbeispiele aus der Automobilproduktion, Schienenfahrzeugbau, Mikrokleben oder auch dem schweren Stahlbau gaben verschiedenste Einblicke und fassten den Stand der Technik praxisnah zusammen und analysierten aktuelle Entwicklungstrends. Sie gingen dabei auch auf die Herausforderung zur Einführung der DIN 2304 in Anwenderbetriebe ein.

Die Qualität geklebter Produkte wird maßgeblich durch den Klebprozess bestimmt. Neue Werkstoffe und Mischbauweisen in Kombination mit höchsten Anforderungen an die Verbindungen haben die Klebtechnik vor allem in Hochtechnologiebereichen zur bevorzugten Fügetechnik werden lassen. Die Fügetechnik Kleben ihrerseits stellt hohe Anforderungen an den Anwender. Unabhängig von der Branche, in der Klebtechnik eingesetzt wird, müssen deshalb die Prozesskette und die Fertigungstechnik sicher beherrscht werden.

Networking in angenehmer Atmosphäre boten der zeitliche Ablauf und die Abendveranstaltung. Vertiefte individuelle Diskussionen ermöglichten das angeschlossene Ausstellerforum. Der nächste Branchentreff findet im Herbst 2019 statt.



# FABIO LA MANTIA ERHÄLT ERC CONSOLIDATOR GRANT

Im November 2017 gab es einen besonderen Grund zur Freude an der Universität Bremen und am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM: Fabio La Mantia, Professor im Fachbereich Produktionstechnik und Experte auf dem Gebiet der Batterieforschung, erhält mit dem ERC Grant eine der höchstdotierten persönlichen Auszeichnungen des Europäischen Forschungsrats.

Die Nutzung regenerativer Energie aus Wind oder Wasser gewinnt immer mehr an Bedeutung. Auch für die Entwicklung effizienterer Batteriespeichersysteme beispielsweise sind Erkenntnisse über die Umwandlung von chemischer in elektrische Energie notwendig. La Mantia wird den ERC Consolidator Grant daher vor allem für die Grundlagenforschung im Bereich »EllonT« (Electron- and Ion Transfer at the Interface: a Hyphenated Dynamic Multi-Frequency Approach) nutzen. Er möchte untersuchen, wie fortgeschrittene analytische Methoden, Modellierung und präzise experimentelle Designs kombiniert werden können, um den Effekt der nichtidealen Teilcheninteraktion im Prozess der Ladungsübertragung an der Fest-Flüssig-Grenzfläche besser zu erforschen. Dieser Prozess ist die Basis aller elektrochemischen Systeme, inklusive Brennstoffzellen, Elektrolyseuren und Batterien, die in der Energiewende viel diskutiert werden. Das Verständnis solcher Interaktionen würde erlauben, verbesserte Systeme zu entwickeln und zu gestalten.

Ziel dieses Projektes ist die Erweiterung der idealen Theorie der Ladungsübertragung auf die reale Welt, also die Erforschung elektrochemischer Interaktionen. »Die fünfjährige Förderung vom ERC ist eine wunderbare Möglichkeit, meine Forschungsidee gemeinsam mit meiner Forschungsgruppe umzusetzen. Mit den zusätzlichen Mitteln können wir die komplexen Experimente viel schneller und in größerem Umfang durchführen. Die Bedingungen, die sich durch die

Zusammenarbeit der Produktionstechnik an der Universität Bremen mit dem Fraunhofer IFAM ergeben, sind hierfür optimal«, freut sich La Mantia.

Der ERC Consolidator Grant ist eine der höchstdotierten Fördermaßnahmen der Europäischen Union für einzelne Wissenschaftler. Der Europäische Forschungsrat unterstützt damit exzellente junge Forscherinnen und Forscher, die am Beginn einer unabhängigen Forschungskarriere stehen.

La Mantia absolvierte sein Masterstudium in Chemieingenieurwesen an der Universität von Palermo (Italien) und promovierte 2004 an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich und dem Paul Scherrer Institut (Schweiz). An der Universität Bremen hält La Mantia eine Brückenprofessur im Fachgebiet »Energiespeicher- und Energiewandlersysteme« des Fachbereichs Produktionstechnik – Maschinenbau und Verfahrenstechnik. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM setzt er seine Forschung an wässrigen Zink-Ionen-Batterien, der Wiedergewinnung von Energie aus Salzwasser und Wärme und dem Modellieren von elektrochemischen Systemen weiter um. Forschungszweck ist unter anderem die Entwicklung von Batterien mit längerer Lebensdauer für stationäre Anwendungen in der Industrie.

1 Fabio La Mantia. © Universität Bremen



# NETZWERKPROJEKT FÖRDERT ZUSAMMENARBEIT VON JAXA UND FRAUNHOFER

Japanische Wissenschaftler und Ingenieure erkennen einen steigenden Bedarf an anwendungsnaher Forschung und industrieorientierten Ansätzen, um damit das »Valley of Death« bei der Umsetzung von Forschungsergebnissen in Innovationen zu überwinden. In Japan wird seit einigen Jahren das »Fraunhofer-Modell der angewandten Forschung« als Vorbild für eine leistungsfähige Forschungslandschaft erachtet. Fraunhofer tritt bereits erfolgreich in Japan auf und strebt eine weitere Vertiefung der Beziehungen zur dortigen Forschung und Industrie an.

Vor diesem Hintergrund wurde gemeinsam von der japanischen Luft- und Raumfahrtagentur (Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA) und dem Fraunhofer IFAM ein Projekt initiiert, das zwei Ziele erreichen soll: Zum einen soll ein dauerhaftes Netzwerk zwischen JAXA und Fraunhofer für zukünftige gemeinsame Projekte, auch unter Einbindung weiterer Partner geschaffen werden. Zum anderen braucht es ein gutes Verständnis der beiden Forschungslandschaften, um aus bewährter Praxis heraus Verbesserungsmöglichkeiten zu identifizieren.

Für das Netzwerkprojekt SEACASP (Staff Exchange Aiming at Future Collaboration in Aerospace Projects) wurde die einjährige Entsendung eines JAXA-Mitarbeiters zum Fraunhofer IFAM und seine enge Einbindung in die tägliche Arbeit vereinbart. Daneben sind Besuche weiterer Fraunhofer-Einrichtungen sowie verschiedener Messen und Konferenzen eingeplant.

In der Bewerberauswahl konnte sich Hiroshi Nakayama durchsetzen. Er arbeitete bei JAXA zunächst als Architekt für Raumfahrtinfrastruktur am Boden und anschließend in der Planung für Satellitenmissionen, bevor er in die Stabs-

abteilung »Business Development« wechselte, wo er für die Betreuung der japanischen Raumfahrtindustrie zuständig ist. SEACASP startete unter Leitung von Gerhard Pauly im November 2017 mit der Ankunft von Hiroshi Nakayama in Bremen. Er arbeitet mit an EU-Anträgen im Rahmen von HORIZON 2020 sowie konkret im EU-Projekt RADIANT. Erste Besuche in der Fraunhofer-Zentrale, im Fraunhofer IWS sowie die Teilnahme am Jahrestreffen der Fraunhofer-Allianz Space gaben bereits Einblick in die vielfältige Arbeit bei Fraunhofer.

»Ich glaube, einer der Gründe, weshalb die Innovation bei Fraunhofer kontinuierlich verläuft, ist der Rahmen, in dem man sein Talent einbringen und Forscher unterstützen kann. Man kann sich auf Forschung und Karriere konzentrieren, sodass nach ein paar Jahren gut ausgebildete Experten mit Talent und Erfahrung von der Wissenschaft in die Industrie wechseln können. Damit tragen sie zu den hervorragenden Ergebnissen und dem weltweit exzellenten Ruf der deutschen Industrie bei. Für mich ist es einzigartig, dass Bedarfe und Anforderungen auf dem Markt gewonnen und in technische Anwendungen übersetzt werden. Auf diese Weise entsteht ein Netzwerk von Forschung und Industrie, welches das Valley of Death überspannt.«

**1** *Hiroshi Nakayama, Jaxa und Gerhard Pauly, Fraunhofer IFAM arbeiten im Netzwerkprojekt SEACASP eng zusammen.*





# FUTUREAM – NEXT GENERATION ADDITIVE MANUFACTURING

Am 14. November 2017 startete in Aachen unter der Federführung des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT das Fraunhofer-Fokusprojekt futureAM. Sechs Projektpartner – die Fraunhofer-Institute ILT, IWS, IWU, IGD und IFAM sowie das LZN Laser Zentrum Nord – haben sich ein klares Ziel gesetzt: In den kommenden drei Jahren wollen sie im engen Schulterschluss die Voraussetzungen für deutliche Technologiesprünge im Bereich Additive Manufacturing mit metallischen Werkstoffen (Metall AM) schaffen.

Ein konkretes Ziel des Fokusprojektes ist es, die additive Fertigung von Metallbauteilen signifikant zu beschleunigen und gleichzeitig die Herstellungskosten zu reduzieren. Mit neuartigen Anlagenkonzepten sollen zudem derzeitige Beschränkungen der Baugröße aufgehoben werden. »Die Forschungsplattform soll neue digitale Prozessketten, skalierbare und robuste AM-Prozesse, Systemtechnik und Automatisierung entwickeln und außerdem die Palette an verarbeit- und bezahlbaren Werkstoffen erweitern«, erklärt Prof. Johannes Henrich Schleifenbaum, Koordinator von futureAM und Director Additive Manufacturing and Functional Layers am Fraunhofer ILT in Aachen.

Zusammenschlüsse auf dem Gebiet des 3D-Drucks sind keine Seltenheit, doch die futureAM-Plattform unterscheidet sich vor allem in einem Punkt von anderen: Sie zeichnet sich durch Praxisnähe aus, die auf langjährigen eigenen Erfahrungen der beteiligten Institute mit Metall AM basiert. Die vollständige Digitalisierung der Metall-AM-Prozesskette, neue Werkstoffe, innovative Designmöglichkeiten und einen um den Faktor zehn beschleunigten Herstellungsprozess sind die Zielvorgaben.« Dazu kooperieren die sechs Projektpartner in einem Virtual Lab mit einer geschlossenen digitalen Abbildung der Kompetenzen und Ausstattung der beteiligten Institute. Jeder Entität – ob Maschine oder Produkt – wird ein »Digital Twin« zugeordnet und beschrieben. Auf

der Grundlage dieser Digital Twins können mittels Modellierung und Simulation reale Systeme optimiert werden. Dies dient beispielsweise der Fehlerdiagnose, der prädiktiven Analyse oder der Produkt- und Prozessoptimierung. Die Rolle des Menschen wandelt sich weg von der heutigen zentralen Planungsinstanz hin zur Entscheidungs- und Überwachungsinstanz. Autonome Systeme innerhalb des virtuellen Labors unterstützen den Menschen vor Ort durch geeignete Auswerte- und Monitoring-Tools. Das Virtual Lab liefert somit eine vollständige digitale Transparenz.

Die Wissenschaftler der beteiligten Institute arbeiten interdisziplinär zusammen. Anhand konkreter Bauteile soll die Praxistauglichkeit der innovativen Entwicklungen demonstriert werden. Innerhalb dieses Projekts arbeitet das Fraunhofer IFAM gemeinsam mit dem IWD in Dresden an einer Verstärkungsstruktur aus einem zweiten hochfesten Werkstoff.

**1** Partner aus Industrie und Wissenschaft trafen sich am 14. November zum Kick-off des Fraunhofer-Fokusprojekts futureAM in Aachen.

© Fraunhofer ILT, Aachen / Andreas Steindl



# LEICHTBAUTAG IN STADE – BÖRSE FÜR ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN

Seit 2009 erforschen und entwickeln die Experten für Automatisierung und Produktionstechnik des Fraunhofer IFAM in Stade gemeinsam mit mehr als 50 Unternehmen neue Produktionstechnologien für Luftfahrt-Großstrukturen aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK). Um die weltweit führenden Ergebnisse nun auch in eine breite – über den Flugzeugbau hinausreichende – branchenübergreifende industrielle Anwendung zu bringen, fand am 15. November 2017 im Forschungszentrum CFK NORD in Stade eine neu konzipierte Veranstaltung statt.

Auf Initiative des Niedersächsischen Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr veranstalteten die Fraunhofer-Gesellschaft und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) unter dem Motto »Leichtbautag« eine branchenübergreifende Technologiebörse in Stade. Das Besondere daran: Im Unterschied zu üblichen Tagungen stellten die an den Forschungsprojekten mitwirkenden Industriepartner eine exklusive Liste möglicher Verwerter zusammen und empfingen ihre Gäste im Forschungszentrum CFK NORD direkt an den Großanlagen. Auf diese Weise erhielten Entscheider aus verschiedenen Branchen einen ungefilterten Einblick in Technologien, die zwar für den Flugzeugbau entwickelt wurden, sich aber relativ schnell für andere Einsatzfelder modifizieren lassen.

Ingelore Hering, Abteilungsleiterin Industrie und Maritime Wirtschaft im Niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Hannover, und Dr. Alexander Roth, Direktor für Technologiemarketing im Vorstandsbereich Geschäftsmodelle und Technologiemarketing der Fraunhofer-Gesellschaft, München, äußerten sich in ihren Ansprachen sehr positiv zu den bereits in Stade erzielten FuE-Ergebnissen und hoben deren Potenziale für die branchenübergreifende nationale sowie internationale Industrie – insbesondere im Hinblick auf Industrie 4.0 und hochgradig wandlungsfähige Produktion – hervor.

Die über 100 Gäste des Leichtbautags kamen aus den Branchen Automobilbau, Schiffbau, Schienenfahrzeugbau, Maschinenbau, IT, Kunststoff und nicht zuletzt Flugzeugbau. Leb-

hafter Informationsaustausch und viel positive Resonanz von Gästen und Ausstellern führten bereits zum Wunsch nach einer Folgeveranstaltung.

## Wegweisende neue Technologien

Im Rahmen von Live-Vorführungen präsentierten die Experten für Automatisierung und Produktionstechnik mit ihren Partnern gemeinsame Projekte:

- den weltweit genauesten Sechs-Achs-Bearbeitungsroboter auf einem eigens entwickelten Automated Guided Vehicle (AGV) (Siemens AG, Ludwig Schleicher Anlagenbau GmbH & Co. KG, Hexagon Metrology GmbH und MABI AG),
- die automatisierte Montage von Flugzeugrümpfen sowie Seitenleitwerken (FFT Produktionssysteme GmbH & Co. KG, BA Composites GmbH, Dassault Systèmes Deutschland GmbH, Carl Kurt Walther GmbH, DOPAG – Hilger u. Kern GmbH, QuISS AG und Hexcel Composites GmbH),
- einen derzeit entstehenden selbstnavigierenden Großroboter, dessen Aufgabe es sein wird, robotische Module zur Bearbeitung oder Reparatur außen auf einen Flugzeugrumpf aufzusetzen, wo diese sich selbst fixieren (FFT Produktionssysteme GmbH & Co. KG und Sick AG).

- 1 Dr. Dirk Niermann, Fraunhofer IFAM, Ingelore Hering, Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Prof. Dr. Bernd Mayer, Fraunhofer IFAM, und Dr. Alexander Roth, Fraunhofer-Gesellschaft, (v.l.n.r.), diskutieren über Einsatzmöglichkeiten des weltweit genauesten Sechs-Achs-Bearbeitungsroboters auf einem eigens entwickelten AGV.

# NEUES ZENTRUM FÜR INLINE-OBERFLÄCHENVORBEHANDLUNG EINGEWEIFT

Mit einem wissenschaftlichen Kolloquium ist am 7. Dezember das neue Zentrum für Inline-Oberflächenvorbehandlung am Fraunhofer IFAM eingeweiht worden. Auf über 650 Quadratmetern Technikumsfläche wird ein breites Spektrum verschiedenster Vorbehandlungstechniken geboten, die innerhalb eines Produktionsprozesses für unterschiedlichste Anwendungen ablaufen können, von plasmatechnischen Verfahren bis zu modernste Strahl- und Laserverfahren. Mit diesem ganzheitlichen Angebot für Industrie- und Forschungspartner können Verfahren bedarfsgerecht ausgewählt und für individuelle Fertigungsbedingungen optimiert werden.

Die Oberflächenvorbehandlung ist der entscheidende und somit qualitätsbestimmende Schritt, wenn es ums Kleben, Lackieren oder Beschichten von Bauteilen geht. Sowohl durch den Produktionsprozess als auch durch den Entwicklungsgang eines Bauteils – sei es durch fertigungsbedingte Kontaminationen, Verunreinigung bei Lagerung und Transport oder einer korrosiven Belastung – kann sich die Oberflächenbeschaffenheit ändern und für Folgeprozesse nicht geeignet sein. Eine falsche Vorbehandlung kann zu variierender Produktqualität oder gar zum Ausfall des Produktes führen. Inlinefähige Vorbehandlungstechnologien, die auch in bestehende Prozessketten mit geringem Platz- und Investitionsbedarf implementiert werden können, bieten hier eine technisch gut umsetzbare Lösung. Kostenintensive Produktions- und Produktausfälle werden so vermieden.

Die Wissenschaftler der Abteilung Plasmatechnik und Oberflächen arbeiten an Reinigungsprozessen, die auf die auftretenden Kontaminationen und Materialien abgestimmt werden. Egal, ob es sich um Metalle, Kunststoffe oder Gläser handelt – Strahlverfahren mit CO<sub>2</sub>-Schnee oder Vakuumsaugstrahlmethoden zum schonenden Materialabtrag kommen genauso zur Anwendung wie eine Feinstreinigung oder Aktivierung mit

Atmosphärendruck-Plasmen oder UV-Bestrahlungen. Vielversprechende Ergebnisse liefert auch die Lasertechnik, mit der sich nanostrukturierte Beschichtungen auf Metallen erzeugen lassen. Selbst schwer zu beschichtende Materialien wie Titan lassen sich langzeitstabil kleben oder lackieren. Ergänzt werden diese Methoden durch das Abscheiden von Haftvermittlerschichten, die eine langzeitstabile Anbindung sogar unter korrosiven Belastungen ermöglichen.

Das neue Zentrum für Inline-Oberflächenvorbehandlung zeichnet sich durch seine Vielfalt an verschiedenen industriellen Technologien aus. Das Angebotspektrum reicht von fest installierten automatisierten Systemen bis hin zu transportablen Lösungen für den mobilen Einsatz. Für diesen Zweck wurden autarke Rucksack-Systeme entwickelt, die eine Vorbehandlung eines Rotorblatts auf hoher See, eines Verbindungselementes in einem Flugzeugrumpf oder die Reparatur eines Folien-Fassadenelements in schwindelerregender Höhe ermöglichen. So können für die kundenspezifischen Anforderungen die richtigen Prozesse flexibel und unkompliziert ausgewählt werden.

**1** *Einweihung des neuen Zentrums für Inline-Oberflächenvorbehandlung am Fraunhofer IFAM in Bremen.*



# 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 2017 und im Wintersemester 2017/2018 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, die am Fraunhofer IFAM erzielten Forschungsergebnisse und bestätigen die starke Position des Instituts im akademischen Netzwerk. Ehrungen und Preise für Angehörige des Instituts unterstreichen das.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IFAM waren 2017 wieder intensiv beteiligt an Konferenzen, Tagungen und Messen. Neben der aktiven Teilnahme an Veranstaltungen, die in Deutschland, dem europäischen Ausland sowie weltweit stattfinden, tritt das IFAM 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

Mit der Erteilung von sieben Patenten im Jahr 2017 hält das Fraunhofer IFAM das Niveau der letzten Jahre. Des Weiteren konnte das Fraunhofer IFAM im letzten Jahr insgesamt 32 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 Verbunds

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

> [www.materials.fraunhofer.de](http://www.materials.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  
**Dr. Volker Zöllmer**  
volker.zoellmer@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.faserverbund-in-bremen.de](http://www.faserverbund-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

---

## Externe Dienstleister

---

### Satz und Layout

Dipl. Grafik-Designer Gerhard Bergmann

### Druck

Berlin Druck GmbH

---

## Bildquellen

---

Alle Abbildungen © Fraunhofer IFAM oder Quellenangaben.

Unser Dank gilt unseren Mitarbeitern, die uns in diesem Jahr  
durch einen internen Fotowettbewerb mit Bildmaterial besonders  
unterstützt haben.

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)**