

**JAHRESBERICHT**

**2017**

**2018**

---

# JAHRESBERICHT 2017/2018

Fraunhofer-Institut für  
Keramische Technologien und Systeme IKTS  
Winterbergstraße 28, 01277 Dresden-Gruna  
Telefon +49 351 2553-7700  
Fax +49 351 2553-7600

Michael-Faraday-Straße 1, 07629 Hermsdorf  
Telefon +49 36601 9301-0  
Fax +49 36601 9301-3921

Maria-Reiche-Straße 2, 01109 Dresden-Klotzsche  
Telefon +49 351 88815-501  
Fax +49 351 88815-509

info@ikts.fraunhofer.de  
[www.ikts.fraunhofer.de](http://www.ikts.fraunhofer.de)



/fraunhoferikts



Management  
System  
ISO 9001:2008  
ISO 14001:2004

[www.tuv.com](http://www.tuv.com)  
ID 1100005194



Management  
System  
EN ISO  
13485:2012

[www.tuv.com](http://www.tuv.com)  
ID 000026968

# VORWORT



JAHRESBERICHT 2017/18

## Liebe Partner und Freunde des IKTS,

gerne legen wir Ihnen unseren neuen Jahresbericht vor. Auch das Jahr 2017 ist wieder sehr erfolgreich gelaufen. Das bildet sich in unserem betriebswirtschaftlichen Zahlenwerk wie folgt ab: Unsere Mitarbeiterzahl ist auf jetzt 680 Personen gestiegen. Unser Gesamthaushalt hat in 2017 die 55 Mio. Euro Marke überschritten. Darin enthalten sind 3 Mio. Euro für Investitionen, mit denen wir unsere Infrastruktur in den verschiedensten Bereichen der Struktur- und Funktionskeramik weiter ausbauen konnten. Über industrieorientierte Drittmittelprojekte haben wir mehr als 42 Mio. Euro Erlöst, davon fast 50 % direkt aus der Wirtschaft. Dies bestätigt, dass wir der Mission Fraunhofers entsprechend, unserem auf den Transfer ausgerichteten Forschungsauftrag, sehr gut nachkommen. Wir werden hier auch weiterhin nicht nachlassen und stehen Ihnen gerne jederzeit für die weitere Zusammenarbeit zur Verfügung. Ich möchte mich bei allen unseren Partnern herzlich für die Zusammenarbeit bedanken. Auch den Ländern Sachsen und Thüringen sowie dem Bund möchten wir für die stetige Unterstützung danken.

Die angewandte Keramikforschung decken wir nach wie vor in großer Breite ab, wovon Sie sich auszugsweise gerne im vorliegenden Bericht überzeugen können. Besonders dynamisch entwickeln sich hierbei die Gebiete der additiven Fertigung, der Umweltverfahrenstechnik und der Speichertechnologie. So haben wir in 2017 mit den Kollegen vom Fraunhofer IFAM und der TU Braunschweig ein Projektzentrum zur Batteriezellenforschung in Niedersachsen gegründet. In diesem Zentrum sollen neben Lithium-Ionen-Batterien für mobile auch Speichertechnologien für stationäre Anwendungen entwickelt werden. Dies beinhaltet sowohl elektrochemische Speicher wie  $\text{NaNiCl}_2$ -Hochtemperaturbatterien als auch Elektrolyseverfahren wie SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cell) für die Wasserstofftechnologie. Hierbei spielen auch die Fertigungsverfahren eine große Rolle, wobei uns besonders unsere über das IKTS in Dresden-Klotzsche verfügbaren Kompetenzen zur zerstörungsfreien Prüfung und Prozessüberwachung zugute kommen. Auch organisatorisch haben wir uns auf diesem Gebiet weiter verstärkt und eine eigene Abteilung





zur Batterieforschung gegründet. Unsere zahlreichen Aktivitäten auf dem Gebiet der Umweltverfahrenstechnik werden durch den neuen Schwerpunkt zum Thema »Kreislaufwirtschaft für Smart Agriculture« weiter ausgebaut. In diesem Bereich spielt neben der Membrantechnologie auch die Sensorik und Aktorik eine große Rolle und wir können hier z. B. die im Rahmen des Fraunhofer-Leitprojekts »eHarsh« gewonnene Kompetenz zu Systemen, die für besonders harsche Bedingungen geeignet sind, einbringen. Dieses Thema hat auch für den Bereich der Sicherheitsforschung, den wir ausbauen möchten, eine große Relevanz. Zu erwähnen sei noch, dass wir auch unser Center in den USA neu auf den Bereich der Umwelt-, speziell der Membrantechnologie, ausgerichtet haben. Unser lokaler Impact wird z. B. durch den TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V. untermauert, den wir zusammen mit 23 Unternehmen aus der Region Hermsdorf in Thüringen gegründet haben. Hiermit wollen wir dazu beitragen, die Attraktivität und die Sichtbarkeit des Hochtechnologie-Standorts für Kunden, Fachkräfte und Investoren weiterzuentwickeln.

Schließlich möchte ich noch hervorheben, dass wir im Berichtszeitraum 2017 unser 25. Jubiläum zum Bestehen des IKTS gefeiert haben. Wir dürfen auf eine sehr erfolgreiche Entwicklung zurückblicken. Das IKTS wurde im Januar 1992 gegründet, damals mit einem Personalstamm von 80 Mitarbeitern und einem Betriebshaushalt von knapp 8 Mio. DM. Unser Gründungsdirektor Prof. Waldemar Hermel hat das Institut hierbei hervorragend aufgestellt und ein herausragendes Mitarbeiterteam zusammengestellt, von dem wir bis heute profitieren. Dank diesem Team konnte die Erfolgsgeschichte »IKTS« angestoßen werden. Und wir wollen alles tun, um diesen Erfolg fortzusetzen. Für diese Bemühungen möchte ich dem gesamten IKTS-Team danken.

Besonders möchte ich an dieser Stelle aber unserem Gründungsdirektor Prof. Hermel danken, der im Januar 2018 ein weiteres Jubiläum – nämlich seinen 80. Geburtstag – feiern durfte. Diese Ausgabe des Jahresberichts möchte ich daher, im Namen des gesamten IKTS-Teams, Prof. Hermel widmen.

Ansonsten möchte ich wie immer mein Angebot, von unserer ausgezeichneten Ausstattung und unserem hervorragenden IKTS-Team Gebrauch zu machen, wiederholen. Wir freuen uns auf die Zusammenarbeit.

Ihr,

Alexander Michaelis

April 2018

**1** *Empfang anlässlich des 80. Geburtstag von IKTS-Gründungs-  
direktor Prof. Waldemar Hermel.  
Im Bild v.l.n.r.: Ehefrau Gisela  
Hermel, Dr. Michael Zins,  
Dr. Christian Schubert,  
Prof. Alexander Michaelis,  
Dr. Gert Leitner, Prof. Waldemar  
Hermel, Claus Richter und  
Dr. Udo Gerlach.*

# INHALT

JAHRESBERICHT 2017/18

2 Vorwort

4 Inhalt

## Das Fraunhofer IKTS im Profil

6 Kurzporträt

8 Kernkompetenzen

10 Das Fraunhofer IKTS in Zahlen

12 Organigramm

14 Kuratorium

15 Die Fraunhofer-Gesellschaft

## 16 Retrospektive

## 22 Aus den Geschäftsfeldern des Fraunhofer IKTS

### Werkstoffe und Verfahren

24 Zirkoncarbidgebiet für Ultra-Hochtemperatur-Anwendungen bis 2000 °C

25 Additive Fertigung von keramischen Bauteilen über Fused-Filament-Fabrication

26 Reaktionsgebundene ZrO<sub>2</sub>-Schaumkeramik – hochfest, hitzestabil, kostengünstig

27 Hochreine MgO-Folien als Brennunterlagen für mischleitende Flachmembranen

28 Pulvertechnologische Verfahren für die Herstellung von MOFs

29 SiC-gebundene Diamantwerkstoffe mit höchster Verschleißbeständigkeit

30 Oberflächenkonforme Pulverbeschichtung mittels ALD- und CVD-Verfahren

31 Core-Shell-Beschichtung für höhere Härte und Festigkeiten bei ZTA-Keramiken

### Maschinenbau und Fahrzeugtechnik

32 Keramische Suspensionen für Abrasions- und Korrosionsschutzschichten

33 Pasten für lasergesinterte Funktionsschichten auf 3D-Stahlbauteilen

### Elektronik und Mikrosysteme

34 Amperometrischer Sauerstoffsensoren für industrielle Anwendungen

35 Modellbasierter Entwurf von schnellschaltenden Festkörperventilaktoren

36 Zuverlässigkeitsuntersuchung von 28-nm-SRAM-Zellen mit mechanischer Belastung

37 Kompakte PTC-Heizer aus Schaumkeramik

38 Keramikintegrierte Miniaturspulen für die Drehzahlmessung in Turboladern

## Energie

---

- 39 Korrosionsschutzschichten für keramische Faserverbundwerkstoffe (CMC)
- 40 Werkstoff- und Prozessentwicklung für LAMP-basierte Festkörperbatterien
- 41 Optimierte Keramikreceiver für solarthermische Kraftwerke
- 42 Lotentwicklungen für hochtemperaturstabile keramische Verbunde
- 43 Zellen und Stacks für die Synthesegas-Produktion durch Co-Elektrolyse

## Umwelt- und Verfahrenstechnik

---

- 44 Fischer-Tropsch-Synthese – Entwicklung selektiver Katalysatoren und Prozesse
- 45 Hochdynamische Mikrowellenbeheizung von Reaktoren
- 46 Materialien zum elektrochemischen Abbau von Pharmakarückständen im Wasser
- 47 Recycling von seltenen Metallen mit keramischen Membranen
- 48 Steigerung der Produktausbeute durch den Einsatz von Membranreaktoren
- 49 Dünne, geträgerte Membranschichten für Sauerstoffgeneratoren
- 50 Palladium-Membranen zur H<sub>2</sub>-Abtrennung aus heißen, feuchten Prozessgasen

## Bio- und Medizintechnik

---

- 51 Theranostische Implantate – smarte Funktionalisierung und Monitoring
- 52 In-vitro-Testmethoden zur biologischen Beurteilung keramischer Materialien
- 53 1-3-Piezokomposite für hochfrequente Ultraschallwandler

## Optik

---

- 54 Keramisches LED-Package für Beleuchtung unter harschen Bedingungen

## Material- und Prozessanalyse

---

- 55 Bestimmung des temperaturabhängigen elektrischen Widerstands bis 1400 °C
- 56 Modellierung von Sinterprozessen
- 57 Überwachung von Laser-Engspalt-Schweißungen dickwandiger Komponenten
- 58 Korrelation von Reibwert und kristallographischer Orientierung
- 59 Charakterisierung organischer Dünnschichten mittels Niederspannungs-REM

## 60 Kooperationsausbau in Verbänden, Allianzen und Netzwerken

---

## 67 Namen, Daten, Ereignisse

---

- 68 Veranstaltungen und Messen – Ausblick
- 70 Anfahrt zum Fraunhofer IKTS

# DAS FRAUNHOFER IKTS IM PROFIL

## KURZPORTRÄT

Das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS deckt das Feld der technischen Keramik von der grundlagenorientierten Vorlaufforschung bis zur Anwendung in seiner ganzen Breite ab. Hierzu stehen an den Standorten Dresden-Gruna, Dresden-Klotzsche und Hermsdorf, Thüringen sowie in mehreren Außenstellen hervorragend ausgerüstete Labors und Technika auf mehr als 30 000 m<sup>2</sup> Nutzfläche zur Verfügung. Ausgehend von einem umfassenden Werkstoffwissen über keramische Hochleistungswerkstoffe erstrecken sich die Entwicklungsarbeiten über die gesamte Wertschöpfungskette bis hin zur Prototypenfertigung. Das Fraunhofer IKTS bildet einen Dreiklang aus Werkstoff-, Technologie- und Systemkompetenz, der durch eine umfangreiche Materialdiagnose für Werkstoffe weit über die Keramik hinaus auf höchstem Niveau ergänzt wird. Chemiker, Physiker, Werkstoffwissenschaftler und Ingenieure arbeiten im IKTS interdisziplinär zusammen und werden in Ihrer Arbeit durch erfahrene Techniker begleitet.

Die Hersteller und vor allem die bestehenden und potenziellen Anwender von Keramik stehen als Projektpartner und Kunden im Fokus. Das Fraunhofer IKTS arbeitet in acht marktorientierten Geschäftsfeldern, um keramische Technologien und Komponenten für Branchen, Produktideen und Märkte in bekannten und neuen Einsatzgebieten zu demonstrieren und zu qualifizieren. Im Blick stehen dabei gesamtgesellschaftliche Herausforderungen im Bereich neuer Mobilitätsformen, vernetzter Hard- und Softwarekomponenten sowie innovativer Konzepte für eine ressourcenschonende Energie- und Landwirtschaft, für die das Fraunhofer IKTS bewährte und neue Werkstoff-, Technologie- und Systemkonzepte integriert. Einsatz finden diese in Maschinenbau und Fahrzeugtechnik, Elektronik und Mikrosystemen, Energie, Umwelt- und Verfahrenstechnik, Bio- und Medizintechnik sowie der Optik. In den Querschnittsfeldern Werkstoffe und Verfahren sowie der Material- und Prozess-

analyse werden etablierte und neue Technologien als »Schrittmacher-Technologien« für alle anderen Felder kontinuierlich weiterentwickelt. Das Institut bietet sich damit als kompetenter Ansprechpartner und erster Anlaufpunkt für alle keramikbezogenen Problemstellungen an – ein echter »One Stop Shop« für die Keramik.

Als unikale Kompetenzen können wir hierbei bieten:

### **Durchgehende Fertigungslinien vom Werkstoff zum Prototypen**

In allen keramischen Stoffklassen stehen am Fraunhofer IKTS sämtliche Standardverfahren der Masseaufbereitung, Formgebung, Wärmebehandlung und Finishbearbeitung zur Verfügung. Wo es sinnvoll ist, kann selbst die Phasensynthese am Institut erfolgen. In der Funktionskeramik besteht eine besondere Kernkompetenz in der Pasten- und Folientechnologie. Mehrere Reinräume und kontaminationsarme Fertigungsbereiche werden bereitgehalten, unter anderem für die Technologielinien der Vielschichtkeramik und der hochreinen Oxidkeramik.

### **Multiskalenentwicklung**

Das Fraunhofer IKTS verfügt über geeignete Infrastruktur und Erfahrungen, um Entwicklungen vom Labor- in den Technikumsmaßstab zu übertragen. Für alle relevanten Technologielinien stehen modernste industrietaugliche Ausrüstungen und Maschinen zur Verfügung, um für Partner und Kunden die für den Markteinstieg notwendigen Prototypen und Vorserien zu realisieren, industrielle Fertigungslinien zu entwickeln und Qualitätsprozesse zu implementieren. Somit können Remanenzkostenrisiken und Time-to-Market minimiert werden.



### **Synergien zwischen Werkstoff, Technologien und Anwendung**

Die gezielte Kombination unterschiedlicher Technologieplattformen, wie der Funktions- und Strukturkeramik, erlaubt multifunktionale Bauteile und Systeme, die geschickt verschiedene Eigenschaften der Keramik ausnutzen. Innovative Produkte mit deutlichem Mehrwert und geringeren Kosten können dabei in mehreren Applikationszentren in der direkten Anwendung erprobt, validiert und optimiert werden.

### **Kompetente Analytik und Qualitätsbewertung**

Insbesondere in komplexen Produktionsprozessen wie der keramischen Fertigung ist eine leistungsfähige Analytik und Qualitätskontrolle von Beginn an ein entscheidender Faktor für die Marktakzeptanz der Produkte. Das fundamentale Verständnis von Werkstoffen und keramischen Herstellungsprozessen in Verbindung mit dem Entwurf und der Integration komplexer Prüfsysteme ermöglicht unikale Lösungen bei entscheidenden Werkstofffragen in der Produktentwicklung, Produktion und Qualitätssicherung.

### **Netzwerkbildner**

In den laufenden Projekten ist das Fraunhofer IKTS aktuell mit über 450 nationalen und internationalen Partnern verbunden. Das IKTS ist in zahlreichen regionalen, nationalen und internationalen Allianzen sowie Netzwerken aktiv. So ist das Institut im Fraunhofer-Verbund Werkstoffe und Bauteile – MATERIALS sowie in 11 weiteren Allianzen bestens innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft vernetzt. Als Gründungsmitglied stellt das IKTS weiterhin den Sprecher der Fraunhofer-Allianz AdvanCer, die aus vier besonders auf die Keramik spezialisierten Instituten

besteht. Durch den Aufbau und die aktive Arbeit innerhalb verschiedener Netzwerke kann das Fraunhofer IKTS frühzeitig komplementäre Kompetenzen identifizieren, vermitteln und für eine erfolgreiche Produktentwicklung integrieren. So können gemeinsam Lösungen weit über die klassische Werkstoffentwicklung im Interesse unserer Partner gefunden werden.

### **Standortübergreifendes Management zur nachhaltigen Qualitätssicherung**

Qualität, Nachvollziehbarkeit, Transparenz und Nachhaltigkeit gehören für das Fraunhofer IKTS zu den wichtigsten Instrumenten, um Partnern und Kunden valide, reproduzierbare und ressourcenschonende Forschungsergebnisse bereitstellen zu können. Das IKTS verfügt daher über ein einheitliches Managementsystem nach DIN EN ISO 9001 sowie über ein Umweltmanagementsystem nach DIN EN ISO 14001. Darüber hinaus wird das Institut in seinen Teilbereichen nach weiteren Richtlinien zertifiziert, unter anderem nach dem Medizinproduktegesetz, und regelmäßig verschiedenen industriellen Audits unterzogen.

# KERNKOMPETENZEN DES FRAUNHOFER IKTS

## WERKSTOFFE UND HALBZEUGE

### STRUKTURKERAMIK

- Oxidkeramik
- Nichtoxidkeramik
- Hartmetalle und Cermets
- Pulver und Suspensionen
- Polymerkeramik
- Faserkomposite
- Verbundwerkstoffe
- Schaumkeramik

### FUNKTIONSKERAMIK

- Isolatoren
- Dielektrika
- Halbleiter
- Ionenleiter
- Magnete
- Pasten und Folien
- Lote und Glasdichtungen
- Precursorbasierte und Nanotinten
- Komposite

### UMWELT- UND VERFAHRENSTECHNIK

- Substrate**
  - Granulate
  - Platten
  - Rohre
  - Kapillaren
  - Hohlfasern
  - Waben
  - Schäume
- Membranen und Filter**
  - Oxide, Nichtoxide
  - Zeolithe, Kohlenstoff
  - MOF, ZIF, Komposite
  - Ionenleiter, Mischleiter
- Katalysatoren**
  - Oxide
  - Metalle, CNT

### ROHSTOFF-, PROZESSANALYSE UND MATERIALDIAGNOSE, ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFTECHNIK

- Rohstoffanalyse und Bewertung**
  - Analyse von Partikeln, Suspensionen und Granulaten
  - Chemische Analyse
- Prozessbegleitende Charakterisierung in der keramischen Technologie**
  - Charakterisierung
  - Prozess-Simulation und Auslegung
  - Qualitätsmanagement
- Untersuchte Werkstoffe**
  - Stahl, NE-Metalle
  - Keramik, Beton
  - Werkstoffe der Halbleiterindustrie
  - Kunststoffe, Verbundwerkstoffe (GFK und CFK)
  - Biomaterialien und -gewebe

### Prozessauslegung, Prozessüberwachung

## TECHNOLOGIE

## KOMPONENTEN UND SYSTEME

**Pulvertechnologie**  
**Formgebung**  
**Wärmebehandlung und Sintern**  
**Finishbearbeitung**  
**Precursortechnologie**

**Fasertechnologie**  
**Additive Fertigung**  
**Pilotfertigung und Scale-up**  
**Beschichtungs-technologie**  
**Fügetechnologie**

**Dickschicht-technologie**

**Multilayer**  
 - HTCC, LTCC

**Aerosol- und Inkjet-Printing**

**Dünnschicht-technologie**

**Elektrochemische Bearbeitung**

**Galvanik**

**Stofftrennung**

- Filtration, Pervaporation
- Dämpfepermeation
- Gastrennung
- Membranextraktion
- Membrandestillation
- Elektromembranverfahren

**Katalyse**

**Biomasse-technologie**

- Aufbereitung
- Konversion

**Photokatalyse**

**Chemische Verfahrenstechnik**

**Bauteilauslegung**

**Prototypen-fertigung**

**Verschleiß-komponenten**

**Werkzeuge**

**Optische Komponenten**

**Heizsysteme**

**Medizintechnik und Implantate**

**Filter**

**Systemdefinition und Anlagenentwicklung**

**Modellierung und Simulation**

**Konstruktion und Prototypenbau**

**Validierung/ CE-Kennzeichnung**

**Prüfstandsbaue**

**Begleitung Feldtests**

**Muster und Prototypen**

- Membranen, Filter
- Membranmodule
- Membrananlagen

**Filtrationsversuche**

- Labor, Technikum, Feld
- Pilotierung

**Modellierung und Simulation**

- Stofftransport
- Wärmetransport
- Reaktion

**Reaktorentwicklung**

**Anlagenauslegung**

**Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung**

- Gefüge und Phasen
- Mechanische und physikalische Eigenschaften
- Hochtemperatur-Eigenschaften
- Korrosion

**Bauteil- und Systemverhalten**

- Schadensanalyse
- Versagensmechanismen
- Messung und Simulation des Bauteilverhaltens
- Prüfung nach zertifizierten Normen und Prüfungen außerhalb des Normenbereichs

**Technologien**

- Mikro- und Nanoanalytik
- Ultraschall
- HF-Wirbelstrom
- Optische Methoden
- Röntgenverfahren

**Komponenten, Systeme und Services**

- Sensoren und Sensornetzwerke
- Prüfköpfe und Prüfsysteme
- Structural Health Monitoring
- Datenanalyse und Simulation
- Biomedizinische Sensorsysteme
- Prüfung nach zertifizierten Normen und Prüfungen außerhalb des Normenbereichs

**Bauteilverhalten, Zuverlässigkeitsanalyse, Lebensdauer- und Qualitätsmanagement, Kalibrierung**

# DAS FRAUNHOFER IKTS IN ZAHLEN

## DAS FRAUNHOFER IKTS IM PROFIL

### Haushalt und Erträge

Der Gesamthaushalt übersteigt mit einem Volumen von 55,5 Mio. Euro das Niveau des Vorjahres um 2,1 Mio. Euro. Dabei wurden 3,1 Mio. Euro in die Ausstattung investiert. Der Sachaufwand ist um 1 Mio. Euro auf 19,3 Mio. Euro gestiegen. Insgesamt wurden 42,3 Mio. Euro an externen Erträgen eingeworben, davon 19,6 Mio. Euro direkt von der Industrie. Projekte im Wert von 5,2 Mio. Euro wurden aus dem Ausland beauftragt. Schwerpunkte liegen hier in Indien, China, Japan und den USA, die gemeinsam etwa die Hälfte des Auslandsindustrienertrags ausmachen. Erfreulicherweise ist die Finanzierung von Projekten mit Landesförderung sowohl in Thüringen (0,64 Mio. Euro) als auch in Sachsen (3,3 Mio. Euro) um insgesamt 28 % angestiegen. Mit der Übernahme der Gebäudekomplexe Maria-Reiche-Straße, Dresden durch die Fraunhofer-Gesellschaft ist 2017 die Basis für umfangreiche Ausbaurbeiten am Standort gelegt worden. Schwerpunkt der Gebäudeinvestitionen 2018 werden Brandschutzsanierungen sein. Im Rahmen kleiner Baumaßnahmen in der Winterbergstraße, Dresden wurden Laborflächen für die Bereiche Strukturkeramik und Funktionskeramik erweitert. Insgesamt sind 2017 an den drei Standorten zusätzlich zum oben genannten Haushalt Baumaßnahmen im Wert von 597 000 Euro ausgeführt worden. Der Anteil des EU-Projektvolumens ist um 350 000 Euro gestiegen. Die Vernetzung des IKTS wird erfolgreich weiter betrieben. Notwendige verwaltungstechnische Anpassungen erhöhen den organisatorischen Aufwand. Eine bleibende Herausforderung ist die unterschiedliche Kostenrechnung der verschiedenen Fördermittelgeber. Hieraus entstehen Unsicherheiten bei der Bestimmung abrechenbarer Kosten und damit bei der Finanzplanung.

### Personalentwicklung

Insgesamt werden an den drei Standorten 680 Mitarbeiter beschäftigt. Insbesondere die vielen jungen Mütter und Väter nutzen dabei die Option einer Teilzeitbeschäftigung. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die verschiedenen Gruppen als Vollzeitäquivalente dargestellt. Neben den 220 Wissenschaftlerstellen

arbeiten 21 Doktoranden – und damit sechs mehr als im Vorjahr – an ihren spezifischen Forschungsthemen. Auch die Anzahl der Auszubildenden ist mit 14 um drei Stellen gewachsen. Das Unterstützungsprogramm für syrische Flüchtlinge wird seit 2017 genutzt, um einen wichtigen Beitrag zur Integration zu leisten. Zunehmend werden hier vielversprechende Bewerbungen erwartet. Die Perspektive für 2018 ist insgesamt sehr gut. Die Personalentwicklungsplanung gerät nicht nur für die Doktoranden in den Vordergrund. Auch für andere Bereiche werden die Möglichkeiten für eine Fachkarriere geschaffen. Persönliche Karriereziele sollen gefördert und dabei gleichzeitig eine transparente Personalpolitik verfolgt werden.

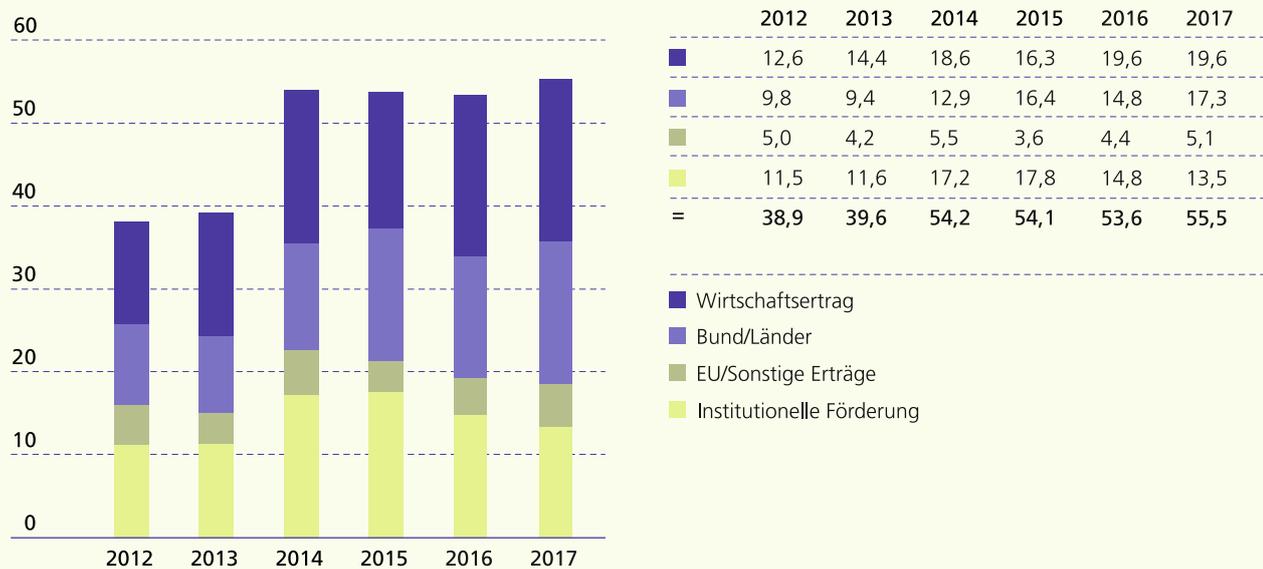
### Erweiterung der Forschungsbasis

Im klassischen Arbeitsfeld des IKTS ist der Bereich der Rohstoffaufbereitung strategisch ausgebaut worden. Speziell für die Kooperation mit mittelständischen Unternehmen wurde die Kapazität und technologische Basis der Sprühtrocknung erweitert, um noch gezielter verschiedene Werkstoffgruppen verarbeiten zu können. Dies ermöglicht weitere Projekte im Bereich der Oxid-, Nichtoxid- und Hartmetallwerkstoffe. Im Rahmen der Landesförderung Thüringen wird am Standort Hermsdorf eine Syntheseanlage errichtet, die neue Möglichkeiten für die Werkstoffentwicklung von der Strukturkeramik bis zur Batterieentwicklung schafft. Die Kapazität der Sintertechnologie wird in Dresden weiter ausgebaut. Speziell der Bereich der nichtoxidischen Werkstoffe verfügt ab 2018 über neue Ofensysteme. Dies stärkt die technologische Kette vom Rohstoff bis zum Prototypen. Für Expositionstests und elektrochemische In-situ-Untersuchungen in der Tiefengeothermie steht ein TÜV-geprüfter mobiler Teststand zur Verfügung, der auch die Evaluierung neuer Werkstoffe für die Öl- und Gasbranche und den Tiefseeinsatz ermöglicht. Am Standort Maria-Reiche-Straße, Dresden wurde in neue Kamerasysteme für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung investiert. Der Bereich der Batterie- und Energieforschung wird planmäßig 2018 ausgebaut. Die notwendigen Evaluierungen neuer Gebäude im Raum Braunschweig sind 2017 erfolgt.



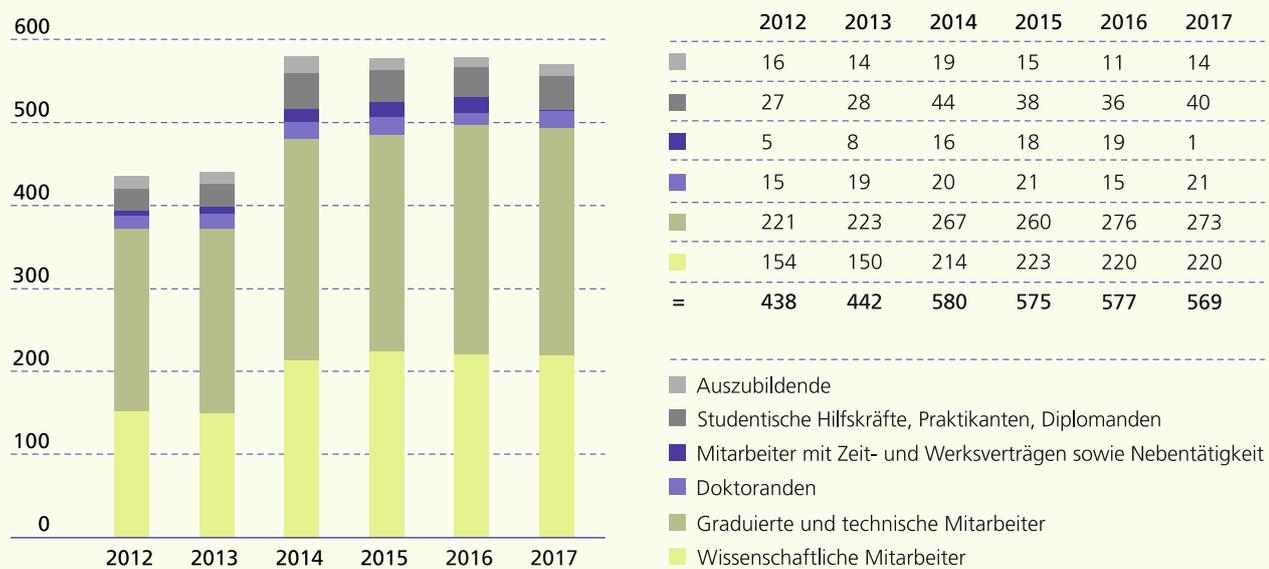
1

### Entwicklung des Gesamthaushalts des Fraunhofer IKTS (in Millionen Euro) in den Haushaltsjahren 2012 bis 2017



### Entwicklung des Personalbestands des Fraunhofer IKTS

Mitarbeiterzahl 2012 bis 2017, Vollstellenäquivalente Personalstruktur zum 31.12. des jeweiligen Jahres



1 Die Institutsleitung des IKTS, v.l.n.r.: Prof. Alexander Michaelis, Prof. Michael Stelter, Dr. Ingolf Voigt, Dr. Christian Wunderlich, Dr. Michael Zins.

# ORGANIGRAMM

## Institutsleiter

Prof. Dr. habil. Alexander Michaelis

## Stellvertretender Institutsleiter / Verwaltungsleiter

Dr. Michael Zins

## Stellvertretender Institutsleiter / Marketing und Strategie

Prof. Dr. Michael Stelter

## Stellvertretender Institutsleiter

Dr. Ingolf Voigt

## Stellvertretender Institutsleiter

Dr. Christian Wunderlich

## Werkstoffe

### Nichtoxidkeramik

Dipl.-Krist. Jörg Adler

- Nitridkeramik und elektrisch funktionelle Strukturkeramik
- Carbidkeramik und Filterkeramik

### Oxidkeramik

Dr. Sabine Begand

- Werkstoffsynthese und Werkstoffentwicklung
- Pilotfertigung hochreine Keramik
- Oxid- und polymerkeramische Komponenten\*

### Verfahren und Bauteile

Dr. Hagen Klemm

- Pulvertechnologie
- Formgebung
- Bauteilentwicklung
- Finishbearbeitung

\* zertifiziert nach DIN EN ISO 13485

## Sintern und Charakterisierung / Zerstörungsfreie Prüftechnik

Dr. habil. Mathias Herrmann

- Thermische Analyse und Thermophysik\*
- Wärmebehandlung
- Keramografie und Phasenanalyse

## Umwelt- und Verfahrenstechnik

### Nanoporöse Membranen

Dr. Hannes Richter

- Zeolithmembranen und Nanokomposite
- Kohlenstoffbasierte Membranen
- Membranmuster

### Hochtemperaturseparation und Katalyse

Dr. Ralf Kriegel

- Hochtemperaturmembranen und -speicher
- Katalyse und Materialsynthese

### Biomassetechnologien und Membranverfahrenstechnik

Dr. Burkhardt Faßauer

- Biomassekonversion und Wassertechnologie
- Mischprozesse und Reaktoroptimierung
- Membranverfahrenstechnik und Modellierung
- Technische Elektrolyse und Geothermie

### Chemische Verfahrenstechnik

PD Dr. Matthias Jahn

- Modellierung und Simulation
- Systemverfahrenstechnik

## Standorte des Fraunhofer IKTS

Hauptsitz Dresden-Gruna, Sachsen

Standort Dresden-Klotzsche, Sachsen

Standort Hermsdorf, Thüringen

Projektgruppe Berlin

## Applikationszentren

Batterietechnik, Pleiße, Sachsen

Bioenergie, Pöhl, Sachsen

Bio-Nanotechnologie-Anwendungslabor BNAL, Leipzig, Sachsen

Membrantechnik, Schmalkalden, Thüringen

Foliengießzentrum, Hermsdorf, Thüringen

### Technische Universität Dresden

ifWW – Anorganisch-Nichtmetallische Werkstoffe

IAVT – Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik

IFE – Institut für Festkörperelektronik

DCN – Dresden Center for Nanoanalysis

### Friedrich-Schiller-Universität Jena

Technische Umweltchemie

### Iowa State University

Aerospace Engineering

Prof. Dr. habil. Alexander Michaelis

Prof. Dr. Henning Heuer

Prof. Dr. habil. Thomas Härtling

Prof. Dr. habil. Ehrenfried Zschech

Prof. Dr. Michael Stelter

Prof. Dr. habil. Norbert Meyendorf

- Pulver- und Suspensionscharakterisierung\*
- Labor für Qualität und Zuverlässigkeit\*, Mechanisches Labor
- Chemische und Strukturanalyse
- Hartmetalle und Cermets
- Akkreditiertes Prüfzentrum\*      \* akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025

### Elektronik und Mikrosystemtechnik

#### Intelligente Materialien und Systeme

Dr. Holger Neubert

- Multifunktionale Werkstoffe und Bauteile
- Angewandte Werkstoffmechanik und Festkörperwandler
- Systeme für Zustandsüberwachung

### Energiesysteme / Bio- und Medizintechnik

#### Werkstoffe und Komponenten

Dr. Mihails Kusnezoff

- Fügetechnik und AVT
- Hochtemperatur-Elektrochemie und Katalyse
- Keramische Energiewandler
- Werkstoffe MCFC

#### Systemintegration und Technologietransfer

Dr. Roland Weidl

- Systemkonzepte
- Validierung
- Funktionelle Trägersysteme und Schichten
- Stationäre Energiespeicher
- Dünnschicht-Technologien
- Elektrolyte und Musterbauteile

#### Bio- und Nanotechnologie

Dr. Jörg Opitz

- Biologische Materialanalytik
- Charakterisierungsverfahren
- Biodegradation und Nanofunktionalisierung

#### Energiespeicher und Elektrochemie

Dr. Mareike Wolter

- Elektrochemie
- Zellkonzepte
- Elektrodenentwicklung
- Elektrochemische Energiespeicher und Wandler

#### Hybride Mikrosysteme

Dr. Uwe Partsch

- Dickschichttechnik und Photovoltaik
- Mikrosysteme, LTCC und HTCC
- Funktionswerkstoffe für hybride Mikrosysteme
- Systemintegration und AVT
- Keramische Folien

#### Elektronikprüfung und Optische Verfahren

Dr. Mike Röllig

- Optische Prüfverfahren und Nanosensorik
- Speckle-basierte Verfahren
- Zuverlässigkeit von elektronischen Mikrosystemen

#### Prüf- und Analysesysteme

Prof. Dr. Henning Heuer

- Elektronik für Prüfsysteme
- Software für Prüfsysteme
- Wirbelstromverfahren
- Ultraschallsensoren und -verfahren
- Maschinelles Lernen und Datenanalyse

#### Mikroelektronik und Nanoanalytik

Prof. Dr. habil. Ehrenfried Zschech

- Mikro- und Nanoanalytik
- Materialien und Zuverlässigkeit für die Mikroelektronik

#### Projektgruppe Berlin

Dipl.-Ing. Ralf Schallert



## DAS FRAUNHOFER IKTS IM PROFIL

# KURATORIUM

Durch den Präsidenten der Fraunhofer-Gesellschaft sind folgende Personen in das Kuratorium des Fraunhofer IKTS berufen:

**Dr. A. Beck**

Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, Dresden

Leiterin des Referats 43

»Bund-Länder-Forschungseinrichtungen«

**Dipl.-Ing. R. Fetter**

Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft, Erfurt  
Referat 54 »Institutionelle Forschung«

**Dr. habil. M. Gude**

Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz, Erfurt  
Leiter der Abteilung »Energie und Klima«

**Dr. P. Heilmann**

arXes Information Design Berlin GmbH, Berlin  
Geschäftsführer

**A. Heller**

Landrat des Saale-Holzland-Kreises, Eisenberg

**Dr. W. Köck**

Plansee SE, Reutte  
Geschäftsführender Direktor

**A. Krey**

Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen mbH, Erfurt  
Geschäftsführer

**Dr. R. Lenk**

CeramTec GmbH, Plochingen  
Vice President R&D

**Dr. C. Lesniak**

3M Technical Ceramics, Zweigniederlassung der 3M Deutschland GmbH, Kempten  
Senior Laboratory Manager

**Dr. H. H. Matthias**

TRIDELTA GmbH, Hermsdorf  
Geschäftsführer

**Dr. R. Metzler**

Rauschert GmbH, Pressing  
Geschäftsführer

**Dipl.-Ing. P. G. Nothnagel**

Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH, Dresden  
Geschäftsführer

**M. Philipps**

Endress + Hauser GmbH & Co. KG, Maulburg  
Bereichsleiter Sensorik

**Dr.-Ing. W. Rossner**

Ehem. Siemens AG, Holzkirchen

**Dr. K.-H. Stegemann**

X-FAB Dresden GmbH & Co. KG, Dresden  
Manager Business Development

**Dr. D. Stenkamp**

TÜV Nord AG, Hannover  
Mitglied des Vorstands

**MR C. Zimmer-Conrad**

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Dresden

Leiter des Referats 37 »Innovationspolitik, Technologieförderung«

# 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. Mehr als 25 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,3 Mrd. Euro. Davon fallen knapp zwei Mrd. Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 % dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 30 % 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.

Fraunhofer-Standorte in Deutschland



# RETROSPEKTIVE



Das Fraunhofer IKTS präsentierte sich 2017 auf 35 Messen im In- und Ausland und als Veranstalter mehrerer wissenschaftlicher Kongresse sowie bei verschiedenen Events für die breite Öffentlichkeit. Erfolgreich war das Jahr in Hinblick auf die weitere internationale Vernetzung des Instituts. Zudem wurden IKTS-Forscher mit renommierten Auszeichnungen geehrt.

17.–18. Januar 2017

**Vision Keramik | Dr. Bärbel Voigtsberger gewürdigt** 1

Auf der zehnten »Vision Keramik« diskutierten 110 Teilnehmer im Thüringischen Hermsdorf neue keramische Entwicklungen und Anwendungstrends in Energie- und Umwelttechnik, Medizintechnik sowie Mikro- und Nanotechnik. Die präsentierten Applikationsfelder reichten von der Energieerzeugung und -speicherung, Aufbereitung von Industrieabwässern, Effizienzsteigerung von Verbrennungsprozessen, Sensorsystemen bis hin zu dentalkeramischen Komponenten. Darüber hinaus wurden die Potenziale der additiven Fertigung sowie von keramischen Fasern und Verbundwerkstoffen für neuartige Hightech-Produkte

aufgezeigt. Im besonderen Maße war die »Vision Keramik 2017« Dr. Bärbel Voigtsberger und ihrem visionären Wirken für das Fraunhofer IKTS, den Keramikstandort Hermsdorf und die Deutsche Keramische Gesellschaft e. V. (DKG) gewidmet. Sie wurde für ihr Lebenswerk mit der Fraunhofer-Medaille geehrt.

14.–16. März 2017

**JEC World | CFK-Werkstoffprüfung in Echtzeit**

Auf der führenden Fachmesse für Verbundwerkstoffe »JEC World« wurde EddyCus® PolarLab demonstriert. Das Wirbelstromsystem misst und bewertet multiaxiale Kohlefaserstrukturen und damit die mechanische Festigkeit von Leichtbauteilen in Echtzeit. Werkstoffe aus Kohlefaserkompositen (CFK) werden in komplexen Verfahren produziert. Um Fertigungsfehler im unverharteten oder auch konsolidierten Zustand aufzudecken, bedarf es daher effektiver zerstörungsfreier Prüflösungen. Die EddyCus®-Prüfgeräte setzen neue Standards in Bezug auf Flexibilität und Präzision.



15. März 2017, 20. November 2017

**Early Morning Science mit Fraunhofer | Pressefrühstück**

Von keramischem Knochenersatz bis zur Sensortechnik für eine sichere Luftfahrt – beim Pressefrühstück am 15. März und 20. November präsentierten Forscher des Fraunhofer-Instituts-zentrums Dresden Medienvertretern von Lokal- und Fachmedien ihre neusten Forschungshighlights. In kurzen Impulsen stellten die Experten der vier Fraunhofer-Institute IKTS, FEP, IWS und IFAM ihre Entwicklungen vor und erläuterten deren Anwendungspotenziale für die Industrie. Journalisten vor Ort hatten zudem die Gelegenheit zu individuellen Interviews und einem Blick ins Labor. Interessierte konnten die Veranstaltung auch im Live-Stream via Periscope, Twitter oder Facebook mitverfolgen und live Fragen stellen. Weitere Presse-Veranstaltungen sind für 2018 geplant.

22. März 2017

**Dresdner Kindergartenkinder besuchen IKTS** 2

Ungewöhnliche Gäste kündigten sich im März am IKTS in Dresden-Klotzsche an: Die große Gruppe der Kita »Pfiffikus« besuchte im Rahmen ihres Vorschulprogramms das Institut. Im Technikum der Arbeitsgruppe »Systeme für Zustandsüberwachung« erhielten die Kinder Einblicke in die Arbeit an einer Forschungseinrichtung und lernten die Berufe des Technikers und Wissenschaftlers kennen. Kinder und Erzieher waren so begeistert, dass das Programm 2018 fortgesetzt wird.

2.–5. April 2017

**EuroSimE | Internationales Mikroelektronik-Treffen** 3

Zum 18. Mal trafen sich internationale Elektronik- und Mikroelektronik-Experten zur »International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems«, die in diesem Jahr das IKTS veranstaltete. Mehr als 160 Teilnehmer aus 21 Ländern folgten der Einladung nach Dresden und informierten sich in 80 parallel

stattfindenden Vorträgen zu Grundlagenforschung und industriellen Anwendungen in diesen Bereichen. Workshops, Poster- und Panelsession sowie eine Industrieausstellung rundeten das Programm ab. Die 19. EuroSimE findet 2019 in Toulouse statt.

8. April 2017

**Tag der offenen Tür im Fraunhofer IKTS in Hermsdorf**

Unter dem Motto »Forschung an Hochleistungskeramik erleben« öffnete das IKTS in Hermsdorf am 8. April seine Türen. An 14 Stationen informierten sich 350 interessierte Besucher aus ganz Thüringen beispielsweise über keramische Filtermembranen, Möglichkeiten der Energiespeicherung mit Keramik, Polymer- oder Biokeramik, Foliengießen und Plasmaspritzen. Darüber hinaus gewährte die Haustechnik Einblicke in die Anlagen der Lüftungs- und Kältetechnik, die den Betrieb des Forschungsinstituts erst möglich machen. Den Rahmen der Veranstaltung bildete der »Tag des Thüringer Porzellans«, an dem sich 18 weitere Einrichtungen wie Manufakturen, Institute und Museen beteiligten.

24.–28. April 2017

**Hannover Messe | Keramiklösungen für die Industrie** 4

Auch 2017 war das Fraunhofer IKTS wieder erfolgreich auf der weltgrößten Industriemesse mit drei Ständen vertreten. In Halle 2 »Research and Technology« präsentierte das IKTS beispielsweise, wie Strom als Rohstoff zur Erzeugung hochwertiger Chemikalien genutzt werden kann. Im Bereich »Industrial Supply« in der Halle 6 zeigte das IKTS eine Auswahl keramischer Produkte und Systeme, wie zuverlässige stationäre Batterien, robuste 3D-gedruckte Mikroreaktoren oder poröse Keramiken, die als Problemlöser bei gefährlichen Metallschmelzprozessen fungieren. Am Stand begrüßte das IKTS den Sächsischen Staatsminister Martin Dulig. Über erfolgreiche Kooperationen im Bereich der Brennstoffzellensysteme, z. B. mit der Firma CONVION Ltd., informierte das IKTS in Halle 27: Das bereits im März in Betrieb genommene C50 Biogas-System, das auf der HMI vorgestellt wurde, weist eine sehr gute Gesamteffizienz von 82 % auf.



## RETROSPEKTIVE

Herzstück darin ist der vom Fraunhofer IKTS und Plansee SE entwickelte MK351-Brennstoffzellenstack.

4. Mai 2017

### agra-Innovationspreis für Molke-Recyclingverfahren

Das IKTS-Team um André Wufka hat gemeinsam mit der Sachsenmilch Leppersdorf GmbH und der wks Technik GmbH aus Dresden ein Verfahren entwickelt, mit dem Reststoffe aus der Milchverarbeitung fast vollständig stofflich und energetisch nutzbar gemacht werden können. Diese Prozesskette ermöglicht so die Schließung produktionsinterner Stoff- und Energiekreisläufe. Neben dem zurückgewonnenen Wasser und der Erzeugung regenerativer Energie leistet das Verfahren auch einen wichtigen Beitrag zum Recycling wertvollen Phosphors. In knapp dreijähriger Entwicklungsarbeit – gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft BMEL – konnte dieses neuartige Verfahren realisiert werden, welches am 4. Mai mit dem »agra-Preis der Innovation« in der Kategorie Ernährungswirtschaft ausgezeichnet wurde.

29.–31. Mai 2017

### Fraunhofer-Forschungspreis für IKTS

Die 16 Fraunhofer-Institute der neuen Bundesländer feierten auf der Fraunhofer-Jahrestagung in Dresden ihr 25-jähriges Bestehen. In einer interaktiven Wissenschaftsausstellung präsentierten sie wichtige Meilensteine und Zukunftsprojekte. Im Beisein von Bundesforschungsministerin Prof. Johanna Wanka, dem Sächsischen Ministerpräsidenten Stanislaw Tillich und Fraunhofer-Präsident Prof. Reimund Neugebauer erhielten die IKTS-Wissenschaftler Dr. Hannes Richter, Petra Puhlfürß und Dr. Ingolf Voigt am 29. Mai im Rahmen eines Festakts mit 500 geladenen Gästen im Dresden Congress Center den Fraunhofer-Forschungspreis 2017 für die Entwicklung von keramischen Nanofiltrationsmembranen für eine nachhaltige Wasseraufbereitung. Unter dem Motto »#real\_digital: Forschung (er)leben« konnten auch Passanten in der Dresdner Altstadt am Abend des

30. Mai erleben, wie Wissenschaft die Welt verändert. Licht- und Laserprojektionen verwandelten die historischen Fassaden in Szenenflächen, in denen Schauspieler historische Hintergründe der Stadt Dresden, relevante Forschungsthemen und die Fraunhofer-Gesellschaft präsentierten.

30. Mai–1. Juni 2017

### Sensor+Test | Minisensor warnt vor Explosionsrisiken

Er ist kleiner als eine Ein-Euro-Münze und leistet Großes: Der auf der Sensor+Test präsentierte robuste, autarke Flammenionisationsdetektor wird für die lückenlose Überwachung und Erfassung von Prozessdaten in harschen Industrieumgebungen eingesetzt. Er dient z. B. dem Explosionsschutz in Kanalisationsnetzen, der Emissionsüberwachung in Verbrennungsanlagen oder der Prozessanalyse in der chemischen Industrie. Die Entwicklung wurde für den im Rahmen der Messe verliehenen, renommierten AMA-Innovationspreis 2017 nominiert.

16. Juni 2017

### Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften

Die »eine Nacht, die Wissen schafft« feierte Rekorde: Auf Einladung des Netzwerks »Dresden – Stadt der Wissenschaften« nutzten am 16. Juni mehr als 38 000 Besucher die Gelegenheit, Forschung an den Dresdner Hochschulen, Forschungseinrichtungen und wissenschaftsnahen Unternehmen hautnah zu erleben und selbst auszuprobieren. Im Fraunhofer IKTS informierten sich rund 2100 große und kleine Besucher an 14 Stationen unter anderem über keramische Wasserfilter, Sensoren, 3D-gedruckte Implantate und Lichtkonverter. Bei einer Führung durch unsere Umwelttechnik-Labore konnte das Badezimmer eines schwimmenden Hauses mit autarkem Wasser-Abwasser-Kreislauf besichtigt werden. Kinder vergoldeten Centstücke, probierten den Siebdruck aus und sahen bei der Herstellung von Zuckerglas-Lollis zu. Dresdenweit fanden in dieser Nacht 670 Veranstaltungen an 151 Veranstaltungsorten statt.



## RETROSPEKTIVE

26.–29. Juni 2017

### Laser World of Photonics | Keramiken für langlebige LEDs

Eine enorme Lichtausbeute, Langlebigkeit und niedrige Herstellkosten – die am IKTS entwickelte lichtkonvertierende Keramik erfüllt die hohen Anforderungen für den Einsatz als Chip und hermetisches Gehäuse in High-Power-LEDs und Lasersystemen. Vergilbung oder frühes Altern, wie es bei konventionell verwendeten Kunststoffen auftritt, wird mit der auf der Laser World of Photonics vorgestellten neuartigen Weißlicht-Konverterkeramik verhindert.

12. Juli 2017

### Prof. Michaelis zum Fellow of ECerS ernannt

Prof. Alexander Michaelis, Institutsleiter des Fraunhofer IKTS, wurde zum »Fellow of ECerS« ernannt. Mit dieser Auszeichnung ehrt die European Ceramic Society ECerS alle zwei Jahre Persönlichkeiten, die sich in Wissenschaft, Ausbildung oder Industrie um die Keramikwissenschaft in Europa verdient gemacht haben. Die Verleihung fand auf der 15. ECerS-Konferenz in Budapest statt.

13.–15. September 2017

### ISPA | Piezoceramic innovations – smartly done

Piezokeramiken kombiniert mit Elektronik-, Funktions- und Strukturwerkstoffen ermöglichen smarte Lösungen für Luft- und Raumfahrt, Ultraschall- und Sensorikanwendungen sowie Energie und Forschungsdienstleistungen. Auf dem siebten »International Symposium on Piezocomposite Applications ISPA« im IKTS in Dresden diskutierten 65 Ingenieure, Designer und Führungskräfte aus neun Nationen Forschungsergebnisse, Marktanforderungen und Rahmenbedingungen für einen optimalen Technologietransfer piezokeramischer Innovationen. Weiterhin wurden Ergebnisse aus dem Innovationscluster «smart<sup>3</sup> | materials – solutions – growth» vorgestellt, das im Rahmen

des Programms Zwanzig20 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert wird. Die begleitende Industrieausstellung lud zum Austausch über neue Produkte und Dienstleistungen ein. Die nächste ISPA findet 2019 statt.

18.–20. September 2017

### Dresden Battery Days | Batterien für die Zukunft 3

Elektrochemische Speichertechnologien spielen eine zentrale Rolle für die Energiewende. Auf den zweiten Dresden Battery Days tauschten sich knapp 100 internationale Experten aus über die aktuelle Forschung und Entwicklung von Festkörperbatterien, Fragestellungen zur Fertigung sowie über Aspekte der zukünftigen Systemintegration. Händler und Hersteller präsentierten ihre neuen Entwicklungen im Rahmen einer Industrieausstellung. Das Symposium findet alle zwei Jahre in Dresden statt. 2018 treffen sich die Experten in Graz.

20. September 2017

### IKTS intensiviert Kooperation mit Südkorea 4

Im Beisein der sächsischen Staatsministerin für Wissenschaft und Kunst Dr. Eva-Maria Stange und Dr. Robert Franke, Leiter des Amtes für Wirtschaftsförderung der Stadt Dresden, wurde am 20. September im südkoreanischen Changwon das Korea-Germany Materials Center (KGMC) gegründet. Mit diesem gemeinsamen Materialforschungszentrum wollen das Fraunhofer IKTS, das Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik ILK der TU Dresden sowie das Korea Institute of Materials Science KIMS neue Werkstoffsysteme, Fertigungsverfahren sowie Prüf- und Validierungsverfahren für den Leichtbau entwickeln und der Industrie verfügbar machen. Als Startprojekt betreiben das IKTS und das KIMS zunächst gemeinsam ein Prüfzentrum. Darüber hinaus arbeiten beide Forschungsinstitute an weiteren Themen, wie der Zustandsüberwachung von Windkraftanlagen und der additiven Fertigung von Keramik.



## RETROSPEKTIVE

24.–26. September 2017

### ICBM 12 | Barkhausen-Effekt in der Materialprüfung 1

Vor 100 Jahren entdeckte Prof. Heinrich Barkhausen den nach ihm benannten Effekt. Grund genug, die 12. »International Conference on Barkhausen Noise and Micromagnetic Testing« in 2017 nach Dresden zu holen. An der Wirkungsstätte Barkhausens diskutierten fast 70 Teilnehmer aus 19 Ländern industrielle Anwendungen dieses magnetischen Effekts in der zerstörungsfreien Materialprüfung sowie neue Entwicklungen, Potenziale und Herausforderungen für die Zukunft.

9. Oktober 2017

### Prof. Michaelis geehrt mit ACerS Medal for Leadership 2

Prof. Bill Lee, Präsident der American Ceramic Society ACerS verlieh Prof. Alexander Michaelis die »Medal for Leadership in the Advancement of Ceramic Technology«. Mit dieser Auszeichnung würdigt ACerS Persönlichkeiten, die in leitender Funktion durch ihr visionäres Wirken wesentlich zum Erfolg ihrer Organisation und zur Förderung der Keramikindustrie beigetragen haben. Jedes Jahr werden zwei Medaillen vergeben, eine an einen amerikanischen und eine weitere an einen internationalen Preisträger.

13.–16. Oktober 2017

### Compamed | 3D-gedruckte Keramik für Medizinprodukte

Geringere Kosten, kürzere Wartezeiten und trotzdem individuell: Die werkzeugfreie additive Fertigung ist der Schlüssel zu einer personalisierten Medizin. Die Kombination keramischer Materialien und additiver Verfahren eröffnet neue Möglichkeiten für Medizinprodukte – von patientenspezifischen physikalischen Abmessungen bis hin zu Komponenten, die für spezifische Bedingungen validiert sind. Auf der Compamed präsentierte das IKTS keramische Wirbelsäulen- und Knieimplantate, Infrarotheizer zur Beschleunigung von Heilungsprozessen sowie Greifer für die minimalinvasive Chirurgie.



24. Oktober 2017

### cerAMufacturing | Erste Ergebnisse aus dem EU-Projekt

Partner des EU-Projekts »cerAMufacturing« sowie interessierte Entwickler, Hersteller und Anwender additiver Verfahren trafen sich am 24. Oktober im Fraunhofer IKTS, um erste Ergebnisse der Technologie-, Geräte- und Komponentenentwicklung für die Suspensions- und Feedstock-basierte additive Fertigung von keramischen und Multimaterial-Komponenten zu diskutieren. Insgesamt 50 Gäste folgten der Einladung nach Dresden. Im zweiten Teil des Workshops wurden verschiedene 3D-Drucker im Betrieb demonstriert. Das Forschungsprojekt fokussiert auf Anwendungen 3D-gedruckter Keramiken für die personalisierte Medizin und individualisierte Konsumgüter.

8. und 9. November 2017

### DKG-Fortbildung zu Foliengießverfahren

Zum zweiten Mal fand das DKG-Seminar »Foliengieß- und Schlitzdüsenverfahren sowie Aspekte der Folienweiterverarbeitung« am Fraunhofer IKTS in Hermsdorf statt. Im Fokus der zweitägigen Fortbildung standen die Grundlagen der Foliengießverfahren und die Weiterverarbeitung der damit produzierten Folien und Schichten zu mehrlagigen Strukturen. Die elf Teilnehmer arbeiteten praktisch an den verschiedenen Gießanlagen des neuen IKTS-Zentrums für Foliengießtechnik. Weiterführende Vorträge gingen auf die Herstellung und Verarbeitung unterschiedlicher Schlicker sowie auf die analytische Qualitätskontrolle ein.

30. November und 1. Dezember 2017

### INSECT | Elektrochemische Materialbearbeitung 3

Mittels elektrochemischer Bearbeitungstechnologien (Electrochemical Machining, ECM) lassen sich hohe Oberflächenqualitäten bei der Bearbeitung selbst hochfester und sehr spröder Materialien realisieren. Auf dem »International Symposium on ElectroChemical Machining Technology INSECT« tauschten sich



55 Experten aus ganz Europa über die neusten Erkenntnisse zu elektrochemischen Grundlagen, Werkstoffeigenschaften, Anwendungstrends und Zukunftsperspektiven des ECM aus. Einen Überblick über die neusten Produkte, Dienstleistungen und technischen Ausrüstungen erhielten die Teilnehmer während der begleitenden Industrieausstellung.

7. Dezember 2017

#### Fraunhofer treibt intelligente Landwirtschaft voran

Die Fraunhofer-Gesellschaft hat am 7. Dezember mit der portugiesischen Forschungsförderorganisation FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) in einer gemeinsamen Absichtserklärung vereinbart, die Digitalisierung von Land- und Forstwirtschaft voranzutreiben. Mithilfe digitaler Technologien sollen land- und forstwirtschaftliche Nutzflächen noch zielgerichteter und nachhaltiger bewirtschaftet werden. Hierzu bündeln die Partner ihr Know-how auf den Gebieten Informations- und Softwaretechnik, Prozess- und Energietechnologien, Sensorik sowie neue Materialien. Eine gemeinsame Taskforce unter Mitwirkung des Fraunhofer IKTS soll dafür mögliche Einsatzgebiete und Anwendungsszenarien entwickeln.

12. Dezember 2017

#### Gründung des TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V. 4

23 Hermsdorfer Unternehmen und das Fraunhofer IKTS gründeten am 12. Dezember den TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V. Der Hochtechnologie-Standort für Technische Keramik und Mikroelektronik/Mikrotechnik soll damit bei Kunden, Fachkräften und Investoren bekannt gemacht und für die Anforderungen der Globalisierung gestärkt werden. Hierfür sind als erste Schritte gemeinsame Messebeteiligungen sowie ein Webauftritt des Vereins geplant.

14. Dezember 2017

#### 25 Jahre Keramikforschung in Hermsdorf

Im Rahmen eines wissenschaftlichen Symposiums wurden am 14. Dezember im Stadthaus Hermsdorf gleich zwei Anlässe gefeiert: Das 25-jährige Bestehen des Keramikforschungsinstituts in Hermsdorf – wenn auch in unterschiedlichen Organisationsformen – und die Gründung der Standortinitiative »TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V.«. 300 geladene Gäste aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik diskutierten aktuelle Forschung- und Anwendungstrends, wie die Potenziale von Power-to-X-Technologien für eine CO<sub>2</sub>-neutrale Wirtschaft, Keramiken für langlebige Gelenkendoprothesen und keramische Membrantechnologien.

# AUS DEN GESCHÄFTSFELDERN DES FRAUNHOFER IKTS

## Werkstoffe und Verfahren



Das Geschäftsfeld ist ein zentraler Anlaufpunkt für alle Fragen rund um die Entwicklung, Herstellung und Qualifizierung von Hochleistungskeramiken für eine große Breite von Anwendungen. Im Mittelpunkt steht dabei die langjährige Erfahrung mit allen relevanten keramischen Werkstoffen und Technologien, für die je nach Anforderung eine funktionsgerechte Lösung entwickelt wird. Im Geschäftsfeld werden Fragestellungen entlang der gesamten Prozesskette bearbeitet. Es nimmt damit eine zentrale Position für alle weiteren Geschäftsfelder ein.

## Maschinenbau und Fahrzeugtechnik



Hochleistungskeramiken sind Schlüsselkomponenten im Maschinen- und Anlagenbau sowie der Fahrzeugtechnik. Sie kommen durch ihre überragenden Eigenschaften oft als einzige Lösung in Frage. Das Geschäftsfeld bietet traditionell Verschleißteile und Werkzeuge sowie spezifisch beanspruchte Bauteile aus Hochleistungskeramiken, Hartmetallen und Cermets. Einen neuen Schwerpunkt bilden Prüfsysteme für die Überwachung von Komponenten und Fertigungsanlagen auf Basis optischer, elastodynamischer und magnetischer Effekte.

## Elektronik und Mikrosysteme



Das Geschäftsfeld bietet Herstellern und Anwendern einen einzigartigen Zugriff auf Werkstoffe, Technologien und Know-how, um robuste und hochleistungsfähige Komponenten für die Elektronik zu entwickeln. Neben Sensoren und Sensorsystemen stehen leistungselektronische Bauteile und »smarte« multifunktionale Systeme im Mittelpunkt. In Verbindung mit innovativen Prüfverfahren und -systemen unterstützt das Fraunhofer IKTS entlang der gesamten Wertschöpfungskette vom Werkstoff bis zur Integration komplexer Elektroniksysteme.

## Energie



Keramische Werkstoffe und Technologien sind Grundlage für verbesserte und grundlegend neue Anwendungen in der Energietechnik. Das Fraunhofer IKTS entwickelt, baut und testet dafür innovative Komponenten, Module und komplette Systeme. Einen Schwerpunkt bilden dabei keramische Festkörper-Ionenleiter. Die Anwendungen reichen von elektrochemischen Energiespeichern und Brennstoffzellen über Solarzellen, Energy-Harvesting-Modulen und thermischen Energiesystemen bis hin zu Lösungen für bioenergetische und chemische Energieträger.

## Umwelt- und Verfahrenstechnik



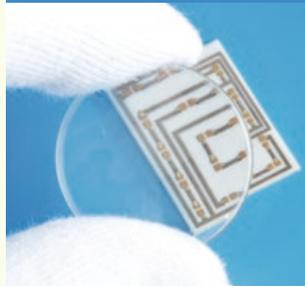
■ Zur sicheren, effizienten sowie umwelt- und klimaschonenden Umwandlung von Stoffen und Energieträgern entwickelt das Fraunhofer IKTS innovative Werkstoffe, Technologien und Systeme. Im Mittelpunkt stehen dabei Prozesse im Bereich konventioneller und Bioenergien, Strategien und Verfahren zur Wasser- und Luftreinigung und -reinigung sowie zur Rückgewinnung von werthaltigen Rohstoffen aus Reststoffen. Keramische Membranen und Katalysatoren ermöglichen neue Reaktorkonzepte für die chemische Industrie.

## Bio- und Medizintechnik



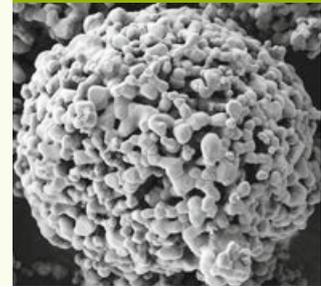
■ Das Fraunhofer IKTS macht sich die hervorragenden Eigenschaften keramischer Werkstoffe für die Entwicklung dental- und endoprothetischer Implantate sowie chirurgischer Instrumente zu Nutze. In bestens ausgestatteten und zertifizierten Laboren werden die Wechselwirkungen zwischen biologischen und künstlichen Materialien untersucht und in verbesserte Werkstoff-, Analytik- und Diagnostikentwicklungen überführt. Dafür stehen teilweise einzigartige optische, akustische und bioelektrische Verfahren zur Verfügung.

## Optik

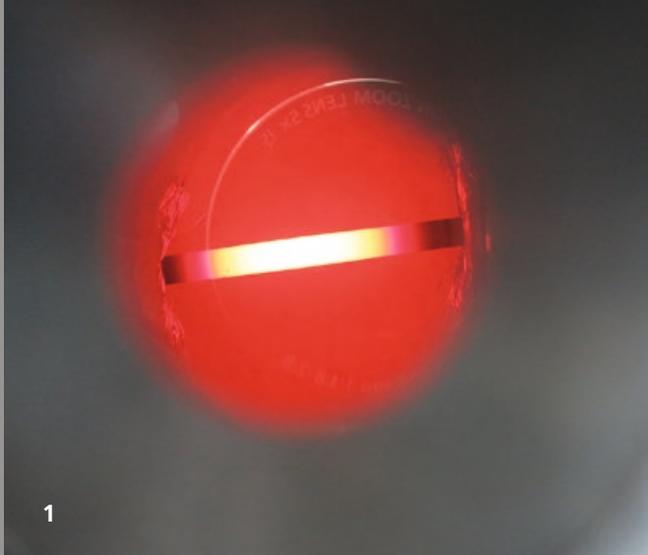


■ Das Fraunhofer IKTS entwickelt keramische Werkstoffe und Komponenten für Photonik, Beleuchtungsanwendungen und ballistischen Schutz. Dabei greifen Phasensynthese, Werkstoff- und Technologiekompetenz eng ineinander, um innovative Leuchtstoffe, aktive Optokeramiken, optische oder ästhetische Elemente sowie transparente Schutzkeramiken zu realisieren. Optische Technologien kommen darüber hinaus in Mess- und Diagnosesystemen für Medizin, Life Science und Industrie zum Einsatz.

## Material- und Prozessanalyse



■ Das Fraunhofer IKTS bietet ein umfassendes Portfolio an Test-, Charakterisierungs- und Analysemethoden für Materialeigenschaften und Produktionsprozesse. Als zuverlässiger, mehrfach akkreditierter und audierter Dienstleister unterstützt das Fraunhofer IKTS bei der Untersuchung werkstoffwissenschaftlicher Grundlagen, anwendungsspezifischer Fragestellungen sowie messtechnischer Entwicklungen. Kennwerte werden dabei nicht nur ermittelt, sondern auch in ihrem jeweiligen Anwendungskontext interpretiert, um Optimierungspotenziale aufzuzeigen.



# ZIRKONCARBID-WERKSTOFFE FÜR ULTRA-HOCH-TEMPERATUR-ANWENDUNGEN BIS 2000 °C

Dipl.-Ing. Katrin Schönfeld, Dr. Hans-Peter Martin

Zirkoncarbide (ZrC) gehört zu den metallähnlichen Keramiken. Es verfügt – wie nur wenige andere Werkstoffe – über eine sehr gute Vakuumstabilität bei sehr hohen Temperaturen bis 2000 °C und ist extrem hitzestabil ( $T_s > 3500$  °C). Es kann daher als hochrefraktärer, d. h. thermisch unempfindlicher Werkstoff eingesetzt werden.

Unter nichtoxidierenden Atmosphären bietet ZrC einen herausragenden Schutz gegen die chemische und thermische Korrosion von Anlagenkomponenten. Dennoch wird es bisher selten eingesetzt, da die Herstellung von großformatigen und dichten ZrC-Werkstoffen technisch schwierig ist. Mit einer kostengünstigen und zuverlässigen Herstellungstechnologie, wäre dieser Werkstoff eine in jeder Hinsicht attraktive Alternative zu vielen Refraktärmetallen.

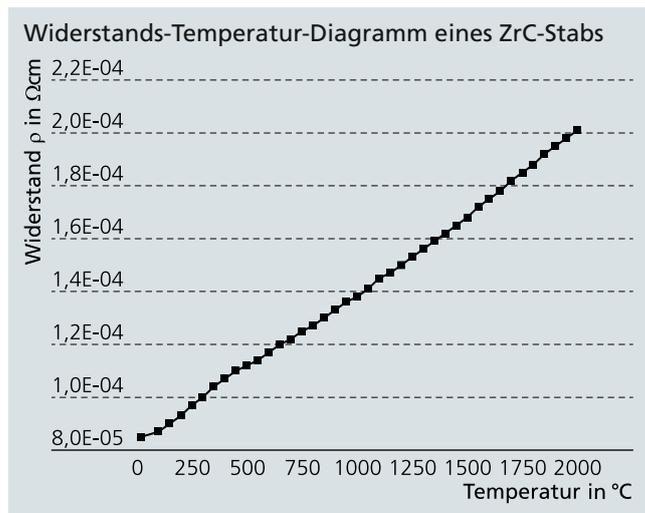
Am Fraunhofer IKTS wurde nun ein Verfahren entwickelt, mit dem erstmals dichte ZrC-Werkstoffe in unterschiedlichen Geometrien über die drucklose Sinterung kostengünstig realisiert werden können. In Verbindung mit einer abgestimmten Pulveraufbereitung ermöglicht die Technologie auch die Herstellung großformatiger Komponenten. Das Verfahren wurde beim Deutschen Patentamt angemeldet (DE 10 2015 204 269).

Erste realisierte Komponenten sind Rohre mit einer Länge von > 250 mm. Ebenso lassen sich Platten und Stäbe erzeugen. Solche Bauteile können als elektrische Heizleiter, thermischer Schutz, Fluidleitungen oder Konstruktionselemente für Hochtemperatur-Anwendungen eingesetzt werden.

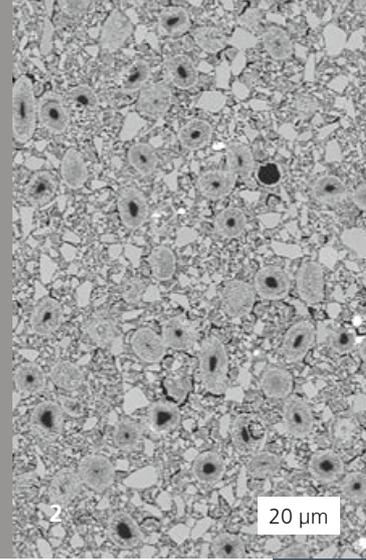
Bisherige Tests bestätigen den Bauteilen einen stabilen elektrischen Widerstand bis 2000 °C, hohe thermische Stabilität, hohe mechanische Festigkeit sowie eine für Keramikwerkstoffe typische Bruchzähigkeit. Mit einem neuen Prüfstand wird derzeit die Vakuumstabilität bis 2000 °C untersucht.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung und Herstellung von ultra-hochtemperaturbeständigen Keramiken (UHTC)
- Charakterisierung von UHTC bis 2000 °C



- 1 Direktheizung eines ZrC-Stabs.
- 2 ZrC-Rohre mit Heizleitergeometrie.



# ADDITIVE FERTIGUNG VON KERAMISCHEN BAUTEILEN ÜBER FUSED-FILAMENT-FABRICATION

Dipl.-Ing. Johannes Abel, Dipl.-Ing. Uwe Scheithauer, Dr. Hagen Klemm, Dr. Tassilo Moritz

Hochleistungskeramiken werden in Industrie, Forschung und im Konsumgüterbereich bereits vielseitig eingesetzt. Dabei steigt der Bedarf an komplexen Geometrien mit vielfältigen Individualisierungsmöglichkeiten und günstigen Herstellungsverfahren kontinuierlich.

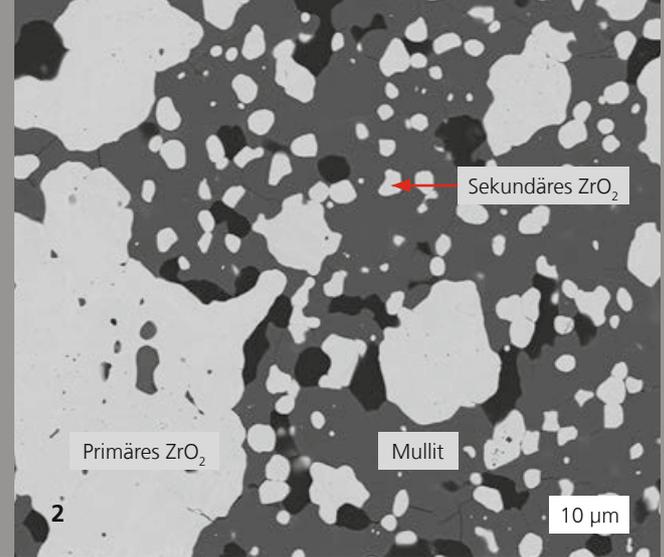
Mit Hilfe des additiven Formgebungsverfahrens Fused-Filament-Fabrication (FFF) ist es möglich, große und komplexe Bauteile mit hoher Materialeffizienz zügig herzustellen. Beim FFF wird ein thermoplastisches Endlosfilament in einer beheizten Düse aufgeschmolzen und darunter abgelegt. Der Druckkopf wird computergesteuert bewegt, um die gewünschte Form Schicht für Schicht aufzubauen. Innerhalb der kommerziellen additiven Fertigung von Bauteilen ist das FFF das am weitesten verbreitete Verfahren. Bereits für wenige hundert Euro können Geräte von unterschiedlichen Herstellern bezogen werden. Dies gilt jedoch bisher nur für die Herstellung polymerer Bauteile etwa aus PLA, ABS, PA, PET oder PEEK, aber auch für elastische Bauteile aus TPE oder TPU.

Das Fraunhofer IKTS arbeitet daher an der Adaptierung dieses Verfahrens für die additive Fertigung keramischer Bauteile. Dabei werden ausschließlich die Grünkörper additiv gefertigt und anschließend – wie in allen konventionellen keramischen Formgebungsverfahren – entbindert und gesintert. Im Rahmen erster Arbeiten konnten Filamente auf Basis eines Feedstocks aus Siliciumcarbid-Pulvern (SiC) erfolgreich hergestellt und in dem Standarddrucker 140L der Firma HAGE Sondermaschinenbau GmbH & Co. KG verarbeitet werden. Zur Verstärkung des Materials wurden in einem nächsten Entwicklungsschritt erstmals SiC-Kurzfasern erprobt. Hierbei wurden SiC-Werkstoffe

mit bis zu 30 Vol.-% SiC-Faserteil realisiert und prozessiert. Durch anschließende Infiltration mit keramischen Precursoren und deren Pyrolyse wurden die Bauteile weiter verdichtet. In den Bildern 1 und 2 ist ein Bauteil sowie ein typisches Gefüge eines durch FFF hergestellten Werkstoffs dargestellt. Auf Basis dieser Untersuchungen konnte das große Potenzial dieser neuen additiven Formgebungsmethode für keramische Faserverbundwerkstoffe (CMC) in unterschiedlichen Anwendungen, z. B. für die Luft- und Raumfahrt oder die Energietechnik aufgezeigt werden. In weiteren Entwicklungsschritten wurde die Fertigung von Bauteilen auf Basis von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , WC-Co und  $\text{Si}_3\text{N}_4$  untersucht. Nach der abschließenden Sinterung erreichten die Bauteile eine relative Dichte von > 99 %. Bild 3 zeigt beispielhaft ein gesintertes  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Bauteil.

Die im derzeitigen Entwicklungsstand dargestellten Ergebnisse zur Herstellung und Verarbeitung von Filamenten auf der Basis unterschiedlichster Keramiken eröffnen völlig neue Möglichkeiten zur Erschließung weiterer Anwendungsfelder. Besonders interessant ist dabei die simultane Verarbeitung mehrerer Materialien, um künftig Eigenschaften wie zum Beispiel elektrisch leitend und isolierend, hart und duktil oder verschiedene Farben innerhalb eines komplexen Bauteils zu kombinieren. Auf diese Weise können Bauteile funktionalisiert oder für dekorative Zwecke bereitgestellt werden.

- 1 SiC/SiC-faserverstärktes Grün-teil hergestellt durch FFF.
- 2 Gefüge des SiC/SiC-Grün-teils.
- 3 Gesintertes  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Bauteil.



# REAKTIONSGEBUNDENE $ZrO_2$ -SCHAUMKERAMIK – HOCHFEST, HITZESTABIL, KOSTENGÜNSTIG

Dipl.-Ing. Gisela Standke, Dipl.-Krist. Jörg Adler

## Einsatz von Zirkonoxidfiltern

Zirkonoxid-Schaumkeramik ( $ZrO_2$ ) wird aufgrund ihrer hohen Temperaturbeständigkeit in der Gießereiindustrie als Filter eingesetzt, um nichtmetallische Einschlüsse wie Schlacken, Rückstände von Formsanden und Desoxidationsprodukte aus Stahlschmelzen zu entfernen. Im Vergleich zu Filtern aus Aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ ) und Siliciumcarbid ( $SiC$ ), die bei niedrigeren Gießtemperaturen und anderen Metallschmelzen verwendet werden, sind die Zirkonoxidfilter aufgrund höherer Rohstoffpreise bisher deutlich teurer. Mit Hilfe eines neuen Materialkonzepts können die Kosten für diese Filter um ca. 40 % gesenkt werden.

## Materialkonzept

In der Rezeptur der am Fraunhofer IKTS entwickelten reaktionsgebundenen (rb) Schäume werden 65 % des originalen Zirkonoxidpulvers durch eine stöchiometrische Mischung aus Aluminiumoxid und Zirkonsilikat ausgetauscht. Bei der Wärmebehandlung entstehen feinkörniges Zirkonoxid und Mullit, sodass ein Gefüge aus 37 % grobem Zirkonoxid (Primärkorn), 23 % neu gebildetem Zirkonoxid (Sekundärkorn) und 40 % Mullit vorliegt. Um eine vollständige Reaktion und damit vergleichbare Materialeigenschaften wie beim originalen Zirkonoxid-Filter zu erreichen, wurden Aluminiumoxide verschiedener Partikelgröße und spezifischer Oberfläche untersucht. Die Partikelgröße des Zirkonsilikats wurde mit 2 µm konstant gelassen. Eine vollständige Reaktion wurde mit einem  $Al_2O_3$ -Pulver mit einem  $d_{50}$  von 2 µm und einer BET von 2,5  $m^2/g$  bei einer Sinteremperatur von 1650 °C und Haltezeiten von 3 Stunden erreicht.

## Eigenschaften

Das Porenbild im Gefüge ändert sich im Vergleich zu Filtern aus reinem Zirkonoxid: der Anteil der Gesamtporosität sinkt und die durchschnittliche Porengröße wird kleiner. Damit besitzen die reaktionsgebundenen Filter eine geringere Reindichte und höhere Festigkeiten.

### Eigenschaften der neuen reaktionsgebundenen Filter im Vergleich zu einem typischen $ZrO_2$ -Filter

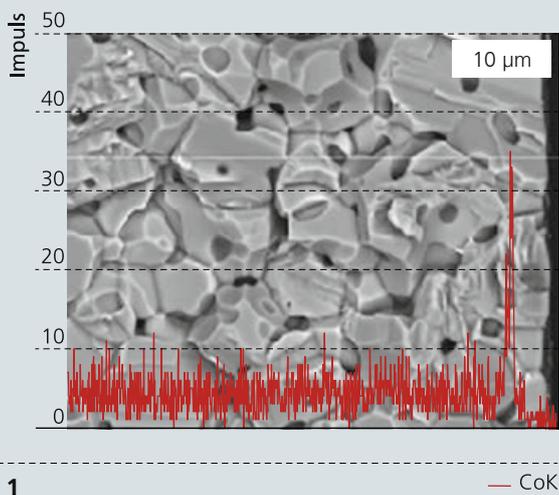
	rb-Filter	Standard
Reindichte	4,3 $g/cm^3$	5,6 $g/cm^3$
Gefügeporosität	20,5 %	24,4 %
Porengröße	2,2 µm	4,7 µm
Bruchlast	1500 N	900 N

Für die Anwendung als Stahlschmelzenfilter wurden besonders grobzellige Schäume (ppi8) entwickelt. Dabei wurde die Beschichtungssuspension durch Verwendung komplexer Additive an die Rohstoffe unterschiedlicher Partikelgröße angepasst.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Werkstoff- und Verfahrensentwicklung für offenzellige Schaumkeramiken
- Weiterentwicklung und neue Anwendungen von reaktionsgebundener Zirkonoxidkeramik

- 1 Zellulare Struktur des neuen  $ZrO_2$ -Filters.
- 2 Gefüge mit Darstellung der Reaktionsbindung.



# HOCHREINE MgO-FOLIEN ALS BRENNUNTERLAGEN FÜR MISCHLEITENDE FLACHMEMBRANEN

Dr.-Ing. Uwe Reichel, Dipl.-Chem. Beate Capraro, Dipl.-Ing. (FH) Dirk Schabbel, Dipl.-Ing. (FH) Ute Pippardt

Hochreine, dichte MgO-Keramik ist aufgrund ihrer speziellen chemischen, elektrischen und thermischen Eigenschaften sehr gut für hochbelastete Bauteile in der Analytik, Elektronik, Hochtemperaturtechnik oder (bei transparentem Material) in der Optik geeignet. Eine weitere Anwendung dieses Werkstoffs wird derzeit am Fraunhofer IKTS untersucht. Für die am Institut entwickelten ionen- bzw. protonenleitenden keramischen Flachmembranen auf Basis von BSCF- (Ba-Sr-Co-Fe), CSFM- (Ca-Sr-Fe-Mn), La-Wolframat- bzw. Sr-Cereat-Werkstoffen werden geeignete temperatur- und reaktionsbeständige Brennunterlagen benötigt, die in der geforderten Qualität bisher nicht zur Verfügung stehen. Ziel des Forschungsprojekts war es daher, Grundlagen zur Werkstoff- und Technologiebasis hochreiner MgO-Keramik für die Anwendung als Brennunterlage zu erarbeiten.

## Lösungsweg und Ergebnisse

Die Forschungsarbeiten zielten vor allem ab auf die speziell angepasste Aufbereitungs- und Formgebungstechnologie für keramische Folien aus kommerziell verfügbaren und hochreinen MgO-Rohstoffen sowie Bindersystemen auf Polyvinylbutyral-Basis (PVB). Schwerpunkte bildeten dabei die Auswahl und Charakterisierung dieser MgO-Pulver hinsichtlich chemischer Reinheit, Kristallphasengehalt und Sinterverhalten sowie die Untersuchung des Dispergier- und Gießverhaltens. Im Ergebnis wurde ein MgO-Rohstoff mit einer Reinheit von > 99,98 % MgO, reiner Periklas-Phase und einer spezifischen Oberfläche (BET) von 7,9 m<sup>2</sup>/g ausgewählt.

Ein weiterer wesentlicher Punkt für die erfolgreiche Prozessierung dünnwandiger, ebener Folien war die Entwicklung geeigneter

thermischer Prozesse zum Entbindern und Sintern dieser Bauteile. Ziel war hier das Erreichen eines rissfreien, homogenen Gefüges und das verzugfreie Sintern.

Abschließend erfolgten die Charakterisierung der gesinterten MgO-Keramik und der Nachweis zur Eignung als Brennunterlage für mischleitende Flachmembranen. Im Fall der BSCF-Flachmembran konnte nur eine sehr geringe Diffusion in die MgO-Keramik nachgewiesen werden (Bild 1). Die Zusammensetzung der BSCF-Keramik wurde von der Brennunterlage nicht verändert. Die Untersuchungen zu den weiteren Werkstoffsystemen für mischleitende Flachmembranen waren bei Drucklegung noch nicht abgeschlossen, lassen jedoch ebenfalls ein positives Ergebnis erwarten.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung hochreiner MgO-Keramiken für kundenspezifische Anwendungen
- Entwicklung von Formgebungsverfahren und thermischen Prozessen
- Charakterisierung der Werkstoffe und Bauteile
- Realisierung von Kleinserien

1 *Linienscan der (minimalen) Co-Diffusion in die MgO-Keramik.*

2 *Gießband mit MgO-Folie.*



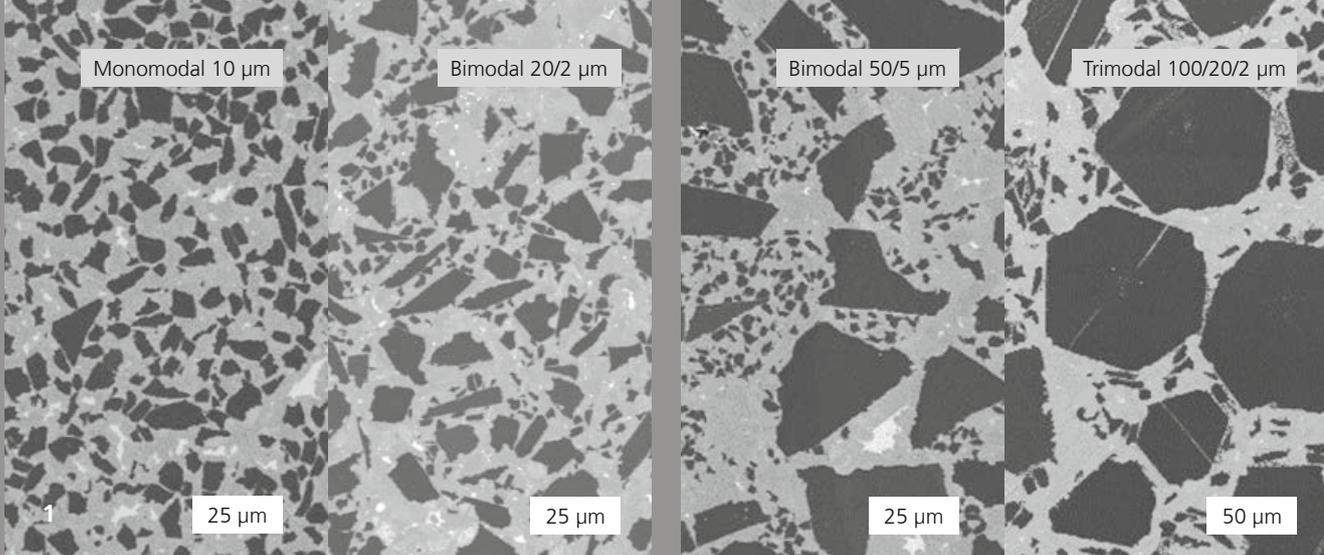
## PULVERTECHNOLOGISCHE VERFAHREN FÜR DIE HERSTELLUNG VON MOFS

Dr. Hans-Jürgen Richter, Dr. Matthias Ahlhelm

Metallorganische Gerüstverbindungen (Metal-Organic Frameworks, MOFs) sind eine neue Klasse poröser Materialien, die sich durch sehr hohe spezifische Oberflächen und Porenvolumina auszeichnen und dadurch unter anderem herausragende Gasspeichereigenschaften besitzen. Die dreidimensionalen MOF-Netzwerke bestehen aus metallischen Clustern und organischen Brückenmolekülen. In den entstehenden Zwischenräumen können andere Moleküle »gespeichert« werden. Über die Auswahl der Ausgangsmaterialien kann die Zusammensetzung und Struktur der MOFs vielfältig variiert werden, was eine anwendungsspezifische Eigenschaftseinstellung ermöglicht. Die Verarbeitung von MOF-Pulvern zu Formkörpern unterschiedlicher Größe und Geometrie ist entscheidend, wenn es darum geht, deren exzellente Materialeigenschaften einer breiten Anwendung zugänglich zu machen. Am Fraunhofer IKTS ist es gelungen, mittels pulvertechnologischer Formgebungs- und Granulierverfahren wie Extrusion, Trockenpressen, Gefrierguss und -granulation sowie Gefrierschäumung MOF-Formkörper in Form von Pellets, Granulaten oder monolithischen Waben- und Schaumstrukturen herzustellen. Diese können beispielsweise in Speichersystemen für Gase, in Wärmepumpen oder als Katalysatorträger genutzt werden. Das IKTS bringt seine Kompetenzen zur pulvertechnologischen Formgebung von MOFs seit 2012 erfolgreich in entsprechende Projekte ein (u. a. Fraunhofer-internes Projekt »MOF2market«, EU-Projekt »MATESA« [Grant Agreement 608534]). In den EU-Projekten »ProDIA« (Grant Agreement 685727) und »H-CCAT« (Grant Agreement 720996) sowie dem BMBF-Projekt »MOFSchutz« (Förderkennzeichen 13N14194) werden aktuell der Einfluss der Verfahrensparameter und der Binderzusammensetzung auf die spezifische Oberfläche und die Anwendungseigenschaften der MOF-Formkörper (z. B. für  $\text{NH}_3$ -Adsorption,  $\text{CH}_4$ -Speicherung,

$\text{H}_2\text{O}$ -Adsorption) untersucht und die Fertigungsverfahren daraufhin angepasst. Die von Projektpartnern synthetisierten MOF-Pulver, wie HKUST-1, Fe-BTC, Al-Fumarat, UiO-66, CPO-27(Ni), CAU-10 oder PCN-250 wurden zu Granulaten, Pellets oder monolithischen Formkörpern verarbeitet. Neben der mechanischen Stabilität bestand eine weitere Herausforderung darin, die originalen Eigenschaften der MOF-Materialien im Formkörper möglichst vollständig zu erhalten – denn der Einsatz von Bindern und die bei der Formgebung (Extrusion, Pressen) auftretenden Scherkräfte können die Porosität bzw. die spezifische Oberfläche der MOFs und damit deren Anwendungseigenschaften (z. B. Speicherkapazität) negativ beeinflussen. Besonders gute Ergebnisse wurden bei extrudierten HKUST-1-Pellets erzielt, die je nach Prozessführung und Binderart spezifische Oberflächen zwischen 83 und 100 % des Ausgangsmaterials ( $1460 \text{ m}^2/\text{g}$ ) besaßen. Für PCN-250 wurden Werte zwischen 72 und 77 % erreicht. Weitere mittels Trockenpressen, Gefriergranulierung, Gefrierguss und -schäumung erzeugte MOF-Formkörper verfügten über spezifische Oberflächen zwischen 55 und 95 % des Ausgangsmaterials. Mithilfe der angepassten Formgebungsverfahren und Formkörperzusammensetzungen ist es nun möglich, MOFs mit ihren exzellenten Materialeigenschaften für verschiedenste Anwendungen nutzbar zu machen.

- 1 Extrudierte MOF-Wabenstrukturen (Fe-BTC).
- 2 Extrudierte MOF-Pellets (HKUST-1).
- 3 Gefriergranulierte MOF-Granulate (Al-Fumarat).



# SiC-GEBUNDENE DIAMANTWERKSTOFFE MIT HÖCHSTER VERSCHLEISSBESTÄNDIGKEIT

Dipl.-Ing. Björn Matthey, Dr. Steffen Kunze, Dr. Mathias Herrmann

Im Tiefseebergbau bis 6000 m und bei der Öl- und Gasförderung auf See sind Lebensdauer und Wartungsfreiheit aller Maschinen und Bauteile im Bereich von 10 bis 30 Jahren gefordert. Beispielsweise für verschleißbelastete Komponenten in Pumpen ist das mit herkömmlichen Werkstoffen kaum erreichbar. Für dieses Einsatzfeld entwickelt das Fraunhofer IKTS zusammen mit Partnern der Fraunhofer-Allianz AdvanCer superharte verschleißfeste, komplex geformte SiC-gebundene Diamantwerkstoffe mit Diamantgehalten von ca. 50 Vol.-%. Diese Werkstoffe sind drucklos über Siliciuminfiltration von Diamant-Formkörpern als kompakte Bauteile herstellbar. Darüber hinaus sind aber auch SiC-Bauteile realisierbar, die den Diamant-SiC-Komposit nur in den beanspruchten Bereichen aufweisen. Selbst großformatige komplexe Bauteile, wie Rohrsegmente, Lager oder Düsen, lassen sich effektiv fertigen. Die Gefüge der Werkstoffe können in einem weiten Bereich gezielt eingestellt werden (Bild 1). Dadurch lassen sich Bauteile mit maßgeschneiderten Eigenschaftsprofilen herstellen. Die entwickelten Werkstoffe zeichnen sich durch eine feste chemische Einbindung der Diamanten in das dreidimensionale SiC-Gerüst aus, welches durch Reaktion von Kohlenstoff mit Silicium während der Infiltration entsteht. Dadurch besitzen sie im Vergleich zu Siliciuminfiltrierten SiC-Werkstoffen (SiSiC) eine höhere Härte und Festigkeit (HK2 bis zu 48 GPa gegenüber > 20 GPa bzw. biaxiale Festigkeit mittels Ball-on-3-Balls-Test von > 450 MPa gegenüber ca. 280 MPa). Der Siliciumgehalt ist mit < 5 Vol.-% bedeutend geringer als der von SiSiC-Werkstoffen. Dadurch zeigen diese Werkstoffe auch in basischen Medien und unter hydrothermalen Bedingungen eine hohe Korrosionsbeständigkeit. Tribologische Tests belegen, dass die entwickelten SiC-gebundenen Diamantwerkstoffe ein Verschleißverhalten ähnlich dem

von extrem hartem Polykristallinen Diamant (PKD) aufweisen. Im Gegensatz zu PKD sind sie in nahezu beliebigen Dimensionen und Formen herstellbar. Darüber hinaus ist ihre Verschleißfestigkeit um den Faktor 10 höher als die von kommerziellen Borcarbid-Werkstoffen. Je nach Gefügedesign lässt sich die Wärmeleitfähigkeit auf Werte > 500 W/mK steigern, was z. B. für Wärmetauscher Potenzial bietet [1;2]. Die entwickelten SiC-gebundenen Diamantwerkstoffe erschließen damit neue Möglichkeiten zur kostengünstigen Herstellung verschleißfester Komponenten unterschiedlichster Geometrie und Dimension für verschiedenste Anwendungsbereiche.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Technologieentwicklung
- Herstellung und Testung von Musterbauteilen
- Charakterisierung von Gefügen und Eigenschaften von superharten Werkstoffen

## Literatur

- [1] B. Matthey, et al. Journal of Materials Research, 32, (2017), 3362–3371.  
 [2] B. Matthey, et al. Journal of the European Ceramic Society, 37, (2017), 1917–1928.

**1** REM-Bilder verschieden gestalteter Gefüge der SiC-gebundenen Diamantwerkstoffe.



## OBERFLÄCHENKONFORME PULVERBESCHICHTUNG MITTELS ALD- UND CVD-VERFAHREN

Dr. Jonas Sundqvist, Dr. Mandy Höhn, Dipl.-Phys. Mario Krug

Die Gruppe »Dünnschicht-Technologien« des Fraunhofer IKTS hat ihre Kompetenzen und ihr Leistungsspektrum um das Gebiet der Dünnschichtabscheidung auf Partikeln und Pulvern erweitert. Mithilfe der zur Verfügung stehenden Ausrüstung und Technologien können Pulvermengen von bis zu 100 g oberflächenkonform mit ALD- und CVD-Verfahren beschichtet werden. Im Fokus der aktuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten stehen Funktionsschichten auf Pulvermaterialien für Anwendungen in der Werkzeugindustrie und in Lithium-Ionen-Batterien (z. B. LNMO –  $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$ -Pulver). Dabei werden neuartige ultradünne Barrierschichten und -schichtsysteme für hygroskopische und leicht oxidierende Materialien, wie beispielsweise Metallpulver und Metallcarbidgepulver, sowie für LNMO-Pulver entwickelt.

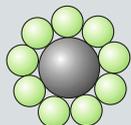
Erste Ergebnisse zur Beschichtung von Wolframcarbidgepulver (WC) mit Titanitrid (TiN) belegen, dass sich sowohl mit ALD- als auch mit CVD-Verfahren Beschichtungen mit hervorragender Oberflächenkonformität realisieren lassen (Bild 1). Mit einer 10 bis 50 nm dünnen TiN-Beschichtung auf Wolframcarbidgepulver lassen sich zukünftig neuartige, auf polykristallinen WC-Partikeln basierende Hartmetalle für verschiedene Anwendungen in der Werkzeugindustrie erzeugen. Bei der Herstellung dieser Hartmetalle kann eine Barrierschicht aus TiN ein Eindringen des schmelzflüssigen Cobalts in den Polykristall und das Auflösen desselbigen verhindern. Dadurch wird eine außerordentlich hohe Härte bei gleichzeitig guter Bruchzähigkeit erreicht. Derzeit werden verschiedene mittels ALD- und CVD-Verfahren TiN-beschichtete Pulver bezüglich ihres Sinterverhaltens und ihrer Materialeigenschaften, wie Härte und Bruchfestigkeit, untersucht.

In einem zweiten Projekt wurden LNMO-Pulver für Lithium-Ionen-Batterien mit einer extrem dünnen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Beschichtung versehen. Diese Schicht verbessert die Grenzfläche zum Elektrolyten, wodurch eine Degradation des Elektrolyten in Verbindung mit dem Hochvoltmaterial LNMO verhindert wird. Hierdurch sollen sowohl die Zyklenstabilität als auch die Leistungsfähigkeit der Batteriezelle profitieren. Derzeit werden die beschichteten Pulver charakterisiert. Erste Ergebnisse sind vielversprechend.

Bei der Beschichtung von Pulver mit geringer Dichte bzw. geringem Gewicht kam es bislang im Beschichtungsprozess häufig zu hohen Pulververlusten. Durch Optimierung der ALD-Pulssequenzen und der Reaktorgeometrie gelang es nun, eine Pulverausbeute von mehr als 95 % für  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Beschichtungen im Schichtdickenbereich zwischen 1 und 20 nm zu erzielen. Dabei konnte durch Rotation auch die Agglomeration der Partikel vermieden werden (Bild 3).

- 1 Mit TiN oberflächenkonform beschichtetes Wolframcarbidgepulver.
- 2  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -beschichtetes LNMO-Pulver.
- 3 LNMO-Pulver im Trommelreaktor. Nach der Prozessierung bleibt der Pulvercharakter ohne Agglomeration der Partikel erhalten.

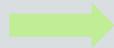
Heterogen  
koagulierte Partikel



Ummantelte  
Partikel

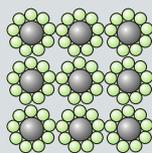
1

Formgebung



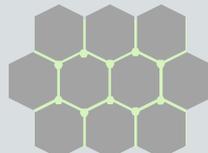
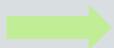
Pressen

Schlickerguss

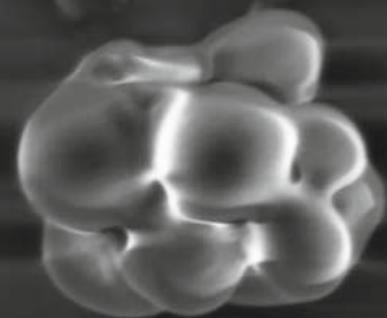


Grünkörper

Sinterung



Sinterkörper



2

200 nm

WERKSTOFFE UND VERFAHREN

# CORE-SHELL-BESCHICHTUNG FÜR HÖHERE HÄRTE UND FESTIGKEITEN BEI ZTA-KERAMIKEN

M. Sc. Caroline Tschirpke, Dr. Uwe Reichel, M. Sc. Kerstin Simon

Zirkoniumdioxid verstärkte Aluminiumoxidkeramiken (ZTA) besitzen eine Vielzahl exzellenter Materialeigenschaften. Sie neigen beispielsweise weniger als reine Zirkoniumdioxidkeramiken zur hydrothermalen Degradation und sind somit sehr gut für medizinische Anwendungen geeignet. Darüber hinaus werden höhere Festigkeiten als bei unverstärkten Aluminiumoxidkeramiken erreicht. Zudem sind sie preiswerter herzustellen. Der entscheidendste Einflussfaktor auf die späteren mechanischen Eigenschaften von solchen Mischoxidkeramiken ist allerdings die Verteilung der einzelnen Phasen. Die Arbeiten im Rahmen des Wachstumskerns »pades – Partikeldesign Thüringen« fokussierten daher auf die Entwicklung von ZTA-Keramiken mit einer homogenen Phasenverteilung (bei vergleichbarer Korngröße und Materialdichte), um möglichst größere Festigkeiten und Härten zu erreichen.

Bei der nasschemischen Beschichtung von Partikeln kommt zum einen die Methode der heterogenen Koagulation von verschiedenen festen Partikeln durch Variation der Oberflächenladungen und zum anderen die Ummantelung eines festen Partikelkerns mit einer flüssigen Zweitphase (Flüssigphasenbeschichtung) zum Einsatz. Im Rahmen des vorgestellten Projekts wurde letzteres Verfahren genutzt. Dabei wurde zunächst der kommerziell verfügbare pulverförmige Rohstoff Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) nasschemisch mit der Zweitphase Zirkoniumdioxid ( $\text{ZrO}_2$ ) beschichtet. Neben Kleinstmengen ( $< 100$  g) – hergestellt in einem Rotationsverdampfer – sind auch größere Mengen im Drehrohrfurnen produzierbar. Die auf einem Aluminiumoxidpulver erzeugte Partikelbeschichtung (Core-Shell) zeigt bereits die gleichmäßige Verteilung der Zweitphase (Bild 2). Im Anschluss wurde das Material vorwiegend durch uniaxiales Pressen weiterverarbeitet. Die so

hergestellten Keramiken weisen nach dem Sinterprozess, verglichen mit konventionell produzierten Keramiken aus kommerziellen Rohstoffen, eine bis zu 20 % geringere Korngröße und eine homogenere Phasenverteilung auf. Die entwickelte Technologie zur Verfeinerung des Materialgefüges (Bild 1) ist vergleichsweise kostengünstig und großtechnisch nutzbar sowie einfach auf weitere Materialklassen übertragbar.

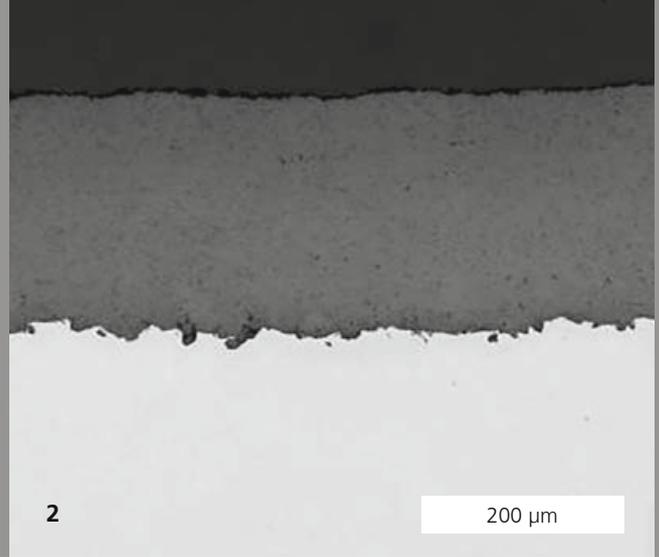
## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Werkstoffsynthese und -entwicklung auf Basis kommerziell verfügbarer Rohstoffe und Werkstoffneuentwicklungen: dichte ein- und mehrphasige Oxidkeramiken auf Basis von Sinterkorund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Spinell ( $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Zirkoniumdioxid ( $\text{ZrO}_2$ ) oder andere Oxide ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ , etc.), Dispersionsgefüge oder Werkstoffverbunde
- Werkstoffspezifische Formgebung und Entwicklung von prototypischen Bauteilen und Pilotserien
- Begleitende Charakterisierung und Analyse
- Beratung zu werkstoff-, konstruktions- und einsatzspezifischen Fragestellungen

1 Schematische Darstellung der idealen Prozesskette bei der Verwendung beschichteter Pulver.

2 FE-REM-Aufnahme von  $\text{ZrO}_2$ -beschichteten  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Partikeln vor der Kalzinierung (Bild: Friedrich-Schiller-Universität Jena, OSIM, Lehrstuhl für Materialwissenschaft).





# KERAMISCHE SUSPENSIONEN FÜR ABRASIONS- UND KORROSIONSSCHUTZSCHICHTEN

Dr. Annegret Potthoff

Um die Oberflächeneigenschaften von Bauteilen spezifisch auf die jeweilige Anwendung anzupassen, können beispielsweise keramische Schutzbeschichtungen aufgebracht werden: So dienen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schichten der Verbesserung der elektrischen Isolation, während  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Schichten Metallbauteile wirksam gegen Korrosion schützen und Hartmetallschichten für den Verschleißschutz unabdingbar sind.

Ein etabliertes Verfahren zur Beschichtung von Oberflächen ist das thermische Spritzen von Pulvern. Die Verwendung von Suspensionen an Stelle des Pulvers bietet entscheidende Vorteile, da so dünne ( $< 100 \mu\text{m}$ ) und dichte Schichten mit sehr glatten Oberflächen hergestellt werden können. Neben der Einsparung von Rohstoffen gibt es auch weitere wirtschaftliche Vorteile. Beispielsweise kann die bisher übliche Nachbearbeitung der Schichtoberflächen reduziert oder eingespart werden. Neben den Prozessparametern beim thermischen Spritzen (Hochgeschwindigkeitsflammspritzen [S-HVOF], Plasmaspritzen [SPS]) bestimmen auch die Eigenschaften der verarbeiteten Suspension die Schichteigenschaften. Um die Effizienz des Spritzprozesses zu erhöhen, muss die Feststoffkonzentration der Suspension mindestens 25 Ma.-% betragen. Gleichzeitig muss die verarbeitete Suspension homogen sein, damit der Spritzprozess stabil abläuft. Zudem sollte die Viskosität gering sein, um eine gute Förderfähigkeit zu garantieren. Voraussetzung für die Entwicklung eines solchen hochwertigen Spritzzusatzes ist die Auswahl geeigneter Rohstoffe. Materialien mit homogenen Partikelgrößenverteilungen und hoher Reinheit sind besonders geeignet, um daraus Schutzbeschichtungen herzustellen.

Die Suspensionseigenschaften werden unter Verwendung von elektroakustischer, rheologischer und Sedimentations-Messtechnik optimiert und eingestellt.

Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS wurden die Grundlagen zur Überführung der gesamten Prozesskette von der Suspensionsentwicklung bis zur Schicht mit anwendungsspezifisch angepassten Eigenschaften in den industriellen Maßstab geschaffen.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schichten mit stark erhöhtem elektrischen Widerstand in feuchter Umgebung sind ein Beispiel, bei dem die Verwendung einer Suspension zum Spritzen erhebliche Vorteile in den gewonnenen Schichteigenschaften bringt. Darüber hinaus wurden für die Anwendung in der Papierindustrie in sehr hoher Auflösung laserstrukturierbare  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Schichten realisiert. Weitere Schichten, die aufgrund ihrer Struktur und der verarbeiteten Rohstoffe hydrophobe Eigenschaften aufweisen, kommen als Antihafbeschichtung wirksam zum Einsatz.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Auswahl, Anmusterung und Charakterisierung von Rohstoffen; Entwicklung von wässrigen und Lösungsmittel-basierten Suspensionen zum thermischen Spritzen
- Machbarkeitsstudien und Technologieentwicklung zum thermischen Spritzen von Suspensionen zusammen mit dem IWS

- 1 Herstellung einer Suspension für das thermische Spritzen.
- 2 REM-Aufnahme einer  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht.



## PASTEN FÜR LASERGESINTERTE FUNKTIONSSCHICHTEN AUF 3D-STAHLBAUTEILEN

Dr. Uwe Partsch, Dipl.-Ing. Markus Pohl, Dr. Sylvia Gebhardt, Dr. Rena Gradmann, Dr. Markus Eberstein

Die keramische Dickschichttechnik wird typischerweise zum Aufbau funktioneller Schichten, z. B. für keramische Schaltsträger oder Sensoren, verwendet. Die Technologie verarbeitet Pasten und basiert auf dem typischen Prozessablauf Siebdruck – Trocknen – Einbrand. Für den Einbrand im Hochdurchsatz werden Durchlauföfen verwendet. Die Abscheidung der benötigten Funktionspasten ist bisher technologie- und anlagenbedingt auf planare oder tubulare Substratkörper beschränkt. Forschern der Fraunhofer-Institute IKTS, ILT und IZM ist es nun erstmals gelungen, Sensorschichten direkt auf große Stahlbauteile zu drucken und diese so lokal zu funktionalisieren. Solche Bauteile können nicht im Ofen gesintert werden aufgrund ihrer Größe und der eingesetzten Stähle, die schmelzen würden.

### 3D-Dickschicht ohne Drucksiebe und Sinteröfen

Zielstellung des Fraunhofer-Projekts »InFuroS – Integrierte Funktionalität auf robusten Strukturelementen« war es, die Restriktionen der klassischen Dickschichttechnik zu überwinden, indem moderne 3D-Druckverfahren (Dispensen, Aerosol-Jet-Druck) eingesetzt werden. Statt der üblichen Ofenprozesse werden schnelle Laserprozesse genutzt, um die benötigten Funktionsschichten zu versintern.

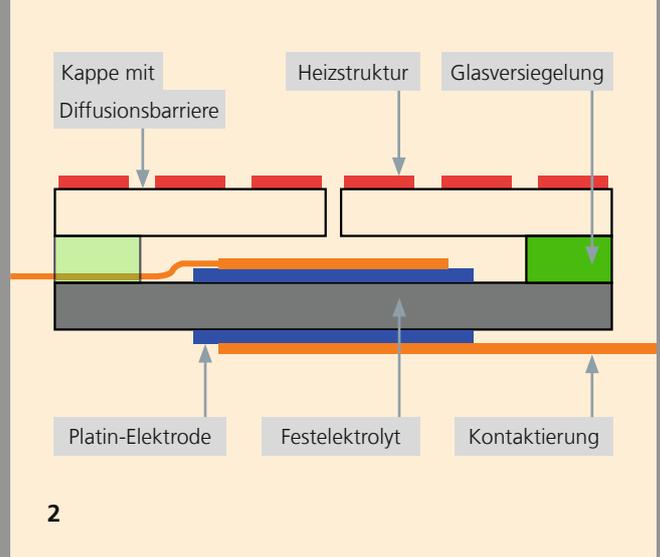
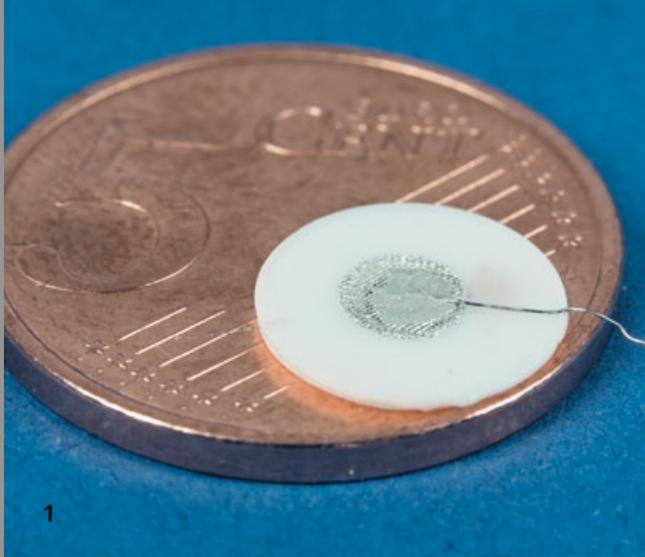
Im Mittelpunkt dabei steht die Entwicklung abgestimmter Pastensysteme und Laserprozesse für die Abscheidung und Sinterung von Isolations-, Leiterbahn-, Widerstands- und piezokeramischen Schichten auf massiven Stahlbauteilen (1.4016, 1.3035) für den Aufbau von Dehnungs-, Temperatur- und Körperschallsensoren.

Für die Entwicklung lasersinterbarer Isolationspasten wurden zunächst geeignete Dickschichtgläser unterschiedlicher Zusammensetzung ausgewählt, die sich hinsichtlich ihrer Glasübergangstemperatur unterscheiden. Die gezielte Optimierung der Glaseigenschaften erfolgte durch die Zugabe von Dispersphasen, welche z. B. die Absorptionseigenschaften bzw. die Glasviskosität während der Laserbehandlung beeinflussen. Am Fraunhofer ILT wurden die Glaskomposite hinsichtlich ihrer optischen Eigenschaften (Absorption) und am IKTS hinsichtlich ihrer Schwindung und weiterer Schichteigenschaften (Haftfestigkeit, Isolationswiderstand) charakterisiert.

Im Projektverlauf wurden weitere lasersinterbare Pasten entwickelt und getestet, wie Leiterbahnpasten (Ag-basiert), Widerstandspasten (RuO<sub>2</sub>-basiert) für Temperatur- und Dehnungssensoren sowie piezoelektrische Pasten auf Basis von Bleizirkonattitanat (PZT) für Körperschallmessungen. Aufgrund der deutlich verkürzten Wechselwirkungszeiten bei der Laserbearbeitung zeigen besonders piezoelektrische Pasten im Schichtaufbau mit Stahl sowie Isolations- und Elektroden-schichten deutlich verbesserte Materialeigenschaften gegenüber ofengesinterten Aufbauten.

Als Projektdemonstrator diente ein Rollenwälzlager, auf dessen Lagerschalen Sensoren zur Dehnungs- und Körperschallmessung aufgebracht wurden.

**1** *Demonstratorbaugruppe: Sensoren gedruckt und lasersintert auf Wälzlager (Quelle: Fraunhofer ILT).*



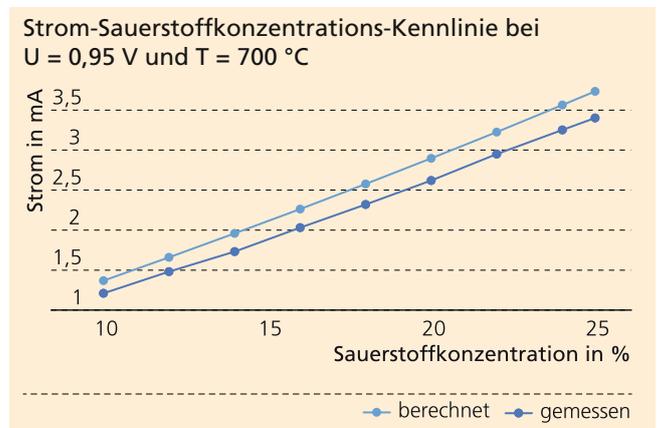
# AMPEROMETRISCHER SAUERSTOFFSENSOR FÜR INDUSTRIELLE ANWENDUNGEN

Dipl.-Phys. Stefan Dietrich, Christian Eckart, Dr. Mihails Kusnezoff

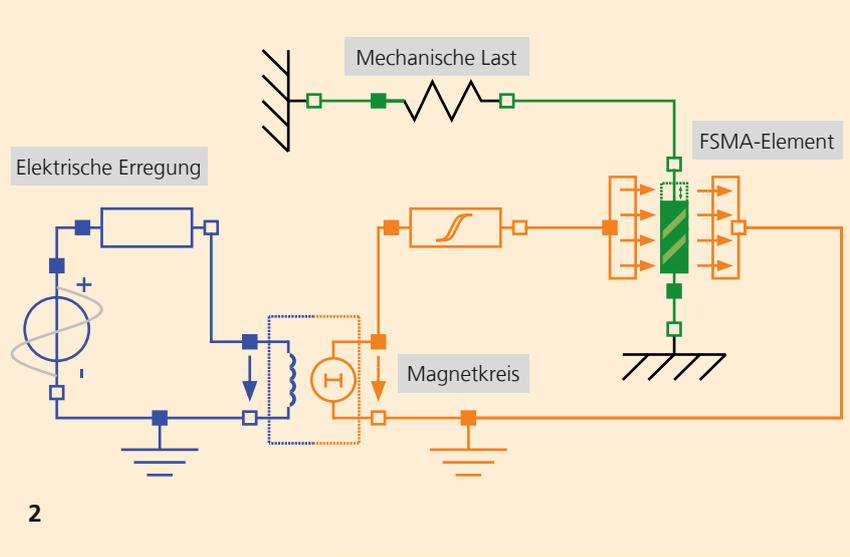
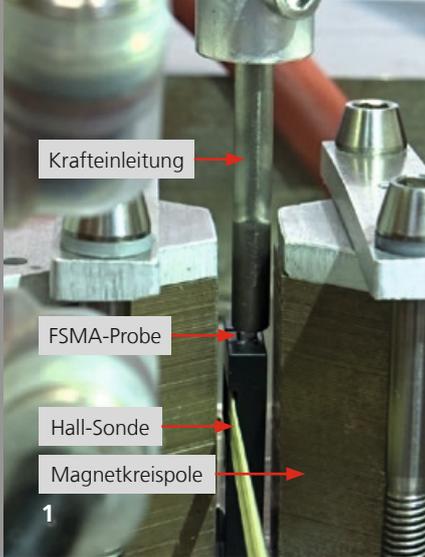
Sensoren zur Bestimmung des Sauerstoffgehalts in Gasgemischen sind nicht nur essenzielle Bestandteile von Kraftstoffantrieben, sondern finden auch Anwendung in medizinischen Systemen zur Atemgasüberwachung und in zahlreichen industriellen Prozessen. Durch die geeignete Wahl von Messprinzip, Sensordesign und Betriebsparametern können die Sauerstoffsensoren an die verschiedenen Anwendungen angepasst werden. Am Fraunhofer IKTS wurde nun ein amperometrischer Grenzstrom-Sauerstoffsensor auf Basis eines keramischen Festelektrolyten (3YSZ) entwickelt.

Grundlage der Sensorfunktion ist die gute Leitfähigkeit des 3YSZ für Sauerstoffionen ab ca. 600 °C: Zwischen zwei aufgebrachtten Elektroden wird eine elektrische Gleichspannung angelegt, wodurch im Festelektrolyt ein Sauerstoffionenstrom und im äußeren Stromkreis ein elektrischer Strom fließt. Um den Ionenstrom aufrecht zu erhalten, wird dem Messgas Sauerstoff an einer Elektrode entzogen und an der anderen Elektrode wieder abgegeben – eine elektrochemische Sauerstoffpumpe. Wird nun an der Elektrode mit Sauerstoffdefizit der Gaszutritt durch eine Diffusionsbarriere begrenzt und damit der Ionenstrom limitiert, kann im Stromkreis der resultierende sogenannte Grenzstrom gemessen werden. Bei geeigneter Wahl der Geometrie- und Betriebsparameter ist dieser direkt proportional zur Sauerstoffkonzentration im Messgas. Das amperometrische Messprinzip bietet einige Vorteile gegenüber anderen Sensortypen. So wird für die amperometrische Sauerstoffbestimmung kein Referenzgas benötigt. Das theoretische Sensorsignal kann vergleichsweise einfach berechnet werden, was eine einfache Kalibrierung erlaubt. Gegenüber dem logarithmischen Signalverhalten des potentiometrischen Sensors erlaubt das lineare Signal

des amperometrischen Sensors die Nutzung eines größeren Messbereichs. Der am IKTS entwickelte Sensor hat einen Durchmesser von 10 mm und eine Leistungsaufnahme von ca. 6 W bei 600 °C Betriebstemperatur. Das untenstehende Diagramm zeigt das lineare Ansprechverhalten eines Prototyps im angestrebten Messbereich. Die Messdaten korrelieren gut mit den theoretisch berechneten Werten. Der Messbereich kann durch Modifikation der Sensorparameter im Bereich von 0–100 Vol.-% angepasst und der Sensor damit für einen breiten Anwendungsbereich genutzt werden. Die Sensoren sind bis zu einer Temperatur von 700 °C einsetzbar und eignen sich aufgrund der robusten Werkstoffe für den Einsatz in unterschiedlichen Umgebungen. Aktuell wird eine miniaturisierte Variante mit geringerer Leistungsaufnahme entwickelt.



- 1 Amperometrischer  $O_2$ -Sensor.
- 2 Schematischer Sensoraufbau.



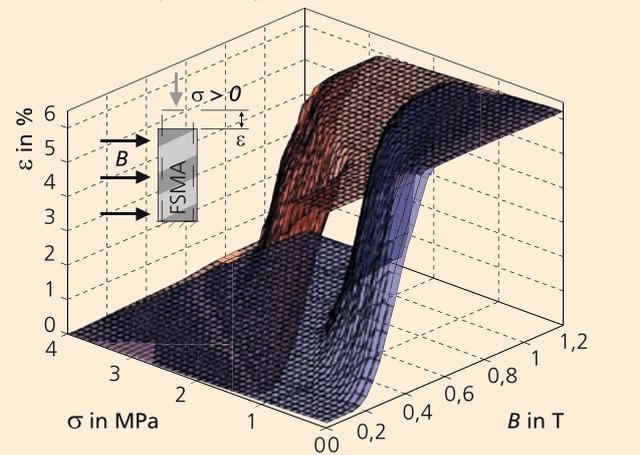
# MODELLBASIERTER ENTWURF VON SCHNELL-SCHALTENDEN FESTKÖRPERVENTILAKTOREN

Dipl.-Ing. Fabian Ehle, Dr. Peter Neumeister, Dr. Holger Neubert

Für eine Vielzahl industrieller Aufgaben werden schnellschaltende Pneumatikventile benötigt, die einen Luftstrom in wenigen Millisekunden steuern können. Typische Anwendungen sind Bestück- und Sortieraufgaben, aber auch Sicherheitsschnellabschaltungen ganzer Anlagen. Bisher genutzte Ventile auf Basis von Elektromagneten stoßen in Bezug auf Baugröße, Schaltgeschwindigkeit und Lebensdauer an ihre Grenzen. Das Fraunhofer IKTS untersucht derzeit im BMBF-Verbundprojekt »SMS2.0« das Potenzial magnetischer Formgedächtnislegierungen (FSMA) für diese und weitere Anwendungen. FSMA sind metallische Einkristalle mit verzwilligter Kristallstruktur reduzierter Symmetrie und hoher Sättigungsmagnetisierung. Durch extrinsisch induzierte Ummagnetisierung resultiert eine starke magnetomechanische Kopplung. Es kommt zu einer Orientierungsänderung in der Kristallstruktur und in der Folge zu einer Längenänderung des FSMA-Aktors. Dieser Prozess ist sehr schnell, woraus sich das Potenzial für schnellschaltende Aktoren ableitet. Im Vergleich zu konventionellen Elektromagneten zeigen FSMA jedoch ein grundlegend anderes Wanderverhalten, das durch eine starke Nichtlinearität verbunden mit Hysteresen gekennzeichnet ist. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, FSMA-basierte Antriebe modellbasiert auszuliegen. Am IKTS werden dazu FSMA-Elemente charakterisiert, Modelle für den Systementwurf derartiger Antriebe entwickelt und in numerische Auslegungswerkzeuge implementiert. Die Charakterisierung der FSMA-Elemente erfolgt an einem selbstentwickelten, magneto-mechanischen Prüfstand (Bild 1). Dabei können beliebige mechanische und magnetische Lastverläufe vorgegeben werden. Es wird ein skalarer makroskopischer Modellierungsansatz verfolgt. Derzeit kommt ein bivariates Tellinen-Modell zum Einsatz, das sehr einfach aus den gemessenen Hysteresebegrenzflächen, die den maximalen Arbeitsraum begrenzen, parametrisiert

wird (Diagramm). Die Modelle werden in *Modelica*, einer Modellierungssprache für multiphysikalische Systeme räumlich konzentrierter Elemente, implementiert. Somit lässt sich die Wechselwirkung des Festkörperwandlers mit weiteren Systemkomponenten, wie der Ansteuerelektronik, dem Elektromagneten und der nichtlinearen mechanischen Last berücksichtigen (Bild 2).

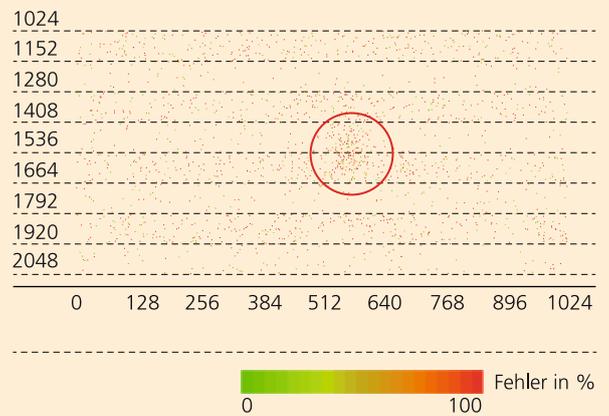
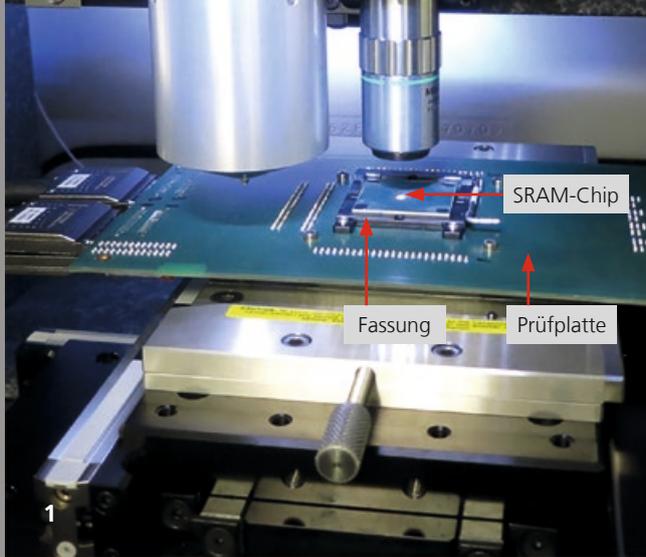
Gemessene Hysteresebegrenzflächen



Die dargestellte Methodik findet derzeit für die Auslegung pneumatischer Ventile Verwendung. Durch eine angepasste Magnetanregung und Ventilmechanik werden in ersten Mustern Schaltzeiten unter 1 ms erreicht.



- 1 *Detailansicht des Prüfstands zur magneto-mechanischen Charakterisierung.*
- 2 *Einfaches Antriebsmodell in Modelica mit implementiertem Werkstoffmodell.*



## ZUVERLÄSSIGKEITSUNTERSUCHUNG VON 28-NM-SRAM-ZELLEN MIT MECHANISCHER BELASTUNG

M. Sc. Simon Schlipf, Dr. André Clausner, Dr. Martin Gall, Prof. Dr. Ehrenfried Zschech

Mikroelektronik, die in automobilen Anwendungen eingesetzt wird, unterliegt hohen Belastungen und einer langen Einsatzzeit. Zudem verkleinern sich die Dimensionen aufgrund innovativer Technologien ständig. Daraus ergeben sich neue Erfordernisse hinsichtlich der Zuverlässigkeitsuntersuchung.

Am Fraunhofer IKTS wurde dafür das Zuverlässigkeitsverhalten von führenden »28 nm high-k metal gate CMOS SRAM«-Schaltkreisen (GLOBALFOUNDRIES Dresden) mit aufgebrachter mechanischer Belastung untersucht. Um eine tiefere Untersuchung zu gewährleisten, ist ein neuer Test entwickelt worden, der drei Prüfmethode vereint: ein mechanisches Verfahren mittels Nanoindentation, ein elektrisches Messverfahren und FEM-Simulationen von mechanischer Belastung auf Transistor-ebene.

Der Ansatz erlaubt die Untersuchung von Chip-Package-Interaction (CPI), Chip-Board-Interaction (CBI) sowie die Bestimmung von möglichen Architektur-Schwachstellen in neuartigen SRAM-Schaltkreisen. Dabei werden die Chips auf einem Flip-Chip-Substrat ohne Abdeckung verbaut und das Silicium rückseitig auf 16 µm gedünnt. Für elektrische In-situ-Messungen wird der Chip vor, während und nach der Indentation verschiedener Kräfte verschaltet. Bild 1 zeigt den experimentellen Aufbau mit den verwendeten SRAM-Chips.

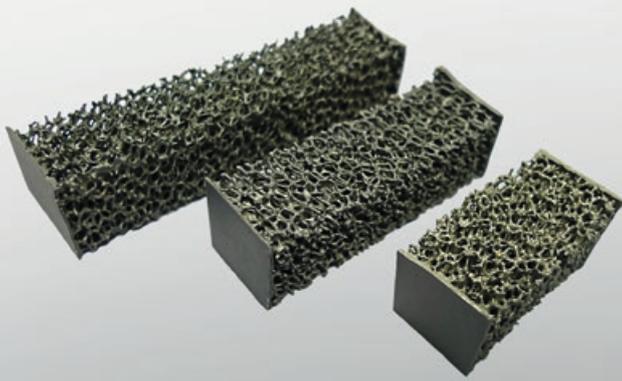
Der erste Schritt, die sphärische, elastische Nanoindentation, erfolgt an verschiedenen Stellen auf der Rückseite des Chips. Die elektrischen Messungen im zweiten Schritt beinhalten eine Lese-Stör-Prozedur und eine Fehler-Prozedur. So können unbeabsichtigte Datenänderungen, sogenannte Bit-Flips, durch

aufgebrachte Belastung bestimmt werden. Für die Lese-Stör-Prozedur wird ein Schachbrettmuster eingeschrieben, wobei der Schreibrschritt mit einer Unterspannung an der Bit-Flip-Schwelle erfolgt. Im anschließenden Leseschritt mit Sollbedingungen werden die Bit-Flips detektiert. Nach 50 Wiederholungen wird die Fehlerhäufigkeit mit der Belastung korreliert. Bild 2 zeigt eine Zellfehlermatrix mit zusätzlichen Störsignalen für eine angelegte Belastung von 1,3 N. Die Belastung führt zu einer deutlichen Zunahme der Zellfehler-Wahrscheinlichkeit um 40 % am Indentationsort (roter Kreis). Der Prozess ist reversibel, d. h. nach dem Entfernen der Belastung treten keine Fehler mehr auf. Die experimentell ermittelten Ergebnisse werden im letzten Schritt mit FEM-Simulationen unter Verwendung von SRAM-Layout und Schichtaufbau verglichen, um optimale Indentationsorte und Spannungs/Dehnungs-Felder zu bestimmen. Darüber hinaus eignet sich diese Testmethode für die Beurteilung mechanischer Spannung auf aktiven Transistorbereichen zur Design-Optimierung auf Chip-, Package- und Board-Level. Weitere Untersuchungen von neuen Technologien sind geplant.

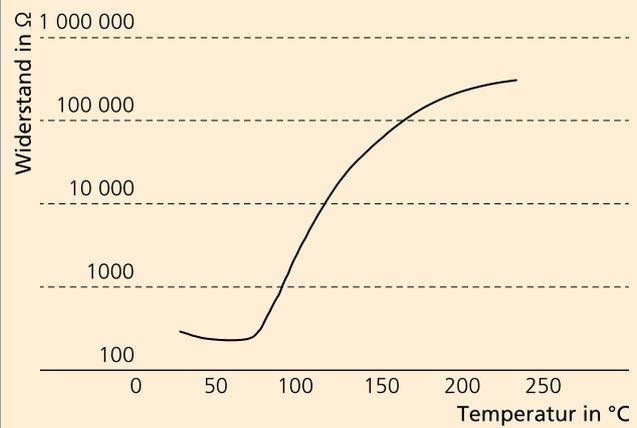
Diese Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit Volkswagen AG, GLOBALFOUNDRIES Dresden sowie dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Institutsteil Entwicklung Adaptiver Systeme EAS.

1 *Experimentaufbau für Nanoindentation.*

2 *Zellfehlermatrix mit Störsignalen für eine Belastung von 1,3 N.*



1



2

## KOMPAKTE PTC-HEIZER AUS SCHAUMKERAMIK

Dr. Daniela Haase, Dipl.-Ing. Gisela Standke, Dr. Michael Arnold, Dipl.-Krist. Jörg Adler

PTC-Heizelemente (Positive Temperature Coefficient) finden in Automobil-Zuluftheizungen oder als Heizer für Haushaltsgeräte in großen Stückzahlen Anwendung. Sie zeichnen sich durch eine spezielle Widerstands-Temperatur-Charakteristik aus, die durch einen sprunghaften Anstieg des Widerstands in einem engen Temperaturbereich geprägt ist. Im Vergleich zu NTC-Heizern (Negative Temperature Coefficient) haben sie den Vorteil, dass sie selbstregelnd sind und somit auf die sonst erforderlichen Einrichtungen für Temperaturregelung und Übertemperatursicherung verzichtet werden kann. Aufgrund der Bauweise der PTC-Elemente (meist Stifte, Plättchen, Ringe und Waben) ist aber nur ein geringer Wärmeübergang an das zu beheizende Medium möglich, was durch aufwändige Kombinationen mit metallischen Wärmetauschern kompensiert werden muss. Am Fraunhofer IKTS wurden daher selbstregelnde Heizkomponenten aus Schaumkeramiken auf Basis von selbst synthetisierten bleihaltigen und bleifreien Bariumtitanat-Pulvern mit Sprungtemperaturen von 45 °C, 100 °C und 120 °C entwickelt. Ihre zelluläre Struktur ermöglicht große geometrische Oberflächen und somit einen hohen Wärmeübergang an das zu beheizende Medium. Diese Medien, beispielsweise Gase oder Flüssigkeiten, können die Heizerstruktur direkt und allseitig durchströmen, was eine schnelle und präzise Temperierung ermöglicht. Durch den direkten Kontakt kann auf zusätzliche Wärmetauscher weitgehend verzichtet werden, wodurch sich besonders kompakte Heizer bauen lassen. Der Aufbau der Schaumkeramiken in Sandwichbauweise (Bild 1) ermöglicht eine einfache elektrische Kontaktierung, welche in der Herstellung leicht und flexibel anpassbar und dadurch auch in kleinen Serien rentabel ist. Die entwickelten Bauteile wurden der Normprüfung nach DIN EN 60738-1 (06/2010) unterzogen und zeigten dabei keine signifikanten Änderungen im Wider-

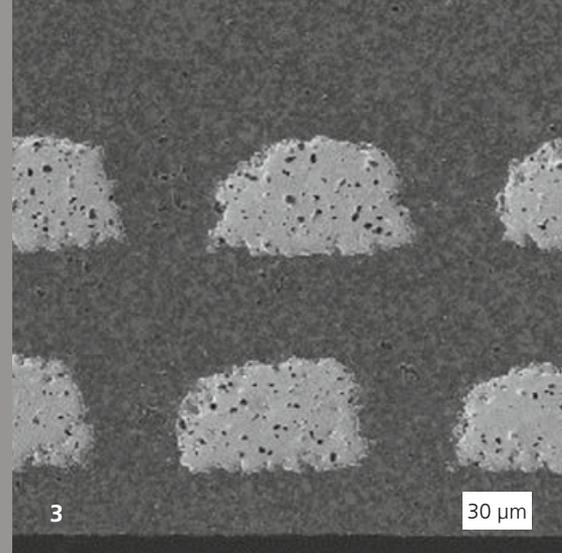
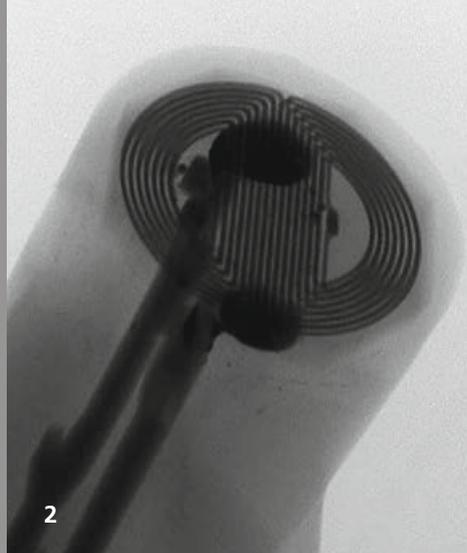
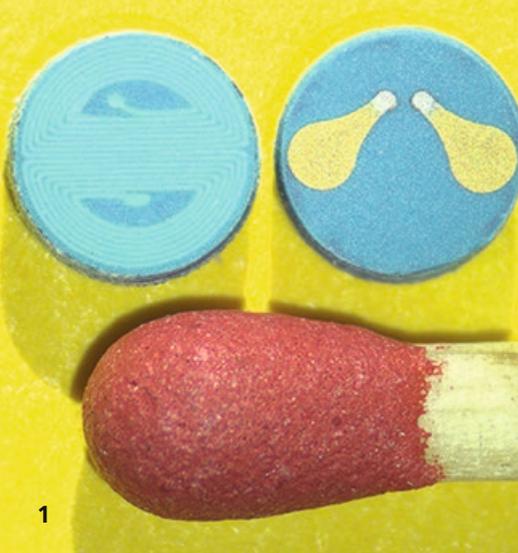
standsverhalten nach 1000 bzw. 50 000 Schaltzyklen in kalter Umgebung und bei Raumtemperatur sowie im Dauerbetrieb (1000 h) bei höchster Betriebstemperatur (70 °C) und höchster Betriebsspannung (30 V). Weiterhin wurde am IKTS eine nachträgliche Beschichtung der Schaumstruktur mit Epoxidharz entwickelt. Diese gewährleistet eine Inertisierung des Materials gegenüber durchströmenden Medien und verhindert im Falle einer mechanischen Beschädigung den Eintrag von PTC-Material in das durchströmende Medium, was insbesondere für Anwendungen in der Medizintechnik (z. B. Infusionsbeheizung) eine essentielle Anforderung ist.

### Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung und Synthese von dotierten bleihaltigen und bleifreien Bariumtitanat-Pulvern mit verschiedenen Sprungtemperaturen
- Entwicklung von Schaumkeramiken mit PTC-/NTC-Verhalten
- Bewertung der elektrischen Eigenschaften und Normprüfung nach DIN-Vorschrift
- Nachbeschichtung der Schaumstrukturen mit Harzen oder Aktivmaterialien (z. B. Katalysatoren)

1 Zellulärer PTC-Heizer in Sandwichbauweise zur einfachen Kontaktierung.

2 Widerstands-Temperatur-Kennlinie einer PTC-Schaumkeramik mit einer Nenntemperatur von 100 °C.



# KERAMIKINTEGRIERTE MINIATURSPULEN FÜR DIE DREHZAHLMESSUNG IN TURBOLADERN

Dipl.-Ing. Martin Ihle, Dr. Steffen Ziesche, Dr. Uwe Partsch

Wirbelstromsensoren ermöglichen bei elektrisch leitenden Materialien die berührungslose Erfassung von Weg, Abstand, Position sowie Schwingungen und Geschwindigkeiten. Die keramische Multilayer-Technologie (Low-Temperature Co-Fired Ceramics, LTCC) bietet hier die optimale Plattform, um Messspulen der aktiven Wirbelstromsensorik flexibel in sehr kleine Bauformen zu integrieren. In LTCC gedruckte und eingebettete Messspulen können in sehr rauen Umgebungen bei Einsatztemperatur bis 550 °C verwendet werden.

Gemeinsam mit der Jaquet Technology Group hat das Fraunhofer IKTS eine LTCC-Spule zur Messung der Drehzahl im Turbolader von Fahrzeugmotoren entwickelt. Die Drehzahlmessung ist entscheidend, um den Motor mit der optimalen Luftmasse zu versorgen und somit den Kraftstoffverbrauch zu minimieren.

## Layout des Sensorelements

Entscheidend für die Performance ist der Gütefaktor der Messspule. Durch neuartige, am IKTS entwickelte LTCC-Fertigungsprozesse konnte der laterale Windungsabstand der gedruckten Spulen auf 30 µm gesenkt werden, was deren Induktivität verbessert. Gleichzeitig wurde die Metallisierungsschichtdicke erhöht und somit der Innenwiderstand der Spulen signifikant reduziert. Im Ergebnis konnte ein deutlich rausch- und verlustärmeres Messsignal erzielt werden.

Entwicklungstreiber war neben der Miniaturisierung mit optimierter Güte auch die Integration eines flexiblen Spulendesigns in LTCC. Typischerweise werden Spulen dieser Art als gewickelte Drahtspulen in Spiralförmigkeit realisiert.

Die am Fraunhofer IKTS entwickelte LTCC-Doppel-D-Spule liefert aufgrund des zugeschnittenen Designs ein schmalbandigeres magnetisches Feld und somit ein deutlicheres Messsignal an Turboladerschaufeln beispielsweise aus Aluminium wie auch aus Titan. Diese neuartigen Mikroschichten im flexiblen LTCC-Doppel-D-Design mit optimierter Güte und einem Aspektverhältnis von  $> 1$  (Höhe-zu-Breite-Verhältnis der gedruckten Leiterbahnen) heben sich weit vom aktuellen Stand der Technik ab.

## Produktion

Aufgrund der optimierten Sensoreigenschaften wird diese innovative LTCC-Spulentechnologie in das Produktportfolio der Jaquet Technology Group zur Messung der Drehzahl von Turboladern für PKWs und LKWs aufgenommen.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

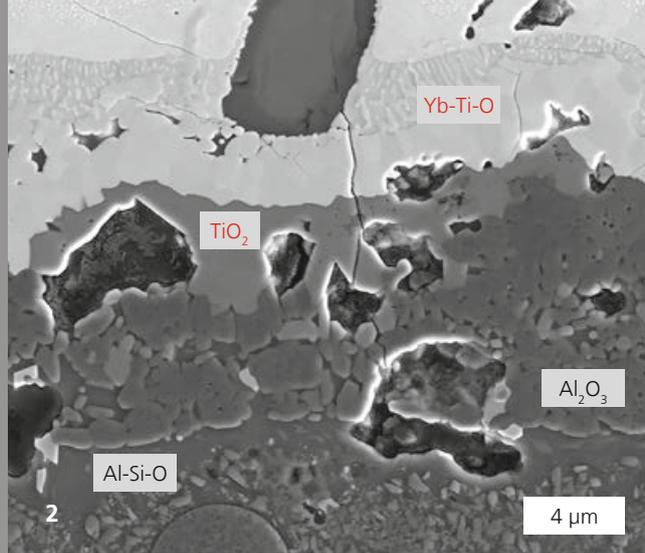
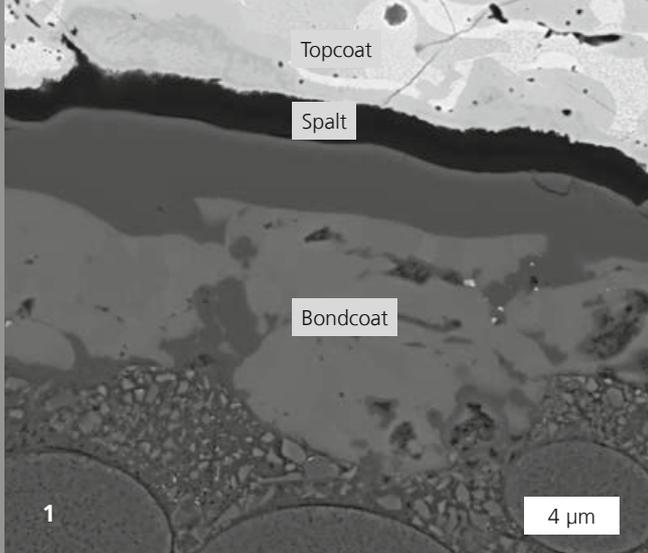
- Entwicklung und Konstruktion von individuellen LTCC-Spulen-Varianten (Sensoren, Transformatoren, etc.)
- Aufbau und Erprobung von Vorserien

1 Gesinterte LTCC-Doppel-D-Spule im Größenvergleich zu einem Streichholzkopf.

2 CT-Scan-Aufnahme der LTCC-Spule in Sensor-Vergussmasse.

3 Querschnittsbild der LTCC-Spule.





# KORROSIONSSCHUTZSCHICHTEN FÜR KERAMISCHE FASERVERBUNDWERKSTOFFE (CMC)

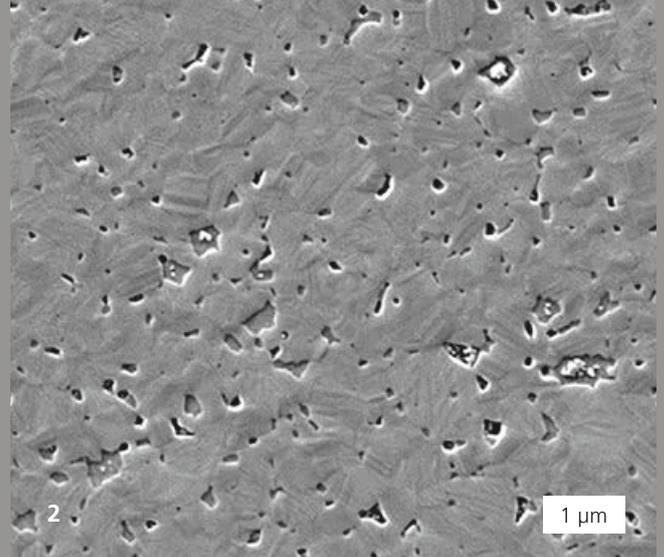
Dr. Hagen Klemm, Willy Kunz, Dipl.-Ing. (FH) Bernd Gronde, Dipl.-Ing. Katrin Schönfeld

Durch intensive FuE-Aktivitäten in den zurückliegenden Jahren stehen eine Reihe hochtemperaturstabiler keramischer Faserverbundwerkstoffe (Ceramic Matrix Composite, CMC) zur Verfügung, die ein großes Potenzial zur Anwendung in Gasturbinen besitzen. Neben einem hohen Niveau in den mechanischen Eigenschaften (Festigkeit, Schadenstoleranz) verfügen sie über eine gute Oxidationsstabilität, die auf die Bildung einer  $\text{SiO}_2$ -Schicht an der Oberfläche zurückzuführen ist. Im Heißgaspfad einer Gasturbine kommt es jedoch zu Korrosionsprozessen, die diese als Sauerstoffdiffusionsbarriere fungierende Schicht zerstören. Durch den freien Zutritt von Wasserdampf und Sauerstoff wurden Oxidationsprozesse im Inneren des CMC beobachtet, die letztlich zu Materialdegradationen führten. Mithilfe von Korrosionsschutzschichten (Environmental Barrier Coatings, EBC) können diese Prozesse stark verlangsamt werden. Typische EBC-Systeme mit guter Funktionalität bestehen aus einer Haftschiicht (Bondcoat) aus Silicium und korrosionsstabilen Oberflächenschichten (Topcoat), wie BSAS, Seltenerd-silikaten, YAG,  $\text{ZrO}_2$ - oder  $\text{HfO}_2$ -Verbindungen. Si-Bondcoats eignen sich besonders gut aufgrund ihres an das CMC angepassten thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Darüber hinaus ist die Si-Schicht eine effektive Diffusionsbarriere gegen eindringenden Sauerstoff und Wasser in den keramischen Faserverbundwerkstoff. Bei Langzeitanwendungen sind diese Diffusionsprozesse in das CMC bis zum Si-Bondcoat jedoch eine wesentliche Versagensursache. Es wurden Oxidationsprozesse an der Grenzfläche zwischen Topcoat und Si-Bondcoat unter Bildung einer  $\text{SiO}_2$ -Schicht (Thermal Grown Oxide, TGO) beobachtet, die unter Heißgasbedingungen korrodiert. Der damit verbundene Materialverlust führt zur Bildung eines Spalts, der mit fortdauernder Anwendung ein Abplatzen des Schichtsystems verursacht.

Um die Bildung der TGO-Schicht zu verhindern und dadurch die Standzeit des EBC-Systems zu verbessern, wurde der Schichtaufbau modifiziert. Anstelle der Si-Schicht wurde ein  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Bondcoat verwendet. Die Diffusionsprozesse erfolgten hier bis zur CMC-Oberfläche. Ein Teil des an der Grenzfläche zwischen CMC und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  durch Oxidation gebildeten  $\text{SiO}_2$  reagierte mit dem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  im Volumen des Bondcoats zu Mullit-ähnlichen Phasen ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ). Im Ergebnis stand dieses als Mullit gebundene  $\text{SiO}_2$  nicht mehr für die TGO-Bildung zur Verfügung. Eine vollständige Verlagerung der Oxidation in das  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Volumen und damit die Unterdrückung der TGO-Bildung gelang durch die zusätzliche Einlagerung nichtoxidischer Partikel in die Bondcoat-Schicht. Im Falle eingelagerter Si- und SiC-Partikel wurden jedoch im Heißgas Korrosionsprozesse beobachtet. Um die Si- und SiC-Partikel herum bildete sich durch Oxidation ein  $\text{SiO}_2$ -Saum, der im Heißgas korrodierte und den Bondcoat an diesen Stellen porös machte. Demgegenüber erwiesen sich eingelagerte TiCN-Partikel bzw. deren Oxidationsprodukte  $\text{TiO}_2$  und SE-Titanate als deutlich heißgasstabiler. Im Ergebnis der beschriebenen Schichtmodifikationen war es möglich, die im Heißgas ablaufenden Degradationsprozesse gezielt zu beeinflussen und somit das Standzeitverhalten des gesamten EBC-Systems deutlich zu verbessern. Wir danken dem BMBF für die Förderung des Projekts »NewAccess« (Förderkennzeichen 03EK3544C).

- 1 *Typischer Versagensmechanismus einer EBC im Heißgas mit Spaltbildung.*
- 2 *Schichtaufbau eines  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Bondcoats mit TiCN-Partikeln nach Oxidation (1200 °C, 100 h).*





# WERKSTOFF- UND PROZESSENTWICKLUNG FÜR LATP-BASIERTE FESTKÖRPERBATTERIEN

Dr. Katja Wätzig, Dr. Kristian Nikolowski, Dr. Jochen Schilm, Dr. Christian Heubner, Dr. Mareike Wolter

Zukünftige Batteriekonzepte für die Elektromobilität sollen sich insbesondere durch eine hohe Sicherheit bei gleichzeitig hoher Energiedichte und Schnellladefähigkeit auszeichnen. Neue Lithium-Festkörperbatterien werden hierfür als aussichtsreiche Kandidaten gesehen. Anorganische Festelektrolyte statt konventioneller Flüssigelektrolyte können Brände im Schadensfall verhindern und ermöglichen die Verwendung von metallischem Lithium als Anodenmaterial, was hohe Energiedichten verspricht. Eine entscheidende Voraussetzung für Festkörperbatterien ist die Entwicklung hoch leitfähiger und prozessfähiger Festelektrolyte, die mit den Aktivmaterialien in den Elektroden kompatibel sind.

## LATP als Festelektrolyt

In der Literatur sind zahlreiche anorganische Festelektrolyte beschrieben. Einige Materialklassen wie Halogenide oder Sulfide [1] weisen höchste Lithium-Leitfähigkeiten von bis zu  $10^{-2}$  S/cm auf, sind aber in größeren Maßstäben sehr anspruchsvoll zu prozessieren, da sie wegen ihrer Feuchteempfindlichkeit unter inerten Bedingungen verarbeitet werden müssen. Mit oxidischen und phosphatischen Festelektrolyten lassen sich Leitfähigkeiten im Bereich von  $10^{-4}$  bis  $10^{-3}$  S/cm erreichen [1]. Ihre Prozessierung ist mit konventionellen keramischen Technologien wie beispielsweise Folienguss und Siebdruck sowie einer Sinterung unter beherrschbaren Bedingungen möglich. Am Fraunhofer IKTS wurde durch Materialoptimierung und Anpassung der Herstellungsparameter ein phosphatbasierter, kostengünstiger, keramischer Festelektrolyt [LATP –  $\text{Li}_{1,3}\text{Al}_{0,3}\text{Ti}_{1,7}(\text{PO}_4)_3$ ] entwickelt, der als gesintertes Substrat eine Ionenleitfähigkeit von  $10^{-3}$  S/cm aufweist. Dieses Elektrolytmaterial lässt sich einerseits als Festelektrolyt zur Trennung von Anode und Kathode und anderer-

seits als Ersatz für den Flüssigelektrolyten in der Kompositelektrode verwenden.

## Keramische Kompositelektroden mit LATP

Kompositelektroden in Festkörperbatterien enthalten – vergleichbar zur konventionellen Batterietechnologie – das Aktivmaterial (Kathoden- oder Anodenmaterial), eine elektronenleitfähige Komponente und anstelle des Flüssigelektrolyten einen Lithium-Ionen-leitenden Festelektrolyten (z. B. LATP). Am IKTS werden Kompositelektroden entwickelt, die über skalierbare keramische Technologien über den Labormaßstab hinaus prozessiert werden können. Gleichzeitig wird daran gearbeitet durch geeignete Materialauswahl und -kombination die Energiedichte und Sicherheit weiter zu erhöhen. Bisher wurde ein erstes Konzept für eine Kompositanode auf Basis von LTO-Aktivmaterial ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) und LATP-Festelektrolyt untersucht. Für die Kathode werden derzeit Aktivmaterialien wie  $\text{LiCoO}_2$  und  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$  im Sinterverbund mit LATP betrachtet.

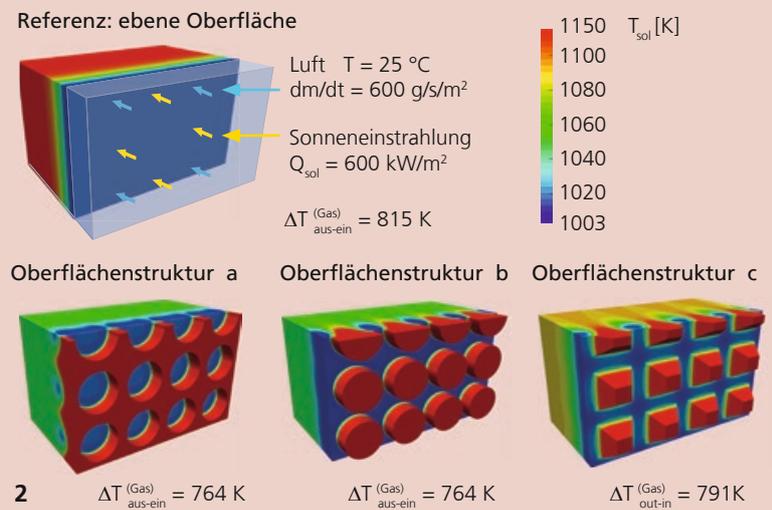
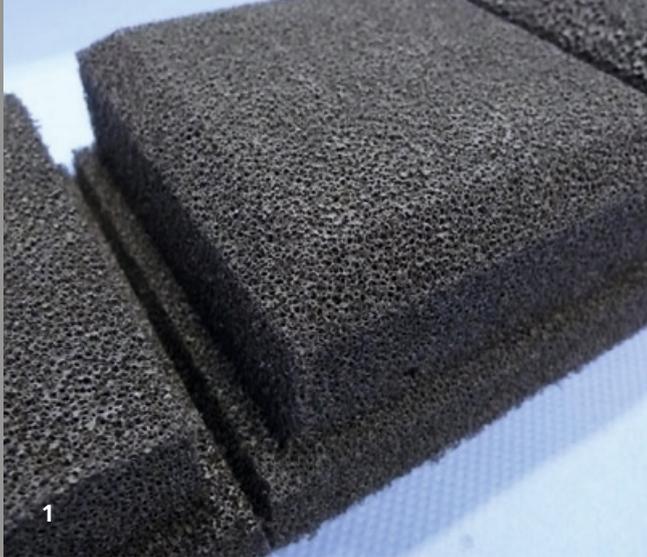
Wir danken dem BMBF für die Förderung des »ARTEMYS«-Projekts (Förderkennzeichen: 03XP0114).

## Literatur

[1] Manthiram et al., NATURE Reviews Materials 2 (2017), 16103.



- 1 *Keramischer Elektrolyt mit Lithiumanode für Testzellaufbau.*
- 2 *Gefügeaufnahme eines keramischen Elektrolyten.*



# OPTIMIERTE KERAMIKRECEIVER FÜR SOLAR-THERMISCHE KRAFTWERKE

Dr. Wieland Beckert, Dr. Alexander Füssel

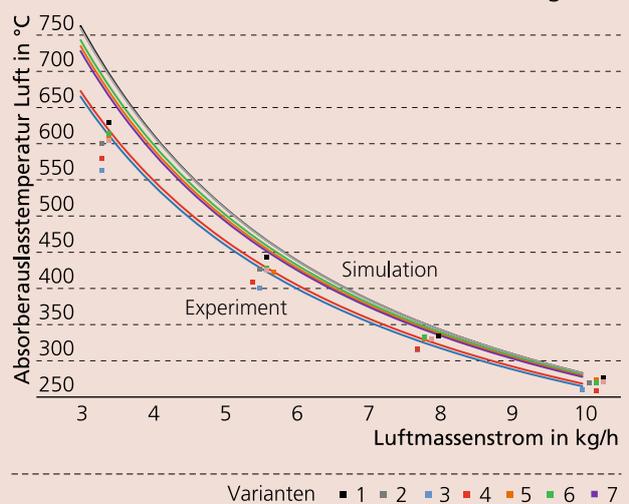
Offenzellige keramische Schäume können unter anderem als Receiver-Einheit in Solarturmkraftwerken (CSP) eingesetzt werden. Ihre Aufgabe besteht darin, die über Spiegel auf den Receiver fokussierte solare Wärmestrahlung mit möglichst geringen Verlusten aufzunehmen und als thermische Energie an die hindurchströmende Luft abzugeben. Am Fraunhofer IKTS werden hierfür Schäume aus Siliciumcarbid (SiC) entwickelt, die der angestrebten Einsatztemperatur von über  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  langfristig standhalten können. Aktuelle Forschungsarbeiten untersuchen den Einfluss der strukturellen Eigenschaften der Schäume, wie Zellgröße und Stegdimension, auf die thermische Performance der Receiver. Auf Basis dieser Kenngrößen wurden numerische Modelle entwickelt und verifiziert, die künftig eine realistische Abschätzung der thermischen Performance von Absorberschäumen erlauben und damit eine optimale Auswahl und Gestaltung der Schaumstrukturen ermöglichen. Die thermische Performance des Receiver-Materials ergibt sich aus dem Zusammenspiel von Absorption und Streuung der eingestrahnten solaren sowie der vom Material emittierten thermischen Strahlung, dem Wärmeübergang zwischen Fest- und Gasphase sowie dem Wärmetransport durch Leitung (Festphase) und Konvektion (Gasphase) in der Schaumstruktur. All diese Mechanismen werden im Modell mittels einer homogenisierten Kontinuumsbeschreibung berücksichtigt. Neben der Analyse genereller Trends wurde untersucht, ob der Einsatz von Mehrschichtsystemen bzw. strukturierten Oberflächen die Performance verbessert. Es konnte gezeigt werden, dass einfache, unstrukturierte Schäume die beste Performance erzielten. Darüber hinaus lassen sie sich kostengünstiger herstellen. Im Rahmen des EU-Projekts »CAPture« konnten die erhaltenen Ergebnisse an experimentellen Daten (Kooperation mit CENER, Spanien) verifiziert werden.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung von hochtemperaturstabiler Schaumkeramik
- Fertigung und Analyse von Testmustern und Kleinserien
- Entwicklung und Anpassung von Simulationsmodellen für die Eigenschaftsbeschreibung komplexer Strukturen

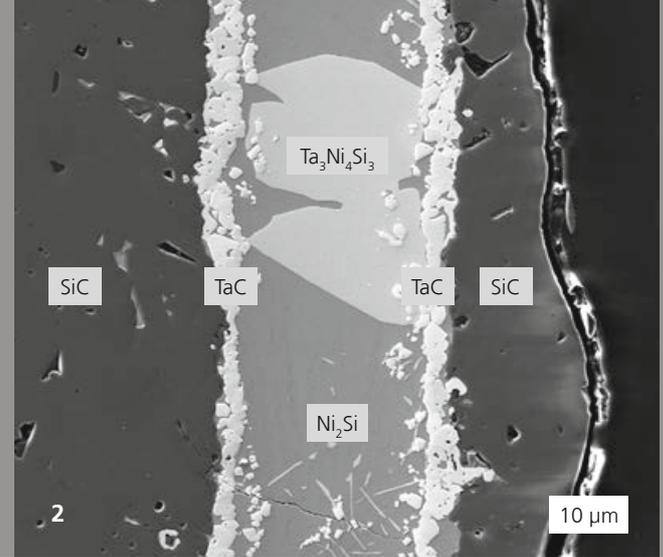
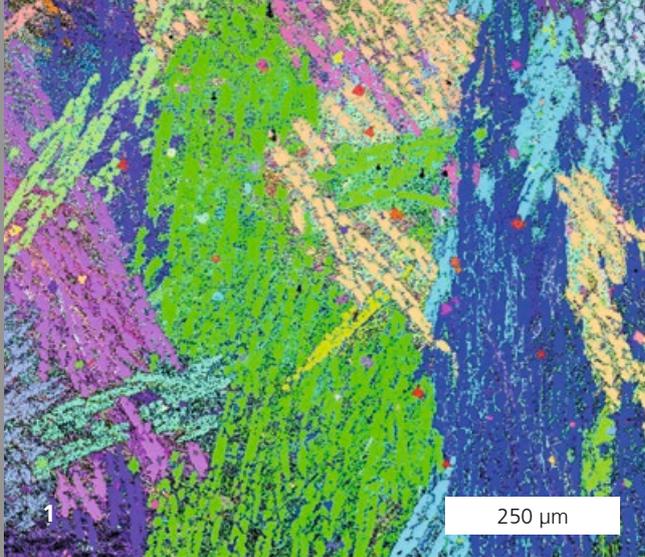
Wir danken der EU für die Förderung des Projekts »CAPture« (Rahmenprogramm: H2020-LCE-2014-1, Kennzeichen: 640905).

Mess- und Simulationsdaten zur Auslasstemperatur der variierten Receiver-Schäume verschiedener Designs



- 1 Absorberkomponente aus Schaumkeramik.
- 2 Modellierter Einfluss der Oberflächenstrukturierung.



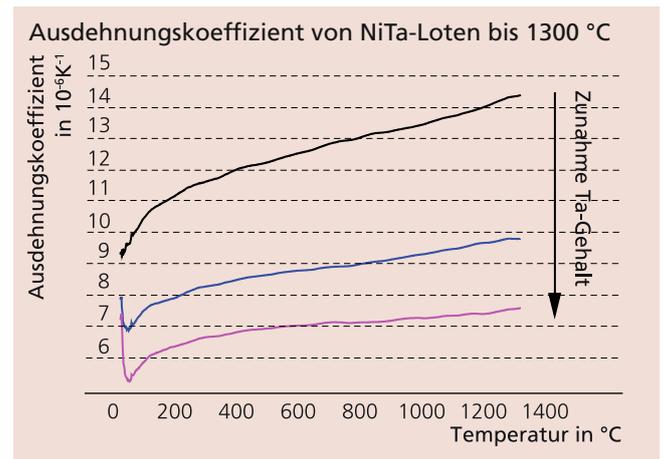


ENERGIE

# LOTENTWICKLUNGEN FÜR HOCHTEMPERATURSTABILE KERAMISCHE VERBUNDE

Dipl.-Ing. Sven Roszeitis, Dr. Hans-Peter Martin

Keramische Werkstoffe eignen sich aufgrund ihrer extremen Beständigkeit für den Einsatz bei sehr hohen Temperaturen und in chemisch aggressiven Umgebungen. Im Vergleich zu anderen Werkstoffen sind daher signifikant längere Einsatzzeiten möglich. Prozessoptimierte Keramiken können zudem die energetische und stoffliche Bilanz des Gesamtprozesses steigern, wenn höhere Prozesstemperaturen oder eine verbesserte Wärmeisolation bzw. Wärmeleitung realisierbar sind. Der erfolgreiche Einsatz keramischer Bauteile ist von einer optimalen Integrationslösung ins Gesamtsystem abhängig. Hieraus erwächst ein steigender Bedarf an keramikspezifischen, zuverlässigen Fügeverbindungen und damit die Notwendigkeit, neue Verfahren und Fügwerkstoffe für sehr hohe Anwendungstemperaturen zu entwickeln. Am Fraunhofer IKTS wurden hochtemperaturstabile Lotsysteme für Keramiken hergestellt und in diversen Anwendungen erprobt. Angepasste Nickel-Tantal-Lote (NiTa) zeigten selbst bei hohen Temperaturen ein für metallische Lote hohes Festigkeitsniveau. Unter Verwendung dieser Lote konnten SiC-Verbunde mit einer Biegebruchfestigkeit von 275 MPa bei 800 °C realisiert werden. Über die Anpassung des Ausdehnungskoeffizienten im System NiTa wurde eine weitere Optimierung des Materialverbunds erreicht. Das Diagramm zeigt den weiten Bereich des Ausdehnungskoeffizienten im System NiTa von  $12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  bis  $6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Das Fügen von Aluminiumoxid, Siliciumcarbid und Zirkoniumoxid gelang mit entwickelten Titan-Aluminium-Loten (TiAl). Diese kostengünstigen Hochtemperaturlote besitzen eine Oxidationsstabilität bis 1000 °C sowie eine hohe Duktilität und eignen sich somit für Keramik-Keramik- und Keramik-Metall-Verbunde. Weitere Arbeiten untersuchen derzeit, ob ein kombiniertes Verfahren aus Hochtemperaturlöten und 3D-Druck die Effizienz additiver Fertigungsverfahren für Keramikwerkstoffe deutlich verbessern kann.



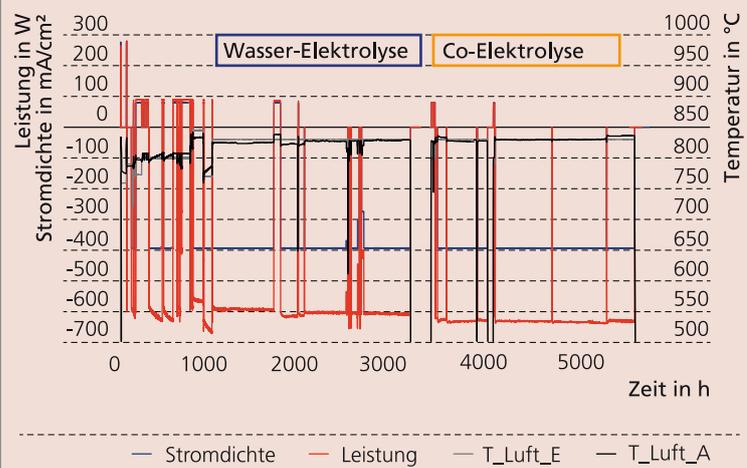
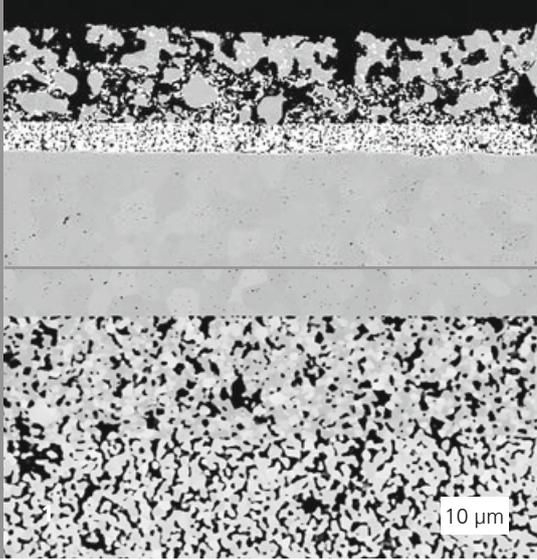
## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung hochtemperaturstabiler Verbunde auf Basis der Lotsysteme NiTa und TiAl
- Entwicklung kundenspezifischer metallischer Lote, Lötprozesse
- Experimentelle Bereitstellung von Keramik-Keramik- und Keramik-Metall-Testverbunden mit metallischen Loten

Wir danken der EU, dem Freistaat Sachsen und der Sächsischen Aufbaubank für die Förderung von »SuperHi« (FKZ: 100231806).



- 1 EBSD-Bandkontrast einer Ni62Ta38-Legierung.
- 2 FESEM-Aufnahme einer SiC-Ni62Ta38-SiC-Fügenaht.



2

# ZELLEN UND STACKS FÜR DIE SYNTHESGAS-PRODUKTION DURCH CO-ELEKTROLYSE

Dr. Nikolai Trofimenko, Dr. Stefan Megel, Dr. Mihails Kusnezoff

Höherwertige Brennstoffe und Chemikalien sind durch Co-Elektrolyse von Wasserdampf/ $\text{CO}_2$ -Gemischen, unter Nutzung erneuerbarer Energie mit gekoppelter Fischer-Tropsch-Synthese,  $\text{CO}_2$ -neutral und effizient herstellbar. Mit SOFC-Brennstoffzellen, die längst nicht nur Strom erzeugen können, wird ein Wasserdampf/ $\text{CO}_2$ -Gemisch bei über  $750\text{ }^\circ\text{C}$  in Synthesegas umgewandelt. Mit angeschlossener Fischer-Tropsch-Synthese können so beliebige Kohlenwasserstoffe erzeugt werden. Da die Prozesseffektivität durch den Einfluss von  $\text{CO}$  und  $\text{CO}_2$  aufgrund der übergeordneten Shiftreaktion sinkt, ist es erforderlich, passende Elektroden und Betriebsbedingungen auszuwählen. Das Fraunhofer IKTS hat daher die elektrochemische Leistung einer elektrolytgetragenen Zelle mit herkömmlichen IKTSG3-Elektroden für den Einsatz als SOEC und SOFC untersucht. Hierfür wurden das Verhältnis von  $\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2$  und  $\text{CO}_2:\text{CO}$ , die Betriebstemperatur ( $750\text{--}850\text{ }^\circ\text{C}$ ) sowie die Stromstärke variiert. Der flächenspezifische Widerstand (ASR) wies  $0,178 \pm 0,010\ \Omega\text{cm}^2$  bei  $850\text{ }^\circ\text{C}$  und  $0,286 \pm 0,013\ \Omega\text{cm}^2$  bei  $800\text{ }^\circ\text{C}$  auf. Während der Leistungstests über  $\sim 4.000\text{ h}$  erhöhte sich der Zellwiderstand im Brennstoffzellenmodus lediglich um  $< 5\ \text{m}\Omega\text{cm}^2/1000\text{ h}$  ( $\Delta P/P_0 < 0,5\ \%/1000\text{ h}$ ). Die Elektroden der IKTSG3 wurden auf Grundlage der elektrochemischen Charakterisierung und Gefügeanalyse zusätzlich für den Co-Elektrolyse-Modus optimiert, um einen Anstieg der Spannung während der ersten 50 bis 100 h zu vermeiden. Die Zelle wurde um eine weitere Schicht zwischen Substrat und Mehrschicht-Luftelektrode sowie eine optimierte Elektroden-Gefügestruktur ergänzt (IKTSG5) und getestet. Die lineare Degradationsrate für den Co-Elektrolyse-Modus der IKTSG5-Zelle beträgt  $\Delta P/P_0 = 0,4\ \%/1000\text{ h}$ . Anschließend wurde diese neue Zellgeneration in das robuste CFY-Stack-Design MK352 des Fraunhofer IKTS integriert und im Elektrolyse- sowie Co-Elektrolyse-Modus getestet.

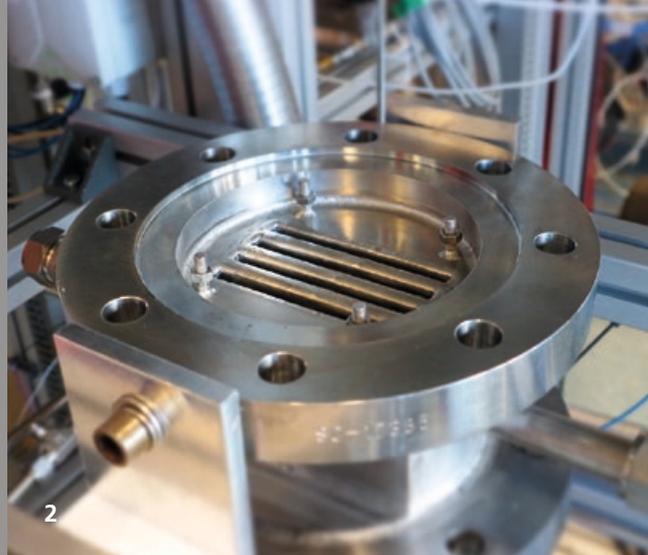
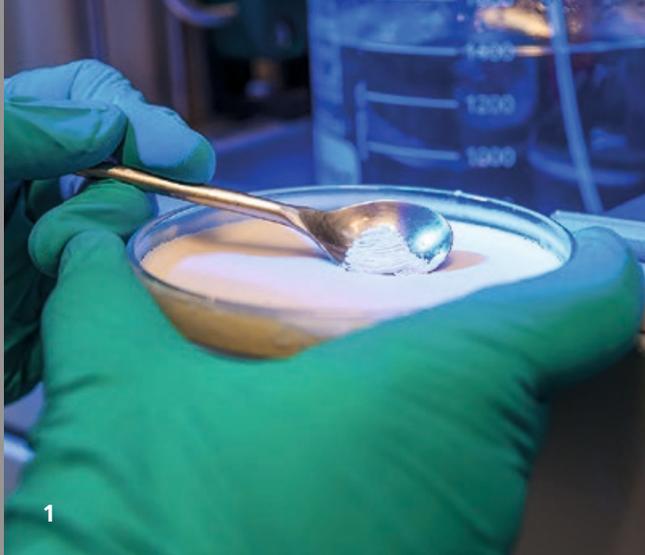
Das Leistungskennfeld des Stacks im Wasserdampf- und Co-Elektrolyse-Modus zeigte über einen breiten Anwendungsbereich einen linearen Verlauf und wies einen kaum erhöhten Leistungsaufwand ( $+ 2\ \%$ ) gegenüber der Wasserelektrolyse auf. Mit der neuen Zellgeneration konnte die Langzeitstabilität des Stacks ( $> 4000\text{ h}$ ) nachgewiesen werden. Durch Kombination eines SOFC-Stacks mit einem Fischer-Tropsch-Reaktor soll im nächsten Schritt die Herstellung unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe erfolgreich demonstriert werden. Dies ebnet dann den Weg für die Speicherung von Überschussenergie und eröffnet neue Möglichkeiten für die  $\text{CO}_2$ -neutrale Produktion höherwertiger Chemikalien.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Zellentwicklung und Technologietransfer
- Komponententests für SOFC/SOEC unter realen Bedingungen
- Stackmodulentwicklung zum Einsatz in Systemen
- Verkauf von Stacks und Stackmodulen

1 FESEM-Aufnahme der Gas-elektrode (oben) und Luftelektrode (unten) einer IKTSG3-Zelle nach Langzeittest unter Co-Elektrolyse-Bedingungen.

2 Langzeittest eines 10-Zellen-MK352-Stacks mit IKTSG3-Zellen in Wasser- und Co-Elektrolyse (bei  $\text{H}_2\text{O}:\text{CO} = 2$ ) bei  $-50\text{ A}$ ,  $830\text{ }^\circ\text{C}$  und  $75\ \%$  Gasausnutzung.



# FISCHER-TROPSCH-SYNTHESE – ENTWICKLUNG SELEKTIVER KATALYSATOREN UND PROZESSE

Dr. Erik Reichelt, Dipl.-Ing. Aniko Walther, M. Sc. Max Schaller, Dipl.-Ing. Gregor Herz, Dr. Matthias Jahn

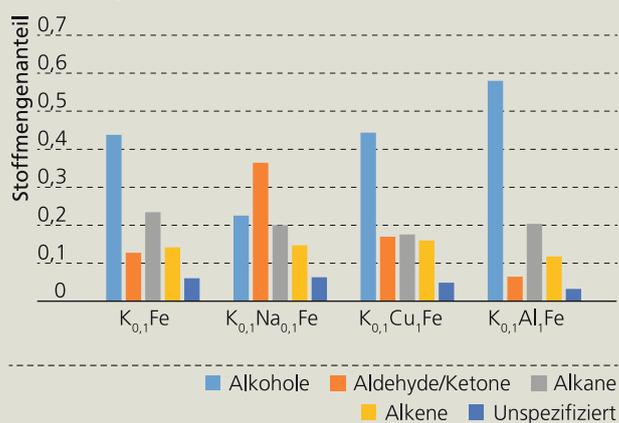
Vor dem Hintergrund der Nutzung erneuerbarer Rohstoffquellen erlebt die Fischer-Tropsch-Synthese in den letzten Jahren eine Renaissance. Die Möglichkeit aus unterschiedlichen erneuerbaren Kohlenstoffquellen (Biomasse, CO<sub>2</sub>) über den Zwischenschritt der Synthesegaserzeugung verschiedene chemische Wertstoffe herzustellen, erklärt das erneuerte Interesse an diesem fast 100 Jahre alten Verfahren. Während sich die Forschungsarbeiten in vielen Fällen allein auf die Katalysatorentwicklung konzentrieren, steht am Fraunhofer IKTS die gesamte Entwicklungskette vom Katalysator bis hin zum Gesamtverfahren im Vordergrund.

Fokussiert werden bei der Untersuchung der Fischer-Tropsch-Synthese vor allem Prozesspfade hin zu hochwertigen chemischen Produkten. Über die zielgerichtete Entwicklung von Eisen- und Cobalt-basierten Katalysatoren wird die Selektivität zu den jeweiligen Zielprodukten optimiert. Die hergestellten höheren Alkohole sowie Wachse sind insbesondere für den Einsatz in der kosmetischen Industrie von Interesse.

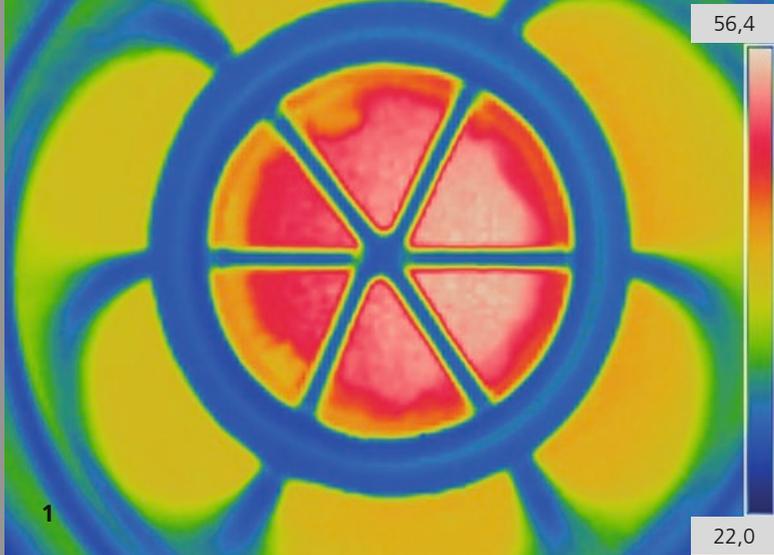
Die Nutzung nachhaltiger Kohlenstoffquellen bedingt eher kleinskalige dezentrale Anlagen. Hierauf angepasst sind sowohl neue Prozess- als auch Reaktorkonzepte notwendig, die geringe Investitions- und Betriebskosten ermöglichen. Neuartige, am IKTS verfügbare keramische Fertigungstechnologien erlauben die Herstellung von Katalysatorstrukturen, die vorteilhafte Stoff- und Wärmetransporteigenschaften aufweisen. Darüber hinaus werden angepasste Reaktorkonzepte entwickelt, die u. a. den unkomplizierten Austausch der Katalysatorstrukturen am Ende ihrer Betriebszeit ermöglichen.

Zurzeit werden unter der Koordination des IKTS zwei neuartige Prozesskonzepte in Pilotanlagen demonstriert. Weltweit erstmalig werden dabei die Umwandlung von Biogas zu Wachsen sowie die Herstellung von höheren Alkoholen aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O über Co-Elektrolyse und Fischer-Tropsch-Synthese in einem technischen Prozess realisiert. Die Ergebnisse beider Pilotstudien ermöglichen dabei nicht nur die Validierung der für die Auslegung erstellten Prozessmodelle, sondern bilden auch die Grundlage für eine wirtschaftliche Umsetzung der beiden Technologien.

Zusammensetzung der öligen Produktphase für verschieden promotierte Eisenkatalysatoren



- 1 Über die Fischer-Tropsch-Synthese hergestelltes Wachs.
- 2 Fischer-Tropsch-Reaktor.



# HOCHDYNAMISCHE MIKROWELLENBEHEIZUNG VON REAKTOREN

Dr. Uwe Petasch, Dipl.-Krist. Jörg Adler

Aufgrund ihrer großen geometrischen Oberfläche und ihres guten Durchströmungsverhalten eignen sich strukturierte Katalysatoren, z. B. in Form keramischer Waben oder Schäume, hervorragend für die Verwendung in heterogen katalysierten Gasreaktionen, wie zur Schadstoffreduzierung von Abgasen. Im Gegensatz zu Waben besitzen offenzellige Keramikschaume eine Netzwerkstruktur, die zusätzlich einen radialen Stoff- und Temperaturtransport ermöglicht und damit zur Intensivierung von Reaktionen beitragen kann. Katalysatoren werden eingesetzt, um die Aktivierungsenergie chemischer Reaktionen zu verringern. Sie benötigen jedoch ebenfalls Mindestenergien, um ausreichende Umsatzraten zu erzielen. Daher ist ein optimales thermisches Management die Voraussetzung für eine effiziente Reaktionsführung. Herkömmliche Methoden zum Aufheizen bzw. Abkühlen von Katalysatoren basieren auf klassischen Techniken der Wärmeübertragung mittels Konvektion, Wärmeleitung und -strahlung. In den meisten Fällen sind diese jedoch träge und damit nur schwer regelbar. Mikrowellen hingegen ermöglichen durch ihre kontaktlose, volumetrische Wärmeübertragung ein schnelles Aufheizen der Katalysatoren und können dadurch die katalytische Schadstoffreduzierung vor allem bei diskontinuierlich auftretenden Abgasmengen, anwendungsbedingten Schwankungen der Abgastemperatur oder dynamisch ablaufenden Reaktionen wesentlich effizienter steuern.

Das Fraunhofer IKTS hat in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT eine hochdynamische Mikrowellenbeheizung sowie eine skalierbare Anlagentechnik für mikrowellenbeheizte Reaktoren entwickelt. Dazu wurde das Mikrowellenverhalten von Katalysatorträgern aus Schaumkeramik untersucht und diese für Anwendungen in der Gas-

phasenchemie erprobt. Voraussetzung für eine schnelle und präzise thermische Beeinflussung der Reaktionsführung ist zum einen eine homogene und hohe Eindringtiefe des Mikrowellenfelds in den Reaktionsraum und zum anderen ein hinreichender Eintrag der Mikrowellenenergie zur direkten Aufheizung des Katalysatormaterials. Um diesen Anforderungen zu entsprechen, wurden die dielektrischen Eigenschaften offenzelliger Schaumkeramiken aus Siliciumcarbid gezielt eingestellt, indem die Zellstruktur und die Materialzusammensetzung der Katalysatoren modifiziert wurden. Validierungstests des Reaktorsystems in der CO- und HC-Oxidation sowie der DeNOx-SCR-Reaktion belegen die Vorteile dieser Beheizungsmethode gegenüber den klassischen Verfahren, vor allem in dynamischen Prozessen. In allen Fällen konnten die Katalysatoren mittels Mikrowellen in weniger als zehn Sekunden so aufgeheizt werden, dass sie Reaktionsumsätze von mehr als 90 % erreichten.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung und Charakterisierung von strukturierten keramischen Katalysatoren mit gezielt eingestellten Mikrowelleneigenschaften
- Prüfstandsuntersuchungen zur Validierung des Mikrowellenverhaltens von Katalysatoren in heterogenen Gasreaktionen

- 1 Temperaturverteilung im Mikrowellenreaktor.
- 2 Reaktionsrohr mit Schaumkeramik-Katalysator.



1



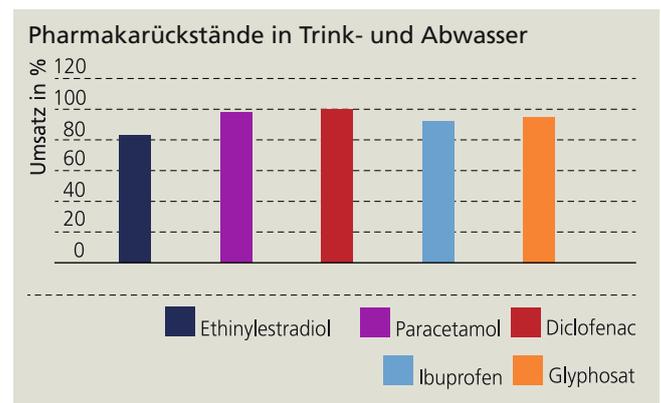
2

# MATERIALIEN ZUM ELEKTROCHEMISCHEN ABBAU VON PHARMAKARÜCKSTÄNDEN IM WASSER

Dipl.-Chem. Hans-Jürgen Friedrich, Dr. Katrin Viehweger, Dr. Lars Rebenklau, Dr. Peter Neumeister, Dr. Daniela Haase

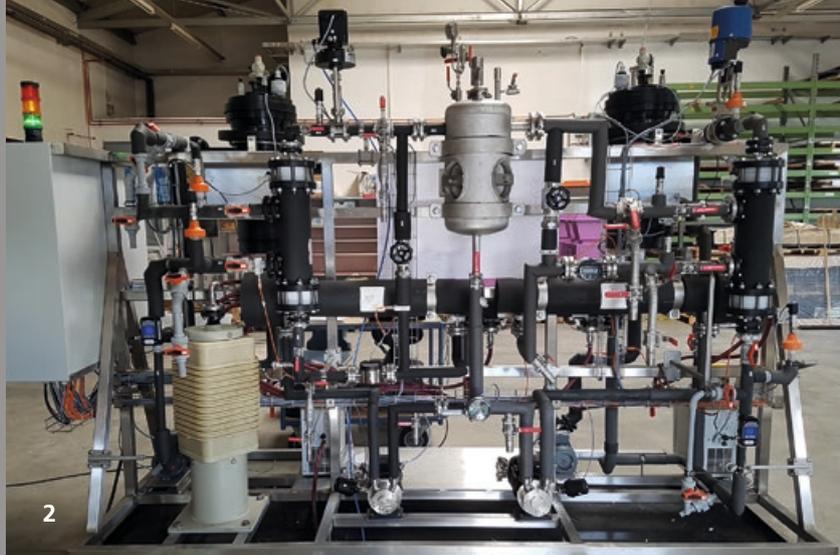
Pharmakarückstände in Oberflächen- und Grundwasser stellen die Wasseraufbereitung vor neue Herausforderungen. Sie können mit den etablierten Verfahren häufig nur unzureichend entfernt werden. So trägt deren fortgesetzter Eintrag in Gewässer unter anderem zur Verbreitung von Antibiotikaresistenzen und Fertilitätsstörungen bei. Aus früheren Projekten ist bekannt, dass sich selbst sehr stabile organische Substanzen, wie z. B. halogenierte Kohlenwasserstoffe oder Nitroaromaten, elektrochemisch bis zum  $\text{CO}_2$  oxidieren lassen. Auch eine reduktive Transformation derartiger Verbindungen zu weniger umweltschädlichen ist bei einigen Substanzklassen denkbar. Die im Rahmen der BMBF-Initiativen »InnoEMat« und »MachWas« durchgeführten Verbundprojekte »SONEKTRO« und »KERAMESCH« erforschen diese Möglichkeiten. Im Projekt »SONEKTRO« werden in Kooperation mit dem CEEC Jena Alternativen zu Bordotiertem Diamant (BDD) als bislang potentestem Anodenmaterial für den elektrochemischen Abbau von Pharmakarückständen gesucht. BDD zeichnet sich u. a. durch eine sehr hohe Überspannung für die anodische Sauerstoffentwicklung aus, sodass damit sehr viele organische Stoffe völlig zerstört werden können. BDD ist allerdings sehr teuer und neue Optionen sind daher von großem praktischem Interesse. Zu diesem Zweck wurden am Fraunhofer IKTS verschiedene edelmetalfreie und auch edelmetallhaltige halbleitende Mischoxidphasen auf keramischen Trägern als alternative Anodenmaterialien synthetisiert und untersucht. Dabei erwiesen sich  $\text{SnO}_2$ -basierte Systeme als besonders effektiv. Durch eine arrayförmig in die Elektrodenstruktur integrierte Ultraschallquelle ist es in ersten Versuchen zudem gelungen, oberflächennahe Transportprozesse in Elektrodennähe zu intensivieren und dadurch die elektrochemische Aktivierung zu unterstützen. Im »KERAMESCH«-Projekt wird ein Verfahren zur Entfernung von Pharmaka- und Pestizid-

rückständen aus Abwässern entwickelt, bei dem diese Schadstoffe elektrochemisch in harmlosere Stoffe umgewandelt werden. Hierfür entwickelt und testet das IKTS preiswerte katalytisch aktive Eisenlegierungen. Diese werden auf einen Träger aus Schaumkeramik aufgebracht, um damit Fluidized-Bed-Reaktoren für hohe Wasserdurchsätze zu realisieren. Erste Ergebnisse zeigen, dass z. B. Diclofenac relativ gut elektrochemisch reduziert werden kann. Aktuell laufen Tests mit weiteren Stoffen, wie Ethinylestradiol (Hormon) oder Erythromycin (Antibiotikum). Für diese Untersuchungen werden auch C14-markierte Verbindungen genutzt, mit deren Hilfe sich Spurenkomponenten ohne aufwendige Voranreicherung nachweisen lassen.



- 1  $\text{SnO}_2$ -Mischoxidanode auf  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
- 2 Anode mit Piezowandler.





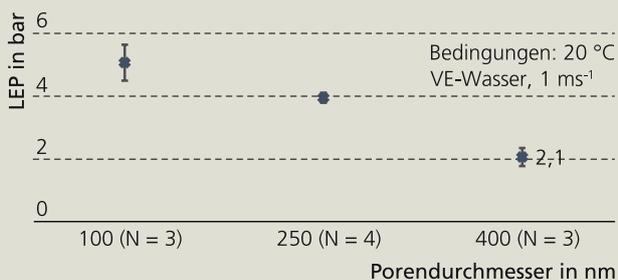
# RECYCLING VON SELTENEN METALLEN MIT KERAMISCHEN MEMBRANEN

Dipl.-Ing. André Wufka, Dipl.-Ing. Christian Pflieger, Dr. Marcus Weyd, Dr. Burkhardt Faßbauer

Die Nachfrage der Hightech-Industrie nach Seltenen Metallen wie Gallium und Indium wird künftig weiter steigen. Die Recyclingquote dieser Stoffe in Europa ist jedoch aktuell noch sehr gering. Für Unternehmen ist es bislang kaum wirtschaftlich möglich, die begehrten Rohstoffe aus eigenen Prozessabwässern zurückzugewinnen. Grund dafür ist die sehr niedrige Konzentration der darin enthaltenen Metalle. Bisherige Recyclingverfahren sind zudem aufwendig und kostenintensiv. Zum Metall-Recycling aus wässrigen Lösungen wird häufig die Flüssig-Flüssig-Extraktion eingesetzt. Hierbei werden eine metallhaltige wässrige Lösung (wässrige Phase) und ein organisches Extraktionsmittel (organische Phase) dispergiert. Der Übergang des Metalls in das Extraktionsmittel erfolgt dabei an der Kontaktfläche der beiden Phasen. Am Fraunhofer IKTS wurde ein neues membrangestütztes Flüssig-Flüssig-Extraktionsverfahren entwickelt, bei dem beide Phasen über eine poröse keramische Membran kontinuierlich miteinander in Kontakt gebracht werden. Der Schritt des Dispergierens entfällt damit und beide Phasen sind unabhängig vom Volumenverhältnis kontaktierbar. Das neue Verfahren soll ermöglichen, selbst sehr geringe Konzentrationen der Seltenen Metalle aus Prozessabwässern zurückzugewinnen. Grundlegend für die Funktionsweise des Verfahrens sind keramische Membranen mit einer wasserabweisenden Oberfläche. Um diese zu erzeugen, wurden unterschiedliche Beschichtungen z. B. mit Kohlenstoff, Silan oder Silikon erprobt. Die hydrophoben Eigenschaften der Membranen wurden nachgewiesen über die Kontaktwinkelmessung und die Bestimmung des Liquid-Entry-Pressure (LEP), des Drucks, bei dem das Wasser durch die Membran durchbricht (Bild 1). Es wurden hydrophobe Einkanalrohre mit Kontaktwinkeln größer 125 ° hergestellt. Der Porendurchmesser der Membran hatte hierbei einen entscheidenden Einfluss auf den LEP und damit auf die spätere

Prozesssicherheit. Die keramischen Membranen erlauben einen definierten Kontakt beider Phasen innerhalb der Poren, wo der Stoffübergang erfolgt. Die organische Phase benetzt die hydrophobe Membran vollständig. Durch einen leichten Überdruck auf Seite der wässrigen, nicht benetzenden Phase wird der Durchbruch der organischen Phase durch die Membran verhindert. Auf diese Weise wird die Phasengrenze in den Membranporen stabilisiert. Die gesamte Porenoberfläche dient nun dem Stoffübergang der Metalle aus der wässrigen in die organische Phase.

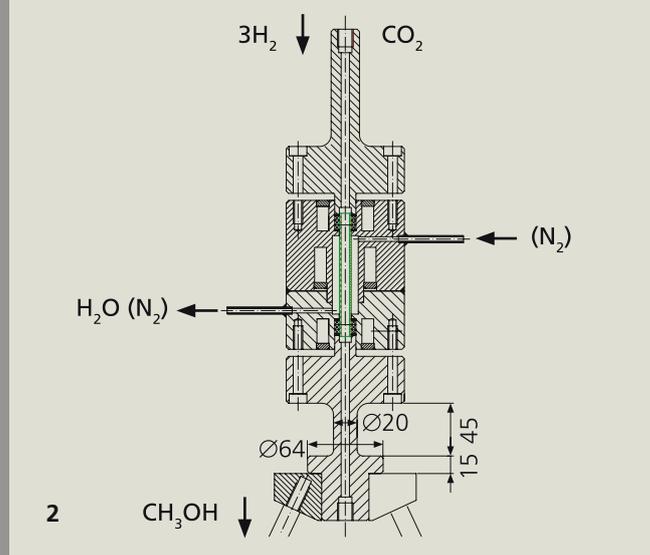
Einfluss der Porengröße auf den LEP



Gemeinsam mit Andreas Junghans – Anlagenbau und Edelstahlbearbeitung GmbH & Co. KG wurde ein mit keramischen Einkanalrohr-Membranen ausgestattetes Extraktionsmodul sowie eine Pilotanlage zur selektiven Extraktion verschiedener wirtschaftsstrategischer Metalle entwickelt. Die Leistungsfähigkeit der membrangestützten Flüssig-Flüssig-Extraktion wird gegenwärtig an realen Prozesswässern der Nickelhütte Aue GmbH demonstriert.



- 1 Durchbruch der wässrigen Phase bei der LEP-Messung.
- 2 Pilotanlage zur membrangestützten Flüssig-Flüssig-Extraktion.



# STEIGERUNG DER PRODUKTAUSBEUTE DURCH DEN EINSATZ VON MEMBRANREAKTOREN

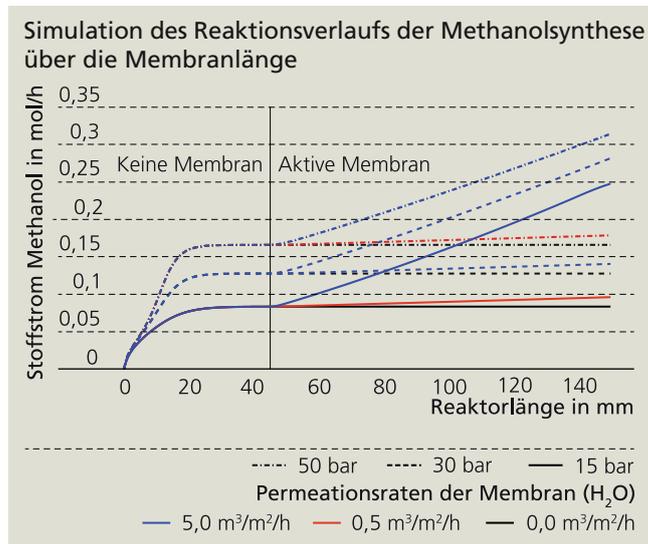
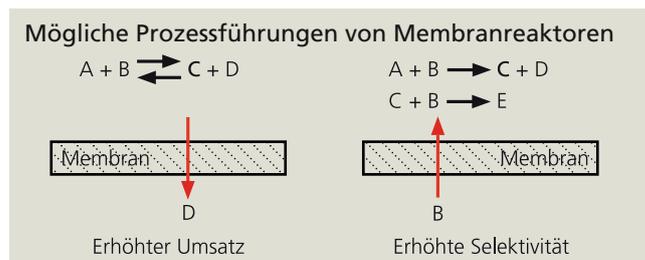
Dr. Norman Reger-Wagner, Dr. Jörg Richter, Dr. Benjamin Jäger, PD Dr. Matthias Jahn

## Ausgangssituation und Motivation

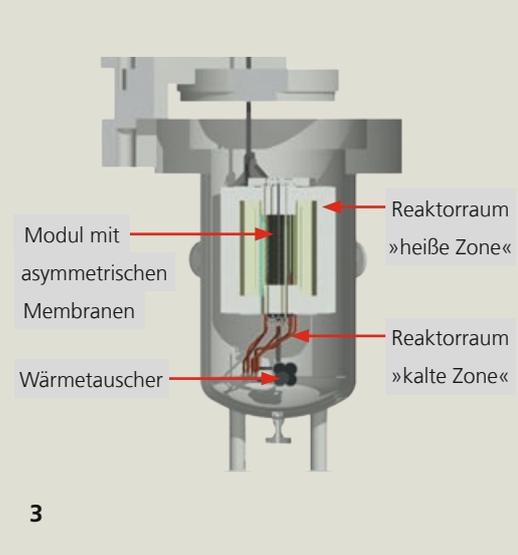
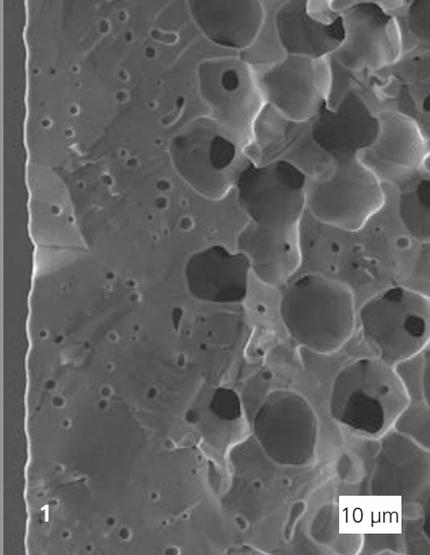
Viele chemische Prozesse sind entweder durch ihre Thermodynamik oder Reaktionskinetik begrenzt. Im ersten Fall besteht die Begrenzung im chemischen Gleichgewicht. Durch kontinuierliches Entfernen des Nebenprodukts D aus dem Reaktionsraum wird die Ausbeute für das Produkt C erhöht. Im zweiten Fall neigt das Edukt B zur Weiterreaktion mit dem Zielprodukt C. Ein Beispiel hierfür ist die partielle Oxidation, bei der die Totaloxidation des Produkts zu vermeiden ist. Durch gezielte Dosierung eines Edukts, beispielsweise des Oxidationsmittels, wird die Folgereaktion unterdrückt und die Selektivität des Prozesses verbessert. In beiden Fällen kann das Prozessfenster durch gezielte Reaktionsführung in einem Membranreaktor erweitert werden (Bild 1).

## Aktuelle Entwicklungen am Fraunhofer IKTS

Für die erfolgreiche Entwicklung von Membranreaktor-Prozessen ist die Zusammenführung verschiedener Kompetenzen nötig (Katalysatoren, Membranen, Verfahren, Modellierung, Anlagenbau), die alle im IKTS vorhanden sind. Im Rahmen der Thüringer Forschergruppe »Membranreaktoren« werden Membranen mit entsprechenden Eigenschaften entwickelt, die für verschiedene Reaktortypen geeignet sind. Mit der MUW Screentec GmbH wird an einem Membranreaktor zur Methanolsynthese aus Wasserstoff und Kohlendioxid gearbeitet. Simulationsrechnungen zeigen hier eine deutliche Ausbeutesteigerung (Bild 2). Nach dem grundlegenden Nachweis der Wirksamkeit des Membranreaktors konzentrieren sich die weiteren Arbeiten auf Verbesserungen der Membrantrenneigenschaften und der Prozessführung.



- 1 Kohlenstoffbasierte Membranen für Membranreaktoren.
- 2 Konstruktion eines Membranreaktors.

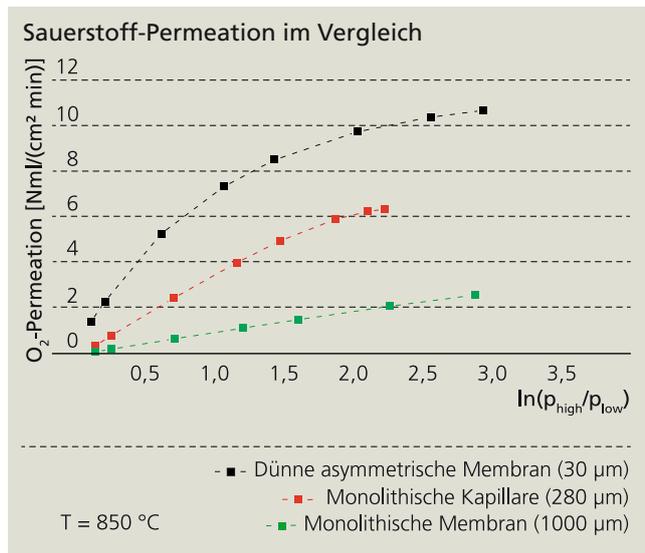


# DÜNNE, GETRÄGERTE MEMBRANSCHICHTEN FÜR SAUERSTOFFGENERATOREN

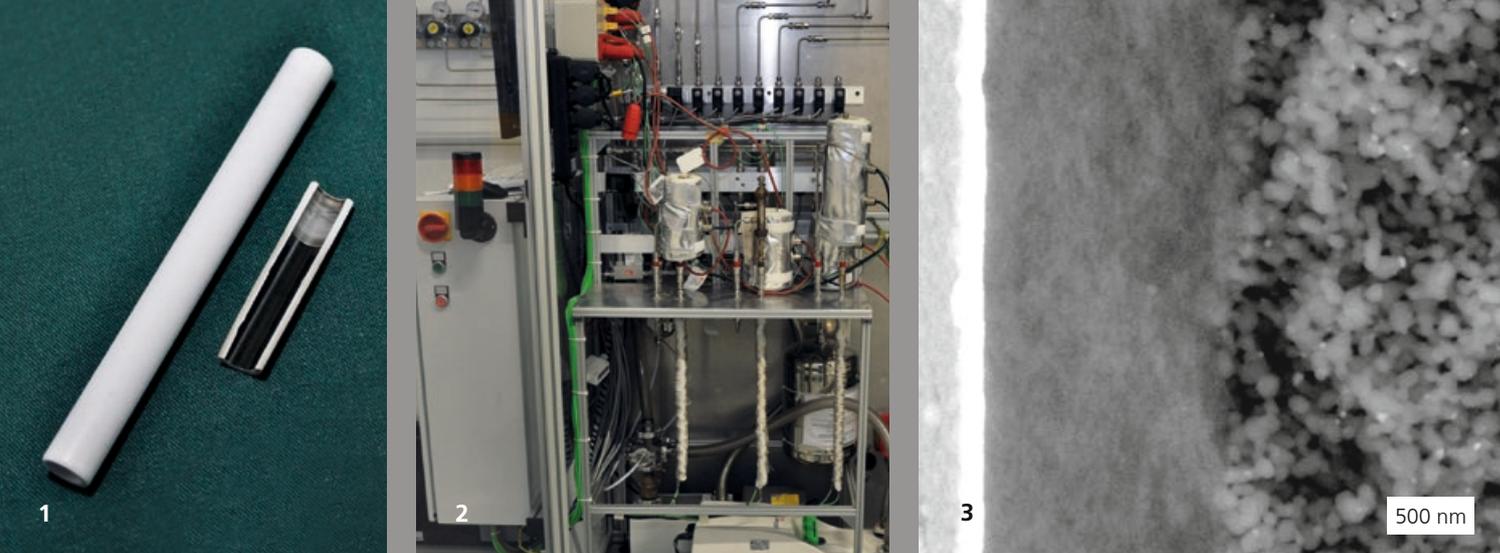
Dipl.-Ing. (FH) Ute Pippardt, Dr. Ralf Kriegel

Sauerstoff (O<sub>2</sub>) zählt mit einem weltweiten Verbrauch von ca. 100 Mio. Tonnen pro Jahr zu den am häufigsten benötigten Industriegasen. Konventionelle Herstellungsverfahren sind sehr energieaufwändig und der O<sub>2</sub>-Preis steigt bei geringen Abnahmemengen stark an. Eine Alternative dazu sind am Fraunhofer IKTS entwickelte O<sub>2</sub>-Generatoren auf Basis gemischt leitender Keramikmembranen (Mixed Ionic Electronic Conductor – MIEC). Die Gastrennung erfolgt hierbei hochselektiv bei ca. 850 °C über den gekoppelten Transport von Oxidionen und elektronischen Ladungsträgern. Bisher wurden in O<sub>2</sub>-Generatoren des IKTS Membranrohre oder Kapillaren – sogenannte monolithische Membranen – eingesetzt. Aufgrund der relativ dicken Wandstärken (z. B. 280 µm bei Kapillaren) waren große Stückzahlen (ca. 300 bis 400 Kapillaren für 1 Nm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/h) erforderlich. Geringere Membranstärken führen hingegen zu einer erheblichen Steigerung der O<sub>2</sub>-Permeation. Zur Gewährleistung der mechanischen Stabilität der 20 bis 30 µm dünnen Membran wird diese auf eine offenporige Trägerkeramik aufgebracht (asymmetrische Membran). Im Rahmen des EU-geförderten Projekts »HETMOC« (Grant Agreement No. 268165) konnte die Herstellung solcher asymmetrischer MIEC-Membranen – bestehend aus BSCF (Ba<sub>0,5</sub>Sr<sub>0,5</sub>Co<sub>0,8</sub>Fe<sub>0,2</sub>O<sub>3-x</sub>) – vereinfacht und entscheidend optimiert werden. Es gelang erstmals, Membranrohre mit Längen von 750 mm für den Besatz einer Pilotanlage zu produzieren. Insgesamt drei Module mit jeweils 25 asymmetrischen Membranrohren wurden im Überdruckverfahren bei 0,5 MPa Feedluftdruck erfolgreich über mehrere Monate beim Projektpartner Technical University of Denmark (DTU) getestet. Die flächennormierte O<sub>2</sub>-Permeation einer asymmetrischen Membran, einer Kapillare und eines monolithischen Rohrs sind im Diagramm dargestellt. Da die asymmetrische Membran einen vielfach höheren Fluss als eine monolithische Membran aufweist,

sinkt die erforderliche Membranstückzahl erheblich. Obwohl die Reinheit des erzeugten Sauerstoffs durch kaum vermeidbare Leckagen in der dünnen Trennschicht auf ca. 96 bis 98 Vol.-% O<sub>2</sub> absinkt, können mit den MIEC-Membranen kompaktere und preiswertere Geräte als bisher hergestellt werden. Im Projekt »IBIS« (BMBF: 01LY1616A) werden die MIEC-Membranen derzeit zur O<sub>2</sub>-Anreicherung von Verbrennungsluft und zur Einsparung von Brenngas an einem Industrieofen erprobt.



- 1 REM-Aufnahme einer asymmetrischen BSCF-Membran.
- 2 Testreaktor für Überdruckbetrieb (Quelle: DTU, »HETMOC«).
- 3 Modulaufbau eines O<sub>2</sub>-Generators mit asymmetrischen Membranen (Quelle: DTU, »HETMOC«).



# PALLADIUM-MEMBRANEN ZUR H<sub>2</sub>-ABTRENNUNG AUS HEISSEN, FEUCHTEN PROZESSGASEN

Dr. Hannes Richter, Dr. Norman Reger-Wagner, Dr. Adrian Simon, Janine Hercher

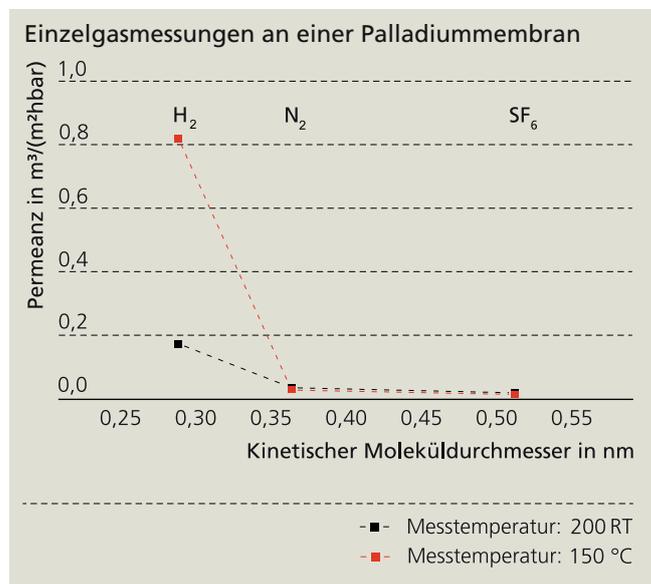
## Ausgangssituation und Motivation

Trennprozesse unter Nutzung von Membranen sind energie- und ressourcenschonend, weshalb sie immer mehr im industriellen Umfeld an Bedeutung gewinnen. Membranen werden beispielsweise genutzt, um Gasmoleküle voneinander zu trennen. Die Größe der Gasmoleküle liegt dabei unterhalb 1 nm, was besondere Anforderungen an die Membranschicht stellt: Sie sollte frei von Defekten sein und eine hohe Permeanz bei gleichzeitig hoher Permeaselektivität aufweisen.

## Aktuelle Entwicklungen am Fraunhofer IKTS

In Abhängigkeit von der Trennaufgabe werden am Fraunhofer IKTS verschiedenste Materialien für Membranen eingesetzt. Insbesondere die Abtrennung von Wasserstoff aus einem heißen, feuchten Prozessgas stellt sehr hohe Anforderungen an die Membran in Hinblick auf thermische und chemische Stabilität, aber auch an die Membrangüte. Diese Trennaufgabe erfüllen Palladiummembranen hervorragend, da Palladium nur für Wasserstoff permeabel ist. Diese Membranen werden am IKTS über eine neuartige nasschemische Syntheseroute auf poröse, keramische Substrate aufgebracht. Mit diesem Verfahren lassen sich sehr dünne und dichte Membranschichten realisieren, die beachtliche Selektivitäten ermöglichen. Bild 1 zeigt eine raster-elektronenmikroskopische Aufnahme einer Palladiummembran, die sich auf einem keramischen Substrat befindet. Die Dicke der Palladiumschicht beträgt ca. 200 nm und erscheint im REM als weiße Schicht. Die Charakterisierung der Membran erfolgte zunächst unter Beaufschlagung von verschiedenen Einzelgasen. Dabei zeigte sie eine ideale Permeaselektivität von  $H_2/N_2 > 150$ .

Der überaus geringe SF<sub>6</sub>-Fluss lässt auf wenige bis keine Defekte in der Membran schließen. Die sehr hohe Wasserstoffpermeanz aufgrund der geringen Schichtdicke erweitert zudem die Anwendungsmöglichkeiten bei tieferen Temperaturen.



- 1 Unbeschichtetes Einkanalrohr (links) und beschichtete Innenseite (rechts).
- 2 Automatisierter Gaspermeationsmesstand.
- 3 REM-Bild einer Palladiummembran (weiß) auf einem keramischen Substrat.





# THERANOSTISCHE IMPLANTATE – SMARTE FUNKTIONALISIERUNG UND MONITORING

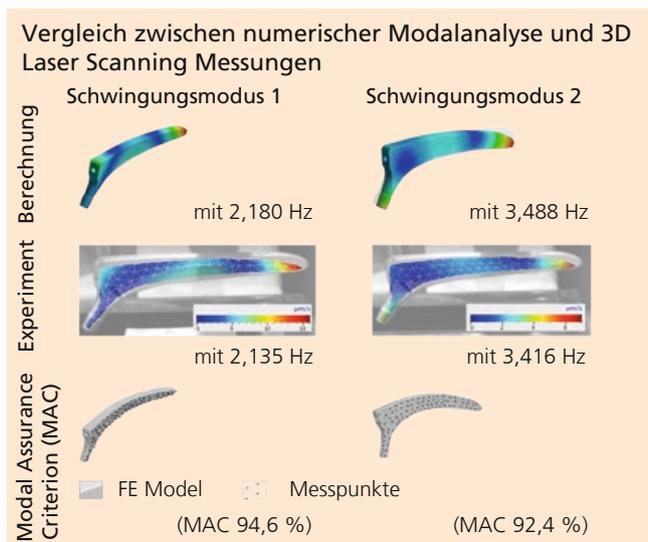
Dr. Holger Lausch, Dipl.-Math. Michael Brand, Dr. Michael Arnold, Dipl.-Ing. (FH) Bernd Gronde

Im Leitprojekt »Theranostische Implantate« war sowohl die Entwicklung (Fraunhofer IKTS) als auch die Einbettung (Fraunhofer IWU) von Aktoren und Sensoren in ein Hüftimplantat eine der größten Herausforderungen. Ein solch »smartes« Implantat ist in der Lage, eine mögliche Implantatlockerung frühzeitig zu detektieren, die Wiederverankerung ohne Eingriff zu aktivieren, den Einheilungsprozess zu stimulieren und Fehl- sowie Überbelastung rechtzeitig durch ein permanentes Monitoring festzustellen.

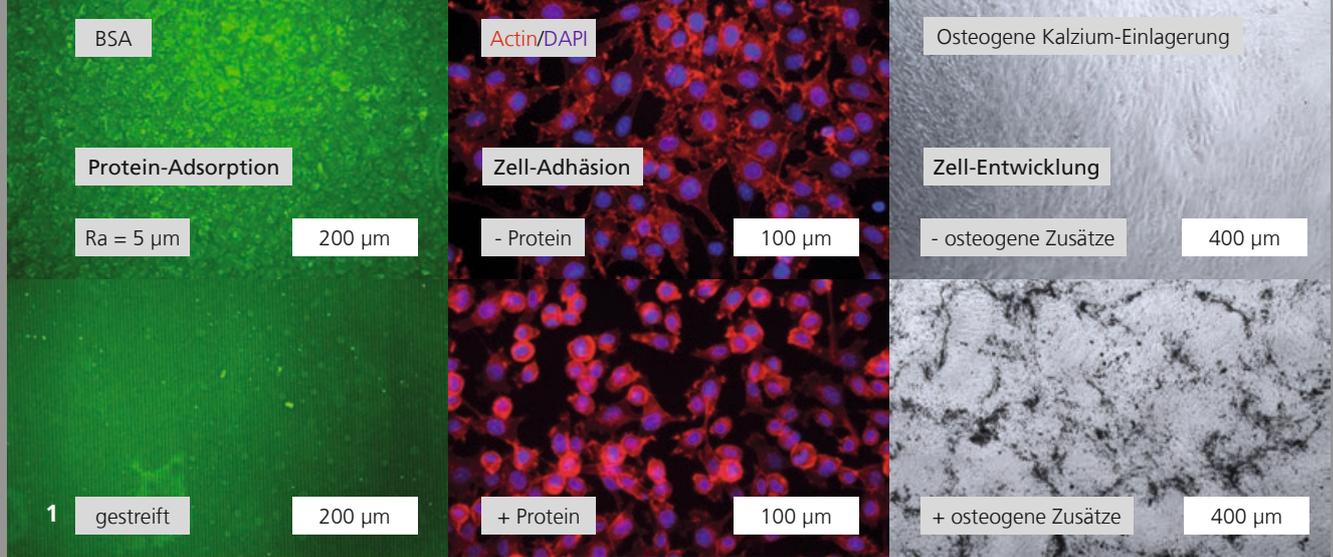
Die stoff- und formschlüssige Integration von temperaturempfindlichen Aktoren wie auch Sensoren in komplexe, metallische monolithische Formkörper stellt nach wie vor ein nur kompromisshaft gelöstes Problem dar. Einerseits benötigen diese Komponenten einen optimalen Form- und Stoffschluss, um die zu messenden Gradienten (Kraft) an den Sensor verlustarm anzukoppeln bzw. den aktorischen Gradienten in den funktionalen Formkörper ebenso verlustarm einzukoppeln. Andererseits müssen die mit dem Formkörper stoffschlüssig verbundenen bzw. einzubettenden Aktoren und Sensoren vor dem Energieeintrag bei der Einbettung abgeschirmt und geschützt werden.

Eine solche Strategie setzt voraus, dass der Aktor mit einem thermisch wirkenden Multilayer-Schutzsystem, vorzugsweise aus keramischen und metallischen Materialkomponenten, ummantelt bzw. beschichtet wird. Die Integrationsschnittstelle zwischen Aktor-Sensor-System und Formkörper wird dabei so gestaltet, dass der Hauptenergiefluss topisch auf diese Schnittstelle konzentriert und die Energie vom System weggeleitet und so räumlich verteilt wird. Im Ergebnis wird der Energieeintrag auf die temperaturempfindlichen Bereiche im Aktor-Sensor-System

insgesamt gesenkt. Mit einer drahtlosen Energieübertragung ist es gelungen, das Implantat akustisch in Schwingung zu versetzen und diese entsprechend der Simulation real zu messen. Neben der realisierten aktiven Oberflächenfunktionalisierung ist im inversen Schwingungsmodus auch ein energieautarker Betrieb mit dem Aktor als Energy Harvester möglich. Damit steht nun ein online/inline-Structure-Health-Monitoringverfahren als Frühwarnsystem zur Sicherheit und Wartung für verschiedenste – auch nicht medizinische – Anwendungen zur Verfügung.



- 1 Fertiges Implantat und IKTS-Sensormodul.
- 2 CAD- und CT-Bild des Implantats mit eingebetteten IKTS-Sensormodul. (Quelle: Fraunhofer IWU und Fraunhofer IKTS).



# IN-VITRO-TESTMETHODEN ZUR BIOLOGISCHEN BEURTEILUNG KERAMISCHER MATERIALIEN

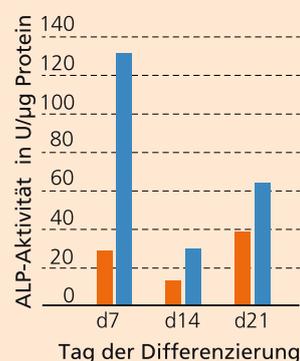
Dr. Juliane Spohn, Dr. Susanne Kurz, M. Sc. Vignesh Dhandapani, M. Sc. Timothy Esch, Carolin Preibler

Um die Verträglichkeit von Implantat-Materialien im biologischen System zuverlässig zu beurteilen, existieren bisher wenige standardisierte Testmethoden. Sobald ein Implantat in den Körper eingebracht wird, findet durch den Erstkontakt mit Blut eine Vor-konditionierung der Oberfläche statt. Aus diesem Grund ist es wichtig zu verstehen, was genau sich an der Implantatoberfläche abspielt. Am Fraunhofer IKTS wird daher an folgenden Fragen geforscht: Wie selektiv sind Materialioberflächen hinsichtlich der Proteinanbindung? Wie lange bleiben Proteine an der Oberfläche stabil bzw. sind diese funktional? Wie wird durch die Vor-konditionierung der Oberflächen die Interaktion des Implantat-Materials mit umliegenden Gewebs- und Immunzellen gesteuert? Am IKTS werden Methoden und Technologien entwickelt, um die Protein-Adsorption in Abhängigkeit von den Oberflächeneigenschaften zu charakterisieren. Dabei wird z. B. untersucht, ob sich die Anlagerung der Proteine allein durch die Struktur der keramischen Oberfläche beeinflussen lässt oder ob eine gezielte Funktionalisierung der Oberflächen unumgänglich ist, um das Material für biomedizinische Applikationen zu optimieren. Es wurde nachgewiesen, dass sich Proteine auf der unbehandelten Keramik homogen anlagern (Bild links oben) und auf dotiertem Silicium entlang eines Streifenmusters ausrichten (Bild links unten). Die Interaktion zwischen Material und Protein bzw. Zelle wird mittels Fluoreszenzmarkierung untersucht. Dabei liegt der Fokus auf der proteinabhängigen Zelladhäsion (Bild Mitte: Zellkern blau, Elemente des Zytoskeletts, z. B. Aktin, rot) unter Verwendung der ISO-Norm 10993 und der gängigen Fibroblasten-Zelllinie L929. Um die Osseointegration, also das »Einwachsen« des Materials in den Knochen zu beurteilen, werden Differenzierungsversuche auf Materialoberflächen durchgeführt. Dafür kommen zum einen Zelllinien zum Einsatz, die schnelle (jedoch

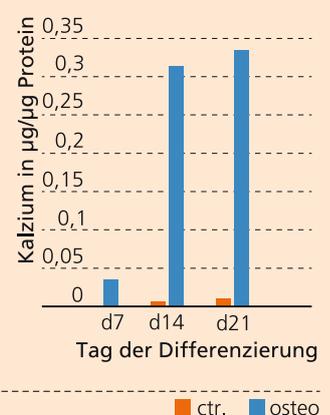
keine patientenspezifischen) Aussagen liefern (MG-63, SAOS-2). Zum anderen werden humane mesenchymale Stammzellen (Knochenmark) gesunder Spender verwendet, die am Institut isoliert und angezchtet werden. Im Ergebnis der Arbeiten wurden die analytischen Endpunkte für die Beurteilung der osseointegrativen Eigenschaften von Materialoberflächen definiert: Als früher Marker eignet sich die Aktivität der Alkalischen Phosphatase, ALP (Diagramm links) und als später Marker die Kalziumeinlagerung (Bild rechts, Diagramm rechts).

## Endpunkt-Marker für die Knochenbildung

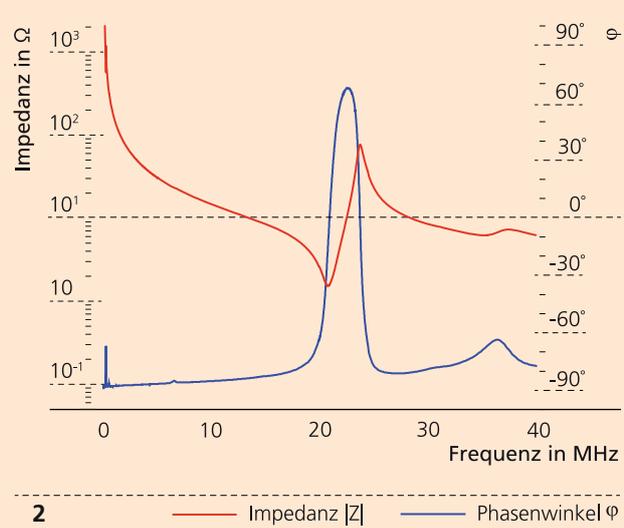
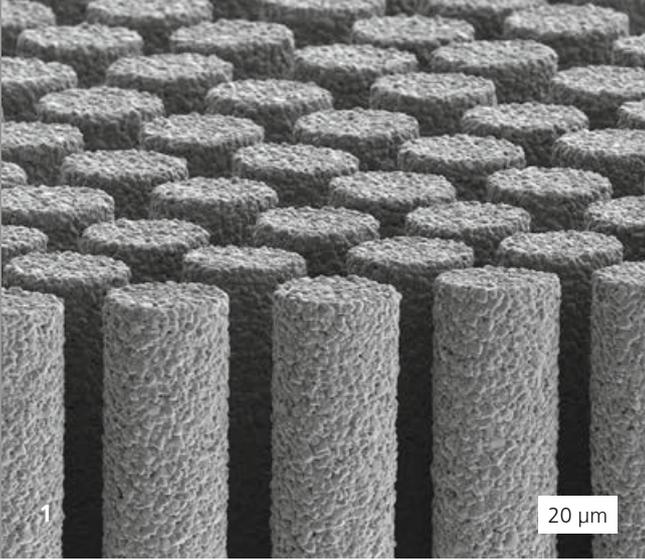
ALP-Aktivität – osteogene Differenzierung mesenchymaler Stammzellen



Kalziumablagerung – osteogene Differenzierung mesenchymaler Stammzellen



1 Immobilisierung von Albumin (links); Proteine begünstigen die Zellanhaftung (Mitte); Kalzium als Indikator für Knochenbildung (rechts).



# 1-3-PIEZOKOMPOSITE FÜR HOCHFREQUENTE ULTRASCHALLWANDLER

M.Eng. Paul Günther, Dr. Sylvia Gebhardt, Dr. Holger Neubert

Die Ultraschallbildgebung ist ein zentraler Bestandteil der medizinischen Diagnostik. Der Wunsch nach präziserer Darstellung erfordert höhere Bildauflösungen, die nur durch den Einsatz hochfrequenter Ultraschallwandler mit Arbeitsfrequenzen zwischen 20 und 40 MHz erreichbar sind. Da mit steigender Ultraschallfrequenz nicht nur die Auflösung zunimmt, sondern auch die akustische Eindringtiefe ins Gewebe abnimmt, eignen sich hochfrequente Ultraschallwandler besonders für oberflächennahe oder durch Katheder erreichbare Strukturen, z. B. im Rahmen dermatologischer, ophthalmologischer oder intravasculärer Untersuchungen.

## 1-3-Piezokomposite

Zur Herstellung von Ultraschallwandlern für die medizinische Bildgebung haben sich 1-3-Piezokomposite etabliert. Ihr Aufbau aus piezoelektrisch aktiven Keramikstäbchen in einer piezoelektrisch inaktiven und elastischen Polymermatrix ermöglicht zum einen eine exzellente elektromechanische Kopplung und damit hohe Empfindlichkeiten, große Bandbreiten sowie eine gute akustische Impedanzanpassung an biologisches Gewebe. Zum anderen können erst mit Piezokompositen Gruppenstrahler mit einzeln angesteuerten, akustisch voneinander isolierten Wandlerelementen aufgebaut werden, die für die Bildgebung notwendig sind. Zur Erhöhung der Arbeitsfrequenz muss die Kompositdicke, d. h. die Höhe der piezoelektrischen Stäbchen verringert werden. Außerdem ist es notwendig, deren Querschnitt und Abstand zu verkleinern, um Störmoden zu höheren, unkritischen Frequenzlagen zu verschieben. Daraus ergeben sich hohe Anforderungen an die Fertigungstechnologie, mit der sich feine Strukturen mit Abmessungen im Bereich von wenigen  $\mu\text{m}$

umsetzen lassen müssen. Das etablierte Dice-and-Fill-Verfahren zur Herstellung von 1-3-Piezokompositen ist hierfür zu grob-skalig und somit auf Frequenzen  $< 20$  MHz beschränkt.

## Soft-Mold-Verfahren

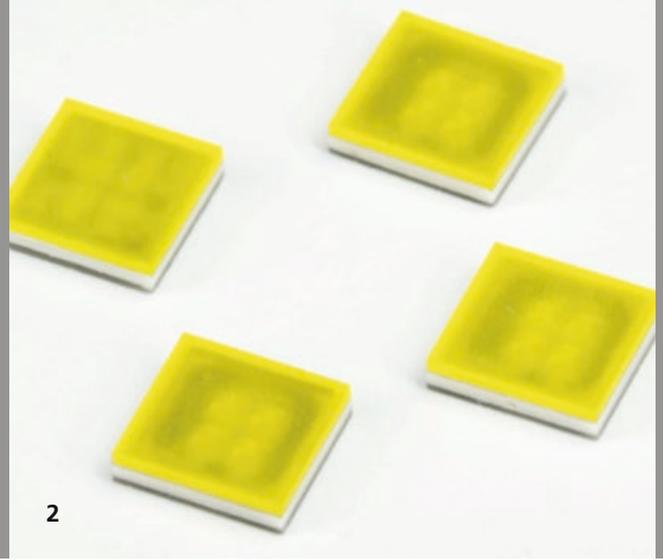
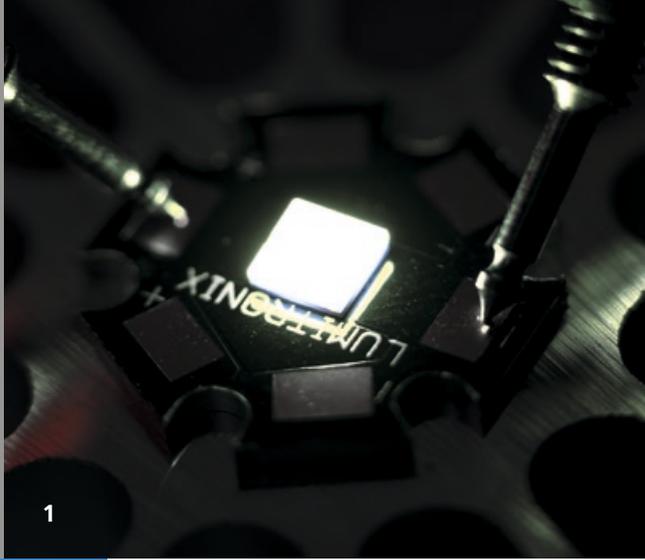
Das am Fraunhofer IKTS entwickelte Soft-Mold-Verfahren ermöglicht die Herstellung deutlich feinskaliger 1-3-Piezokomposite mittels Gießformgebung. Von einer über Mikrostrukturierung hergestellten Urform werden flexible Zwischenformen aus Silikon abgenommen, in die ein keramischer Schlicker gegossen wird. Nach Trocknung wird der Grünling entformt und gesintert. Vorteile im Vergleich zur Dice-and-Fill-Methode sind:

- Wiederverwendbare Ur- und Zwischenformen
- Hohe Variabilität von Stäbchenform und -anordnung
- Erzeugung besonders geringer Stäbchenabstände
- Kein erhöhter Aufwand mit steigender Strukturfeinheit

Das Soft-Mold-Verfahren gewährleistet eine wirtschaftliche Fertigung von 1-3-Piezokompositen für hochfrequente Ultraschallwandler. Runde Stäbchen in hexagonaler Anordnung ermöglichen derzeit den Aufbau von Wandlern mit Arbeitsfrequenzen bis 30 MHz – im Vergleich zu 15 bis 20 MHz, die sich mit herkömmlichen Verfahren realisieren lassen. In naher Zukunft werden voraussichtlich sogar Wandler mit  $> 40$  MHz herstellbar sein.



- 1 Gesintertes Stäbchen-Array.
- 2 Impedanzspektrum eines 20-MHz-Ultraschallwandlers.



OPTIK

# KERAMISCHES LED-PACKAGE FÜR BELEUCHTUNG UNTER HARSCHEN BEDINGUNGEN

Dipl.-Ing. Martin Ihle, Dr. Paul Gierth, Dr. Uwe Partsch, Dr. Isabel Kinski

Neue, potenzielle Marktsegmente für LED-Beleuchtungen bieten besonders feuchte Atmosphären, wie sie beispielsweise in der Medizin- und Biotechnik zu finden sind. Aber auch harsche Industriebedingungen mit hohen Schadgaskonzentrationen stellen besondere Anforderungen an LEDs. Diese können derzeit nur mit komplett gekapselten Systemen erfüllt werden, die jedoch mit einem hohen Herstellungsaufwand verbunden sind. Unter harschen Bedingungen bzw. in chemisch-aggressiver oder korrodierender Umgebung führt eine Hausung unter Verwendung gängiger Polymere zur rapiden Degradation der Abstrahleigenschaften von LEDs. Deshalb sind Polymere für diese Anwendung ungeeignet. Im Fraunhofer-Projekt »HeraKLED« wurde daher eine vollkeramische Hausungstechnologie für LEDs entwickelt, mit der das Gehäuse vollständig hermetisch gefügt werden kann. Damit kann ein Betrieb in rauer Umgebung bei hoher Farbstabilität und konstanter Lichtausbeute realisiert werden.

## Ausführung

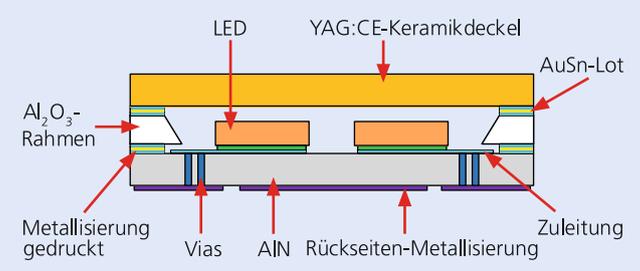
Die einzelnen Komponenten der vollkeramischen Hausung wurden hinsichtlich ihrer thermischen Ausdehnungskoeffizienten zueinander optimal angepasst, sodass eine hohe thermische Wechselbelastung des Aufbaus möglich ist. Das Gehäuse wurde in kostengünstiger Dickschichttechnologie als Wafer-Level-Package hergestellt. Die Packages sind in SMD-Bauweise ausgeführt, d. h. sie wurden direkt auf die Leiterplatte gelötet, und haben für eine 4er-LED-Anordnung eine Baugröße von  $4,2 \times 4,2 \times 1,2 \text{ mm}^3$  (elektrische Leistung von  $4 \times 3 \text{ W}$ ). Um eine maximale Kühlung zur Entwärmung der LEDs zu gewährleisten, wird der Interposer aus gut wärmeleitendem Aluminiumnitrid mit Durchkontaktierungen gefertigt. Der keramische

Lichtkonverter-Wafer aus Ce-dotiertem YAG schließt das Modul ab (WLF bei  $20 \text{ °C} = 9,8 \text{ W/mK}$ ). Alle Fertigungsschritte für die Herstellung der Packages werden am Fraunhofer IKTS durchgeführt. Design und Layout können jederzeit kundenspezifisch angepasst werden.

## Anwendungen

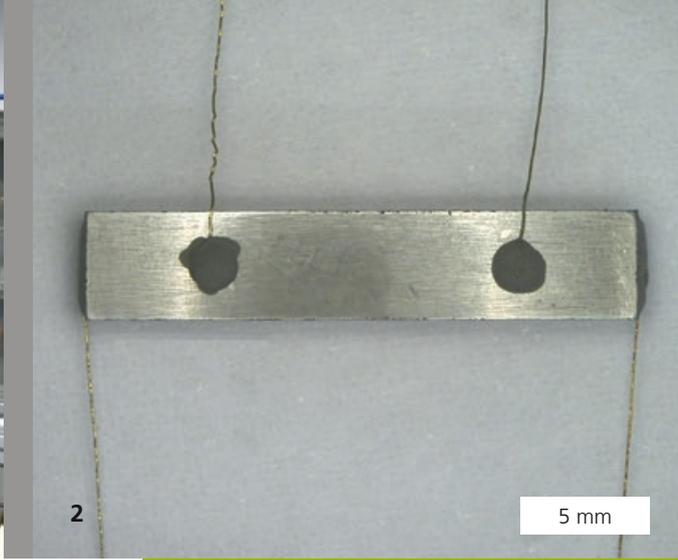
Diese hermetisch abgeschlossenen vollkeramischen LEDs können in feuchten Umgebungen beispielsweise in Schwimmbädern, Gewächshäusern oder in feuchten Klimazonen verwendet werden. Aber auch unter Schadgasen wie beispielsweise in Tunneln, landwirtschaftlichen Betrieben sowie Abwasserkanälen sind sie nutzbar.

### Schematischer Aufbau eines vollkeramischen Gehäuses in der Schnittansicht



1 Vollkeramisches LED-Gehäuse mit YAG:Ce-Lichtkonverter im Einsatz.

2 Hermetisches keramisches Packaging mit  $4 \times 3 \text{ W}$  LEDs.



# BESTIMMUNG DES TEMPERATURABHÄNGIGEN ELEKTRISCHEN WIDERSTANDS BIS 1400 °C

Dipl.-Ing. (FH) Mario Trache, Dr. Hans-Peter Martin

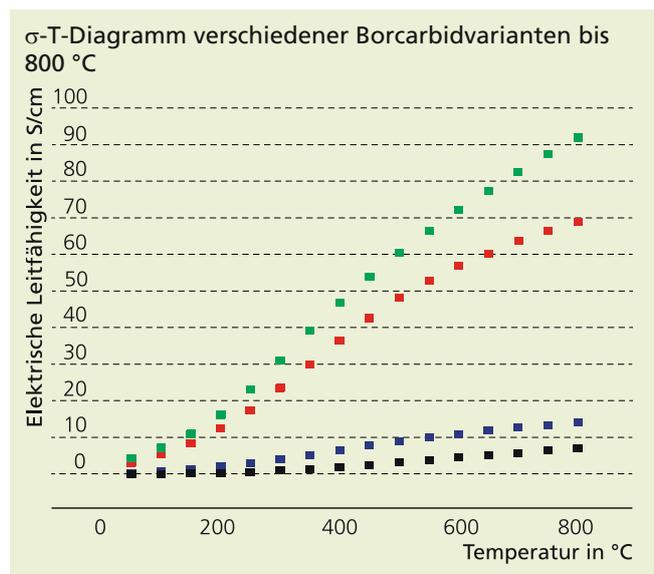
Elektrisch leitfähige keramische Werkstoffe können beispielsweise als Heizelemente oder thermoelektrisch aktive Werkstoffe selbst in Hochtemperaturanwendungen und unter chemisch aggressiven Bedingungen eingesetzt werden.

Voraussetzung für die gezielte Anpassung der Werkstoffe an die gewünschte Anwendung sind Detailkenntnisse zur Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands. Durch Messen des elektrischen Widerstands sind Vorgänge wie Oxidation, Phasenumwandlungen und Rissbildung mit hoher Genauigkeit und Sensibilität in Abhängigkeit von der Temperatur detektierbar. Die exakte Messung des elektrischen Widerstands ist bei keramischen Werkstoffen jedoch in der Regel schwieriger auszuführen als bei metallischen Werkstoffen. So beeinflussen beispielsweise Kontakt- und Leitungswiderstände aber auch thermoelektrische Spannungen in der Keramik in großem Maße den Messwert, insbesondere bei sehr kleinen elektrischen Widerständen.

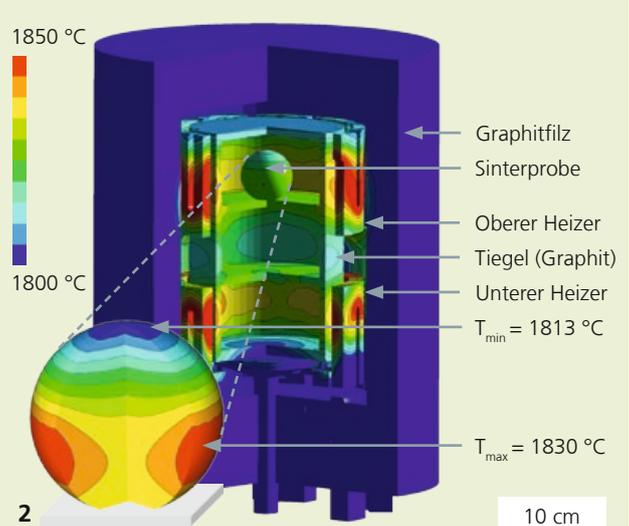
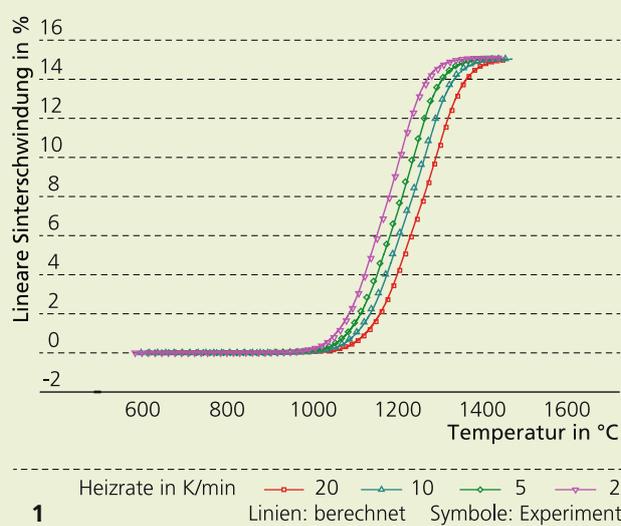
Je nach Anwendung und Größe des zu messenden Widerstands kommen unterschiedliche Messinstrumente und Kontaktierungsverfahren zum Einsatz. Um den Fehler von Kontakt- und Leitungswiderständen bei der Messung kleiner Widerstände zu minimieren, wurde eine Messanordnung verwendet, die ein hochohmiges Nanovoltmeter mit einer Stromquelle in einer Vierleiter-Messanordnung kombiniert. Am Fraunhofer IKTS stehen verschiedene Messaufbauten für Widerstandsmessungen an Luft-, Formiergas-, und Inertatmosphäre bei bis zu 1400 °C sowie ein Kryostatbehälter für Temperaturen bis -190 °C zur Verfügung.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Präzise Bestimmung des elektrischen Widerstands im Bereich von  $10^{-4}$  bis  $10^6 \Omega$  bei Temperaturen von -190 bis 1400 °C unter Argon-, Stickstoff-, wasserstoffhaltigen Inertgasen oder Luftatmosphäre
- Aufgabenspezifische Messanordnungen (4-Punkt- oder 2-Punkt-Methode, van der Pauw)
- Kundenspezifische Messlösungen



- 1 Widerstands-Temperatur-Messtand bis 1400 °C.
- 2 Kontaktierte Probe für Vierleiter-Messanordnung.



## MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

# MODELLIERUNG VON SINTERPROZESSEN

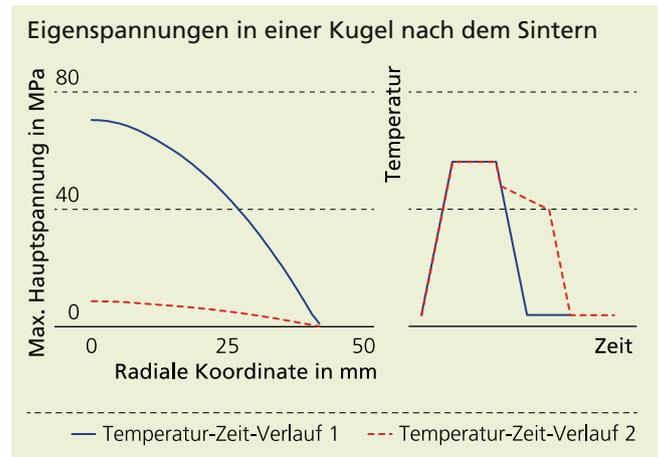
Dr. Sebastian Stark, Dipl.-Ing. (FH) Gregor Ganzer, Dr. Tim Gestrich, Dr. Peter Neumeister, Dr. Mathias Herrmann

Die Prozessführung bei der Sinterung großer bzw. komplexer Bauteile beeinflusst entscheidend die Zuverlässigkeit der gefertigten Komponenten sowie die Herstellungseffizienz. Daher ist die Optimierung von Sinterprozessen anzustreben. Allerdings ist dies aufgrund der Vielzahl an Einflussfaktoren bei einem rein experimentellen Vorgehen mit hohem Aufwand verbunden. Durch Simulationen kann dieser Aufwand deutlich gesenkt werden. Deshalb wurden am Fraunhofer IKTS geeignete Methoden zur modellgestützten Optimierung von Sinterprozessen entwickelt.

Eine unverzichtbare Grundlage für die Durchführung von Modellrechnungen ist die Charakterisierung der relevanten Materialeigenschaften. Hierzu wurde eine experimentelle Methodik erarbeitet, mit der die benötigten Daten mit minimalem Aufwand erfasst werden können. Wesentlicher Bestandteil ist dabei die Bestimmung der materialspezifischen Schwindungskurven (Bild 1) sowie der thermischen und elastischen Materialeigenschaften.

In der eigentlichen Simulation wird mithilfe der Finite-Elemente-Methode nicht nur der Sinterprozess des Bauteils modelliert, sondern auch der nicht unbedeutende Einfluss des Sinterofens selbst berücksichtigt. Bild 2 zeigt exemplarisch die berechneten signifikant inhomogenen Temperaturfelder in einem Gasdrucksinterofen sowie in der Sinterprobe. Diese inhomogenen Temperaturfelder führen sowohl zu einem inhomogenen Schwindungsverhalten als auch zu mechanischen Spannungen. Diesem Sachverhalt wird mit einem am Fraunhofer IKTS entwickelten thermodynamisch und kinematisch konsistenten Werkstoffmodell Rechnung getragen, welches in ein Standardsimulationspaket implementiert wurde. In der nachfolgenden Abbildung wird beispielhaft der mit dem Modell vorhergesagte Einfluss der

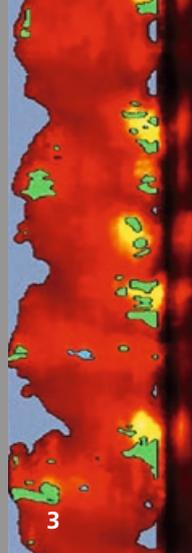
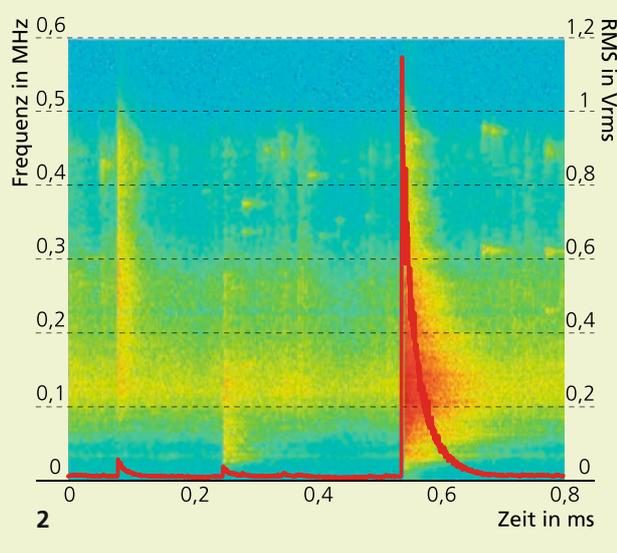
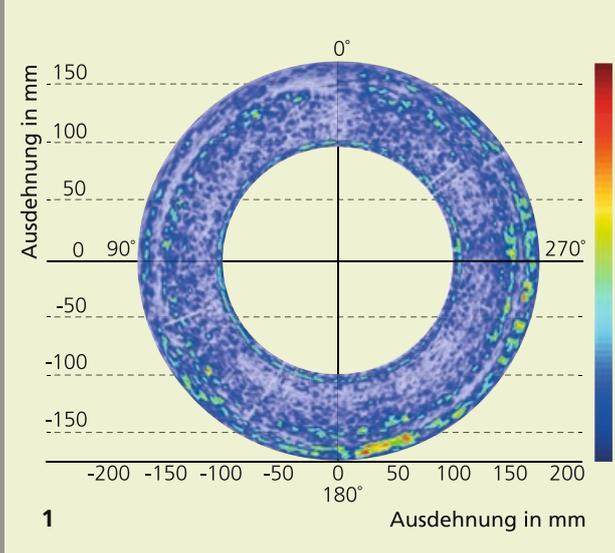
Prozessführung auf die nach dem Sintern im Bauteil vorliegenden Eigenspannungen aufgezeigt.



Anhand der Darstellung ist zu erkennen, dass eine Veränderung des Temperatur-Zeit-Verlaufs während des Abkühlens bei sonst gleicher Prozessführung zur drastischen Reduktion der Eigenspannungen in der Komponente führen kann.

Mit der beschriebenen Methodik lassen sich Sinterprozesse effizient und wirtschaftlich optimieren: Eigenspannungen im Bauteil können reduziert und Prozesszeiten gleichzeitig minimiert werden. Zudem wird eine realistische Abschätzung des Sinterverzugs möglich.

- 1 Experimentell bestimmte und berechnete Schwindungskurven.
- 2 Temperaturverteilung in Gasdrucksinterofen und Sinterprobe.



## MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

# ÜBERWACHUNG VON LASER-ENGSPALT-SCHWEISUNGEN DICKWANDIGER KOMPONENTEN

Dr. Frank Schubert, Dr. Beatrice Bendjus, Dr. Ulana Cikalova, Dipl.-Ing. Mareike Stephan, Dipl.-Ing. Raffael Hipp, Dipl.-Geophys. Eberhard Schulze

Aus dicken Metallblechen zusammengefügte Komponenten werden meist mit konventionellen Schweißtechniken hergestellt. In jüngster Zeit wird dafür zunehmend das Laser-Mehrlagen-Engstaptschweißen eingesetzt. Mit diesem Verfahren lassen sich metallische Bleche mit einer Wandstärke von aktuell bis zu 100 mm effizient schweißen. Die zur Qualitätssicherung von Schweißverbindungen üblicherweise eingesetzte ultraschallbasierte zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) ist hier jedoch nicht effizient, denn werden sicherheitsrelevante Fehler in einem fertig geschweißten Bauteil gefunden, muss das gesamte Bauteil aussortiert werden. Um Fehlstellen schon während des Schweißvorgangs zu identifizieren, ist ein temperaturstabiles Inline-Monitoring-System notwendig. Dieses stand bisher nicht zur Verfügung. In einem von der Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen des WISA-Programms geförderten Projekts mit den Fraunhofer-Instituten IKTS, IWS (Laser-Engstaptschweißen) und IWM (Materialuntersuchungen) wurde ein Multi-Methoden-Ansatz entwickelt und erfolgreich getestet. Dieser basiert auf drei, sich gegenseitig ergänzenden Prüfverfahren.

### Ultraschall-Phased-Array-Prüfung

Mit einem aus zahlreichen Einzelementen bestehenden Phased-Array-Wandler und der vom IKTS entwickelten PCUS® pro Array-Elektronik lassen sich Schallbündel effizient schwenken und fokussieren. So ist es möglich, die gesamte Tiefe der Engspaltnaht zu erfassen und Fehler bildgebend darzustellen. Zudem wurde ein hochtemperatur- und inlinefähiges Prüfkonzept entwickelt, für das spezielle Prüfkopfkeile mit integriertem Koppel- und Kühlmittelkreislauf eingesetzt werden.

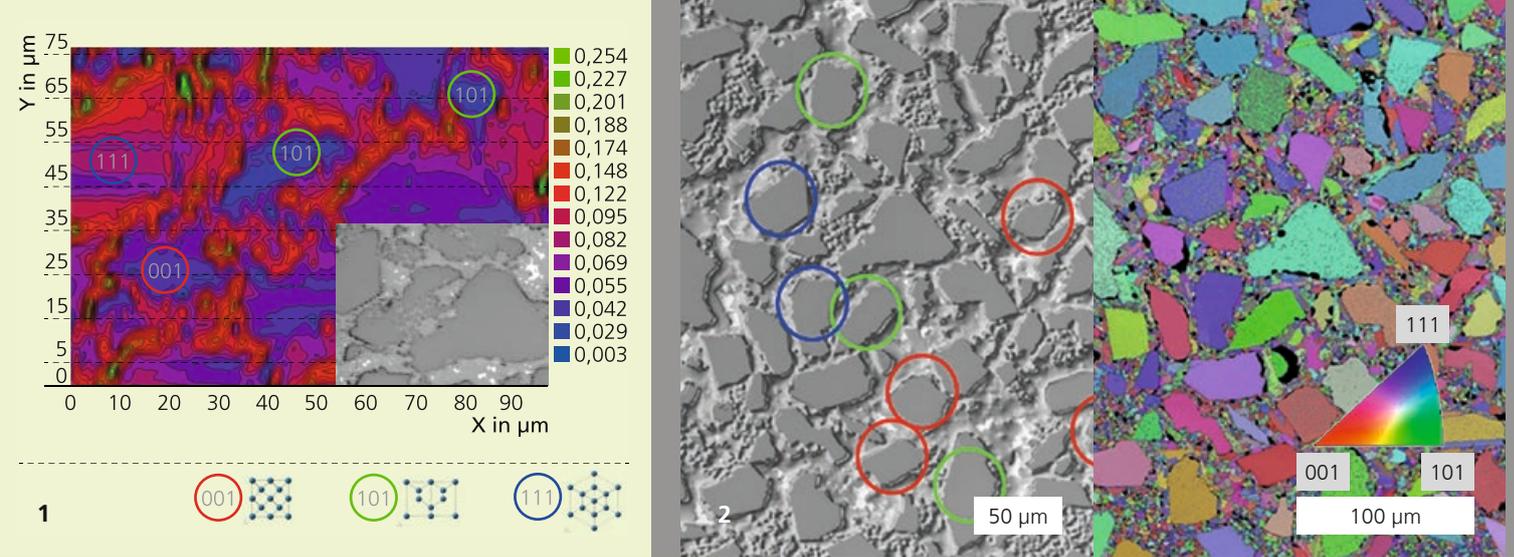
### Schallemissionsprüfung

Bei dieser Prüfmethode wird das beim Schweißen entstehende akustische Signal von einem Schallemissionssensor, der direkt auf der Oberfläche des Bauteils angebracht ist, erfasst. Dabei werden Signale in einem Frequenzbereich von 50 bis 600 kHz aufgezeichnet, die anschließend zur Datenreduktion weiterverarbeitet werden. Durch den Vergleich dieser inline ermittelten akustischen Signatur mit Referenzmustern können sowohl der Prozess als auch auftretende Fehler und Unregelmäßigkeiten bewertet werden.

### Laser-Speckle-Photometrie (LSP)

Die LSP bewertet Speckle-Muster, die mittels Laser-Belichtung der Schweißnaht unmittelbar hinter dem Schweißstrahl entstehen. Diese Muster bzw. deren temperatur- und zeitabhängige Veränderungen werden mit einer CMOS-Kamera inline detektiert und anschließend ausgewertet. Die zwischen Speckle-Signalen und Oberflächenfehlern bzw. Änderungen der Prozessparameter gefundenen Zusammenhänge konnten bereits metallographisch verifiziert werden.

- 1 Ergebnisse der Ultraschall-Phased-Array-Prüfung.
- 2 Inline-Fehlererkennung mittels Schallemission.
- 3 Inline-Fehlererkennung auf der Schweißnahtoberfläche mittels Laser-Speckle-Photometrie.



## MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

# KORRELATION VON REIBWERT UND KRISTALLOGRAPHISCHER ORIENTIERUNG

Dipl.-Ing. Björn Matthey, Dr. Mathias Herrmann

Das Reibverhalten (Tribologie) von Komponenten bestimmt oft die Lebensdauer von Systemen. Die wesentlichen Kennwerte hierfür sind der Reibwert sowie Verschleißkoeffizienten, die für die jeweiligen Werkstoffpaarungen unter speziellen Belastungen charakteristisch sind. Das Verständnis über die Mechanismen an der Kontaktfläche kann helfen, das Reibverhalten der Werkstoffe zu verbessern und dadurch die Standzeiten von Maschinen und Anlagen zu erhöhen sowie industrielle Prozesse effektiver und wirtschaftlicher zu machen. Insbesondere anorganische und keramische Werkstoffe werden aufgrund ihrer hervorragenden mechanischen Eigenschaften oft z. B. in Dichtungen, Lagern und Ventilen eingesetzt, wo eine hohe Verschleißfestigkeit gefordert ist. Bei extremen Beanspruchungen werden immer häufiger auch Diamant-basierte Werkstoffe, wie PKD, keramisch-gebundene Diamantwerkstoffe sowie CVD-Diamantschichten verwendet, da Diamant der Werkstoff mit dem niedrigsten bekannten Reibwert ist. Da die physikalischen Eigenschaften von der Kristallstruktur der Komponenten und im Falle von richtungsabhängigen Eigenschaften stark von der Kristallorientierung abhängen, wurden Versuche an Diamant (gebunden in einem Diamant-SiC-Komposit) mit einem nanomechanischen Tester (ZHN, ASMEC Advanced Surface Mechanics GmbH) durchgeführt und mit Ergebnissen der Elektronenrückstrahlbeugung (EBSD) korreliert. Auf diese Weise ist es gelungen, den Reibwert in Abhängigkeit von der kristallographischen Orientierung an mehreren Körnern einer Probenoberfläche zu messen. Die nanomechanische Prüfung erlaubt zudem die flächige zweidimensionale (mehrere 100 µm<sup>2</sup>) Messung der Reibeigenschaften und des E-Moduls. Die Positioniergenauigkeit in normaler und lateraler Richtung liegt bei rund 1 nm und die Auflösung der Kraft bei 3 bis 10 µN bei Maximalkräften von rund 2 N. Dies ermöglicht Kontaktdrücke (zwischen

Kugelindenter und Messoberfläche) von bis zu 50 GPa. Als Ergebnis dieser Untersuchungen konnte die Orientierungsabhängigkeit der Reibwerte für Diamant nachgewiesen werden (Tabelle). Auf dieser Basis können nun Untersuchungen von weiteren orientierungsabhängigen (anisotropen) Eigenschaften erfolgen. Neben der Kornorientierung hat auch die Reibrichtung, die ebenfalls über die EBSD-Messung bestimmbar ist, einen erheblichen Einfluss auf das Reibverhalten.

### Orientierungsabhängige Reibwerte von Diamant

Kornorientierung	Reibwert
001	0,07
101	0,03
111	0,06

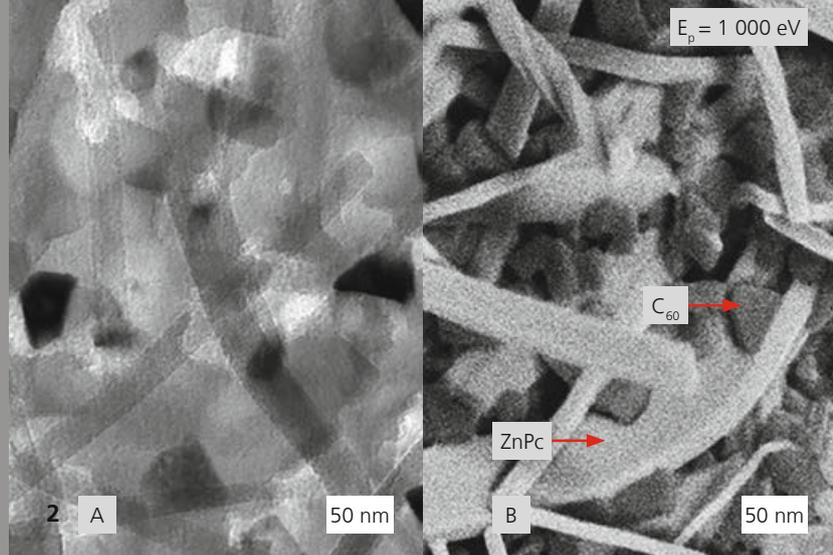
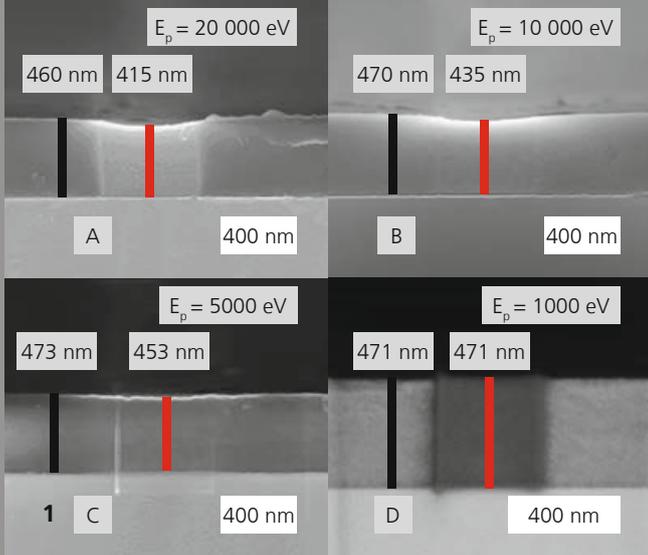
### Leistungs- und Kooperationsangebot

- Bestimmung der Kornorientierung mittels EBSD
- Auswertung und Korrelation von lokalen Eigenschaften und kristallographischer Orientierung

Die nanomechanische Prüfung wurde von Dr. Chudoba (ASMEC Advanced Surface Mechanics GmbH) im Rahmen des BMBF-Projekts »EkoDiSc« (FKZ: 03X3583H) durchgeführt.



- 1 Mapping des Reibwerts und Zuordnung der Kornorientierung.
- 2 EBSD-Analyse eines Diamant-SiC-Komposits mit Markierung nahezu reiner (001)-, (101)- und (111)-Orientierungen.



## MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

# CHARAKTERISIERUNG ORGANISCHER DÜNN- SCHICHTEN MITTELS NIEDERSPANNUNGS-REM

M. Sc. Aránzazu Garitagoitia Cid, M. Sc. Mona Sedighi, Dr. André Clausner, Dr. Rüdiger Rosenkranz, Prof. Ehrenfried Zschech

Bei der Untersuchung von Materialien, die sich in ihrer Zusammensetzung nur wenig unterscheiden, ergibt sich bei der Rasterelektronenmikroskopie (REM) oft nur ein sehr geringer Materialkontrast. Zudem können strahlempfindliche Proben während der Beobachtung beschädigt werden. Um das Wechselwirkungsvolumen im Elektronenmikroskop deutlich zu reduzieren und wesentliche Informationen aus dem Oberflächenbereich der Probe zu gewinnen, können niedrige Primärstrahlenergien ( $E_p$ ) eingesetzt werden. Durch Fortschritte im Design der Feldemissionsquelle, eine aberrationskorrigierte Optik sowie die Verbesserung der Detektorempfindlichkeit sind moderne Niederspannungs-REMs (LVSEM) heute in der Lage, zusätzliche analytische Informationen zu liefern. Die Kombination des Signals der rückgestreuten Elektronen mit niedriger Primärstrahlenergie eröffnet neue bildgebende Möglichkeiten zur Charakterisierung von strahlempfindlichen Materialien. Besonders für Dünnschichten, organische Proben und einige Hybridmaterialien ist diese Verminderung von Strahlenschäden essenziell.

Dünnschichten aus Organosilikatglas (OSG) werden in modernsten mikroelektronischen Produkten als Low-k-Dielektrikum zwischen den metallischen Leitbahnen verwendet. Tritt das Glasnetzwerk des OSG in Wechselwirkung mit dem Elektronenstrahl, kann es sich verdichten. Das führt zu einer signifikanten Schrumpfung des Materials. Durch die Kombination einer niedrigen Primärstrahlenergie ( $E_p = 1000 \text{ eV}$ ) mit einem energiselektiven Rückstreuelektronendetektor (EsB) können jedoch der Zusammensetzungs- und Dichtekontrast zwischen dem OSG-Dünnschicht und dem Si-Substrat erhöht und das Schrumpfungphänomen deutlich gemindert werden (Bild 1).

Die Charakterisierung der Probenmorphologie ist ein wichtiger Schritt zur Verbesserung grundlegender Eigenschaften funktionaler Materialien, wie der Energieumwandlungseffizienz von organischen Dünnschicht-Photovoltaik-Zellen. Mit einem EsB-Detektor können für REM-Abbildungen nur die Elektronen eines ausgewählten Energiebereichs verwendet werden (zum Beispiel die »backscattered electrons«, BSE). Die geringe Primärstrahlenergie reduziert die Probenaufladung für nichtleitende Materialien. Bild 2 zeigt eine aktive Zink-Phtalocyanin-Schicht (ZnPc, Donor) mit eingebetteten Fullerenpartikeln ( $C_{60}$ , Akzeptor), die in Bulk-Heteroübergangsarchitekturen für OPV-Zellen verwendet wird. Im Transmissionselektronenmikroskop (Bild 2A) sind zwar lange Stäbchen und kleinere (hellere und dunklere) Domänen erkennbar, die zwei Komponenten können aber nicht identifiziert werden. Für optimierte REM-Arbeitsbedingungen erlaubt das BSE-Bild (Bild 2B) hingegen eine Unterscheidung zwischen ZnPc (helle lange Stäbchen) und Fulleren (dunkle Nanopartikel).

- 1 SE-Bilder (A, B, C) der Schrumpfung im OSG-Dünnschicht auf Si-Substrat nach 3 min. Scannen mit hoher Vergrößerung zeigt nur in BSE-Bild D keine Schrumpfung (EsB Gitterspannung = 500 V).
- 2 Aktive Zink-Phtalocyanin-Schicht mit eingebetteten Fullerenpartikeln. Die beiden Komponenten sind in TEM-Bild A nicht erkennbar; anders in BSE-Bild B (EsB Detektorgitter = 900 V).



# KOOPERATIONSAUSBAU IN VERBÜNDEN, ALLIANZEN UND NETZWERKEN

JAHRESBERICHT 2017/18

## Mitgliedschaft in Fraunhofer-Verbänden, Allianzen und Netzwerken

Die Wissenschaftler des Fraunhofer IKTS sind in zahlreichen thematisch orientierten Netzwerken, Allianzen und Verbänden aktiv. Dadurch können wir unseren Kunden ein gemeinsames und koordiniertes Leistungsangebot unterbreiten.

AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e. V.

American Ceramic Society (ACerS)

Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschungsinstitutionen e. V. (AGEF)

biosaxony e. V.

Bundesverband Energiespeicher e. V. (BVES)

Bundesverband mittelständische Wirtschaft, Unternehmerverband Deutschlands e. V. (BVMW)

Carbon Composites e. V. (CCeV)

Cool Silicon e. V.

CO<sub>2</sub> Value Europe

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.

Deutsche Gesellschaft für Akustik e. V. (DEGA)

Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e. V.

Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM)

Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V. (DGZfP)

Deutsche Glastechnische Gesellschaft e. V. (DGG)

Deutsche Keramische Gesellschaft e. V. (DKG)

Deutsche Thermoelektrik-Gesellschaft (DTG)

Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. (DVS)

DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

DRESDEN-concept e. V.

Dresdner Fraunhofer-Cluster Nanoanalytik

Dresdner Gesprächskreis der Wirtschaft und der Wissenschaft e. V.

Dual Career Netzwerk Mitteldeutschland

Energy Saxony e. V.

Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS)

Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V. (EFB)

European Powder Metallurgy Association (EPMA)

Expertenkreis Hochtemperatur-sensorik in der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V.

Expertenkreis Keramikspritzguss (CIM) in der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. (DKG)

Fachverband Biogas e. V.

Förderkreis Abgasnachbehandlungstechnologien für Dieselmotoren e. V. (FAD)

Forschungsgesellschaft für Messtechnik, Sensorik und Medizintechnik e. V. Dresden (fms)

Fraunhofer-Allianz Adaptronik

Fraunhofer-Allianz AdvanCer

Fraunhofer-Allianz Batterien	Gesellschaft für Fertigungs- technik und Entwicklung e. V. (GFE)	Materialforschungsverbund Dresden e. V. (MFD)	Verband der Wirtschaft Thüringens e. V.
Fraunhofer-Allianz Energie	Gemeinschaftsausschuss Hochleistungskeramik der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. und der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V.	medways e. V.  Meeting of Refractory Experts Freiberg e. V. (MORE)	Verband Deutscher Maschi- nen- und Anlagenbau e. V. (VDMA)
Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung		Mikro-Nanotechnologie Thüringen e. V. (MNT)	Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)
Fraunhofer-Allianz Leichtbau			Wasserwirtschaftliches Energiezentrum Dresden e. V.
Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie	Gesellschaft für Korrosions- schutz e. V. (GfKORR)	NanoMat – überregionales NETZWERK für Materialien der Nanotechnologie	WindEnergy Network Rostock e. V.
Fraunhofer-Allianz Numerische Simulation von Produkten, Prozessen	Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e. V.  Innovationszentrum Bahntechnik Europa e. V.	Nanotechnologie-Kompetenz- zentrum »Ultradünne funkti- onale Schichten«	
Fraunhofer-Allianz SysWasser		OptoNet e. V.	
Fraunhofer-Allianz Textil	International Energy Agency (IEA) Implementing Agree- ment on Advanced Fuel Cells	ProcessNet – eine Initiative von DECHEMA und VDI-GVC	
Fraunhofer-Cluster 3D-Integration	International Zeolite Association	Silicon Saxony e. V.  smart <sup>3</sup> e. V.	
Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik	KMM-VIN (European Virtual Institute on Knowledge-based Multifunctional Materials AISBL)	SmartTex-Netzwerk  Treffpunkt Keramik	
Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS	Kompetenzzentrum Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen/ Thüringen e. V. (LRT)	TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V.	
Gemeinschaft Thermisches Spritzen e. V. (GTS)	Kompetenzzentrum nanoeva®	Thüringer Erneuerbare Ener- gien Netzwerk e. V. (THEEN)	

## DER FRAUNHOFER-VERBUND WERKSTOFFE, BAUTEILE – MATERIALS

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 Anwendungen. Stofflich deckt der Verbund den gesamten Bereich der metallischen, anorganisch-nichtmetallischen, polymeren und aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugten Werkstoffe sowie Halbleitermaterialien ab. Große Bedeutung haben hybride Materialien und Verbundwerkstoffe gewonnen. Mit strategischen Vorschauen unterstützt der Verbund die Material- und Technologieentwicklung der Zukunft. 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 der Wertschöpfungskette sieht der Verbund eine wesentliche Voraussetzung für den nachhaltigen Erfolg von Industrie 4.0.

### Ziele des Verbunds

- Unterstützung beschleunigter Innovationen in den Märkten
- Erfolgssteigerung von Industrie 4.0 durch passende Werkstoffkonzepte (digitale Zwillinge, Materials Data Space®)
- Erhöhte Integrationsdichte und verbesserte Gebrauchseigenschaften von Bauteilen der Mikroelektronik/Mikrosystemtechnik
- Verbesserte Nutzung von Rohstoffen und Qualitätsverbesserung der daraus hergestellten Produkte, Recyclingkonzepte
- Erhöhte Sicherheit und Komfort sowie reduzierter Ressourcenverbrauch in Verkehr, Maschinen-/Anlagenbau, Bauen/Wohnen
- Effizienzsteigerung der Energieerzeugung, Energiewandlung, Energiespeicherung und -verteilung

- Verbesserte Biokompatibilität und Funktion von medizin- bzw. biotechnisch eingesetzten Materialien, verbesserte Materialsysteme für medizinische Diagnose, Prävention und Therapie
- Verbesserter Schutz von Menschen, Gebäuden, Infrastruktur durch leistungsfähige Werkstoffe in Schutzkonzepten

### Beteiligt sind die Fraunhofer-Institute für

- Angewandte Polymerforschung IAP
- Bauphysik IBP
- Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
- Chemische Technologie ICT
- Energiewirtschaft und Energiesysteme IEE
- Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
- Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
- Keramische Technologien und Systeme IKTS
- Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EMI
- Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS
- Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM
- Silicatforschung ISC
- Solare Energiesysteme ISE
- System- und Innovationsforschung ISI
- Werkstoffmechanik IWM
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP
- Windenergiesysteme IWES
- Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM (Gastinstitut)
- Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB (Gastinstitut)
- Integrierte Schaltungen IIS (Gastinstitut)

### Verbundvorsitzender

Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner, Fraunhofer ICT  
[www.materials.fraunhofer.de](http://www.materials.fraunhofer.de)



## DIE FRAUNHOFER-ALLIANZ ADVANCER

### Systementwicklung mit Hochleistungskeramik

Der Einsatz von Hochleistungskeramik ermöglicht neue Anwendungen im Maschinen- und Anlagenbau, in der Medizintechnik sowie der Energietechnik. Dazu zählen hocheffiziente Werkzeuge und Beschichtungen, neuartige Fertigungstechnologien für medizintechnische Produkte sowie kreative Lösungen für energie- und ressourcenschonende Industrieprozesse. Aktuell arbeitet AdvanCer an einem Verbundprojekt, in dem Systemlösungen und Prüfverfahren für die Öl- und Gasindustrie sowie den Tiefseebergbau realisiert werden. Es wird angestrebt, dass mit neuen Diamant-Keramik- und Hartmetall-Werkstoffen sowie den dazugehörigen Herstelltechnologien Bauteileigenschaften erreicht werden, die einen wartungsfreien Betrieb in bis zu 6000 m Meerestiefe möglich machen.

In der Fraunhofer-Allianz AdvanCer haben die vier beteiligten Institute IKTS, IPK, ISC/HTL und IWM ihre Kompetenzen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zusammengefasst, um für Unternehmen individuelle Systemlösungen unter Einsatz von Hochleistungskeramik zu erarbeiten. Die Kompetenz reicht von der anwendungsorientierten Entwicklung von Werkstoffen, Fertigungsprozessen und Bearbeitungstechnologien bis hin zur Bauteilcharakterisierung, Bewertung und zerstörungsfreier Prüfung unter Einsatzbedingungen. Dabei werden die Entwicklungsarbeiten auch mit Methoden der Modellierung und Simulation begleitet und unterstützt.

Weiterhin hat die Allianz ein umfassendes Schulungs- und Beratungsangebot zur Hochleistungskeramik aufgebaut, um vor allem kleine und mittelständische Unternehmen bei komplexen Aufgabenstellungen von der Prototypenentwicklung bis hin zum Technologietransfer zu unterstützen.

### Aufgabenspektrum

- Werkstoffentwicklung für Struktur- und Funktionskeramik, faserverstärkte Keramik, Cermets, Keramikverbunde
- Bauteilauslegung und Funktionsmusterentwicklung
- Systemintegration und Nachweis der Serienfähigkeit
- Pulver-, Faser- und Beschichtungstechnologien
- Werkstoff-, Bauteil- und Prozesssimulation
- Material- und Bauteilprüfung
- Fehlerbewertung, Schadensanalysen, Qualitätsmanagement
- Analyse des Energiebedarfs für thermische Prozesse und Verbesserung der Energieeffizienz
- Effizienzsteigerung durch Einsatz von Keramikkomponenten

### Leistungsangebot

- Entwicklung, Prüfung und Bewertung von Werkstoffen
- Prototypenherstellung bis Kleinserienfertigung
- Technologieentwicklung und -transfer
- Prozessanalyse und -gestaltung
- Beratung, Machbarkeitsstudien, Schulungen

### Sprecher der Allianz

Dr. Michael Zins  
michael.zins@ikts.fraunhofer.de  
[www.advancer.fraunhofer.de](http://www.advancer.fraunhofer.de)

1 Prüfstand zur tribologischen Untersuchung von keramischen Materialien und Komponenten. (Quelle: Dirk Mahler/Fraunhofer).



VERBÜNDE, ALLIANZEN, NETZWERKE

## TREFFPUNKT KERAMIK – CERAMIC APPLICATIONS

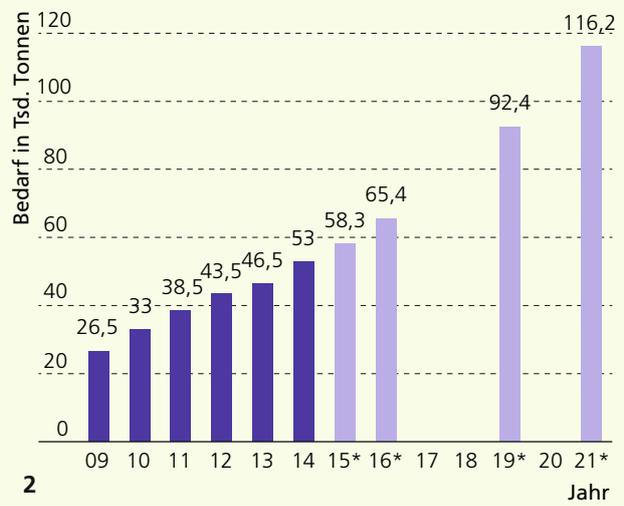
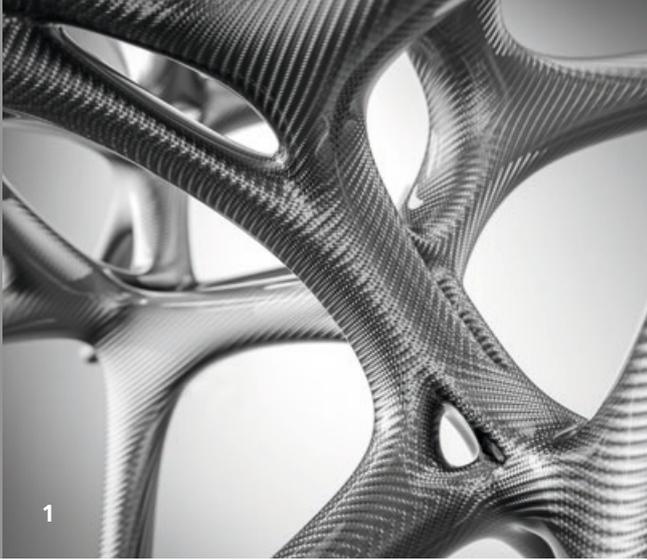
Der Treffpunkt Keramik ist fester Bestandteil der Öffentlichkeitsarbeit des Instituts. Gezeigt wird die geschlossene Fertigungskette vom Pulver bis zum Bauteil. Und das nicht nur auf der Seite der Forschung, sondern auch als Spiegel der in der Industrie verfügbaren Technologien und Kapazitäten. Der Besucher erhält einen Eindruck über die aktuellen Themenschwerpunkte der Forschung und kann gleichzeitig erfahren, welche Hersteller welche Produkte heute bereits kommerziell anbieten. Mit entsprechenden Beispielen zum Anfassen wird dadurch das Vertrauen in die wirtschaftliche Realisierbarkeit neuer Ideen verstärkt und die Initiierung zukunftsweisender Projekte erleichtert.

Die Kooperation mit den derzeit 46 Partnern und Mitgliedern erfolgt unter dem Label »Ceramic Applications« des Göller Verlags. Die Möglichkeit, in einem Raum die aktuellsten Forschungsthemen bis hin zur Systemprüfung zu sehen und gleichzeitig den Kontakt zu potenziellen Lieferanten herstellen zu können, besteht dadurch bei allen Veranstaltungen im Fraunhofer IKTS. Diese Plattform wird ebenfalls von der Fraunhofer-Allianz AdvanCer genutzt.

In den Seminarveranstaltungen und Schulungen der Fraunhofer-Allianz AdvanCer sowie der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. (DKG) und der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM) wird durch die Präsentation des Stands der Technik in der Industrie die von den Teilnehmern gewünschte Praxisnähe realisiert. Das Fraunhofer IKTS sichert hierdurch insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen ein Projektforum, das die Kontakte zu Projektträgern und Forschungseinrichtungen vereinfacht.

Der Treffpunkt war 2017 ein wesentlicher Bestandteil für die Arbeit des Fachgebiets 1: Chemie-/Maschinen- und Anlagenbau der DKG. Die Ausstellung dient der Präsentation der Ergebnisse aus den verschiedenen Förderprojekten.

**1** *Treffpunkt Keramik im Fraunhofer IKTS in Dresden-Gruna.*



VERBÜNDE, ALLIANZEN, NETZWERKE

## PROGNET – PRÜFUNG VON VERBUNDWERKSTOFFEN

Im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) wurde das Projektbüro Berlin des Fraunhofer IKTS Ende 2015 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) mit der Bildung eines Kooperationsnetzwerks beauftragt.

Im Netzwerk werden Verfahren und Systeme sowie Simulations- und Monitoring-Werkzeuge entwickelt, die hochzuverlässige Komponenten aus innovativen Werkstoffen für Transportsysteme zu Land, Wasser und in der Luft technisch sichern.

Mit ihren herausragenden Eigenschaften ermöglichen Kompositwerkstoffe effizienten Leichtbau von hochfesten Komponenten. Die Ermittlung der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen dieser Materialien erfordert Methoden und Instrumente, die eine exakte Charakterisierung der erzeugten Werkstoffstruktur und des Verhaltens unter Last ermöglichen. Im Bereich der Prüfung reiner Kohlefaser-Verbundwerkstoffe und von Verbundwerkstoffen aus CFK und Metall haben sowohl die Luftfahrt als auch der Automobilbau hohen Bedarf identifiziert.

Da sich hier ein internationaler Trend beim Einsatz neuer Werkstoffe andeutet, ist davon auszugehen, dass nicht nur in Europa und den USA, sondern vor allem auch in Asien ein hoher Bedarf an den vom Netzwerk entwickelten Produkten entsteht. Die Grafik oben rechts zeigt den prognostizierten globalen Bedarf an Carbonfasern. Dieser wird sich bis 2021 deutlich erhöhen. Ähnliche Trends werden für andere neue Werkstoffe erwartet. Damit wird auch die Nachfrage nach Werkzeugen und Plattformen für die Entwicklung und Prüfung von Komponenten aus diesen Werkstoffen ansteigen.

Das Netzwerk bietet seinen Partnern Fördermöglichkeiten für eine breite Palette an technischen Innovationsvorhaben.

Die Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen soll nachhaltig unterstützt werden. Damit leistet das Netzwerk einen Beitrag zu deren Wachstum, verbunden mit der Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen. Die durch Prognest entstehende Innovationskraft für Prüftechnik und die Nähe zur Normung von Prüfregelungen verspricht eine Hebelwirkung auf die Lösungen, die in verschiedene Produkte der beteiligten Partner einfließen.

### Sprecher des Kooperationsnetzwerks

Ralf Schallert  
 ralf.schallert@ikts.fraunhofer.de  
[www.prognet.solutions](http://www.prognet.solutions)

- 1 Carbonstrukturen (Quelle: © mxd - Fotolia).
- 2 Globaler Bedarf von Carbonfasern in Tsd. Tonnen von 2009 bis 2021 (\*Schätzungen).





VERBÜNDE, ALLIANZEN, NETZWERKE

## CENTER FOR ENERGY AND ENVIRONMENTAL CHEMISTRY JENA (CEEC)

Das Center for Energy and Environmental Chemistry Jena (CEEC) ist ein interfakultäres Zentrum, welches das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena betreibt. Das CEEC bündelt die Aktivitäten zur Energiewandlung, Energiespeicherung und zur technischen Umweltchemie der beiden Forschungseinrichtungen.

Wesentliche Schwerpunkte bilden dabei elektrochemische Energiespeicher und deren Materialien, insbesondere Keramiken und Polymere, Energiewandler wie Solarzellen, sowie innovative Verfahren der Wasser- und Abwasserbehandlung. Im CEEC sind derzeit 12 Professuren der FSU und fünf Abteilungen aus dem Fraunhofer IKTS vertreten. Neben dem Institutsneubau in Jena, der seit 2015 genutzt wird, sind auch Labore und Technika zur Batterieherstellung und Membrantechnik am IKTS-Standort Hermsdorf Teil des Zentrums.

Das CEEC ist für das Fraunhofer IKTS die strategische Kooperationsplattform mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena insbesondere auf dem Gebiet der Grundlagenforschung. Über das Zentrum werden zahlreiche gemeinsame Master- und Promotionsarbeiten abgewickelt, gemeinsame Veranstaltungen angeboten, Forschungsvorhaben initiiert und Großgeräte genutzt. Der deutschlandweit einzigartige Masterstudiengang »Chemie – Energie – Umwelt«, in dem das IKTS mit seinen Forschungsthemen besonders prominent vertreten ist, wird ebenfalls über das CEEC betreut und verantwortet.

Einen Schwerpunkt der Zusammenarbeit bildet dabei der Lehrstuhl »Technische Umweltchemie«, den Prof. Michael Stelter, stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer IKTS innehat. Die Arbeitsgruppe widmet sich Themen der Wasserbehandlung, Wasserreinigung und Wasseranalytik mit neuartigen, kombi-

nierten physikalischen und elektrochemischen Verfahren, wie Ultraschall und hydrodynamisch erzeugter Kavitation, Elektrochemie sowie keramischer Membrantechnik. Die Gruppe hat damit eine ausgewiesene Brückenfunktion zu zahlreichen Arbeiten im Fraunhofer IKTS in Hermsdorf und Dresden.

Weitere Themen am CEEC mit besonderer Relevanz für das Fraunhofer IKTS sind:

- Werkstoffe für elektrochemische Reaktoren und Batterien
- Organische Aktivmaterialien und Membranen
- Kohlenstoff-Nanomaterialien
- Gläser und optisch aktive Materialien für die Photovoltaik und Photochemie
- Physikalische Charakterisierung

### Kontakt

Prof. Dr. Michael Stelter  
Lehrstuhl für Technische Umweltchemie  
michael.stelter@uni-jena.de  
[www.ceec.uni-jena.de](http://www.ceec.uni-jena.de)

1 Knopfzelle (Quelle: Jan-Peter Kasper/FSU Jena).

---

# NAMEN, DATEN, EREIGNISSE

Eine Übersicht über Publikationen, Patente und das wissenschaftliche Engagement von IKTS-Mitarbeitern im Jahr 2017 finden Sie auf der Webseite [www.ikts.fraunhofer.de/de/daten2017](http://www.ikts.fraunhofer.de/de/daten2017)



Erteilte Patente  
Patentanmeldungen

Buch- und Zeitschriftenbeiträge  
Vorträge und Poster

Lehrtätigkeiten  
Mitarbeit in Gremien und Fachausschüssen

Dissertationen  
Abschlussarbeiten

# VERANSTALTUNGEN UND MESSEN – AUSBLICK

## Tagungen und Events

### Juniordoktor

12. Februar und 30. Mai 2018, Dresden, Maria-Reiche-Straße

### Girls' Day

26. April 2018, Hermsdorf, Michael-Faraday-Straße

### International Conference on Inorganic Membranes ICIM

18.–22. Juni 2018, Dresden, Westin Bellevue Hotel

### Industrietag »Siliciumnitrid«

23.–24. Oktober 2018, Dresden, Winterbergstraße

### NDT in Aerospace

24.–26. Oktober 2018, Dresden, Steigenberger Hotel de Saxe

### Workshop Additive Manufacturing Center Dresden

29.–30. November 2018, Dresden

Weitere Informationen finden Sie unter

[www.ikts.fraunhofer.de/de/communication/events](http://www.ikts.fraunhofer.de/de/communication/events)

## Seminare/Workshops

### DGM-Fortbildungsseminar

**Keramische Werkstoffe: Eigenschaften und industrielle Anwendungen**

26.–27. Juni 2018, Dresden, Winterbergstraße

### DKG-Fortbildungsseminar

**Sprühtrocknung: Technologie, statistische Versuchsplanung, Produkt- und Prozessoptimierung**

TBA, Dresden, Winterbergstraße

## Messebeteiligungen

### Clean India Show

18.–20. Januar 2018, Mumbai

Gemeinschaftsstand der LEG Thüringen

### nano tech

14.–16. Februar 2018, Tokio

Gemeinschaftsstand der Wirtschaftsförderung Sachsen

### Thüringer Trinkwassertagung

21.–22. Februar 2018, Jena

### JEC World

6.–8. März 2018, Paris

Gemeinschaftsstand der Wirtschaftsförderung Sachsen

### Energy Storage

13.–15. März 2018, Düsseldorf

Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz Energie

### Filtech

13.–15. März 2018, Köln

### Lope-C

14.–15. März 2018, München

### ALD for Industry

23. März 2018, Dresden

### Ceramitec

10.–13. April 2018, München

Gemeinschaftsstand CERAMIC APPLICATIONS  
Sonderschau "Additive Fertigung"

### ILA

25.–29. April 2018, Berlin

Gemeinschaftsstand CleanSky



### **Hannover Messe**

23.–27. April 2018, Hannover  
 Gemeinschaftsstand des BMWi, Halle 2  
 Gemeinschaftsstand »Forschung für die Zukunft«, Halle 2  
 Halle 5  
 Gemeinschaftsstand Energy Saxony e. V., Halle 27

### **Control**

24.–27. April 2018, Stuttgart  
 Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz Vision

### **IFAT**

14.–18. Mai 2018, München

### **RapidTech**

5.–7. Juni 2018, Erfurt  
 Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz  
 Generative Fertigung

### **Surface Technology**

5.–7. Juni 2018, Stuttgart

### **PCIM**

5.–7. Juni 2018, Nürnberg  
 Gemeinschaftsstand des ECPE

### **ACHEMA**

11.–15. Juni 2018, Frankfurt am Main  
 Halle 4  
 Fraunhofer-Gemeinschaftsstand, Halle 9.2

### **ECNDT**

11.–16. Juni 2018, Göteborg

### **ACTUATOR**

25.–27. Juni 2018, Bremen  
 Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz Adaptronik

### **Sensor+Test**

26.–28. Juni 2018, Nürnberg

### **ONS**

27.–30. August 2018, Stavanger  
 Fraunhofer-Allianz AdvanCer

### **GreenExpo**

6.–9. September 2018, Mexiko City  
 Gemeinschaftsstand der LEG Thüringen

### **EuroPM**

14.–18. Oktober 2018, Bilbao

### **FAD-Konferenz**

TBA, Dresden

### **Compamed**

12.–15. November 2018, Düsseldorf

### **Formnext**

13.–16. November 2018, Frankfurt am Main  
 Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz  
 Generative Fertigung

### **Semicon**

13.–16. November 2018, München  
 Gemeinschaftsstand des VμE

### **Electronica**

13.–16. November 2018, München

### **Hagener Symposium**

TBA, Hagen

Weitere Informationen finden Sie unter  
[www.ikts.fraunhofer.de/de/communication/trade\\_fairs](http://www.ikts.fraunhofer.de/de/communication/trade_fairs)

# ANFAHRT ZUM FRAUNHOFER IKTS



Weitere Informationen und Anfahrtsskizzen  
finden Sie unter  
[www.ikts.fraunhofer.de/de/contact](http://www.ikts.fraunhofer.de/de/contact)

## So erreichen Sie uns in Dresden-Gruna

### Straßenverbindung

- Autobahn A4: am Autobahndreieck Dresden West auf A17 wechseln in Richtung Prag
- Abfahrt an der Ausfahrt Dresden Prohlis/Nickern (Ausfahrt 4)
- Weiterfahrt ca. 2 km auf der Ausfallstraße in Richtung Zentrum
- Am Ende der Ausfallstraße über die Ampel geradeaus weiterfahren auf den Langen Weg in Richtung Prohlis (IHK)
- Nach ca. 1 km links abbiegen auf die Mügelner Straße
- An der nächsten Ampelkreuzung rechts abbiegen auf die Straße Moränenende
- Unter der Eisenbahnbrücke durch, weiter geradeaus bis zur nächsten Ampel, dann links einbiegen in die Breitscheidstraße
- Weiterfahrt ca. 3 km geradeaus über An der Rennbahn auf die Winterbergstraße
- Das Fraunhofer IKTS befindet sich auf der linken Seite
- Melden Sie sich bitte an der Pforte an

### Nahverkehr

- Dresden-Hbf.: ab Haltestelle Hauptbahnhof-Nord mit Straßenbahnlinie 9 (Richtung Prohlis) bis Wasaplatz
- Weiter mit Buslinie 61 (Richtung Weißig/Fernsehturm) oder Buslinie 85 (Richtung Striesen) bis Haltestelle Grunaer Weg

### Flugverbindung

- Ab Flughafen Dresden-Klotzsche mit dem Taxi zur Winterbergstraße 28 (ca. 10 km)
- Oder mit der S-Bahn (unterirdische S-Bahn-Station) zum Hauptbahnhof, weiter siehe Nahverkehr



## So erreichen Sie uns in Dresden-Klotzsche

### Straßenverbindung

- Autobahn A4: Ausfahrt Dresden-Flughafen
- Weiter über Hermann-Reichelt-Straße in Richtung Hoyerswerda auf Grenzstraße
- Maria-Reiche-Straße ist die erste Abzweigung rechts nach Dörnichtweg
- Vom Zentrum Dresden: B97 in Richtung Hoyerswerda
- 400 m nachdem die Straßenbahngleise von der Straßenmitte auf die rechte Seite wechseln nach links in die Grenzstraße abbiegen
- Maria-Reiche-Straße zweigt nach etwa 500 m links ab

### Nahverkehr

- Ab Dresden Zentrum mit Straßenbahnlinie 7 (Richtung Weixdorf) bis Arkonastraße
- In Fahrtrichtung schräg nach links durch das Wohngebiet, dann links in Grenzstraße gehen
- Maria-Reiche-Straße erreichen Sie nach etwa zehn Minuten Fußweg auf der linken Seite

- S-Bahn Linie 2 bis Dresden-Grenzstraße
- Entgegengesetzt zur Fahrtrichtung ca. 400 m zurückgehen
- Rechts in die Maria-Reiche-Straße gehen

### Flugverbindung

- Ab Flughafen Dresden-Klotzsche mit Bus 80 bis Grenzstraße Mitte, dann 150 m der Grenzstraße folgen
- Oder mit S-Bahn eine Haltestelle bis Dresden-Grenzstraße und etwa 400 m die Grenzstraße weiter laufen

## So erreichen Sie uns in Hermsdorf

### Straßenverbindung

- Autobahn A9: Ausfahrt Bad Klosterlausnitz/Hermsdorf (Ausfahrt 23)
- Weiterfahrt auf Naumburger Straße in Richtung Hermsdorf
- Im Stadtzentrum (Kreisverkehr) rechts abbiegen in Robert-Friese-Straße
- Straßenverlauf in das Industrie- und Gewerbegebiet folgen, dann rechts in Michael-Faraday-Straße abbiegen
- Nach ca. 20 m erreichen Sie links das Gelände des Fraunhofer IKTS

- Autobahn A4: Ausfahrt Hermsdorf-Ost (Ausfahrt 56b)
- Weiterfahrt auf Geraer Straße in Richtung Hermsdorf
- Dann links in Regensburger Straße einbiegen und dem Verlauf der Hauptstraße folgen
- Am Kreisverkehr rechts abbiegen und der Straße Am Globus folgen, die in die Robert-Friese-Straße mündet
- Dann links in die Michael-Faraday-Straße abbiegen
- Nach ca. 20 m erreichen Sie links das Gelände des Fraunhofer IKTS

### Nahverkehr

- Ab Bahnhof Hermsdorf-Klosterlausnitz laufen Sie nach rechts in Richtung Eisenbahnbrücke
- Geradeaus in die Keramikerstraße (Brücke nicht überqueren), vorbei an Porzellanfabrik und Stadthaus Hermsdorf
- Dann rechts abbiegen, den Kreisverkehr passieren und geradeaus in die Robert-Friese-Straße gehen
- Nach etwa 600 m rechts in die Michael-Faraday-Straße gehen
- Nach ca. 20 m erreichen Sie links das Gelände des Fraunhofer IKTS

**Redaktion/Layout**

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit/Marketing

**Druck**

ELBTAL Druckerei & Kartonagen Kahle GmbH

**Bilder**

Fotograf Jürgen Lösel, Dresden  
Fraunhofer IKTS  
MEV Verlag

**Institutsadresse**

**Fraunhofer-Institut für  
Keramische Technologien und Systeme IKTS**  
Winterbergstraße 28, 01277 Dresden-Gruna  
Telefon +49 351 2553-7700  
Fax +49 351 2553-7600

Michael-Faraday-Straße 1, 07629 Hermsdorf  
Telefon +49 36601 9301-0  
Fax +49 36601 9301-3921

Maria-Reiche-Straße 2, 01109 Dresden-Klotzsche  
Telefon +49 351 88815-501  
Fax +49 351 88815-509

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

**Ansprechpartnerin  
Presse und Öffentlichkeitsarbeit**

Dipl.-Chem. Katrin Schwarz  
Telefon +49 351 2553-7720  
[katrin.schwarz@ikts.fraunhofer.de](mailto:katrin.schwarz@ikts.fraunhofer.de)

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

© Fraunhofer IKTS, Dresden 04/2018



**15th International Conference  
on Inorganic Membranes**  
**Membranes: Efficient Separation**



**June 18–22, 2018**  
Dresden, Germany

[www.icim2018.com](http://www.icim2018.com)



The 15th ICIM will provide an unique platform for scientists and engineers to present and discuss the latest research and development results in the field of **inorganic membrane science and technology**.

For the first time, the conference will additionally focus on **functional layers for batteries and fuel cells**.

**Program**

- Laboratory workshop on membrane preparation and characterization
- More than 160 international high-level lectures
- PhD-speech contest and award for the best PhD student lecture
- Poster party and awards for the three best posters
- Industrial exhibition
- Conference dinner and social program

**Be part of the ICIM community and register now!**

**You are looking for attractive opportunities to promote your company?**

**Become sponsor or exhibitor at ICIM 2018.**

Hosted by Fraunhofer IKTS, co-organized by FZ Jülich

