

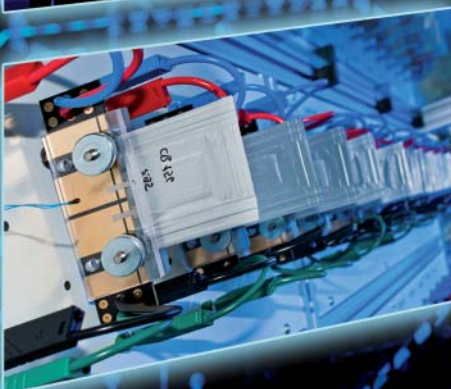
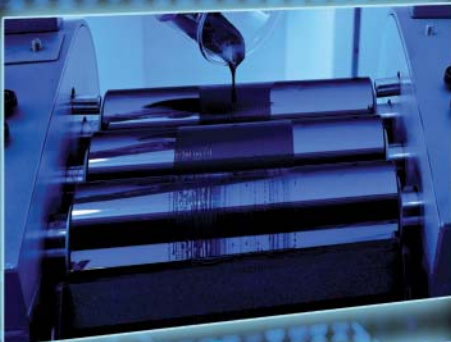


Fraunhofer
IFAM

FRAUNHOFER - INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK UND ANGEWANDTE MATERIALFORSCHUNG IFAM

ELEKTRISCHE ENERGIESPEICHER

ZUKUNFT SICHER LADEN



INHALT

ELEKTRISCHE ENERGIESPEICHER	3
MATERIALENTWICKLUNG UND NANOSTRUKTURIERTE ELEKTRODEN	5
FERTIGUNG VON ZELLKOMPONENTEN	7
BATTERIEMESSTECHNIK UND ELEKTROCHEMISCHE ANALYSE	8
SIMULATION UND MODELLIERUNG	9
UNSER ANGEBOT	10

WIR VERSTEHEN WERKSTOFFE

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen und entwickeln 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 60 Institute mit über 20 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung.

FORMGEBUNG UND FUNKTIONSWERKSTOFFE

Der Institutsbereich Formgebung und Funktionswerkstoffe konzentriert sich an den Standorten Bremen, Dresden und Oldenburg auf maßgeschneiderte Werkstofflösungen mit optimierten Fertigungsverfahren und Prozessen. Das Spektrum der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten reicht vom Werkstoff über Formgebung bis hin zur Funktionalisierung von Bauteilen und Systemen. Wir erarbeiten kundenspezifische Lösungen, die von so unterschiedlichen Branchen wie der Automobilindustrie, der Medizintechnik, der Luft- und Raumfahrt, dem Maschinen- und Anlagenbau, der Umwelt- und Energietechnik oder der Elektronikindustrie nachgefragt werden.

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

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

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

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

© Fraunhofer - Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
Formgebung und Funktionswerkstoffe



ELEKTRISCHE ENERGIESPEICHER

Elektrische Energiespeicher nehmen für eine klimafreundliche Energieversorgung und Mobilität eine zentrale Rolle ein. Dabei sind neue Konzepte für hohe Speicherkapazitäten, Effizienz, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit gefragt. Diese Ziele verfolgt die Projektgruppe Elektrische Energiespeicher des Fraunhofer IFAM.

Material- und Prozessentwicklung für neue Energiespeicher – ein ganzheitlicher Ansatz

In den letzten 20 Jahren war die Entwicklung elektrischer Energiespeicher gekennzeichnet vom Durchbruch der Lithium-Ionen-Technik, die für sehr viele Anwendungen technisch und wirtschaftlich interessante Lösungen ermöglicht hat – und immer noch weiteres Entwicklungspotenzial birgt.

Ein nächster revolutionärer Schritt in der elektrischen Speichertechnik, der insbesondere für eine Marktdurchdringung der Elektromobilität notwendig ist, kann mit Metall/Luft-Batterien erfolgen. Diese verfügen über eine deutlich höhere theoretische Energiedichte im Vergleich zu kommerziell verfügbaren Akkumulatoren. Es existieren zwar bereits Primärzellen, aber für zyklenstabile Zellen konnten bislang keine ganzheitlichen Materialkonzepte demonstriert werden.

Genau hier setzt die multidisziplinär aufgestellte Projektgruppe Elektrische Energiespeicher an: Mit einer breit gefächerten Erfahrung in der Material- und Prozessentwicklung beschreitet das Fraunhofer IFAM neue Wege für die Konzipierung von Elektroden, Zellen und Batteriestacks, insbesondere für Metall/Luft-Systeme und unter Berücksichtigung der für Batterieentwicklungen üblichen Ziele wie Erhöhung der:

- spezifischen Speicherkapazität
- Lebensdauer/Zyklusfestigkeit
- Betriebssicherheit
- Wirtschaftlichkeit

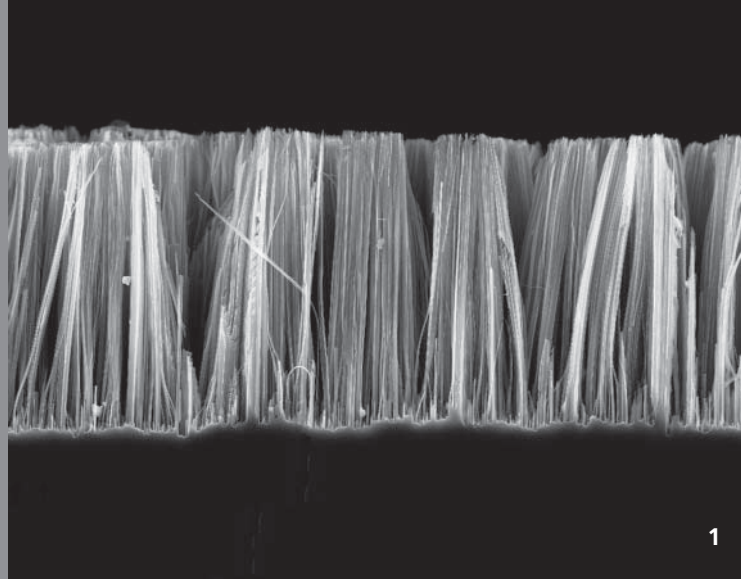
Ansprechpartner:

Dr. Julian Schwenzel

Telefon +49 (0) 441 / 36116-262

julian.schwenzel@ifam.fraunhofer.de





MATERIALENTWICKLUNG UND NANOSTRUKTURIERTE ELEKTRODEN

Im Bereich der Materialforschung für Energiespeicher betrachten wir die elektrochemische Zelle als Ganzes. Jede Verbesserung des Materials muss auch im Zusammenspiel mit den übrigen Komponenten des Speichers sein volles Potenzial ausschöpfen.

Negative Elektroden

Nach heutigem Stand der Technik wird Graphit als Standardmaterial für negative Elektroden in Li-Ionen-Batterien eingesetzt. Andererseits kann die Elektrodenkapazität bei Verwendung von Silizium oder eines Si/C-Komposits signifikant erhöht werden. Am Fraunhofer IFAM steht daher die Herstellung und Verarbeitung von nanostrukturiertem Silizium im Zentrum der Entwicklung. Als Prozesstechniken werden die chemische Gasphasenabscheidung (CVD), das reaktive Ionenätzen (RIE) sowie konventionelle Beschichtungstechniken zur Verarbeitung Si-haltiger Pasten eingesetzt.

Positive Elektroden

Für Metall/Luft-Batterien werden kohlenstoffbasierte Gasdiffusionselektroden als positive Elektrode favorisiert. Dabei stehen die strukturellen und elektrochemischen Anforderungen an das C-Material im Fokus, die stark systemabhängig sind. Während beispielsweise bei alkalischen Zink/Luft-Batterien die Frage der Korrosion im Vordergrund steht, gilt es andererseits bei aprotischen Lithium/Luft-Systemen das Porenvolumen zur Einlagerung der festen Entladeprodukte zu optimieren. Wir untersuchen die Einflüsse von Materialeigenschaften (z. B. spezifische Oberfläche, Porosität und Porengrößenverteilung sowie elektrische Leitfähigkeit) auf Zyklenstabilität und elektrochemische Performance. Kohlenstoff-Xerogele dienen hier als Modellsystem zur Optimierung der Porosität. Für die Steuerung der chemischen Prozesse kommen bifunktionale Elektrokatalysatoren zum Einsatz.

Elektrolyte

Die Anwendung neuer Elektrodenmaterialien erfordert immer auch eine Abstimmung bzw. Anpassung an den verwendeten Elektrolyten, dessen Auswahl über Screening-Analysen flüssiger, gelartiger oder fester Elektrolyte und Additive erfolgt. Festkörperelektrolyte werden nasschemisch, über thermisches Verdampfen oder durch Sputtern in das System eingebracht.

Großes Bild: Elektrodenfertigung vom Pulver bis zur Batterie.

Bild 1: Elektronenmikroskopaufnahme von nanostrukturiertem Silizium.

Bild 2: Integrierte Thermogravimetrie, Massen- und Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie.





FERTIGUNG VON ZELLKOMPONENTEN

Von den Rohstoffen zur Batterie ist eine lange Prozesskette zu durchlaufen. Daher spielen bei der Materialentwicklung auch prozesstechnische Fragestellungen eine große Rolle.

Großes Bild: Für die Elektrodenfertigung eingesetzte Rolle-zu-Rolle-Beschichtungsanlage (© Firma Mathis).

Pastenformulierung und -verarbeitung

Die Performance elektrischer Energiespeicher wird entscheidend von der Elektrodenkonfiguration und deren Herstellung beeinflusst. Elektroden sind meist Komposite aus Aktivmaterialien, Bindern und elektrisch leitfähigen Additiven. Ausgangspunkt ist die Pastenformulierung, bei der die Aktivmaterialien mit Lösemitteln, Bindern und Additiven zu homogenen Pasten verarbeitet werden. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Batterieanforderungen entwickeln und testen wir neue Pastenrezepturen. Die Herstellung der Elektrode aus der Paste erfolgt mit einem Foliengießverfahren, in dem Pasten auf elektrisch leitende Trägermaterialien aufgetragen werden. Für die Elektrodenentwicklung müssen die Pasteneigenschaften auf die Beschichtungsparameter, den Trocknungsprozess und die anschließenden Kalandrierung abgestimmt werden.

Bild 1: Gloveboxlinie zur Fertigung elektrochemischer Speicher unter Inertbedingungen.

Zellfertigung

Für den prototypischen Zellenbau werden die fertig beschichteten Elektroden gestanzt, gestapelt und in sogenannten Pouch-Zellen verpackt und versiegelt. Am Fraunhofer IFAM steht für die Zellenfertigung eine halbautomatisch geführte und flexibel einsetzbare Prozesskette zur Verfügung, um insbesondere Korrelationen zwischen Herstellparametern und der elektrochemischen Performance der gefertigten Testzellen sowie der daraus aufgebauten Batterie ableiten zu können. Wir entwickeln verschiedene Zelltypen, um auch kundenspezifische Materialmuster auf ihre Eignung validieren zu können.

Der erste Ladeprozess einer neu präparierten Zelle ist sehr zeitintensiv und beeinflusst entscheidend ihre Lebensdauer und Leistungsfähigkeit. Wir forschen an diesen Formierungsprozessen, um die Einflussfaktoren auf die Zellperformance herauszuarbeiten und schnellere Formierungsschritte zu entwickeln.



1



2

BATTERIEMESSTECHNIK UND ELEKTROCHEMISCHE ANALYSE

Bild 1: Raman-Spektrometer für In-situ-Analytik.

Bild 2: Teststand für die elektrische Prüfung von Batteriezellen und -packs.

Um ein System verbessern zu können, muss man es kennen. Wir wollen es perfektionieren und erfassen dafür jedes seiner Details.

Elektrochemische In-situ-Analyse

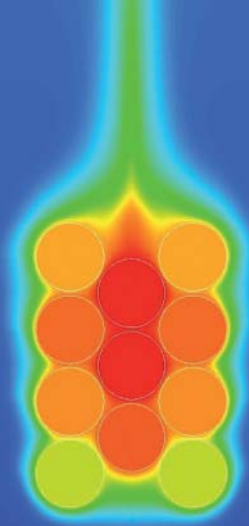
Für eine gezielte Elektrodenentwicklung ist die Kenntnis der elektrochemischen Prozesse wichtig, die während der Zyklisierung ablaufen. Neben der Standardanalytik für die Batteriecharakterisierung werden daher immer auch neue Anforderungen an die Messmethodik und Analytik gestellt. Unser (elektro-)chemisch-physikalisches Labor ist speziell ausgestattet für die In-situ-Analyse der eingesetzten Materialien mittels gekoppelter Raman-, Massen- und Infrarotspektroskopie. Flexibel einsetzbare spektro-elektrochemische Testzellen ermöglichen derartige Analysen im laufenden Zellbetrieb. Bedingt durch die Komplexität der elektrochemischen Prozesse innerhalb einer Batteriezelle ist dieses Instrumentarium unverzichtbar zur Material- und Prozessentwicklung.

Prüf- und Testsysteme im Überblick

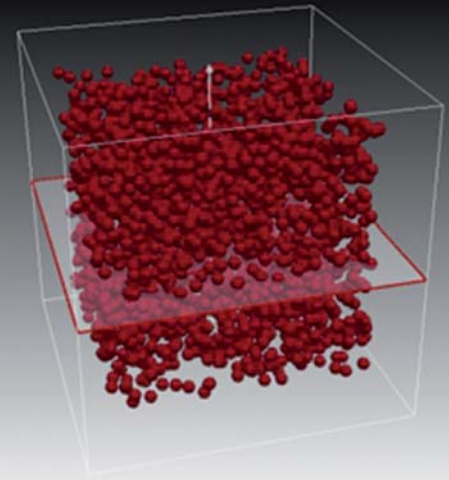
Für die elektrische Prüfung von Zellen, Modulen und Batterien stehen Batterietester unterschiedlicher Leistungsklassen zur Verfügung. Die Zyklisierung kann unter Schutzgas mit elektrochemischer Impedanzspektroskopie (EIS) im Temperaturbereich zwischen -20°C bis 100°C erfolgen. Zur hydrodynamischen Voltammetrie wird ein RRDE-System eingesetzt. Zur Untersuchung elektrochemischer Eigenschaften von Materialien und Komponenten setzen wir insbesondere folgende Methoden ein:

- Impedanzspektroskopie (EIS), Cyclovoltammetrie (CV)
- Rotierende Ring-Scheibe-Elektrode (RRDE)
- Laser-Mikroskopie
- Raman / AFM
- Thermogravimetrie / Massenspektroskopie / IR-Spektroskopie

Je nach Fragestellung nutzen wir natürlich darüber hinaus die sehr breite Palette weiterer Methoden, die in der Analytik am Fraunhofer IFAM zur Untersuchung physikalischer und chemischer Eigenschaften zur Verfügung steht.



3



4

SIMULATION UND MODELLIERUNG

Computersimulationen ermöglichen tiefe Einblicke in die Vorgänge im Speichersystem und helfen bei der optimalen Auslegung der Batterie.

Bild 3: Modellierung der Wärmeausbreitung eines Batteriepacks.

Materialsimulation

Die Entwicklung neuartiger Materialien für den Einsatz in elektrischen Energiespeichern ist meist sehr zeit- und kostenintensiv. Hinzu kommt, dass nicht alle Parameter, die für die optimale Funktion des Speichers eine Rolle spielen, experimentell erfasst werden können.

In vielen Fällen lässt sich das zugrunde liegende elektrochemische oder physikalische System sehr genau mathematisch beschreiben. Derartige Modelle können dann für die Simulation der relevanten Prozesse genutzt werden, deren Ergebnisse zur vertieften Analyse oder auch als Vorstufe zur Umsetzung in Batteriesystemen dienen.

Bild 4: Computermodell eines Kohlenstoff-Xerogels.

Wir führen Simulationen auf verschiedenen Zeit- und Längenskalen durch, insbesondere zu folgenden Themenbereichen:

- Erstellung maßgeschneiderter Modelle für kundenspezifische Zellchemien
- Bereitstellung geeigneter Algorithmen zur Lösung der auftretenden Differentialgleichungssysteme
- Parameterstudien für Lithium-Ionen-Batterien auf Basis von Newman-Modellen
- Transfer von Methoden der theoretischen Physik/Chemie (MD, DFT, Monte Carlo)

Modellierung von Batterie-Systemen

Die thermische und elektrische Auslegung von Batteriepacks und Festlegung von Betriebsparametern, können mithilfe von Computermodellen effizient bewältigt werden. Wir bieten dafür Expertise zu den Fragestellungen:

- Wärmetransport in Batteriepacks mit FEM/CFD
- Elektrische Modellierung, Ersatzschaltbilder
- Entwicklung von Modellen zur Performance- und Lebensdauer-Prognose



UNSER ANGEBOT

Bild 1: Vakuumkammer zur Dünnschichtabscheidung innerhalb der Glovebox.

Bild 2: Rotierende Ring-Scheibe-Elektrode für elektrochemische Analyse in mobiler Glovebox.

*Ansprechpartner:
Dr. Julian Schwenzel
Telefon +49 (0) 441 / 36116-262
julian.schwenzel@ifam.fraunhofer.de*

Neben der Nutzung unserer umfangreichen Analytik für individuelle Fragestellungen bieten wir Begleitung und Unterstützung in allen Aspekten der Materialentwicklung für primäre und sekundäre Batteriesysteme.

Für Industriepartner und Anwender aus verschiedensten Branchen bieten wir an:

- Werkstoffforschung und Prozessentwicklung für elektrische Energiespeicher
- Bau und Test von Batteriezellen mit kundenspezifischen Materialien
- Batterie-/Alterungstests für alle Größen und Typen auf Zell- und Modulebene (bis 6 V bzw. 50 V) sowie für Großbatterien (bis 1000 V)
- Recherchen, Bewertung und Expertisen zu Fragen rund um die Batterie

Wir sind ein Team aus Wissenschaftlern und Technikern, das Sie gerne bei der Umsetzung neuer Ideen und Konzepte in Ihren Produkten unterstützt. Eine vertrauliche Arbeitsweise ist dabei für uns selbstverständlich. Auf Wunsch binden wir zusätzlich die Expertise weiterer Partner aus der Fraunhofer-Allianz »Batterien« ein.

KOMPETENZEN FORMGEBUNG UND FUNKTIONSWERKSTOFFE

WWW.IFAM.FRAUNHOFER.DE

STANDORTE BREMEN UND OLDENBURG

Institutsleitung

Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse

Elektrische Energiespeicher

Dr. Julian Schwenzel, Prof. Dr. Bernd H. Günther

Telefon +49 441 36116-262

julian.schwenzel@ifam.fraunhofer.de

Zellchemie; Metall-Luft-Batterien; Pastenentwicklung und Elektrodenherstellung; Zellenbau; Elektrokatalyse; Batterie-teststände; In-situ-Analytik; Raman-spektroskopie; Simulation; Lebensdauer und Alterungsmechanismen.

Elektrische Systeme

Dr.-Ing. Gerald Rausch

Telefon +49 421 2246-242

gerald.rausch@ifam.fraunhofer.de

Elektrofahrzeuge; E-Motoren-Prüfstand bis 120 kW; Prüfstand für Batterien bis 50 kWh; Fahrzyklenanalyse; Reichweitenbestimmung; Systemprüfung elektromotorischer Antriebsstrang.

Funktionsstrukturen

Dr. rer. nat. Volker Zöllmer

Telefon + 49 421 2246-114

volker.zoellmer@ifam.fraunhofer.de

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

Gießereitechnologie und Komponentenentwicklung

Dipl.-Ing. Franz-Josef Wöstmann

Telefon +49 421 2246-225

franz-josef.woestmann@ifam.fraunhofer.de

Gießereitechnologie: Aluminium-, Magnesium-, Zink-Druckguss; Gusseisen und Stahlguss; funktionsintegrierte Gussteile (CAST^{TRONICS}®); Lost Foam Verfahren; Simulation.

Komponentenentwicklung: Auslegung, Fertigung und Prüfung von elektrischen Maschinen und Antriebssträngen für Elektrofahrzeuge.

Materialographie und Analytik

Dr.-Ing. Andrea Berg

Telefon +49 421 2246-146

andrea.berg@ifam.fraunhofer.de

Schadensanalyse; metallografische Schliffuntersuchung; Pulvermesstechnik; Rasterelektronenmikroskopie mit EDX-Analyse; Thermische Analyse; Dilatometrie; Spurenanalyse; Emissionsspektrometrie.

Pulvertechnologie

Dr.-Ing. Frank Petzoldt

Telefon +49 421 2246-134

frank.petzoldt@ifam.fraunhofer.de

Pulvermetallurgische Formgebung; Metallpulverspritzguss; Prozess- und Materialentwicklung; Rapid Manufacturing; Lasersintern; Siebdruck; Produktionsverfahren für Metallschaumbauteile (FOAMINAL®); Simulation.

STANDORT DRESDEN

Pulvermetallurgie und Verbundwerkstoffe

Prof. Dr.-Ing. Bernd Kieback

Zellulare metallische Werkstoffe

Dr.-Ing. Günter Stephani

Telefon +49 351 2537-301

guenter.stephani@ifam-dd.fraunhofer.de

Fasermetallurgie; hochporöse Strukturen; metallische Hohlkugelstrukturen; offenzellige PM-Schäume; 3D-Siebdruckstrukturen; 3D-Drahtstrukturen; Sinterpapier; funktionelle Schichten und Oberflächentechnologie.

Sinter- und Verbundwerkstoffe

Dr.-Ing. Thomas Weißgärber

Telefon +49 351 2537-305

thomas.weissgaerber@ifam-dd.fraunhofer.de

Hochtemperaturwerkstoffe; nanokristalline Werkstoffe; Werkstoffe für tribologische Beanspruchungen; Sputtertargets; PM-Leichtmetalle; MMC; thermoelektrische Werkstoffe; dispersionsverfestigte Werkstoffe; Werkstoffe für die Wasserstoffspeicherung.

WWW.IFAM.FRAUNHOFER.DE

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

Wiener Straße 12

28359 Bremen

Telefon +49 421 2246-0

Fax +49 421 2246-300

info@ifam.fraunhofer.de

Institutsleitung

Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse

Elektrische Energiespeicher

Dr.-Ing. Julian Schwenzel

Telefon + 49 441 36116-262

julian.schwenzel@ifam.fraunhofer.de