



JAHRESBERICHT  
**2019**  
**2020**

---

# JAHRESBERICHT 2019/2020

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)



[/fraunhoferikts](#)



Management  
System  
ISO 9001:2015  
ISO 14001:2015

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

# VORWORT

JAHRESBERICHT 2019/20

## Liebe Freunde und Partner des IKTS,

die Keramik bleibt spannend mit hoher Wachstumsdynamik. Auch 2019 ist das IKTS entsprechend weiter gewachsen, auf einen Gesamthaushalt von jetzt ca. 64 Mio. Euro. Besonders erfreulich ist hierbei, dass wir unsere am Betriebshaushalt orientierte Gesamtertragsquote im Vergleich zum schon sehr erfolgreichen Vorjahr um gut 5 % auf jetzt über 84 % steigern konnten. Die Erträge teilen sich dabei ungefähr 50:50 auf direkte Industrieerträge und öffentliche Erträge auf. So soll es gemäß dem Fraunhofer-Modell auch sein und wir bestätigen damit einmal mehr, dass wir unserer Mission einer transferorientierten Forschung auch wirklich nachkommen. Mit unserem Ergebnis konnten wir uns Investitionen von fast 5 Mio. Euro leisten, die in alle Bereiche unserer gleichermaßen auf Struktur- und Funktionskeramik ausgerichteten Abteilungen geflossen sind.

Auch im laufenden Jahr werden wir weitere Ausbaumaßnahmen umsetzen. An unserem Standort in Hermsdorf möchten wir 2020 unseren am Technikum 1 entstehenden Neubau in Betrieb nehmen. Der Freistaat Thüringen und die Fraunhofer-Gesellschaft haben hierzu 5 Mio. Euro zur Verfügung gestellt. Der Ausbau dient der Erweiterung unserer Fertigungsmöglichkeiten für Keramikkomponenten mit einem starken Fokus auf Elektrolyte für Na/NiCl<sub>2</sub>-Batterien. Darüber hinaus planen wir in Arnstadt ein auf die digitalisierte Produktion von Lithium-Ionen-Batterien orientiertes Technikum aufzubauen, das eng mit der ortsan-

sässigen Industrie kooperieren und als Inkubator für die Etablierung einer batterieorientierten Zuliefererindustrie dienen soll. Dem Freistaat Thüringen – besonders dem Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft (TMWWDG) – danken wir für die erhebliche finanzielle Unterstützung. Damit ergänzen wir unsere seit vielen Jahren etablierten standortübergreifenden Aktivitäten zum Thema Lithium-Ionen-Batterie. An unserem gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten IFAM und IST betriebenen Projektzentrum in Braunschweig (ZESS) fokussieren wir weiterhin auf Festkörperbatterien. In Dresden werden die elektrochemischen Grundlagen bis zu den Fertigungstechnologien weiterentwickelt, wobei wir hier unsere gemeinsam mit thyssenkrupp betriebene Pilotlinie in Pleissa einbeziehen. Die Entwicklung spezieller Sensorik und zerstörungsfreier Prüftechnik sowie Qualitätssicherung für die Produktionstechnologie findet nach wie vor an unserem Dresdner Standort in Klotzsche statt und geht natürlich deutlich über Batterieanwendungen hinaus. Besonders glücklich sind wir, dass wir ein unter dem BMBF-Dachkonzept »Forschungsfabrik Batterie« neu gegründetes Kompetenzcluster zum Thema »Green Battery und Recycling« mit koordinieren dürfen. Mit starker Unterstützung des Freistaats Sachsen werden wir am bisherigen Fraunhofer THM (Technikum für Halbleitermaterialien) in Freiberg eine auf das Recycling von Batterien ausgerichtete Versuchsanlage aufbauen. Hierzu werden wir eng mit den Kollegen der TU Bergakademie Freiberg



zusammenarbeiten. Dem Freistaat Sachsen – speziell dem Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus (SMWK) – danken wir für die Unterstützung.

Auch die Themen Wasserstoff und Brennstoffzellen bzw. Elektrolysesysteme werden wir weiter ausbauen. Hierzu gibt es innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft größere Vorhaben, die derzeit mit Bund und Ländern abgestimmt werden und in die wir uns einbringen werden. Hierzu werde ich dann nächstes Jahr mehr berichten. Unsere Aktivitäten zur Energie- und Umwelttechnologie entwickeln sich somit rasant und passen hervorragend in die derzeitige Klima- und Umweltdebatte. Wir können und möchten hier unter dem Motto »Fraunhofer for Future« einen echten Beitrag leisten.

Nicht unerwähnt lassen möchte ich noch unseren neuen Standort in Forchheim in Oberfranken. Unter der Leitung von Frau Prof. Dr. Silke Christiansen haben wir hier eine Abteilung zur Materialdiagnostik und Materialdaten aufgebaut. Wir werden uns im Bereich der Mikroskopie und Analytik völlig neue Möglichkeiten schaffen und unsere Aktivitäten im Bereich der Digitalisierung stärken.

Neben all diesen Zukunftsthemen werden wir aber auch unser Kerngeschäft und unsere weiteren Geschäftsfelder nicht aus dem Auge verlieren. Im Gegenteil, wir werden erheblich in

den Ausbau unserer Strukturkeramik-Fertigung von der Pulveraufbereitung über die Formgebung (nicht nur additive Fertigung) und Ofentechnologie bis hin zur Endbearbeitung investieren. Auch der Bereich der Funktionskeramik entwickelt sich weiter sehr positiv. Hervorzuheben sind hier unsere Pasten für die Sensorik und Elektronik sowie unsere Foliengießtechnologie. Auch hier haben wir bereits stark investiert, um für den wachsenden Bedarf gerüstet zu sein.

Weitere Highlights und Entwicklungstrends aus unseren Geschäftsfeldern haben wir im Jahresbericht zusammengestellt. Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen beim Durchblättern. Wie immer besteht unser Angebot, von unserer ausgezeichneten Ausstattung und unserem hervorragenden IKTS-Team Gebrauch zu machen. Wir freuen uns auf die Zusammenarbeit.

Ihr,

Alexander Michaelis

April 2020

# INHALT

## JAHRESBERICHT 2019/20

2 Vorwort

4 Inhalt

### Das Fraunhofer IKTS im Profil

6 Kurzporträt

8 Kernkompetenzen

10 Organigramm

12 Das Fraunhofer IKTS in Zahlen

15 Kuratorium

16 Die Fraunhofer-Gesellschaft

17 Retrospektive

22 Aus den Geschäftsfeldern des Fraunhofer IKTS

### Werkstoffe und Verfahren

24 Schichtperowskit-Template zur Texturierung bleifreier Piezokeramiken

25 Ultraschnelle Plasma-ALD mit 3D-gedruckten keramischen Raketendüsen

26 Material Jetting – Thermoplastischer 3D-Druck für Multimaterialbauteile

27 Funktionalisierte transparente Yttrium-Aluminium-Granat-Keramik (YAG)

28 Energieeffizientes Zwei-Stufen-Sintern von ZTA-Keramiken

### Maschinenbau und Fahrzeugtechnik

29 Keramische Formneusteinsätze für Spritzgießwerkzeuge

30 Keramik-Wechselköpfe für das Einlippentiefbohren

31 Sichere Speicherung von Wasserstoff oder Gas in Drucktanks

### Elektronik und Mikrosysteme

32 Dickdruckende Kupferpasten für die Leistungselektronik

33 NANO-XCT zur In-situ-Abbildung von Rissen in Mikrochips

34 Mikromechanik von Silbersinter-Kontakten in der Leistungselektronik

### Energie

35 Verfahrensentwicklungen für den kerntechnischen Rückbau

36 Keramische Elektrolyte für Lithium- und Natrium-Festkörperbatterien

38 Hochtemperatur-CO-Elektrolyse als Schlüsseltechnologie für die CO<sub>2</sub>-Nutzung

40 Kostengünstige Heißeitenkontaktierung für thermoelektrische Generatoren

- 41 Effiziente Auslegungs- und Beschichtungs-Verfahren für Lithium-Ionen-Batterieelektroden
- 42 Saisonaler Wärmespeicher auf der Basis von Zeolithformkörpern

#### Umwelt- und Verfahrenstechnik

---

- 43 Recycling von Nährstoffen aus organischen Reststoffen
- 44 Keramische Heißgasfilter zur Wertstoffgewinnung und Gasreinigung
- 45 Effiziente CO<sub>2</sub>-Gewinnung aus Industrieabgasen durch Membranen
- 46 Entsalzung hochkonzentrierter Lösungen durch Membrandestillation

#### Bio- und Medizintechnik

---

- 47 Mikrofluidik für die Aptamer-basierte Biosensorik
- 48 Biomaterialtestung 2.0 – standardisiert, ressourcensparend: ClickKit-Well
- 50 Ceramic Bonepreserver – Keramischer Oberflächenersatz für das Hüftgelenk

#### Wasser

---

- 51 Kreislaufwasserreinigung von kritischen Druckfarben mit keramischen Membranen
- 52 Behandlung komplexer industrieller Prozesswässer mit hohem Salzgehalt
- 53 Vergleichende Langzeituntersuchungen zur Entfernung von Pestizidrückständen
- 54 Online-Spurenstoffanalytik für eine effiziente Abwasserreinigung
- 55 Wie altert Plastik? Untersuchungen im Labor und im Pazifik

#### Material- und Prozessanalyse

---

- 56 Messung der dynamischen Ermüdung in korrosiven Medien
- 57 Flexibles 4-Punkt-Biegesystem für Zug- und Druckbeanspruchung
- 58 Verformungsanalysen bei isostatischer Druckbelastung
- 59 In-situ und operando-Strukturuntersuchungen an elektrochemischen Systemen

#### Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung

---

- 60 Automatisierte Ultraschallprüfung von dünnen Blechen mit PCUS® PRO HF
- 61 Monitoring des Extrusionsprozesses in der Produktion von Batteriefolien
- 62 Drahtlose Sensorsysteme für sichere Offshore-Bauwerke – CoMoBelt

#### 63 Kooperationsausbau in Verbänden, Allianzen und Netzwerken

---

#### 69 Namen, Daten, Ereignisse

---

- 70 Veranstaltungen und Messen im Jahr 2020
- 72 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 in Dresden 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 Materialdiagnostik 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 neun marktorientierten Geschäftsfeldern, um keramische Technologien und Kom-

ponenten sowie zerstörungsfreie Prüfverfahren für neue Branchen, Produktideen und Märkte jenseits der klassischen Einsatzgebiete zu demonstrieren und zu qualifizieren.

Im Blick stehen dabei gesamtgesellschaftliche Herausforderungen im Bereich neuer Mobilitätsformen, innovativer Konzepte für die Energie- und Wassertechnik sowie einer effizienten digitalen Produktion, für die das Fraunhofer IKTS bewährte und neue Werkstoff-, Technologie- und Systemkonzepte integriert. Einsatz finden diese in den Geschäftsfeldern Maschinenbau und Fahrzeugtechnik, Elektronik und Mikrosysteme, Energie, Wasser, Umwelt- und Verfahrenstechnik, Bio- und Medizintechnik sowie Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung. In den Querschnittsfeldern Werkstoffe und Verfahren sowie der Material- und Prozessanalyse werden etablierte und neue Technologien als »Schrittmacher-Technologien« für alle anderen Felder kontinuierlich weiterentwickelt.

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 Time-to-Market und Risiken deutlich minimiert 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.

### **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.

### **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. Durch den Aufbau und die aktive Arbeit innerhalb verschiedener Netzwerke kann das 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 Qualitätsmanagement**

Qualität, Nachvollziehbarkeit, Transparenz und Nachhaltigkeit gehören für das 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**
  - Keramikgerechte Datenerhebung/Instrumentierung
  - Prozesssimulation 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**

- Zerstörungsfreie und zerstörende Prüftechnologien
- Mikro- und Nanoanalytik
- Ultraschall
- HF-Wirbelstrom
- Optische Methoden
- Röntgenverfahren
- Akustische Diagnose

**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**

# ORGANIGRAMM

## Institutsleiter

Prof. Dr. habil. Alexander Michaelis

## Stellvertretender Institutsleiter / Verwaltungsleiter

Dr. Michael Zins

## Stellvertretender Institutsleiter / Marketing und Strategie

Prof. Dr. Michael Stelter

## Stellvertretender Institutsleiter

Prof. 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 und additive Fertigung
- 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
- Pulver- und Suspensionscharakterisierung\*
- Labor für Qualität und Zuverlässigkeit\*, Mechanisches Labor

## Umwelt- und Verfahrenstechnik

### Nanoporöse Membranen

Dr. Hannes Richter

- Zeolithmembranen und Nanokomposite
- Kohlenstoffbasierte Membranen
- Membranzustände
- Funktionelle Trägersysteme und Schichten

### Hochtemperaturseparation und Katalyse

Dr. Ralf Kriegel

- Hochtemperaturmembranen und -speicher
- Katalyse und Materialsynthese

### Biomassetechnologien und Membranverfahrenstechnik

Dr. Burkhardt Faßauer

- Biomassekonversion und Nährstoffrecycling
- Systemtechnik Wasser und Abwasser
- 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

Büro Berlin

Projektgruppe BTU Cottbus-Senftenberg, Brandenburg

Standort Forchheim, Bayern

## Applikationszentren

Batterietechnik, Pleiße, Sachsen

Bioenergie, Pöhl, Sachsen

Bio-Nanotechnologie-Anwendungslabor BNAL, Leipzig, Sachsen

Membrantechnik, Schmalkalden, Thüringen

Foliengießzentrum, Hermsdorf, Thüringen

## Technische Universität Dresden

ifWW – Institut für Anorganisch-Nichtmetallische Werkstoffe  
IAVT – Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik  
IFE – Institut für Festkörperelektronik  
DCN – Dresden Center for Nanoanalysis

## Friedrich-Schiller-Universität Jena

Institut für Technische Umweltchemie

## Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Fachbereich SciTec – Werkstofftechnik

## Freie Universität Berlin

Institut für Experimentalphysik

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. Ingolf Voigt

Prof. Dr. Silke Christiansen

- Chemische und Strukturanalyse
- Hartmetalle und Cermets
- ZfP-Zentrum\*

### Korrelative Mikroskopie und Materialdaten

Prof. Dr. Silke Christiansen

\* 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
- Werkstoffe für gedruckte Systeme
- Keramische Energiewandler
- Hochtemperatur-Elektrochemie und funktionalisierte Oberflächen

### Systemintegration und Technologietransfer

Dr. Roland Weidl

- Systemkonzepte
- Validierung
- Stationäre Energiespeicher
- Dünnschicht-Technologien
- Na-Batteriematerialien und Musterfertigung

### 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 funktioneller Druck
- 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
- Projektgruppe Kognitive Materialdiagnostik Cottbus

## Mikroelektronik-Materialien und Nanoanalytik

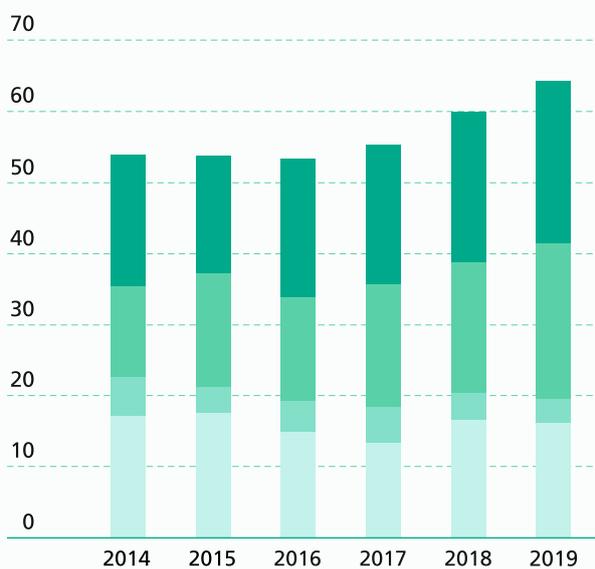
Prof. Dr. habil. Ehrenfried Zschech

- Nanomaterialien und Analytik
- Nanomechanik und Zuverlässigkeit für die Mikroelektronik

# DAS FRAUNHOFER IKTS IN ZAHLEN

## DAS FRAUNHOFER IKTS IM PROFIL

Entwicklung des Gesamthaushalts des Fraunhofer IKTS (in Millionen Euro) in den Haushaltsjahren 2014 bis 2019

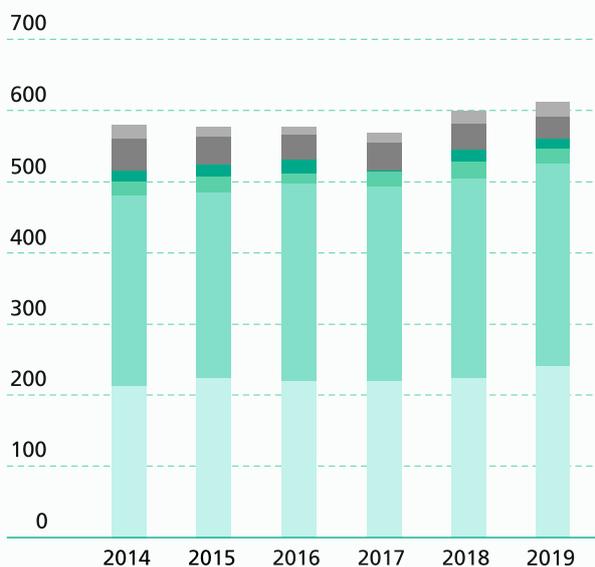


	2014	2015	2016	2017	2018	2019
■	18,6	16,3	19,6	19,6	21,2	22,9
■	12,9	16,4	14,8	17,3	18,4	21,8
■	5,5	3,6	4,4	5,1	3,8	3,5
■	17,2	17,8	14,8	13,5	16,6	16,1
<b>=</b>	<b>54,2</b>	<b>54,1</b>	<b>53,6</b>	<b>55,5</b>	<b>60,0</b>	<b>64,3</b>

- Wirtschaftsertrag
- Bund/Länder
- EU/Sonstige Erträge
- Institutionelle Förderung

Entwicklung des Personalbestands des Fraunhofer IKTS

Mitarbeiterzahl 2014 bis 2019, Vollstellenäquivalente Personalstruktur zum 31.12. des jeweiligen Jahres



	2014	2015	2016	2017	2018	2019
■	19	15	11	14	18	20
■	44	38	36	40	36	32
■	16	18	19	1	16	13
■	20	21	15	21	25	22
■	267	260	276	273	280	284
■	214	223	220	220	224	241
<b>=</b>	<b>580</b>	<b>575</b>	<b>577</b>	<b>569</b>	<b>599</b>	<b>612</b>

- Auszubildende
- Studentische Hilfskräfte, Praktikanten, Diplomanden
- Mitarbeiter mit Zeit- und Werksverträgen sowie Nebentätigkeit
- Doktoranden
- Graduierte und technische Mitarbeiter
- Wissenschaftliche Mitarbeiter



## Haushalt und Erträge

Der Gesamthaushalt übersteigt mit einem Volumen von 64,3 Mio. Euro das Niveau des Vorjahres um 4,2 Mio. Euro. Dabei wurden 6,1 Mio. Euro in die Ausstattung investiert. Insgesamt wurden 48,2 Mio. Euro an externen Erträgen erworben, davon 22,9 Mio. Euro direkt von der Industrie. Mit 3,7 Mio. Euro sind damit Unternehmen aus Sachsen und Thüringen beteiligt.

Industrieprojekte im Wert von 6,4 Mio. Euro wurden aus dem Ausland beauftragt. Schwerpunkte liegen hier 2019 in China, Österreich und den USA, die gemeinsam etwa die Hälfte des Auslandsindustrieertrags ausmachen. Derzeit sind nur 2 % der Erträge unter dem Einfluss des Brexit zu bewerten. Erfreulicherweise ist die Finanzierung von Projekten mit Landesförderung sowohl in Thüringen (0,8 Mio. Euro) als auch in Sachsen (3,6 Mio. Euro) angestiegen. Insgesamt fördern die verschiedenen Bundesländer Projekte in einem Umfang von 5,2 Mio. Euro. Der Anteil des EU-Projektvolumens ist mit 1,6 Mio. Euro hinter den Erwartungen zurückgeblieben. Hier werden die Akquisitionsmaßnahmen 2020 verstärkt. Insbesondere durch die Anbindung des Standorts Forchheim werden sich 2020 hier andere Konstellationen ergeben. 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. Die Dezentralisierung von Verwaltungsaufgaben in Verbindung mit der Fraunhofer-weiten Einführung des ERP-Systems SAP stellen 2020 hohe Anforderungen, die 2019 sehr gut vorbereitet werden konnten.

An allen Standorten erfolgt der Ausbau der Gebäude und Infrastruktur durch verschiedene Baumaßnahmen, die mit erheblichen Mitteln von den Freistaaten Sachsen und Thüringen sowie dem Land Niedersachsen gefördert werden.

## Personalentwicklung

Insgesamt werden an den drei Standorten 754 Mitarbeitende beschäftigt. Durch die familienfreundliche Ausrichtung werden die Wünsche vieler junger Mütter und Väter nach Teilzeitarbeit erfüllt. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die verschiedenen Gruppen in der Grafik als Vollzeitäquivalente dargestellt. Die Zahl der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist um 18 Stellen auf 241 gestiegen. Weiterhin erfolgen die Dissertationen sowohl im Rahmen von schwerpunktmäßig ausgerichteten Doktoranden-Anstellungsverhältnissen als auch im Rahmen von projektbezogenen Tätigkeiten mit hoher Industrienähe. Erfreulicherweise ist die Anzahl der Auszubildenden um weitere zwei auf nunmehr 20 Stellen gewachsen. Erstmals bildet das Fraunhofer IKTS auch im Bereich IT aus.

Ein Schwerpunkt der Personalarbeit ist die Personalentwicklungsplanung. Die systematische Förderung der Mitarbeitenden und die dafür notwendige Schaffung von Entwicklungsplänen und Weiterbildungskonzepten sind ein wesentliches Ziel der Institutsleitung. Persönliche Karriereziele sollen konsequent gefördert werden. Der Arbeitgeber Fraunhofer IKTS ist im Markt bisher gut positioniert.

## Erweiterung der Infrastruktur

Aufgrund des erheblichen Wachstums in nahezu allen Bereichen wurden an den beiden Standorten in Dresden mehr als eine Mio. Euro in den Ausbau investiert. Neben aufwendigen sicherheitstechnischen Umbauten im Hinblick auf Brandschutz-

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

maßnahmen, wurde die Laborfläche erweitert. Alleine am Standort Dresden-Klotsche sind so Zusatzflächen von 330 m<sup>2</sup> entstanden. Weitere 220 m<sup>2</sup> wurden dort für die Arbeitsgruppe »Technische Elektrolyse und Geothermie« angemietet. Durch die Zusammenfassung der unterschiedlichen Additiven Fertigungsverfahren entsteht in Dresden-Gruna ein einmaliges Demonstrationslabor mit unterschiedlichen Technologien. Für Hersteller und Anwender sind damit die Möglichkeiten gegeben, Prototypen in Oxid- und Nichtoxidkeramiken herstellen zu lassen und anwendungsnah zu prüfen. Die Präsentation neuer Verfahrenstechnik ist im Herbst 2020 geplant.

Am Standort Hermsdorf wurde der Aufbau des Pilotierungszentrums für Pulversynthese und Extrusion begonnen. Die Fertigstellung wird in der zweiten Jahreshälfte 2020 erfolgen. Die Maschinen und Anlagen im Pilotierungszentrum werden technologisch so ausgerüstet sein, dass eine digitale Produktion von keramischen Komponenten möglich wird. Unter anderem werden Maschinen zur Formgebung mit neuester Sensortechnik ausgestattet, die einen Einblick in Prozessdetails gewährt, der bisher nicht möglich war. Zudem werden Konzepte entwickelt, wie Sensordaten in Echtzeit zu einer kontinuierlichen Qualitätsüberwachung und Prozesssteuerung zusammengeführt werden können. Das Gebäude bietet maßgeschneiderte technische Lösungen für die Trennung verschiedener Materialien, für Absaugung und Entstaubung sowie für die Abwasseraufbereitung. Auf 583 m<sup>2</sup> entstehen zwei hochmoderne Labore, sechs Technika sowie Büros und Lagerflächen.

# 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-Forschungs-  
einrichtungen«

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

Thüringer Ministerium für  
Wirtschaft, Wissenschaft und  
Digitale Gesellschaft, Erfurt  
Leiter des Referats 53  
»Technologieförderung«

**Dr. habil. M. Gude**

Thüringer Ministerium für  
Umwelt, Energie und Natur-  
schutz, Erfurt  
Leiter der Abteilung 3  
»Energie und Klima«

**Dr. P. Heilmann**

arXes Information Design  
Berlin GmbH, Berlin  
Geschäftsführer

**A. Heller**

Landratsamt Saale-Holzland-  
Kreis, Eisenberg  
Landrat

**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, Scheßlitz  
Geschäftsführer

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

Sächsisches Staatsministerium  
für Wirtschaft, Arbeit und  
Verkehr, Dresden  
Leiter des Referats 47:  
»Strukturentwicklung, wirt-  
schaftsrelevante Umwelt- und  
Energiefragen«

**M. Philipps**

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

**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 36  
»Industrie«

# DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

## DAS FRAUNHOFER IKTS IM PROFIL

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 26 600 Mitarbeitende, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,6 Mrd. Euro. Davon fallen 2,2 Mrd. Euro auf den Leistungsbe-

reich 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.

Fraunhofer-Standorte in Deutschland



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.

# RETROSPEKTIVE



Das Fraunhofer IKTS präsentierte sich dieses Jahr auf 45 Messen im In- und Ausland und als Veranstalter mehrerer wissenschaftlicher Kongresse sowie bei verschiedenen Events für die breite Öffentlichkeit.

16. Januar | 20. Februar | 15. Mai 2019

2

## Nachwuchsförderung am IKTS

Elf Miniforscher der Fröbel-Kita Darwinstraße besuchten den IKTS-Standort in Dresden-Klotzsche. Hier erfuhren die Kinder Interessantes zur Zustandsüberwachung und lernten aktuelle Projekte kennen. Beim Juniordoktorprogramm experimentierten interessierte Dritt- bis Fünftklässler in Workshops. Nachdem sie verschiedene Metalle mit Wirbelstrom auf nicht sichtbare Defekte hin untersucht hatten, konnten alle Teilnehmer die Juniordoktorfrage beantworten. Zur feierlichen Verleihung der Juniordoktorhüte am 14. September 2019 an der TU Dresden begeisterte Susanne Hillmann die Nachwuchswissenschaftler mit ihrem Vortrag »Forschen bei Fraunhofer«.

15. Februar 2019

1

## MoU für Joint Venture zu Energiespeichern in Indien unterzeichnet

Im Rahmen einer Delegationsreise des Thüringer Ministeriums für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft nach Indien unterzeichnete Prof. Alexander Michaelis gemeinsam mit den indischen Technologieunternehmen h2e Power Systems, Ltd. sowie R Cube Energy Storage System, Ltd. ein »Memorandum of Understanding« (MoU). Ziel ist es, die bisherigen Entwicklungsarbeiten im Bereich der hybriden Energiesysteme auf Basis von keramischen Hochtemperaturbatterien und Festoxid-Brennstoffzellen nun zur Industrialisierung zu führen und zu diesem Zweck in Thüringen und in Indien Produktionsstätten zu finden.

12.–14. März 2019

## Energy Storage Europe | Keramische Batterie

Unter dem Titel »Ceramic Batteries – Powering Grid, Industry and Home« organisierte das Fraunhofer KTS einen gemeinsamen Auftritt und ein Symposium mit den Unternehmenspartnern



## RETROSPEKTIVE

Alumina Systems GmbH, König Metall Group, NGK Insulators, Ltd. und R Cube Energy Storage System, Ltd. Besuchern wurde so die universelle Einsetzbarkeit der keramischen Batterien auf Natrium-Basis als stationärer Energiespeicher demonstriert.

12.–14. März 2019

### JEC World | CFK-Prüfung und CMC

Auf der führenden internationalen Show für Verbundwerkstoffe zeigte das IKTS EddyCus® MPECS mini – ein System für die zerstörungsfreie Echtzeit-Prüfung von der Faser bis hin zu kompletten CFK-Baugruppen. Als weiteres Highlight stellte das IKTS eine neue Materialklasse vor: Faserverstärkte Keramik eignet sich durch ihre hohe Schadenstoleranz und Quasiduktilität insbesondere für den Einsatz in extremen Temperaturbereichen sowie unter starken abrasiven Belastungen, z. B. als Hitzeschutzschild für Raumflugkörper.

14.–21. März 2019

### Special Olympics World Games in Abu Dhabi

IKTS-Mitarbeiter und Radsportler Conrad Kluge erzielte Spitzenleistungen und gewann Silber und Bronze im 5 km Zeit- und Straßenrennen. Das Ziel von Special Olympics ist es, Menschen mit geistiger Behinderung durch den Sport zu mehr Anerkennung, Selbstbewusstsein und Teilhabe an der Gesellschaft zu verhelfen. 2023 kommt die globale inklusive Sportveranstaltung nach Deutschland.

21. März 2019

### Neues Fraunhofer Portugal Center for Smart Agriculture and Water Management AWAM

Landwirtschaft 4.0 ist das Thema des neuen Centers AWAM in Portugal. An den Standorten Vila Real und Évora werden Forschende neue Ansätze zur Vernetzung der Landwirtschaft und zur Wasseraufbereitung entwickeln. Der Aufbau des neuen Centers wird von den Universitäten Évora und Trás-os-Montes e

Alto Douro (UTAD) in Partnerschaft mit dem IKTS begleitet. Zur Eröffnung und feierlichen Präsentation des Centers kam neben Gästen aus Wirtschaft und Wissenschaft auch Portugals Wissenschaftsminister Prof. Manuel Heitor.

28. März 2019

### Girls' Day

Zum »Girls' Day – Mädchen-Zukunftstag« öffnen seit fast 20 Jahren tausende Unternehmen und Einrichtungen ihre Türen und lassen Schülerinnen in technische und naturwissenschaftliche Berufe schnuppern. Am Standort Hermsdorf bekamen die Schülerinnen aus der Region einen Einblick in die Arbeit von Materialforscherinnen und Laborantinnen. Beim Mikroskopieren und Experimentieren im Bereich Oxidkeramik konnten sie sich ganz praktisch mit der Forschung am Fraunhofer IKTS beschäftigen.

6. April 2019

### Tag der offenen Tür

»Erleben Sie Forschung an Hochleistungskeramik!« hieß es in der Einladung zum Tag der offenen Tür in Hermsdorf. Hunderte Neugierige folgten der Einladung und informierten sich in thematischen Vorträgen und Führungen durch die Labore und Technika über die Arbeit der Fraunhofer-Forschenden. Engagiert gestalteten die Mitarbeitenden den Tag, beantworteten Fragen und erklärten den Besuchern die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten des »hidden champions« Keramik.

8. April 2019

### Thüringer Forschungspreis

Für ihre Entwicklung einer preiswerten und umweltfreundlichen Batterie erhielten die IKTS-Forschenden Prof. Michael Stelter, Dr. Roland Weidl, Dr. Matthias Schulz, Heidi Dohndorf, Lutz Kiesel sowie Martin Hofacker und Benjamin Schüssler den Thüringer Forschungspreis in der Kategorie Angewandte Forschung. Bei der Preisverleihung in der Jenaer Imaginata lobte Thüringens



Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee die Arbeit des Forscherteams. Die komplexe Entwicklungsleistung von der Aufbereitung der Pulver für den Festkörperelektrolyten bis zur Integration in ein Batteriemodul wird aktuell in einem Transferprojekt in die Industrie überführt. Die Jury des Thüringer Forschungspreises überzeugte die hohe Relevanz der Batterie im Kontext der Energiewende und die Strahlkraft für und über Thüringen hinaus.

15. April 2019

3

### Baubeginn des neuen Pilotierungszentrums für Pulversynthese und Extrusion

Keramische Batterien sowie Membranen zur Filtration und Gas-trennung – das sind die Forschungsthemen, die im zukünftigen »Pilotierungszentrum für Pulversynthese und Extrusion« im Fokus stehen. Das vom Bund und dem Freistaat Thüringen geförderte Pilotierungszentrum ist maßgeschneidert auf die Anforderungen der komplexen Forschungsthemen und ein wichtiges Bindeglied zum künftigen Technologietransfer. Zum Spatenstich waren Thüringens Ministerpräsident Bodo Ramelow, Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee sowie Vertreter der Lokalpolitik und der Fraunhofer-Gesellschaft anwesend. Im Herbst 2020 kann der Anbau in Betrieb genommen werden.

16. April 2019

4

### autartec® | FreiLichtHaus an der F60 fertiggestellt

Fünf Jahre lang hat ein interdisziplinäres Team aus 15 Unternehmen, Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen aus Südbrandenburg, Sachsen und Ostthüringen an einem schwimmenden, sich selbst versorgenden Gebäude gearbeitet, das nun eingeweiht wurde. Das autartec®-Haus am Bergheider See in Lichterfeld-Schaksdorf kann Strom, Wärme und Trinkwasser völlig eigenständig produzieren. Integraler Bestandteil des vom BMBF geförderten Projekts ist das vom IKTS erprobte System zur chemie- und biologiefreien Abwasseraufbereitung.

7. Mai 2019

### Prof. Alexander Michaelis zum neuen Präsidenten der DKG gewählt

Auf der Mitgliederversammlung der Deutschen Keramischen Gesellschaft DKG in Leoben wurde Prof. Alexander Michaelis einstimmig zum neuen Präsidenten für eine Amtszeit von zunächst zwei Jahren gewählt. Er tritt somit die Nachfolge von Joachim Heym von der Schunk Ingenieurkeramik GmbH an, der die letzten vier Jahre dieses Amt sehr erfolgreich begleitet hatte. Die DKG ist seit nunmehr 100 Jahren die mitgliederstärkste keramische Gesellschaft in Europa und weltweit einer der ältesten Berufsverbände.

24. Mai 2019

5

### Science-Speed-Dating in der Straßenbahn

Auf Grund der großen Nachfrage startete – im Anschluss an die globale Fridays for Future Demonstration – erneut die Science Tram von DRESDENconcept (DDc). Während dieser Sonderfahrt beantworteten vier DDc-Forschende Schülern und Dresdnern Fragen und informierten über aktuelle Forschungen zu den Themen Klimawandel, Energiewende und Nachhaltigkeit. Prof. Michael Stelter, stellvertretender Institutsleiter am IKTS, stellte u. a. neue Konzepte im Bereich Energie sowie Wasser- und Abwasserbehandlung vor. Aber auch der Umgang mit unseren Rohstoffressourcen und die Problematik Mikroplastik wurden intensiv diskutiert.

27. Mai 2019

### MICRO-FATE startet mit Pazifik-Expedition

Ein internationales Wissenschaftlerteam des Projekts MICRO-FATE will herausfinden, wo sich Mikroplastik im Meer ansammelt, wie es abgebaut wird und welche Effekte es auf die Umwelt hat. Dafür reiste das Forschungsschiff SONNE für eine fünfwöchige



RETROSPEKTIVE



Expedition durch den Pazifik. Ziel war es, Proben für die spätere Laboranalyse zu nehmen und zu konservieren sowie erste Versuche durchzuführen. Das Fraunhofer IKTS untersuchte an Bord die wechselnden Eigenschaften von Plastikpartikeln durch Verwitterung und Fragmentierung.

14. Juni 2019

1

### Lange Nacht der Wissenschaften

Die 17. Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften fand unter dem Motto »Wissenschaft statt Kissenschlacht« statt. Mit insgesamt 39 000 Besuchern präsentierte sich der Forschungsstandort Dresden mit 699 Veranstaltungen an 66 Veranstaltungsorten äußerst abwechslungsreich und vielfältig. An 16 Stationen im IKTS konnten ca. 2000 kleine und große Gäste selbst experimentieren und sich über unsere Projekte informieren. Angefangen von der Herstellung einer funktionierenden Batterie aus Obst und Gemüse oder personalisierter biokompatibler Knochen aus dem 3D-Drucker, einem abenteuerlichen Temperatur-Parcours bis hin zu einem elektrischen Zauberstift – gab es viel zu entdecken.

25.–29. Juni 2019

### GIFA | Keramische Lösungen für die Gießereitechnik

Die Gießereiindustrie besitzt eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung und Herstellung von Komponenten für den Automobil- und Maschinenbau sowie zahlreiche weitere Branchen. Mit den gezeigten Schutzplatten, Filtern oder Tiegeln aus keramischen Hochleistungswerkstoffen können die steigenden Anforderungen an die Herstellung von Gussteilen hinsichtlich Qualität, Preisgefüge, Zuverlässigkeit und Formenvielfalt erfüllt werden.

26. Juni 2019

### Deutsch-Koreanisches Technologiezentrum eröffnet

Im Beisein der Bürgermeister von Dresden, Dirk Hilbert, und der südkoreanischen Stadt Changwon, Huh Sung-moo, sowie des Präsidenten des Korea Institute of Materials Science (KIMS),

Dr. Junh Hwan Leer, wurde ein Deutsch-Koreanisches Technologiezentrum DKTZ in Dresden eröffnet. Das DKTZ soll unter Mitwirkung des Fraunhofer IKTS, dem Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik der TU Dresden sowie KIMS koreanischen Unternehmen eine Ansiedlung in Dresden erleichtern und grenzüberschreitende, beschleunigte Entwicklungen realisieren.

5. Juli 2019

2

### ECerS | Dr. Mathias Herrmann mehrfach geehrt

Mit dem JECS-Trust-Award für seine wissenschaftlichen Veröffentlichungen und der Ernennung zum ECerS-Fellow ist Dr. Mathias Herrmann während der 16. Konferenz der Europäischen Keramischen Gesellschaft ECerS in Turin geehrt worden. Der Award wird seit 2013 alle zwei Jahre an Forschende vergeben, die sich im Bereich der Keramikforschung und -lehre in besonderem Maß verdient gemacht haben. Die Ernennung zum Fellow basiert auf besonderem Engagement und Errungenschaften in der keramischen Wissenschaft und Technologie.

14. September 2019

3

### Benefizregatta | Rudern gegen Krebs

Gemeinsam mit dem DRK-Blutspendedienst Dresden ruderten Mitarbeitende des IKTS bereits zum dritten Mal in Folge für einen guten Zweck auf der Elbe. Mit den Einnahmen fördert die »Stiftung Leben mit Krebs« therapieunterstützende Angebote für Betroffene aus der Region.

17. September 2019

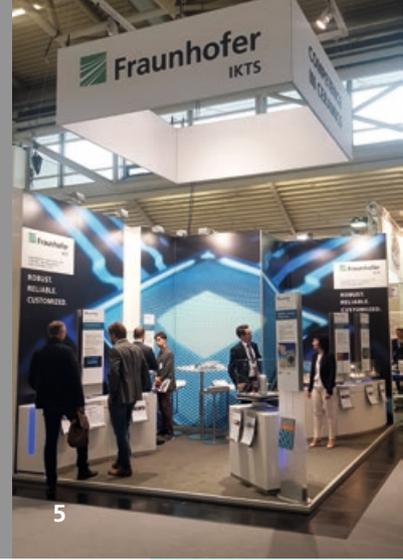
4

### Pressefrühstück | Fraunhofer Early Morning Science – Frauenpower für Fraunhofer

»Forschen im Auftrag der Zukunft« ist bei Fraunhofer seit 70 Jahren Programm. Im Jubiläumsjahr 2019 berichteten vier Fraunhofer-Forscherinnen beim sechsten Pressefrühstück über aktuelle anwendungsorientierte Projekte. Von Hochleistungshitze-



4



5

## RETROSPEKTIVE

schilden für sparsame Triebwerke in der Luft- und Raumfahrt-technik über unendliche OLED-Leuchtbänder bis hin zur Überwachung von Gründungsstrukturen und 3D-Druck einer Turbine – die Bandbreite der aktuellen Forschungshighlights begeisterte nicht nur die Journalisten vor Ort, sondern auch im Livestream.

23.–25. September 2019

### Dresden Battery Days | Batterien für die Zukunft

Stationäre Energiespeicher gelten als Schlüsselement einer modernen und nachhaltigen Energieversorgung. Auf den dritten Dresden Battery Days diskutierten knapp 90 internationale Experten über die aktuellen Forschungs- und Entwicklungstrends von Festkörperbatterien, Fragestellungen zur Fertigung sowie deren Zukunftsperspektiven. Zudem präsentierten Hersteller im Rahmen einer Industrieausstellung ihre neusten Entwicklungen zu Batterien und -systemen. 2020 treffen sich die Experten in Graz.

9.–11. Oktober 2019

### International Symposium on Piezocomposite Applications

Piezokeramiken kombiniert mit Elektronik-, Funktions- und Strukturwerkstoffen finden zunehmend Anwendung in der Medizintechnik, dem Maschinen- und Automobilbau. 50 Ingenieure, Designer und Experten aus acht Nationen diskutierten über aktuelle Forschungsergebnisse und Marktanforderungen für den optimalen Technologietransfer piezokeramischer Innovationen. Das diesjährige Symposium wurde mit einem Themenworkshop der Meggitt AVS zum Thema »Piezoelektrische Materialien und Anwendungen« eröffnet. Die nächste ISPA findet 2021 statt.

12.–15. November 2019

### Productronica | Leiterbahnen mit feinsten Strukturlösungen

Die Miniaturisierung ist Hauptentwicklungstreiber in der Elektronik. Auf der Messe wurde erstmals eine neue Generation von

Dickschichtpasten vorgestellt, die sich mittels erweiterter Siebdruckroute photo-lithografisch strukturieren lassen. So wird es möglich, extrem hochaufgelöste Strukturen von 20 Mikrometern oder feiner zu erzeugen, die für den nächsten Standard des mobilen Internets und der Mobiltelefonie 5G erforderlich sind.

13. November 2019

### Erste Fraunhofer Career Night Dresden

Etwa 40 Studierende nutzten die Chance, auf der 1. Fraunhofer Career Night Dresden, die Fraunhofer-Institute IKTS und IPMS zu erkunden. Am Campus Dresden-Nord lernten die Gäste verschiedene Forschungsbereiche kennen und knüpften in vielen Gesprächen erste Kontakte zu Fraunhofer-Forschenden. Neben einem Vortragsprogramm gab es Führungen durch beide Institute und als Highlight ein Escape-Game.

13. Dezember 2019

### Franz Müller ist Thüringens bester Physiklaborant

Franz Müller wurde von der Industrie- und Handelskammer Ostthüringen als einer der besten Auszubildenden 2019 ausgezeichnet. Der Physiklaborant begann 2016 seine Ausbildung am Fraunhofer IKTS und konnte sie vorzeitig im Sommer 2019 sehr erfolgreich abschließen. Nun arbeitet er bereits als Technischer Mitarbeiter im Bereich der Kohlenstoffmembranen im IKTS.

1. Januar 2020

### Prof. Alexander Michaelis ist Mitglied im Beirat Batterieforschung Deutschland

Prof. Alexander Michaelis, Institutsleiter des Fraunhofer IKTS, wurde als Mitglied in den Beirat Batterieforschung Deutschland berufen. Der Beirat berät das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in Fragen der strategischen Forschungsplanung zu elektrochemischen Energiespeichern. Mehr als 30 hochrangige Vertreter aus Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen sind darin vertreten.

# AUS DEN GESCHÄFTSFELDERN DES FRAUNHOFER IKTS

JAHRESBERICHT 2019/20



**Werkstoffe und  
Verfahren**



**Energie**

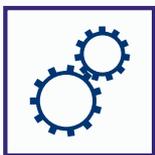


**Wasser**

## Werkstoffe und Verfahren

Seite 24–28

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**



**Umwelt- und  
Verfahrenstechnik**

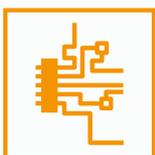


**Material- und  
Prozessanalyse**

## Maschinenbau und Fahrzeugtechnik

Seite 29–31

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, elasto-dynamischer und magnetischer Effekte.



**Elektronik und  
Mikrosysteme**



**Bio- und  
Medizintechnik**



**Zerstörungsfreie  
Prüfung und  
Überwachung**

## Elektronik und Mikrosysteme

Seite 32–34

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

Seite 35–42

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

Seite 43–46

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 Luftreinhaltung und -reinigung sowie zur Rückgewinnung von werthaltigen Rohstoffen aus Reststoffen. Keramische Membranen und Katalysatoren ermöglichen neue Reaktor-konzepte für die chemische Industrie.

## Bio- und Medizintechnik

Seite 47–50

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.

## Wasser

Seite 51–55

Die effiziente Nutzung und Reinhaltung von Wasser ist aus ökologischer und ökonomischer Sicht von höchster Priorität. Das Fraunhofer IKTS bietet Lösungen für die chemie- und biologiefreie Aufbereitung von Abwässern – von multifunktionalen Komponenten bis zu kompakten Gesamtsystemen. Verfahrenskombinationen aus Filtration, Adsorption oder sono-elektrochemischer Oxidation sind etablierten Ansätzen dabei deutlich überlegen. Zudem werden spezifische Sensorsysteme eingebunden, um die prozesstechnische Effizienz zu erhöhen und Verfahrenskosten zu senken.

## Material- und Prozessanalyse

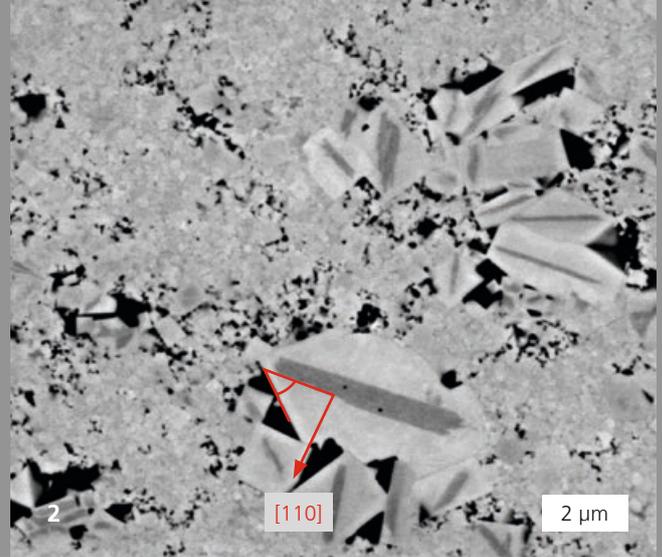
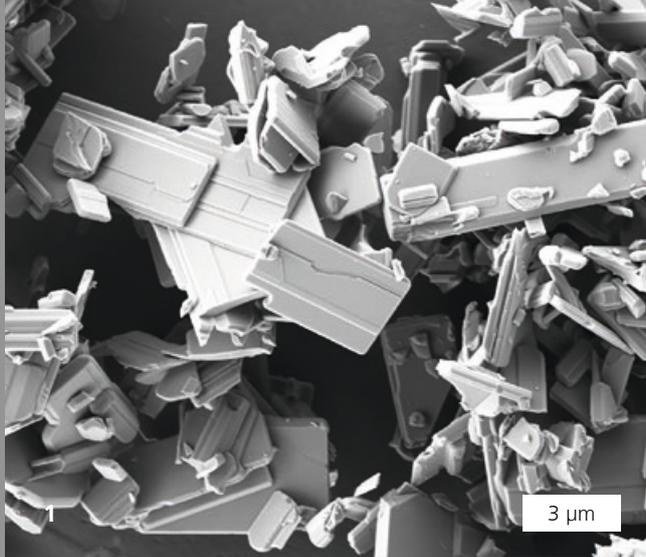
Seite 56–59

Das Fraunhofer IKTS bietet ein umfassendes Portfolio an Test-, Charakterisierungs- und Analysemethoden für Materialeigenschaften und Produktionsprozesse. Als zuverlässiger, mehrfach akkreditierter und auditierter Dienstleister unterstützt das 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.

## Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung

Seite 60–62

Qualität, Kosten und Zeit sind entscheidende Faktoren, um am Markt mit eigenen Produkten und Leistungen zu überzeugen. Zerstörungsfreie Prüfverfahren tragen dazu bei, diese kontinuierlich zu verbessern. Das Fraunhofer IKTS verbindet jahrzehntelange Erfahrung in der Prüfung und Überwachung von Komponenten und Anlagen mit neuesten Messtechnologien, Automatisierungskonzepten und Ansätzen zur Interpretation komplexer Datenmengen. Das Kompetenzportfolio geht damit weit über das eines klassischen Anbieters von ZfP-Prüftechnik hinaus.



## SCHICHTPEROWSKIT-TEMPLATE ZUR TEXTURIERUNG BLEIFREIER PIEZOKERAMIKEN

M. Sc. Christoph Briegel, Dr. Mathias Herrmann, Dr. Sylvia Gebhardt, Dr. Holger Neubert

Piezotechnik kommt seit Jahrzehnten in Form von Aktoren, Sensoren, Ultraschallwandlern oder Generatoren in unterschiedlichsten Anwendungsfeldern zum Einsatz. Der wegen seiner herausragenden elektromechanischen Eigenschaften am häufigsten verwendete piezokeramische Werkstoff ist  $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$  (PZT). Leider besteht er zu > 60 Gew.-% aus giftigem Blei. Unter dem Druck neuer Gesetzesrichtlinien (ROHS 2011/65/EU) ist die Forschung daher seit langem bestrebt, bleifreie Alternativen zu entwickeln. Hierbei hat sich  $\text{K}_{1-x}\text{Na}_x\text{NbO}_3$  (KNN) aufgrund guter piezoelektrischer Eigenschaften und einer hohen Curietemperatur als vielversprechend hervorgerufen. Jedoch sind KNN-Werkstoffe deutlich weniger leistungsfähig als kommerziell erhältliche PZT-Verbindungen. Durch Dotierung der Verbindungen oder spezielle Sinterverfahren kann eine Texturierung des Gefüges zu deutlichen Verbesserungen der piezoelektrischen Leistung beitragen. Dadurch lassen sich Eigenschaften gezielt erreichen, die mit PZT vergleichbar sind.

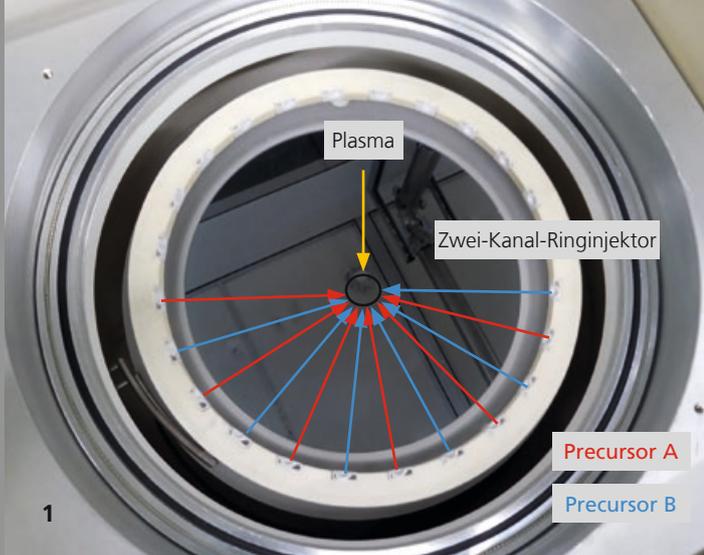
### Texturierung bleifreier piezokeramischer Werkstoffe

Zur Texturierung des Gefüges wird oftmals das »Templated Grain Growth«-Verfahren genutzt. Dabei werden plättchenförmige einkristalline Template über einen Foliengießprozess ausgerichtet in den Grünkörper eingebracht. Durch epitaktisches Aufwachsen und anschließendes Kornwachstum an den Templaten erfolgt während der Sinterung ein orientiertes Wachstum der Körner, wodurch ein texturiertes Gefüge entsteht. Für KNN-Keramiken werden bisher  $\text{NaNbO}_3$  (NN)-Template eingesetzt. Diese können aber aktuell nur über ein kostenintensives und aufwendiges Salzschnmelzverfahren bereitgestellt

werden, weshalb die industrielle Anwendung von texturiertem KNN bisher praktisch ausgeschlossen ist. Schichtperowskite bilden aufgrund geordneter Defektstrukturen in ihrem Kristall plättchenförmige Morphologien aus und sind daher potenzielle Templatkandidaten. Sie können über eine Mischoxid-Route einfach hergestellt werden. Ein weiterer Vorteil ist die große Auswahl an verfügbaren Schichtperowskit-Verbindungen. Somit können nicht nur eine [100]-, wie es bei NN-Template der Fall ist, sondern auch eine [110]- oder eine [111]-Texturrichtung in ein Gefüge eingebracht werden.

Am Fraunhofer IKTS wurden mehrere Schichtperowskit-Verbindungen als potenzielles Templatssystem für die Texturierung von KNN-Keramiken entwickelt und untersucht. Hierbei konnte anhand von Gefügeanalysen gezeigt werden, dass KNN-Partikel epitaktisch an  $\text{NaCa}_4\text{Nb}_5\text{O}_{17}$ -Template aufwachsen und dabei eine [110]-Wachstumsrichtung aufweisen. Somit ist erstmals der Nachweis erbracht, dass Schichtperowskite für die Texturierung von KNN-Werkstoffen geeignet sind. Weitere Entwicklungsarbeiten zielen nun auf die Templatgröße und -stabilität der Schichtperowskite, die Grünkörperqualität sowie die Sinterbedingungen ab, um letztlich ein texturiertes KNN-Gefüge zu erzeugen.

- 1 FESEM-Aufnahme von  $\text{NaCa}_4\text{Nb}_5\text{O}_{17}$ -Templatpulver.
- 2 FESEM-Aufnahme von epitaktisch aufgewachsenem KNN auf  $\text{NaCa}_4\text{Nb}_5\text{O}_{17}$ -Template mit einer [110]-Wachstumsrichtung.



## ULTRASCHNELLE PLASMA-ALD MIT 3D-GEDRUCKTEN KERAMISCHEN RAKETENDÜSEN

Abhishekkumar Thakur, Dr. Jonas Sundqvist, Dipl.-Phys. Mario Krug, Dr. Roland Weidl

Für eine weitere Skalierung der Nanotechnologien und Computerchips ist die Atomlagenabscheidung (ALD) für die selbstjustierte multiple Strukturierung der Schlüsselprozess. Das Verfahren erfordert allerdings ein Plasma-ALD bei Niedertemperatur und eine konforme Abscheidung auf Photoresiststrukturen für die nachfolgenden Ätzprozesse. Die ALD ist jedoch durch einen niedrigen Durchsatz begrenzt. Dieser kann durch Erhöhen des Wachstums pro Zyklus, Verwenden eines neuen Precursors oder einer räumlich getrennten ALD-Anlage (Spatial ALD) sowie durch Verringern der ALD-Zykluslänge oder Weglassen von Spülschritten verbessert werden. Die heutigen hochproduktiven Anlagen ermöglichen einen sehr schnellen Wafertransport in und aus den ALD-Kammern. Derzeit kommen 300 mm-Wafer-ALD-Kammern für die Massenfertigung zum Einsatz.

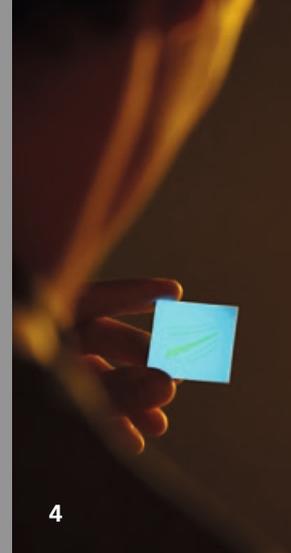
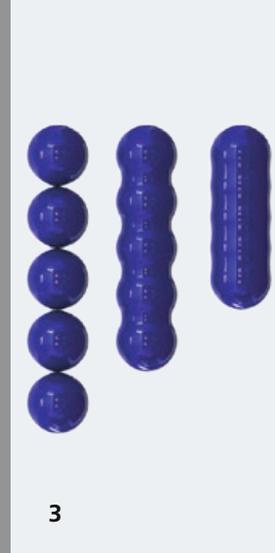
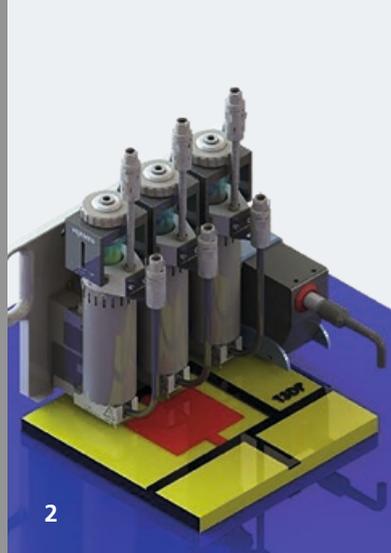
Das Fraunhofer IKTS hat in Zusammenarbeit mit der Plasway Technologies GmbH einen neuen Typ eines schnellen Plasma-ALD-Prozesses entwickelt. Der Prozess verwendet einen Gasfluss von oben, um ein 60 MHz-CCP-Plasma in einer 300 mm-Kammer zu zünden. Das Kammergassystem wurde modifiziert, um Precursorpulse von  $\leq 10$  ms mit Ultraschall-Precursorgasinjektion zu realisieren. Die Überschallgasgeschwindigkeit wird durch die Verwendung einer von Plasway Technologies hergestellten und patentierten 3D-gedruckten keramischen Raketendüse »Art de Laval« erreicht, die eine Rundum-Precursorinjektion mit hoher Geschwindigkeit ( $> 300$  m/s) über den Wafer ermöglicht. Die Prozessqualifizierung erfolgte mithilfe des bekannten Aluminiumoxid-Plasma-ALD-Prozesses unter Einsatz des Precursors Trimethylaluminium.

Mit dem de Laval-Ringinjektor begann die Sättigung bei 10 ms TMA-Pulslänge der getesteten Schaltgrenze des elektropneumatischen ALD-Ventils. Die Prozesslinearität und die Sättigungskurve zeigten die ALD-Natur des Prozesses an. Für 50 ms TMA-Puls wurde ein breites ALD-Temperaturfenster (30–120 °C) mit einer konstanten  $1,3 \text{ \AA}$  GPC extrahiert. Bereits mit sehr kurzen Impulsen konnte eine sehr gute Gleichmäßigkeit der applizierten Schichten – von der Wafermitte bis zum Rand – erreicht werden.

Weitere ALD-Prozesse sowie das Atomic Layer Etching (ALE) stehen im Fokus kommender Entwicklungsarbeiten am Fraunhofer IKTS und bei der Plasway Technologies GmbH.

1 300 mm Plasma-ALD-Prozesskammer.

2 Ultraschnelles Elektropneumatisches ALD-Ventil für Precursorpulsen unter 10 ms.



WERKSTOFFE UND VERFAHREN

# MATERIAL JETTING – THERMOPLASTISCHER 3D-DRUCK FÜR MULTIMATERIALBAUTEILE

Dipl.-Ing. Steven Weingarten, Dipl.-Ing. Uwe Scheithauer, Dipl.-Bio.-Inf. (FH) Oliver von Kopp, Dipl.-Ing. (FH) Jens Baade, Dip.-Ing. (FH) Martin Stecker, Dr. Tassilo Moritz, Dr. Hagen Klemm

Bauteile, die z. B. gleichermaßen thermisch oder elektrisch isolierend und leitfähig oder mehrfarbig sind, stellen hohe Anforderungen an die Fertigung. Ein großes Potenzial für diese Multimaterialbauteile bietet das additive Verfahren des Thermo- plastischen 3D-Drucks (CerAM T3DP).

## Technologie

CerAM T3DP beruht auf einer unikalen Technologie- und Anlagenentwicklung am IKTS, die entscheidende Grenzen bestehender Verfahren überwindet. Basis ist die tropfenweise Dosierung partikelgefüllter thermoplastischer Feedstocks. Durch eine definierte Überlappung der Einzeltropfen ist es möglich, dichte Grünbauteile herzustellen. Eine Besonderheit ist der auf Abkühlung basierende Verfestigungsmechanismus. Nahezu unabhängig von den physikalischen Eigenschaften der verwendeten Werkstoffe lassen sich sowohl oxid-, nitrid- und karbidkeramische Werkstoffe als auch Hartmetalle und Metalle verarbeiten. Nach der Formgebung folgen die Entbinderung und die Sinterung. Die Parametrisierung der hochpräzisen Mikrodosiersysteme (MDS) erlaubt es, in Abhängigkeit von der dynamischen Viskosität des verwendeten Feedstocks, Tropfendurchmesser zwischen 300 und 1000 µm und Schichthöhen zwischen 100 und 200 µm zu realisieren.

## Anlagenentwicklung

Die CerAM T3DP-Fertigungsanlage hat eine Bauplattform von 200 x 200 x 180 mm<sup>3</sup>, die unter bis zu vier implementierten MDS und einem Profilsensor in x-, y- und z-Richtung verfährt. Die maximale Geschwindigkeit der Bauplattform beträgt

60 mm/s, die Positioniergenauigkeit ≤ 20 µm und die Wiederholgenauigkeit ≤ 5 µm. Nach erfolgreicher Validierung ist auf Grundlage dieser Anlage eine Kommerzialisierung geplant.

## Multifunktionale Bauteile

Durch die Verwendung von bis zu vier unterschiedlichen Materialien können Material- bzw. Eigenschaftsgradienten realisiert werden. Dabei werden gradierte physikalische (mechanisch, elektrisch, optisch, thermisch) und chemische Eigenschaften erzeugt.

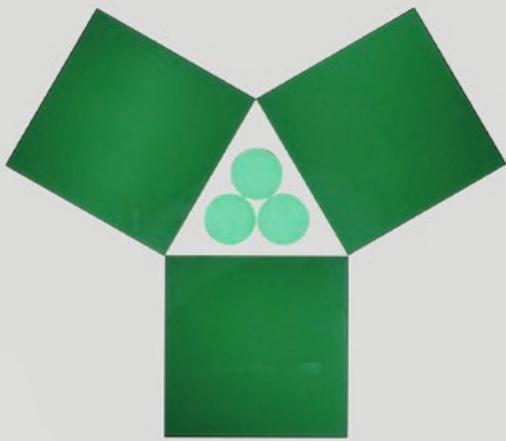
## Dosierfähige Werkstoffe

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, AlN, WC, WC-Co (6–12 % Co), 17–4PH, 316L, Sintergläser, LTCC- und Funktionsmaterialien

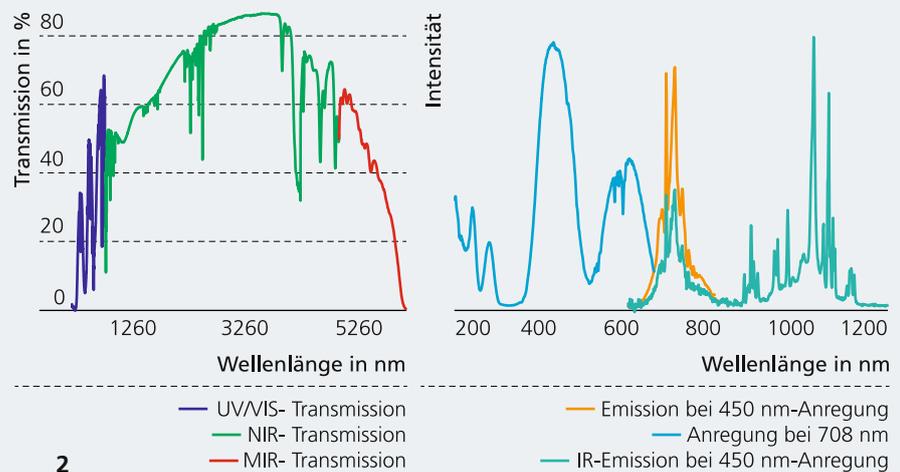
## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Feedstock- und Bauteilentwicklung sowie Technologietransfer
- Entwicklung von Hard- und Software für Prozessüberwachung und -automatisierung

- 1 CerAM T3DP-Fertigungsanlage.
- 2 Schematische Darstellung der MDS mit Einheit zur Prozessüberwachung.
- 3 Materialauftrag über Verschmelzung einzelner Tropfen.
- 4 Funktionalisiertes Sinterglas.



1



2

## FUNKTIONALISIERTE TRANSPARENTE YTTRIUM-ALUMINIUM-GRANAT-KERAMIK (YAG)

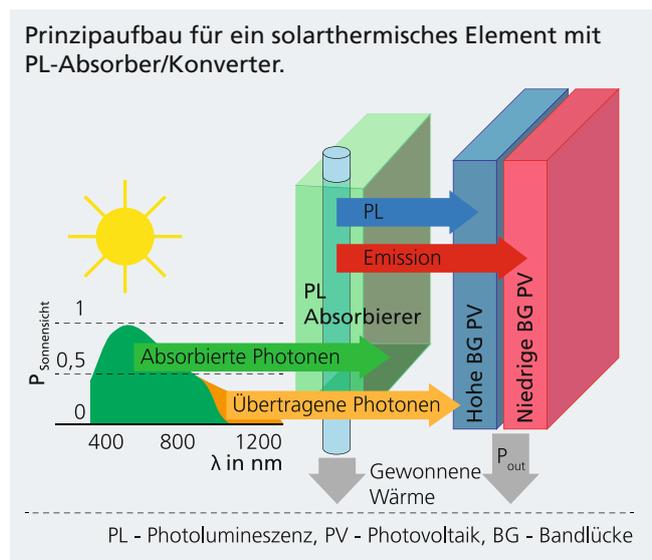
Dipl.-Ing. Thomas Hutzler, Dr. Stefanie Hildebrandt, PD Dr. Lutz-Michael Berger

Dotierte YAG-Keramik hat sich über viele Jahrzehnte als wichtige Komponente in der Lichttechnik, der Lasertechnologie, der Optoelektronik und auch als Schmuckstein etabliert. In polykristalliner Form wird beispielsweise Cer-dotierter YAG als Leuchtstoff in Leuchtmitteln auf LED-Basis verwendet. Als transparenter Einkristall hat der z. B. mit Neodym oder Ytterbium dotierte YAG die Entwicklung energiereicher Festkörperlaser für die Materialbearbeitung, für medizinische Anwendungen und für die Messtechnik ermöglicht. Eine zusätzliche Dotierung mit Chrom macht zudem den YAG in Absorber/Konverter-Platten zur Nutzung des breiten Lichtspektrums der Sonne interessant («Concentrated Solar Power Concept») [1]. Die Züchtung von YAG-Einkristallen z. B. mittels Czochralski-Verfahren ist sehr kostenintensiv. Dabei sind sowohl der Dimension und der Geometrie der Bauteile als auch der im Volumen realisierbaren Dotierungskonzentrationen enge Grenzen gesetzt. Forschenden des IKTS ist es gelungen, neben Spinell,  $ZrO_2$  und MgO nun auch transparente dotierte YAG-Keramik herzustellen. Die dabei verwendete defektfreie Formgebungstechnologie des IKTS ermöglicht eine große Variabilität in Form, Größe und Anzahl der monolithischen Keramikteile. Aber auch Art und Konzentration, der für eine spezielle Funktionalisierung erforderlichen Dotierungskomponenten, können so gezielt eingestellt werden. Im Rahmen einer Kooperation mit Technion in Haifa (Israel) wurden Platten (Kantenlänge  $80 \times 80 \times 3 \text{ mm}^3$ ) aus dreifach mit Cr-, Yb- und Nd-dotierter transparenter YAG-Keramik realisiert (Bild 1). Die in einem solarthermischen Kraftwerk zur Anwendung kommende YAG-Keramik absorbiert das Sonnenlicht und die Wärmestrahlung wird über einen geeigneten Träger (z. B. Salzschnmelze) abtransportiert. Die kurzwelligeren Lichtanteile werden in definierte Wellenlängen konvertiert, so-

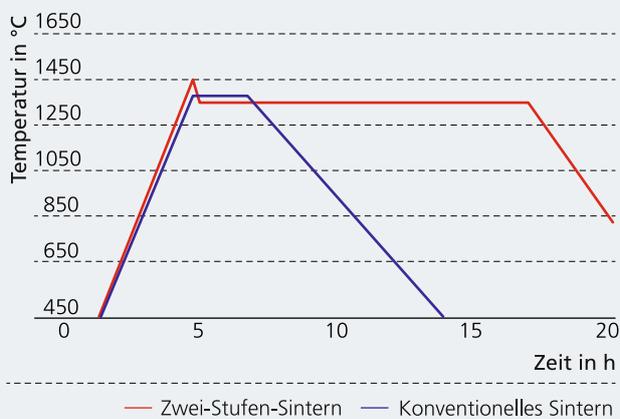
dass in den dahinterliegenden Solarzellen die Umwandlung in elektrischen Strom erfolgt (Graphik). Transparente CrNdYb:YAG-Keramik erfüllt genau diese Absorber/Konverter-Aufgabe (Bild 2) – vor allem bei Temperaturen um  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  mit hoher Effizienz.

### Literatur

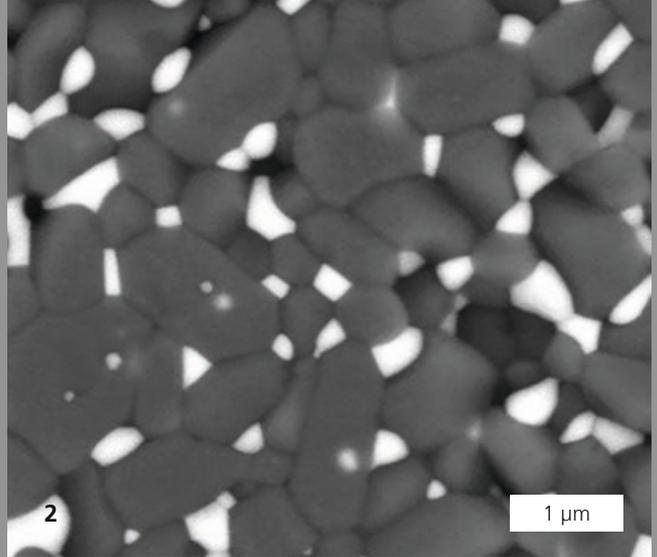
[1] S. Haviv u. a., OSA Technical Digest, Optical Society of America, 2019, paper jsi11\_1\_5].



- 1 Formkörper aus transparenten CrNdYb:YAG-Keramik-Platten für PL-Absorber/Konverter.
- 2 Transmissions- und Fluoreszenzspektren.



1



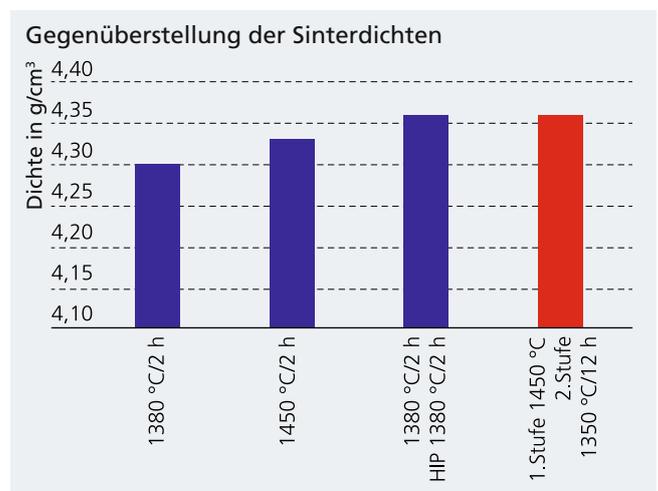
2

# ENERGIEEFFIZIENTES ZWEI-STUFEN-SINTERN VON ZTA-KERAMIKEN

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

Zirkoniumdioxid ( $ZrO_2$ ) verstärktes Aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ ), sogenannte ZTA-Keramiken, gehören zu den Mischoxidkeramiken und sind hydrothermal beständiger und fester als reines  $ZrO_2$  und reines  $Al_2O_3$ . Daher eignen sich ZTA-Keramiken hervorragend für medizinische Anwendungen. Entscheidend für die verbesserten Eigenschaften von Mischoxidkeramiken ist die Verteilung der einzelnen Phasen: Bei einer homogenen Phasenverteilung und hoher Sinterdichte werden höhere Festigkeiten und Härten erreicht. Konventionell werden ZTA-Keramiken entweder einstufig gesintert oder nach dem Sintern energie- und kostenintensiv über heißisostatisches Pressen (HIP) nachverdichtet. Am Fraunhofer IKTS wurde eine Zwei-Stufen-Sintermethode etabliert, die genauso dichte Gefüge (bei vergleichbarer Korngröße) erzielt, wie die konventionellen Methoden, jedoch wesentlich ressourcen- und energieschonender ist. Die Herstellung der Grünkörper erfolgte zunächst über die Mahlung der kommerziell erhältlichen Rohstoffe (75 Gew.-%  $Al_2O_3$ , 25 Gew.-%  $ZrO_2$  – stabilisiert mit 3 Mol% Yttriumoxid) in einer Hochenergie-Kugelmühle, Sprühgranulierung und anschließender Formgebung mittels dem Trockenpressverfahren. Grünkörper mit einer theoretischen Dichte von > 56 % wurden in drei Gruppen eingeteilt – die erste wurde konventionell an Luft gesintert, die zweite anschließend mit HIP behandelt, während die dritte Gruppe in zwei Stufen an Luft gesintert wurde. Die Sinterdichten zeigen, dass das Zwei-Stufen-Sintern gegenüber dem einstufigen Sintern zu einer deutlich höheren Verdichtung ( $4,36 \text{ g/cm}^3$  – entspricht > 99,9 % der theoretischen Dichte) führt. Auch gegenüber dem Sintern mit anschließender kostenintensiver HIP-Behandlung erzielt das Zwei-Stufen-Sintern vergleichbare Ergebnisse bei Sinterdichte und Mikrogefüge. Somit ist das Zwei-Stufen-Sintern eine vielverspre-

chende alternative Sintermethode zur Erhöhung der Energieeffizienz.



## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Werkstoffsynthese und -entwicklung
- Werkstoffspezifische Formgebung und Entwicklung von prototypischen Bauteilen und Pilotserien
- Beratung zu werkstoff-, konstruktions- und einsetzspezifischen Fragestellungen



- 1 Thermisches Profil der Zwei-Stufen-Sinterung.
- 2 Mikrogefüge der ZTA-Keramik nach Zwei-Stufen-Sinterung.



# KERAMISCHE FORMNESTEINSÄTZE FÜR SPRITZGIESSWERKZEUGE

Dipl.-Chem. Ralph Schubert

Bei der Verarbeitung plastifizierbarer Werkstoffsysteme ist das Spritzgießverfahren etabliert, da es eine ressourcen- und zeitsparende Herstellung komplex geformter Teile ermöglicht. Diese Basistechnologie kommt in vielen Industriezweigen zum Einsatz. Aufgrund der hohen Werkzeugkosten wird das Verfahren allerdings bei zunehmender Produktdesignvielfalt und abnehmenden Stückzahlen unrentabel. Am Fraunhofer IKTS wird daher im Rahmen eines FuE-Projekts ein neuartiges Konzept für den Kleinserienspritzguss bis zu 10 000 Teilen entwickelt. Dieses zeigt, dass Spritzgießwerkzeuge basierend auf präzisen, verschleißfesten und dünnwandigen Formneusteinsätzen aus Keramiken bzw. keramikähnlichen Kompositen eine kostengünstige Alternative zum traditionellen Metallbau sein können.

Die Formnester sollten sich im Verbund mit einem Hinterbau und weiteren Werkzeugkomponenten, wie z. B. Auswerfern, in ein bestehendes Werkzeug integrieren lassen. Zu diesem Zweck wurden im Rahmen eines dreistufigen Konzepts »Grundlagenuntersuchungen zum Aufbau und zur Formenkomplexität – Demonstratorherstellung« Prototypen aus unterschiedlichen Werkstoffen, z. B.  $Al_2O_3$ , ZTA, SiSiC und polysiloxanbasierten Kompositen, entwickelt. Es kamen dabei verschiedene Herstellungsverfahren zum Einsatz, wie das Liquid-Ceramic-Manufacturing-Verfahren (LCM), der keramische Schlickerguss, das Binder-Jetting-Verfahren und die plastische Abformung vom Prototypen. Bei ersten Spritzgießuntersuchungen mit Thermoplasten (z. B. mit Faserfüllung, Schmelztemperaturen bis 320 °C, Spritzdrücken bis 1200 bar), Duroplasten (Werkzeugtemperaturen bis 200 °C) und Keramik-Feedstocks wurden Serien bis 1000 Teile erreicht, die sich aber leicht bis zu 10 000 Teilen erweitern lassen. Die Forschungsergebnisse sollen es

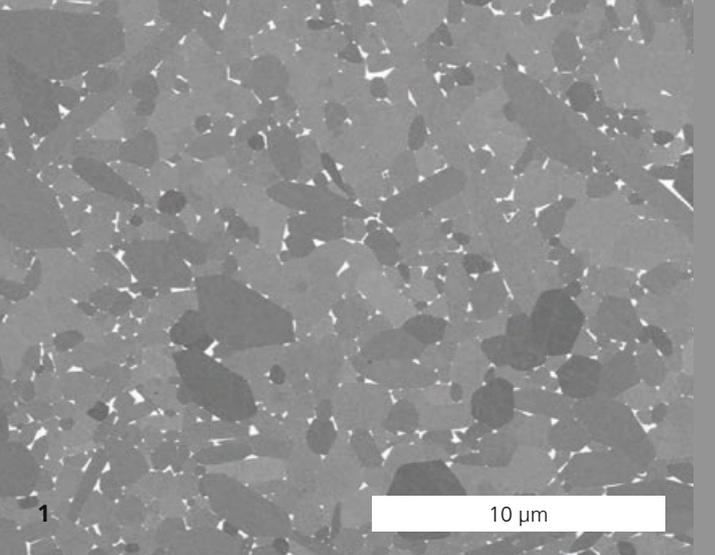
nach Abschluss des FuE-Projekts ermöglichen, dass Anwender anhand einer Entscheidungsmatrix Herstellungsverfahren und Werkstoffsysteme auswählen können, die für spezifische Aufgabenstellungen und für das jeweilige Spritzgießmaterial passend sind.

## Im Vergleich: Spritzgießwerkzeuge mit Formnestern aus Metall, Keramik und Komposit

	Design	Formnesterherstellung	Werkzeugintegration
<b>Metallformnest</b>	Konstruktionsdaten	Mechanische Bearbeitung Aufwand 4–5 Wochen	Komplettaufbau Aufwand 3–4 Wochen
<b>Keramikformnest</b>	Konstruktionsdaten	Urformverfahren (LCM, Schlickerguss, Binder-Jetting)/Sintern Bild 1 Aufwand 1–2 Wochen	Hinterbau/Einbau in Stammwerkzeug Aufwand 1–2 Tage
<b>Kompositformnest</b>	Prototyp	Warmprägen oder Verguss/Vernetzung Bild 2 Aufwand 1–2 Tage	Hinterbau/Einbau in Stammwerkzeug Bild 3 Aufwand 1–2 Tage

- 1 Formnest mit Teststruktur (Aluminiumoxid, LCM).
- 2 Formneusteinsätze aus  $Al_2O_3$  (oben), Komposit (Mitte), SiSiC (unten) mit Unterbau.
- 3 Formneusteinsatz (Komposit) mit Auswerfern im Stammwerkzeug.





# KERAMIK-WECHSELKÖPFE FÜR DAS EINLIPPEN-TIEFBOHREN

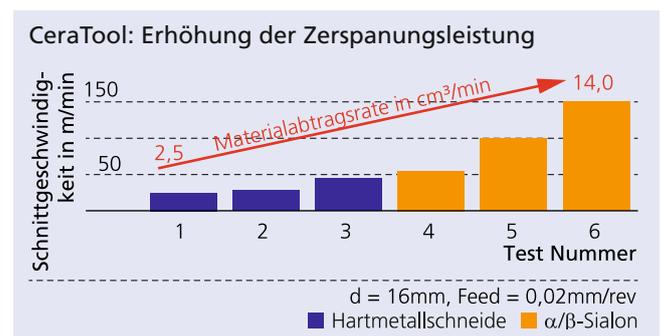
Dr. Eveline Zschippang, Dr. Mathias Herrmann, Dipl.-Ing. Jens Stockmann, Dipl.-Ing. Falko Oehme, Dipl.-Ing. Jan Räthel

Die Anwendung hochvergüteter oder gehärteter Stähle, neuer hochfester, -steifer und -temperaturbeständiger NE-Legierungen und Verbundwerkstoffe im Maschinen- und Anlagenbau führt zu steigenden Anforderungen an die spanende Bearbeitung der Werkstoffe. In diesem Kontext wurde im Verbundprojekt CeraTool zusammen mit Projektpartnern der Einsatz keramischer Hochleistungsschneidstoffe in Verbindung mit einer intelligenten Wechselkopftechnik für das Einlippentiefbohren erschlossen. Mit diesem speziellen Bohrverfahren können Bohrungen großer Längen-Durchmesserhältnisse hergestellt werden. Dabei kam eine eigens am IKTS entwickelte  $\alpha/\beta$ -Sialonkeramik zum Einsatz (Bild 1). Die bruchzähe und verschleißfeste Keramik ermöglicht mit einer Festigkeit  $> 850$  MPa, einer Zähigkeit von  $6,5$  MPa $\sqrt{m}$  und einer Hochtemperaturhärte von  $HV10 > 1400$  bei  $1000$  °C eine effektive Zerspangung. Um keramikgerechte Konturen für den Schneidenbereich der Wechselköpfe zu entwickeln und die Leistungsfähigkeit der Keramik zu testen, erfolgten Versuche an Wendeschneidplatten. In mehreren Etappen wurde deren Schneidenbereich gestaltet, mittels Schleifbearbeitung am 5-Achs-Ultraschall-Bearbeitungszentrum umgesetzt und die entsprechenden Prozessparameter für die Nass- und Trockenbearbeitung entwickelt. Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit der Wendeschneidplatten erfolgten an typischen Bearbeitungswerkstoffen auf der Tieflochbohrmaschine AUERBACH AX1-TL. Am Beispiel des Vergütungsstahls 1.2312 (gehärtet 45 HRC) konnte mit der Sialonkeramik unter Verdreifachung der üblichen Schnittgeschwindigkeiten eine deutliche Steigerung der Zerspangungsleistung erzielt werden (Graphik). In Verbindung mit einer Prozessführung unter Minimalmengen-Kühlschmierung sind zudem erhebliche Energie- und Öleinsparungen möglich. Auf Basis dieser vieler-

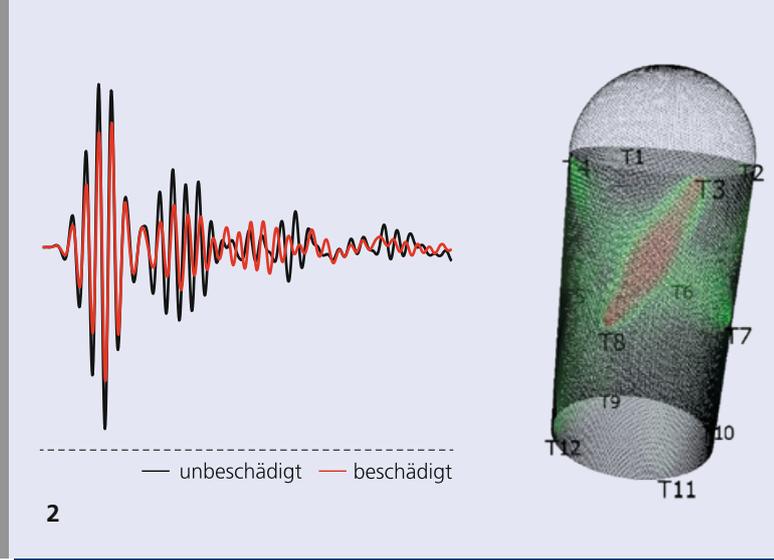
sprechenden Ergebnisse wurde das Schneidendesign der Wechselköpfe erstellt. Mit der Herstellung dieser keramischen Wechselköpfe mit optimiertem Schneidenbereich (Bild 2) sollen die Versuche nicht nur mit der Sialon-, sondern künftig auch mit einer neuen Mischkeramiksorte auf Basis von Titancarbonitrid, Korund und Zirconiumoxid fortgeführt werden.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Forschung und Entwicklung keramischer Schneidwerkstoffe
- Bauteilentwicklung aus Strukturkeramik



- 1 FESEM-Aufnahme vom Gefüge der entwickelten Sialonkeramik.
- 2 Kommerzielles Einlippentiefbohrwerkzeug  $D = 16$  mm (oben), Sialon-Wechselkopf (Mitte) und Mischkeramik-Wechselkopf mit Stahladapter (unten).



# SICHERE SPEICHERUNG VON WASSERSTOFF ODER GAS IN DRUCKTANKS

Dr. Lars Schubert, Dr. Kilian Tschöke, Heiko Neunübel

## Mobilität von morgen

Für eine emissionsarme Mobilität existieren verschiedene Antriebskonzepte, darunter solche mit Brennstoffzellen. Da sie hinsichtlich Reichweite und Tankzeiten erhebliche Vorteile gegenüber rein batterieelektrischen Systemen bieten, wird ihre Entwicklung von zahlreichen Automobilherstellern verfolgt.

Die Gewinnung des benötigten Wasserstoffs kann unter Einsatz erneuerbarer Energien ökologisch vertretbar erfolgen. Gespeichert wird der flüssige Wasserstoff im Fahrzeug in einem Drucktank (Bild 1).

## Drucktanks aus Faserverbundwerkstoff

Bisher übliche Stahltanks werden, auch in gasbetriebenen PKW, vermehrt durch Drucktanks aus Faserverbundwerkstoffen (CFK) ersetzt. Diese überzeugen mit einem geringeren Gewicht bei gleichzeitig hervorragenden Eigenschaften unter zyklischer Belastung. Die Integrität des Behälters muss dabei nicht nur bei wiederkehrenden Belastungen durch Betankung und Entnahme des Wasserstoffs, sondern auch im Schadensfall (z. B. Auffahrunfall) sichergestellt sein. Das kann über eine permanente Überwachung (sog. Structural Health Monitoring) des Druckbehälters realisiert werden.

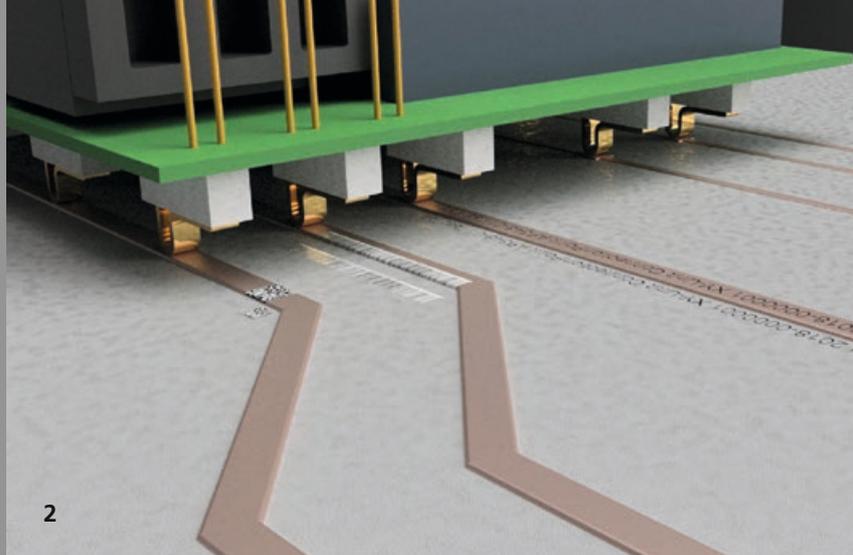
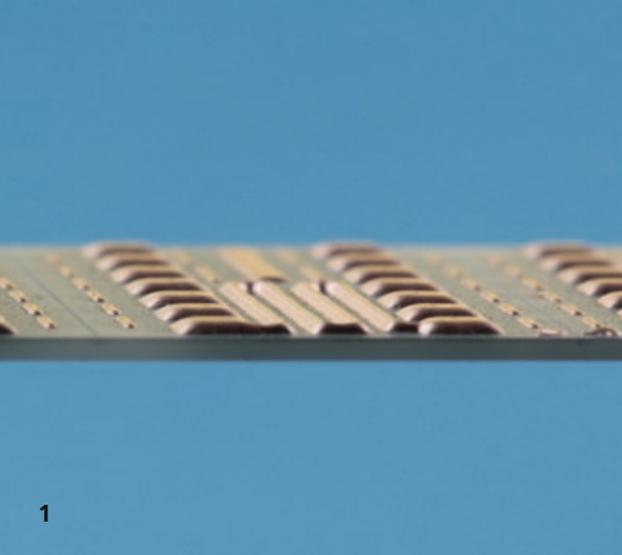
## Leistungsangebot

Am Fraunhofer IKTS wurde ein Monitoringsystem entwickelt, das anspruchsvolle CFK-Komponenten, wie gewickelte Drucktanks, auf Strukturänderungen hin untersucht.

Auf Grundlage einer Simulation, die das Messverfahren modelliert, wird das Monitoringsystem optimiert und ausgelegt. Umfangreiche und aufwendige Laborversuche können so durch rechnergestützte Untersuchungen vereinfacht und teilweise ersetzt werden. Aufbauend auf den Optimierungsergebnissen werden piezoelektrische Wandler direkt, bereits während der Fertigung, in das Bauteil eingebracht oder nachträglich appliziert. Für die Messung sendet ein Wandler aktiv angeregte Ultraschallwellen in das Material. Sogenannte geführte Wellen werden von den Wandlern, die gerade nicht aktiv senden, passiv empfangen. Diese Sende-Empfangsmessungen erfolgen kontinuierlich oder periodisch auf allen Pfaden zwischen den auf der Komponente aufgebrachten Wandlern.

Im Falle einer Strukturänderung zeigen sich auf mehreren Pfaden signifikante Abweichungen der Messsignale gegenüber dem ursprünglichen fehlerfreien Zustand. Durch Datenauswertung können diese Strukturänderungen oder Schäden nachgewiesen, lokalisiert, klassifiziert und abschließend visuell dargestellt werden (Bild 2).

- 1 Instrumentierter Drucktank aus gewickeltem Faserverbundwerkstoff im Automobilbau.
- 2 Aufgezeichnetes Sensor-signal eines Monitoringsystems inkl. Visualisierung einer Strukturänderung.



## DICKDRUCKENDE KUPFERPASTEN FÜR DIE LEISTUNGSELEKTRONIK

Dr. Kathrin Reinhardt, Dr. Stefan Körner, Dr. Uwe Partsch

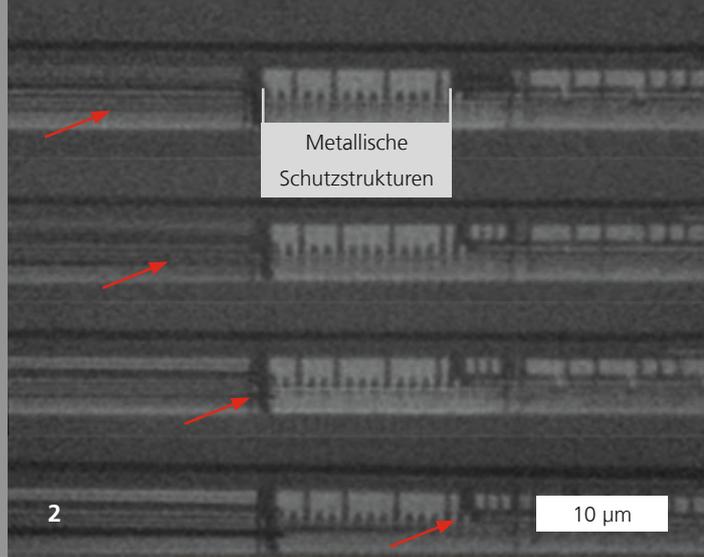
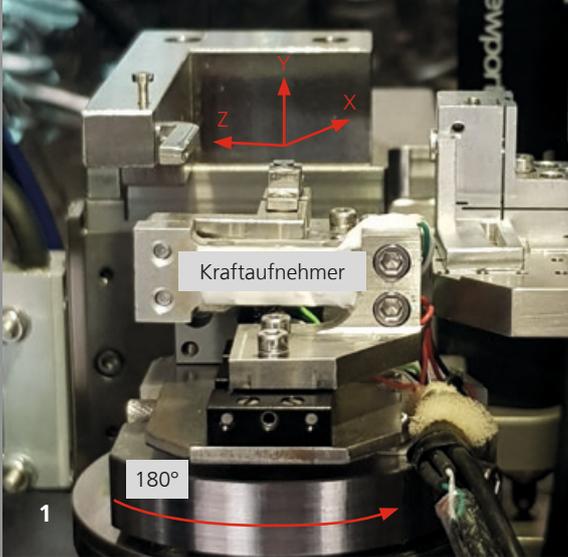
Leistungselektronische Systeme spielen bei der Versorgung mit erneuerbaren Energien und der Elektromobilität eine maßgebliche Rolle. Das Kernstück solcher Systeme bilden dabei Module, in die Leistungshalbleiter und weitere Komponenten integriert sind. Derzeit limitiert jedoch das in der Mehrzahl der Leistungsmodule eingesetzte DCB-Substrat (Direct Copper Bond) die Integrationsdichte von Leistungsmodulen. Daher werden zunehmend Kupferdickschichtsysteme genutzt. Derartige Kupferpastensysteme für Substrattypen wie  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{AlN}$  wurden erfolgreich am IKTS entwickelt. Es ist den Forschenden gelungen, 300  $\mu\text{m}$  dicke Kupferschichten zu realisieren, welche über Sieb- oder Schablonendruck abgeschieden werden (Bild 1). Diese neuartigen Systeme erlauben feinere Strukturierungen mit einer größeren Designflexibilität als handelsübliche DCB-Substrate und zeigen eine höhere Robustheit bei Temperaturwechselbeanspruchungen. Um ganze Multilayer-Strukturen auf keramischen Trägersubstraten aufbauen zu können, bedarf es allerdings auch noch weiterer Pastensysteme, wie Leit- und Dielektrikumspasten. Die Entwicklung solcher Pastensysteme für den Hochtemperatur- (650 bis 950  $^{\circ}\text{C}$ ) und Niedertemperaturbereich (200 bis 280  $^{\circ}\text{C}$ ) wurde ebenfalls am IKTS realisiert. Die Herausforderung bestand vor allem darin, die zu entwickelnden Pasten auf das bereits erzeugte Kupfer-Keramiksubstrat abzustimmen, bei welchem die Sinterung unter Stickstoffatmosphäre eine Grundvoraussetzung darstellt. Diese neuartigen IKTS-Entwicklungen ermöglichen, Leistungsmodule künftig kompakter, funktionaler und kosteneffizienter herzustellen.

In den vergangenen zwei Jahren wurden diese IKTS-Pastensysteme hinsichtlich digitaler 3D-Drucktechnologien stetig wei-

terentwickelt. In dem vom BMBF geförderten Projekt »Agent eIF Additive Fertigungstechnologien zur Integration elektronischer Funktionalitäten« konnte beispielsweise ein gedruckter Schaltschrank aufgebaut werden. Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit der Siemens AG und 16 weiteren Projektpartnern entwickelt. Die Herstellung von klassischen Schaltschränken umfasst die Integration von Kabelbäumen zur elektrischen Verbindung zwischen den Steuersystemen und den peripheren Komponenten. Dieser Prozess ist derzeit mit einem hohen manuellen Aufwand und geringen Innovationspotenzial verbunden. Durch den Aufbau gedruckter Leiter- und Isolationschichten auf einer Trägerplatte (Backplane) des Schaltschranks und somit der Realisierung produktindividueller Backplanes entfällt der enorme manuelle Aufwand und es eröffnet sich ein umfangreiches Anwendungspotenzial bei der elektrischen Verdrahtung komplexer Schaltungssysteme. Im Rahmen des Projekts wurden hierfür 3D-druckfähige Kupferleit- und Isolationspasten für die Dispensabscheidungstechnologie entwickelt. In Bild 2 ist ein Ausschnitt einer entwickelten Backplane mit leistungselektronischem Bauteil visualisiert. Der Grundkörper besteht aus einem Spinell-beschichteten Stahl, bei dem mit Kupferpasten Hochstrom- und Signal-Leiterbahnen zu einem komplexen Schaltschrankmodul kombiniert werden.



- 1 Kupferschicht auf  $\text{AlN}$  mit 300  $\mu\text{m}$  Schichtdicke.
- 2 Ausschnitt einer Demonstrator-Backplane eines kupfergedruckten Schaltschrankmoduls.



# NANO-XCT ZUR IN-SITU-ABBILDUNG VON RISSEN IN MIKROCHIPS

M. Sc. Kristina Kutukova, Dr. Jürgen Gluch, Dipl.-Ing. Christoph Sander, Prof. Dr. Ehrenfried Zschech

## Hochauflösende Transmissionsröntgenmikroskopie zur In-situ-Untersuchung von 3D-Strukturen

Untersuchungen der Rissentwicklung in Mikrochips scheitern derzeit noch an zu geringen Auflösungen der eingesetzten Verfahren. Deshalb wurden am Fraunhofer IKTS die laborbasierte Transmissionsröntgenmikroskopie (TXM) und die Nano-Röntgen-Computertomographie (Nano-XCT) mit einem eigens entwickelten Testsystem für miniaturisierte DCB-Prüfkörper (Mikro-DCB) ausgestattet. Die Mikro-DCB-Einrichtung ermöglicht den vollständigen tomographischen Zugang zur Region of Interest (ROI) unter definierter mechanischer Belastung, d. h. die in-situ 3D-Bildgebung mit Auflösungen bis 100 nm.

Für eine optimale Bildgebung muss der Mikro-DCB-Prüfkörper eine Dicke zwischen 50 und 80 µm haben. Das Risswachstum wird durch eine kontrollierte Piezoverschiebung in Schritten von je 50 bis 100 nm gesteuert. Dabei werden die auf die Probe einwirkenden Kräfte gemessen.

## In-situ-Mikro-DCB-Studie zur Rissausbreitung in Mikrochips

In einer In-situ-Studie über die Risswege in vollintegrierten mehrschichtigen Verbindungsstrukturen unter mechanischer Belastung wurde das Rissausbreitungsverhalten lokalisiert und visualisiert. Zudem war die Bestimmung der Delamination des Risses bei schwachen Dielektrika und entlang dielektrischer Grenzflächen möglich. Metallische Schutzstrukturen (Guard Ring, GR) werden in den Verbindungsstapel integriert, um Brüche und mechanische Beschädigungen des Mikrochips zu

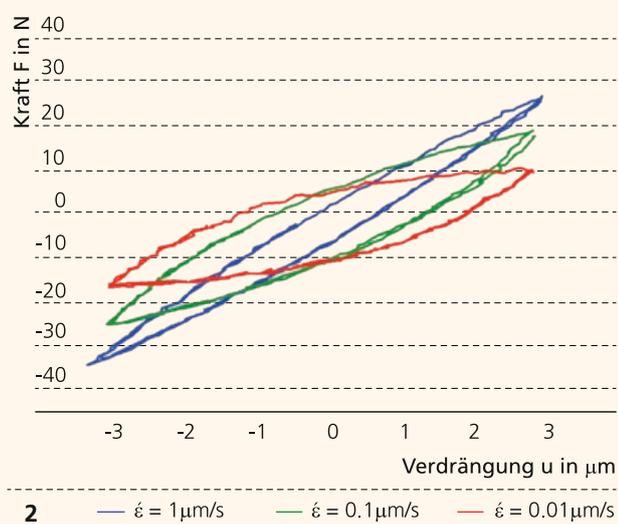
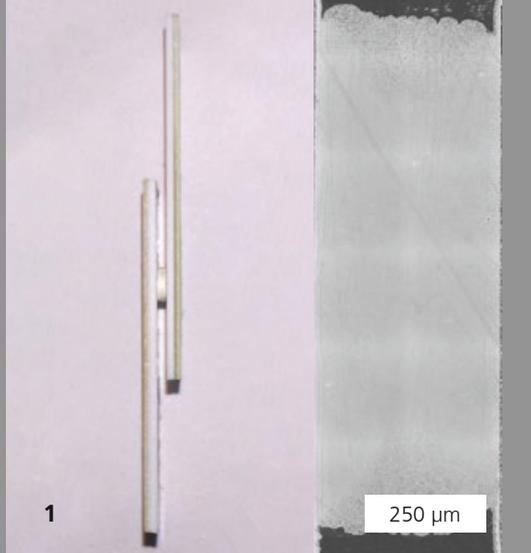
vermeiden, indem sie die Mikrorissausbreitung stoppen oder Risse umleiten. Mit dem in-situ Mikro-DCB-Test können nun die komplexen Versagensmodi in realen Interconnect-Stacks abgebildet und zerstörungsfrei untersucht werden. So lassen sich die Auswirkungen prozessbedingter thermomechanischer Belastungen und der Chip-Package-Interaction (CPI) auf die Zuverlässigkeit diskutieren. Die gewonnenen Informationen dienen der Entwicklung von Schutzstrukturen zukünftiger Technologieknoten und der Gewährleistung der geforderten Produktlebensdauer.

## Leistungsangebot

- In-situ-Visualisierung von Rissen in Materialien mit einer Auflösung von unter 100 nm
- Bestimmung der schwächsten Komponenten und Grenzflächen in Materialien auf Basis von 3D-Daten
- Quantitative Bestimmung der Bruchzähigkeit von Materialien

Das Projekt wurde durch den SRC gemäß des mitgliederspezifischen Forschungsvertrags finanziert.

- 1 Versuchsaufbau für Mikro-DCB-Test im Nano-XCT.
- 2 Virtuelle Querschnitte durch den Cu-Interconnect-Stapel in mehreren Phasen des Mikro-DCB-Tests, basierend auf Nano-XCT-Daten.



## MIKROMECHANIK VON SILBERSINTERKONTAKTEN IN DER LEISTUNGSELEKTRONIK

Dr. M. Röllig, Dipl.-Ing. R. Metasch, Dr. R. Schwerz

Der Markt für leistungselektronische Baugruppen wächst jährlich um acht bis zehn Prozent. Das liegt vor allem an der Elektrifizierung der Mobilität, der regenerativen Energiegewinnung und zunehmender elektrischer Energieübertragung. In Elektro- und Hybridfahrzeugen (Electric Vehicles/EV, Hybrid Electric Vehicles/HEV) wird zudem eine neue, temperaturresistentere Generation SiC-Chip-Technologie Einzug halten. Mit Sperrschichttemperaturen von über 175 °C werden neue Hochleistungsverbindungswerkstoffe benötigt.

Das Silbersintern als Verbindungstechnologie verspricht hier eine zuverlässige Kontaktierung und kann bisher verwendete Weichlotverbindungen ersetzen, deren Temperaturlimit bei ca. 150 °C liegt. Die Ag-Sinterkontakte werden bei 230 °C unter Druck gefertigt und sind somit bis > 900 °C schmelzresistent. Während des druckthermischen Sinterns bilden die Ag-Sinterkontakte mikroporöse Strukturen aus. Diese Porosität der Silberstruktur beeinflusst die mechanischen Eigenschaften des Kontakts erheblich. Kriechenschaften und Relaxationseffekte treten, wie bei Weichlotwerkstoffen, auch in porösen Sinterkontakten auf. Beobachtet werden können plastische Verformungsvorgänge ab Umgebungstemperaturen von ca. 120 °C, mit weiterer Verstärkung bei Temperaturen bis 230 °C. Forschenden des Fraunhofer IKTS ist es nun gelungen, diese dehnratenabhängigen plastischen Verformungen zu messen, was auf zeit- und temperaturabhängigen Kriechmechanismen hindeutet.

Am Fraunhofer IKTS wurden sowohl Messsystem als auch -verfahren für Ag-Sinterwerkstoffe entwickelt. Dafür werden die Sinterkontakte in Form von Mikro-Scherproben (Bild 1 links) unter fertigungsrelevanten Sinterparametern hergestellt. Eine

solche Mikro-Scherprobe zeichnet sich durch eine hohe Parallelität der Fügeflächen, beliebig gestaltbare Sinterflächen und ein homogenes Mikrogefüge aus. Die technologische Reife des Fügeverfahrens erlaubt es, defekt- und voidfreie Sinterkontakte reproduzierbar herzustellen (Bild 1 rechts). Die mechanische Charakterisierung der Kontakte erfolgt über die Bestimmung der Porosität der Sinterstruktur mit hochauflösender bildgebender Analyse und einer quantitativen Ermittlung der Porositäten. Anschließende mikromechanische Messungen bis 300 °C und die Werkstoffdatenermittlung über die Finite-Elemente-Methode (FEM) sind Basis für die Bestimmung von Kenn Datensätzen. Diese werden in FEM-taugliche Werkstoffmodelle überführt und erlauben so die Dimensionierung robuster und langzeitstabiler Leistungselektronik, die mit Silbersinterkontakten gefertigt ist.

In künftigen Arbeiten werden die systematischen Zusammenhänge zwischen Mikrostruktur und mechanischen Kriechenschaften für variable Pastensysteme ermittelt. Besondere Relevanz erhält die Charakterisierung der Sinterkontakte beim Niederdrucksintern, das bei Pasten zunehmend eingesetzt wird. Über die Einstellung der Porosität sind dann die mechanischen Eigenschaften beeinflussbar.

**1** Links: Mechanischer Scherprüfling mit Ag-Sinterkontakt (Ø 2,5 mm, h = 0,5 mm).

Rechts: REM-Aufnahme eines Silbersinterkontakts.

**2** Kraft-Weg-Messung eines Sinterkontakts unter variabler Dehnrates.



## VERFAHRENTWICKLUNGEN FÜR DEN KERNTECHNISCHEN RÜCKBAU

Dipl.-Chem. Hans-Jürgen Friedrich, Dr. Katrin Viehweger

Der Rückbau kerntechnischer Anlagen in Deutschland ist in vollem Gange, sodass in relativ kurzer Zeit große Mengen an problematischen Rückständen zu behandeln und sicher zu verwahren sind. Doch bislang gibt es längst nicht für alle radioaktiven Abfallstoffe geeignete Behandlungsverfahren. Forschende des Fraunhofer IKTS haben dafür technologische Ansätze entwickelt, die derzeit im Rahmen von BMBF-Projekten näher untersucht werden. Das IKTS verfügt über ein Radionuklidlabor mit entsprechender Umgangsgenehmigung für radioaktive Stoffe sowie über geschulte und erfahrene Mitarbeiter. In diesem unikalen Labor werden aktuell drei vielversprechende Behandlungsmethoden für radioaktive Abfallstoffe untersucht:

- Elektrochemische Totaloxidation flüssiger C-14-haltiger Abfälle
- Erprobung neuer Konditionierungsrouten für Reaktorgraphit
- Dekontamination von radioaktivem Beton aus dem kerntechnischen Bereich

Flüssige C-14-haltige Abfälle aus dem kerntechnischen Bereich oder aber auch aus der Pharmaforschung sind nicht endlagerfähig. Gegenwärtig werden sie – soweit überhaupt möglich – verbrannt. Für diese Art von Abfällen hat das IKTS mit der elektrochemischen Totaloxidation einen neuen Weg der Konditionierung entwickelt und erprobt, mit der eine Festlegung des C-14 in Form von endlagerfähigem C-14-CaCO<sub>3</sub> und letztlich auch ein Recycling des C-14 realisierbar werden. Das Verfahren wurde inzwischen über mehr als 2000 h im bench-Scale erprobt. Dabei kam eine modifizierte Elektrolysezelle vom RODOSAN®-Typ des IKTS zum Einsatz. Versuche mit realen Abfallproben aus der Forschung verliefen erfolgreich, wobei die behandelten Lösungen vollständig dekontaminiert wurden.

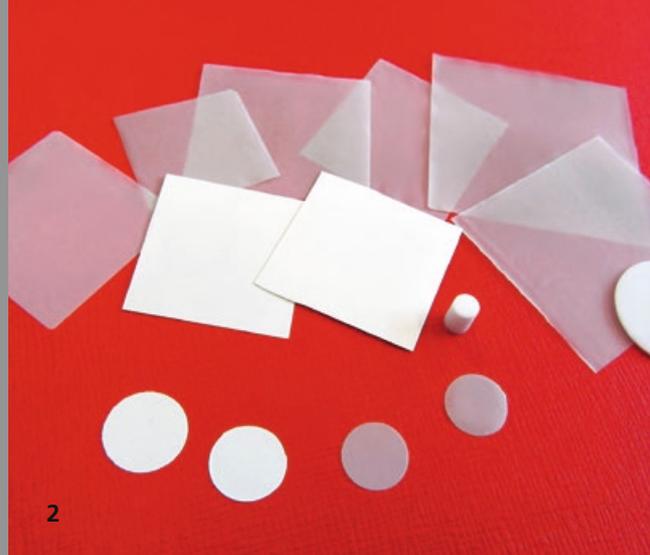
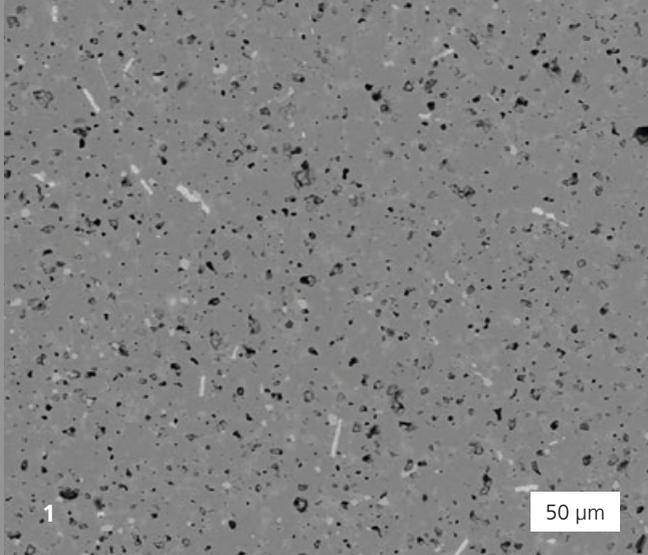
Thermische Neutronen sind in der Lage, eine Kernspaltung von Uran zu bewirken. Reaktorgraphit wird dabei in einigen Kernreaktoren als Moderator zum Abbremsen von Neutronen verwendet. Durch den intensiven Neutronenbeschuss wird dieser Graphit selbst radioaktiv und enthält dann vor allem C-14, was eine Entsorgung enorm erschwert. Daher ist diese »Graphitproblematik« besonders entscheidend für die benötigte Endlagerkapazität in Deutschland. Aktuelle Forschungsarbeiten am IKTS zielen auf eine Abtrennung des C-14 und anderer Radionuklide aus der Graphitmatrix und deren anschließenden Konditionierung. Dafür kommen elektrochemische, thermische und biochemische Ansätze sowie Membranverfahren – beispielsweise zur Isotopentrennung – zum Einsatz.

Bei radioaktivem Beton ist die radioaktive Kontamination häufig nur an die Zementphase gebunden, die nur einen kleinen Masseanteil ausmacht. Bei einem ebenfalls erfolgversprechenden Lösungsansatz des IKTS sollen die nicht kontaminierten Zuschlagstoffe mittels elektrodynamischer Zerkleinerung und nachfolgender Wasseraufbereitung abgetrennt werden.

1 Laborteststand zur C-14-Totaloxidation.

2 Segment aus thermischer Säule des ehemaligen Rossendorfer Reaktors.

Quelle: VKTA e. V.



# KERAMISCHE ELEKTROLYTE FÜR LITHIUM- UND NATRIUM-FESTKÖRPERBATTERIEN

Dr. Mareike Wolter, Dr. Mihails Kusnezoff, Dr. Roland Weidl, Dr. Arno Görne

## Motivation

Festkörperbatterien (FKB) gelten als vielversprechende nächste Generation von Batterien für Automobil-, Industrie- und stationäre Anwendungen. Die Hauptvorteile dieser Technologie sind eine verbesserte Sicherheit durch die Vermeidung von brennbaren und schädlichen Flüssigelektrolyten und eine erhöhte Energiedichte durch den Einsatz von metallischen Lithium- oder Natriumanoden. Derzeit werden sehr unterschiedliche Materialklassen von Festelektrolyten für den Einsatz in Festkörperbatterien untersucht und beschrieben. Polymerelektrolyte haben den Vorteil einer hohen mechanischen Flexibilität und Kompatibilität mit herkömmlichen Herstellungsverfahren. Allerdings sind deren thermische Stabilität und Leitfähigkeit begrenzt. Im Gegensatz dazu haben keramische Materialien viele vorteilhafte Eigenschaften, die die Grundlage für neue Batteriekonzepte bilden.

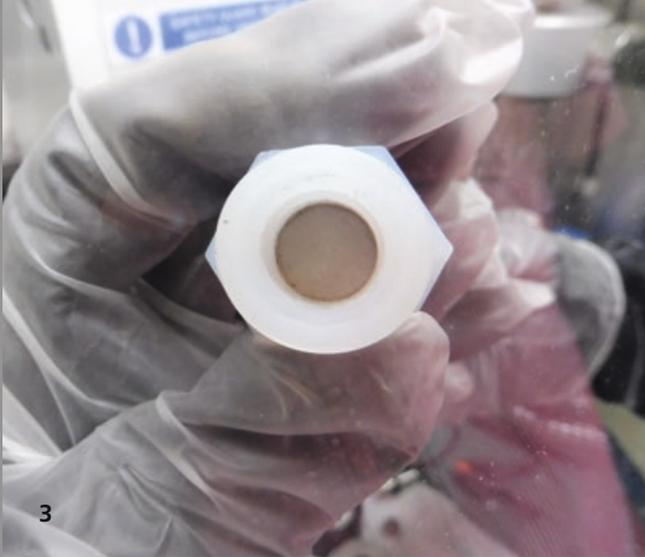
## Wiederaufladbare Raumtemperatur-Lithium-FKB

Für Raumtemperatur-Lithiumbatterien stehen keramische Elektrolyte auf Basis von Oxid- und Phosphatwerkstoffen (LLZO, LATP) mit hoher elektrochemischer und chemischer Stabilität und Ionenleitfähigkeit im Bereich von  $10^{-3}$  bis  $10^{-4}$  S/cm im Fokus der IKTS-Forschungsaktivitäten. Keramik ist spröde, was ihre Handhabung und Lebensdauer einschränkt. Eine besondere Herausforderung dieser Materialklasse ist die für die Verdichtung erforderliche hohe Sinter-temperatur sowie die chemische Wechselwirkung der einzelnen Komponenten einer Verbundelektrode (aktives Material, ionisch leitfähige und elektronisch leitfähige Phase)

beim Co-Firing. Um diese Herausforderung zu lösen, wurden verschiedene Ansätze zur Reduzierung der Sinter-temperatur von Festelektrolyten in Betracht gezogen. So werden am IKTS für NASICON-basierte Strukturen wie LATP [ $\text{Li}_{1-x}\text{Al}_x\text{Ti}_{2-x}(\text{PO}_4)_3$ ] Strategien entwickelt, um unter Verwendung neuartiger Sinter-additive die Sinter-temperaturen von 1100 °C auf unterhalb von 800 °C zu reduzieren. Allerdings treten während des Co-Firing chemische Wechselwirkungen mit den Aktivmaterialien auf, die vermieden werden müssen. Diese sind zwischen NMC [ $\text{Li}(\text{Ni},\text{Mn},\text{Co})\text{O}_2$ ] und LATP bereits bei weniger als 800 °C beobachtbar. Aus diesem Grund sind weitergehende Entwicklungsansätze notwendig. Darüber hinaus werden Sulfidelektrolyte mit einer außergewöhnlich hohen Ionenleitfähigkeit, aber begrenzter elektrochemischer und chemischer Stabilität für die Entwicklung elektrochemischer Zellen eingesetzt. Aktuelle Forschungsarbeiten am Fraunhofer IKTS zielen auf die Optimierung von Grenzschichten, um diese Einschränkungen zu überwinden. Sulfide können auch mit keramischen Formgebungstechnologien wie dem Foliengießen verarbeitet werden und benötigen dabei keinen Sinterschritt. Hierfür werden beispielsweise Prozesse zur Beschichtung von Aktivmaterialien untersucht.

## Wiederaufladbare Raumtemperatur-Natrium-FKB

Aktuelle Trends deuten auf zukünftige Vorteile von Nieder-temperatur-Natrium-basierten Batterien hin, die bisher im Schatten der Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien standen. Auf Basis ungiftiger Rohstoffe mit sehr hoher Verfügbarkeit wurden bereits Aktivmaterialien entwickelt, die mit der Lithium-chemie vergleichbare Energiedichten aufweisen. Die Ionenleit-



3



4

fähigkeit anorganischer Festelektrolyte auf Natriumbasis ist wenigstens vergleichbar mit der für Materialien für Lithium-FKBs, aber ihre Verarbeitbarkeit mit weiteren Komponenten der Festkörperbatterie ist deutlich einfacher. Der Einsatz von metallischem Natrium als Anode kann auch hier die Energiedichte erhöhen. Eine am Fraunhofer IKTS entwickelte Glas-keramik im System  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$  weist eine gute Verarbeitbarkeit mit keramischen Formgebungstechnologien und eine hohe Ionenleitfähigkeit von 5 mS/cm bei 25 °C auf. Tests mit Natriumanoden an Elektrolytmembranen haben niedrige Polarisationswiderstände gezeigt. Die Verwendung dieses Materials für die Entwicklung von Batteriekomponenten von Festelektrolyten und kathodischen Verbundelektroden stellt den nächsten Schritt bei der Realisierung von Natrium-basierten Systemen für Festkörperbatterien dar.

### Hochtemperatur-Natrium-FKB

Während die bisher genannten Batterietypen ihre Anwendung im Bereich E-Mobility finden, werden Natrium-Nickelchlorid (oder ZEBRA)-Batterien kommerziell als stationäre Speicher eingesetzt. Sie sind kostengünstig, da nur Nickel und Steinsalz als Aktivmaterialien eingesetzt werden. Darüber hinaus weisen sie eine ähnliche Energiedichte auf wie Lithium-Ionen-Batterien (125 Wh/kg) und arbeiten typischerweise bei 300 °C. Das Fraunhofer IKTS ist in der Entwicklung der gesamten Kette der Batterietechnologie tätig: Von Komponenten wie Festelektrolyten und Kathodenmaterialien über Batteriezellen in verschiedenen Ausführungen (röhrenförmig, flach) bis hin zu Batteriemodulen mit integriertem Temperaturmanagement. Das Material beta-Aluminiumoxid hat eine der höchsten Ionenleitfähigkeiten von Festelektrolyten (~300 mS/cm bei 300 °C und ~5 mS/cm bei Raumtemperatur). Grundsätzlich kann es auch in sekundären Natrium-Festkörperbatterien bei Raumtemperatur eingesetzt werden. Beta-Aluminiumoxid wird klassischerweise in röhrenförmigen Natrium-Nickel-Chlorid-Batterien eingesetzt und durch isostatisches Pressen hergestellt. Das Fraunhofer IKTS etablierte insbesondere Techniken

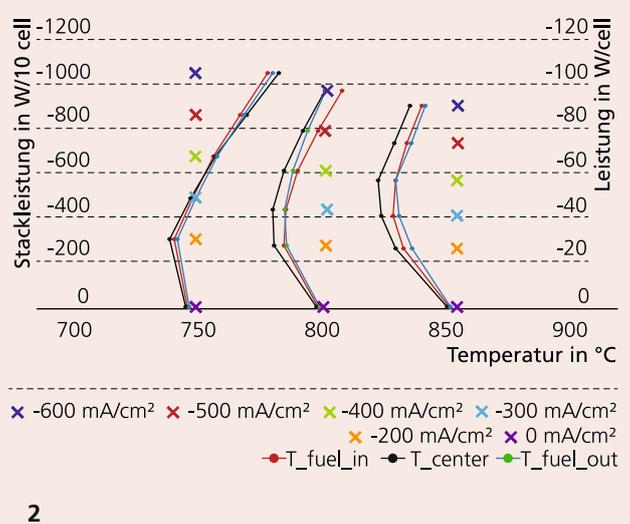
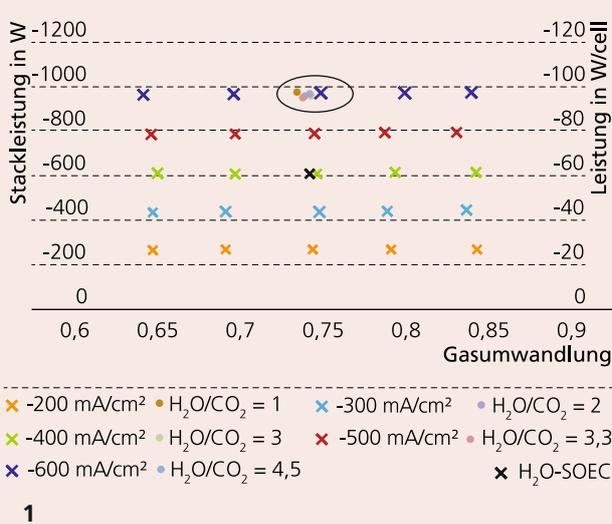
zur einfachen Formgebung von beta-Aluminiumoxid, wie z. B. Tape casting, Extrusion, einachsiges Pressen und Schlickerguss.

### Fazit

Festkörperbatterien bilden einen wesentlichen Beitrag zur zukünftigen Entwicklung einer nachhaltigen Energiewirtschaft. Keramische Materialien und Technologien stehen daher im Mittelpunkt umfangreicher Batterie-Forschungsarbeiten am Fraunhofer IKTS, da sie zur Lösung wichtiger technologischer Herausforderungen beitragen können.

- 1 LLZO-Pellet – hergestellt aus am Fraunhofer IKTS synthetisiertem Pulver.
- 2 Gepresste und gegossene LATP-Festelektrolyte.
- 3 Elektrolyt-Separator aus Sulfid in einer Zellhausung vom Swagelok-Typ.
- 4 100 Ah Natrium-Nickelchlorid-Zelle – entwickelt am Fraunhofer IKTS.





## ENERGIE

# HOCHTEMPERATUR-CO-ELEKTROLYSE ALS SCHLÜSSELTECHNOLOGIE FÜR CO<sub>2</sub>-NUTZUNG

Dr. Mihails Kusnezoff, Dr. Stefan Megel, PD Dr. Matthias Jahn, Dipl.-Ing. Sebastian Hielscher, Dr. Erik Reichelt, Dipl.-Ing. Gregor Herz, Paul Adam

## SOE-Technologie

Die Substitution von Rohöl durch synthetische Kohlenwasserstoffe – hergestellt aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O – ist eine Option zur Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Vorkommen und zur Begrenzung von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Kopplung von Hochtemperaturelektrolyse (SOE) und Fischer-Tropsch-Synthese (FTS) ist sehr vielversprechend für die Herstellung unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe aufgrund der Möglichkeit von Wärmeintegration und Nutzung entstehender Nebenprodukte.

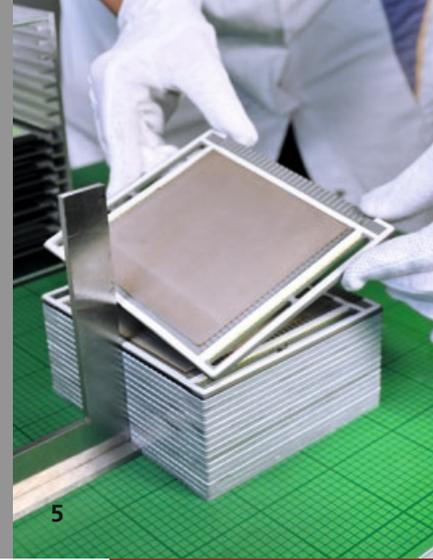
Die Realisierung eines zuverlässigen Betriebs der Festoxidzelle (SOC) und der Stacks für die Co-Elektrolyse von H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> ist dabei eine anspruchsvolle Aufgabenstellung. Ergebnisse an Kathoden-getragenen Zellen (CSC) aus der Literatur zeigen, dass der Elektrolysebetrieb mit Wasserdampf und der Co-Elektrolysebetrieb unter 800 °C mit erheblichen Degradationsraten verbunden sind. Dagegen zeigen Elektrolyt-getragene Zellen (ESC) eine bessere Langzeitstabilität im Elektrolysebetrieb. Wissenschaftler des Fraunhofer IKTS entwickelten CFY-Stacks, die bis zu 40 Hochleistungs-ESCs auf der Basis von Sc-stabilisierten ZrO<sub>2</sub>-Elektrolyten enthalten können. Zum Nachweis der Langzeitstabilität wurden Stacks mit zehn Ebenen im Elektrolyse- und Co-Elektrolysebetrieb erfolgreich getestet. Die entsprechenden Stackleistungen wurden im Betrieb mit unterschiedlichen Temperaturen, Gasausnutzungen und Gaszusammensetzungen, die für das nachgeschaltete FTS (H<sub>2</sub>O:CO<sub>2</sub> = 2) oder die Methanisierung (H<sub>2</sub>O:CO<sub>2</sub> = 3,3) erforderlich sind, ermittelt. Die Stackleistung mit einem Gasumsatz von 85 % für Wasserdampf- und die Co-Elektrolyse bei unterschiedlichen Betriebstemperaturen und -600 mA/cm<sup>2</sup> sind in Bild 1 dargestellt.

Ein Vergleich zwischen beiden Betriebsmodi unter ähnlichen Betriebsbedingungen zeigt eine vergleichbare Leistungsaufnahme: Für die Co-Elektrolyse werden 946 W<sub>el</sub> bei 830 °C und -600 mA/cm<sup>2</sup> und für die Wasserdampfelektrolyse 943 W<sub>el</sub> benötigt. Das höhere Nernst-Potential für die H<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>/CO-Gasmischung im Vergleich zu reinem Wasserdampf wurde als Primärursache für diese Abweichung identifiziert.

Die Hochtemperaturelektrolyse ist ein endothermer Prozess, der nicht nur elektrische Leistung, sondern auch Wärme verbraucht. Der Wärmeverbrauch wird durch die interne Wärmeentwicklung über den Zellwiderstand (ohmsche und Polarisationsverluste) kompensiert, um einen thermisch selbsterhaltenden Betrieb zu erreichen. Die Spannung, die sich in diesem Betriebspunkt einstellt, wird als thermoneutrale Spannung (U<sub>TN</sub>) bezeichnet. Für eine praktische Anwendung ist der Betrieb in der Nähe von U<sub>TN</sub> vorteilhaft. Aus diesem Grund wurde die Temperaturverteilung im Stack im Co-Elektrolysebetrieb bei einer Gasausnutzung von 75 % untersucht. Das resultierende Leistungskennfeld und die Temperaturverteilung sind in Bild 2 dargestellt. Ausgehend von der Temperaturverteilung wird der meiste Wasserdampf bei geringen Stromdichten am Stack-Eintritt umgesetzt. Bei Stromdichten in der Nähe von U<sub>TN</sub> beobachtet man eine Vergleichmäßigung der Temperaturverteilung.

## Techno-ökonomische Bewertung SOE-basierter Prozesse

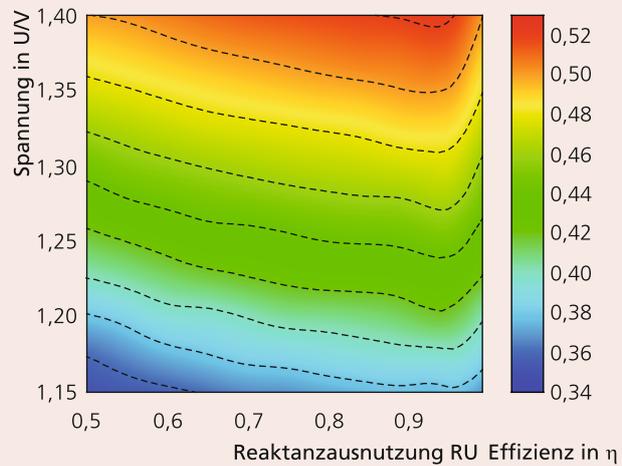
Aufgrund der Vorteile der SOE-Technologie, wie hoher elektrischer Wirkungsgrad und direkte Synthesegasbereitstellung aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O, werden die am IKTS entwickelten Zellen und Stacks für die Entwicklung verfahrenstechnischer Systeme ver-



**ENERGIE**

wendet. Unter Nutzung von Prozessmodellierungstools kann dabei ein optimales Prozessdesign identifiziert werden. Darüber hinaus erlauben die durchgeführten Berechnungen die Bestimmung vorteilhafter Betriebsbedingungen für die SOE-Stacks im Systemkontext. Die Rückkopplung der Simulationsergebnisse in den Entwicklungsprozess der SOE-Komponenten ermöglicht die Definition von Entwicklungszielen und damit iterative technologische Verbesserungen. Einer der betrachteten Prozesse ist die Kopplung von SOE und Fischer-Tropsch-Synthese. Für dieses Verfahren wurde nicht nur eine Bestimmung des erreichbaren elektrischen Wirkungsgrads durchgeführt, sondern auch eine umfassende Bewertung der Wirtschaftlichkeit. Für verschiedene Randbedingungen, wie z. B. die SOE-Produktionskosten sowie Strompreise und CO<sub>2</sub>-Abtrennkosten wurden Herstellkosten für die produzierten Kohlenwasserstoffe bestimmt. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass mit steigender technologischer Reife der SOE-Technologie sowie bei entsprechender Verfügbarkeit günstiger erneuerbarer Energie SOE-basierte Prozesse einen vielversprechenden Pfad für eine zukünftige Bereitstellung nachhaltiger chemischer Produkte darstellen.

**Gesamtwirkungsgradkennfeld eines Systems für Wachs-Produktion mit MK352-Stacks im SOE-Betrieb**

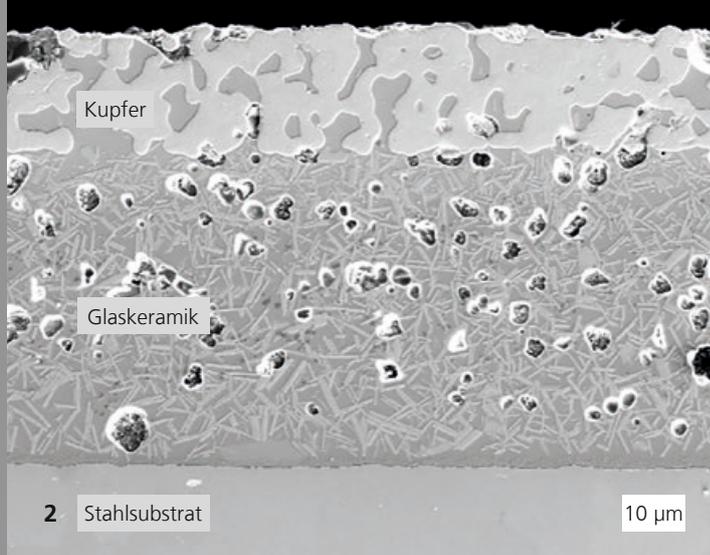


**Leistungs- und Kooperationsangebot**

- Prozessentwicklung für die Integration der SOE-Technologie in chemische Produktionsprozesse
- Durchführung von techno-ökonomischen Machbarkeitsstudien für elektrolysebasierte Verfahren
- Auslegung und Test von Prototypanlagen
- Auslegung und Test von Systemkomponenten inklusive SOE-Stacks und -Module

- 1 *Stackleistung als Funktion der Gasausnutzung.*
- 2 *Zusammenhang zwischen Leistung und Temperaturverteilung im Stack.*
- 3 *Kleinskalige Demonstrationsanlage für die Kopplung von Co-Elektrolyse und Fischer-Tropsch-Synthese.*
- 4 *Flüssige Fischer-Tropsch-Produkte.*
- 5 *Zusammenbau vom MK352-Stack aus einzelnen Komponenten.*





ENERGIE

## KOSTENGÜNSTIGE HEIßSEITENKONTAKTIERUNG FÜR THERMOELEKTRISCHE GENERATOREN

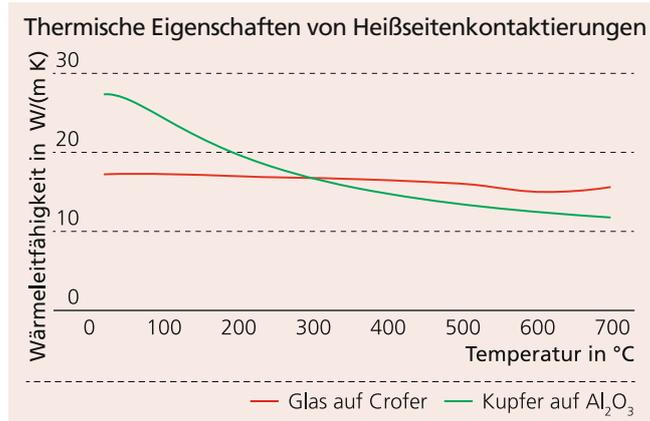
Dr. Axel Rost, Dr. Jochen Schilm, Dipl.-Ing. Mario Trache, Dr. Sindy Mosch; Dr. Kathrin Reinhardt, Dr. Stefan Dietrich, Dr. Tim Gestrich, Dipl.-Ing. Kerstin Sempff

Durch die Nutzung von Abwärme zur Stromgewinnung ergeben sich deutliche Energieeffizienzpotenziale. Thermoelektrische Generatoren (TEGs) bieten den Vorteil der direkten Energieumwandlung von Wärme in Strom ohne den Einsatz von wartungsintensiven, beweglichen Komponenten. Allerdings werden in konventionellen TEGs hochpreisige und giftige Werkstoffe, wie Bismut- oder Bleitellurid, als aktive Materialien verwendet. Diese können durch neue kostengünstigere und umweltfreundlichere Werkstoffe, wie Halb-Heusler-Legierungen aus Zirkonium, Titan und Zinn, ersetzt werden. Darüber hinaus ermöglichen diese Werkstoffe den Betrieb bei höheren Temperaturen, wodurch eine gesteigerte Abwärmenutzung möglich wird. Aktuell sind TEGs in ihrer Herstellung noch sehr kostenintensiv. Das liegt an der Verwendung keramischer Substrate mit strukturierten Metallisierungen, die in mehrstufigen Prozessschritten aufgebracht werden. Im Rahmen des EU-Projekts INTEGRAL wurde am Fraunhofer IKTS eine Kontaktierungstechnologie unter Einsatz der kostengünstigeren keramischen Siebdrucktechnologie entwickelt. Dabei werden preiswerte Stahlsubstrate mit dielektrischen Beschichtungen auf Basis strukturierter Glaskeramik versehen. Die entwickelten glaskeramischen Werkstoffe mit hohem Ausdehnungskoeffizienten eignen sich besonders für den Einsatz bei Temperaturen bis zu 600 °C. Sie lassen sich als Pasten über die Siebdrucktechnologie in Schichtdicken von ca. 50 µm applizieren und dienen als elektrische Isolationsschicht. Auf diese werden Pasten auf Basis von Kupfer und Silber in Dicken bis zu 200 µm aufgetragen. Sie fungieren als Kontaktschichten für die thermoelektrisch aktiven Werkstoffe. In ihrer Wärmeleitfähigkeit sind die entwickelten Heißeitenkontaktierungen metallisierten Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramiken bei hohen Temperaturen gleichwertig. Das IKTS kann somit kos-

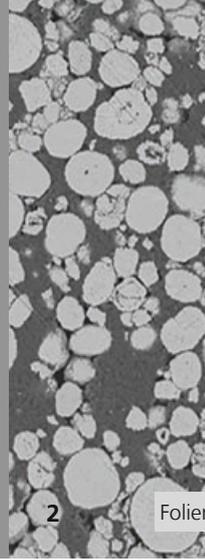
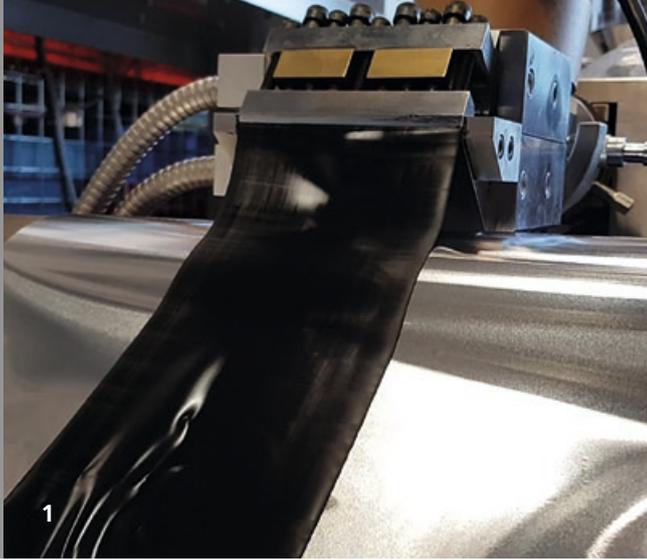
tengünstige und umweltfreundliche TEGs anbieten – sogar als Mehrfach-Verbinder mit erhöhter Zuverlässigkeit. Zudem ermöglicht dieser Ansatz die Herstellung segmentierter und konfektionierbarer Heißeitenkontakte.

### Leistungs- und Kooperationsangebot

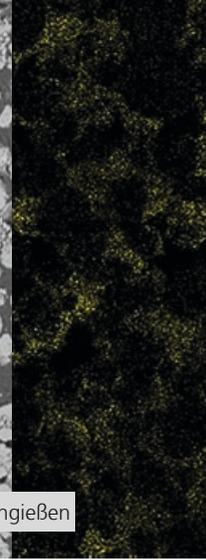
- Kontaktierungstechnologie für erhöhte Temperaturen
- Hochtemperatur-Fügetechnologie
- Entwicklung von keramischen und metallischen Pasten für Hochtemperatur-AVT



- 1 Heißeitenkontaktierung für thermoelektrische Module.
- 2 Querschliff durch die drei Schichten: Kupfer-Siebdruck, Glaskeramik, Stahlsubstrat.



Foliengießen



Extrusion

25 µm

ENERGIE

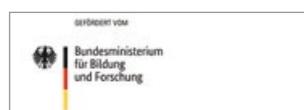
## EFFIZIENTE AUSLEGUNGS- UND BESCHICHTUNGSVERFAHREN FÜR LI-IONEN-BATTERIEELEKTRODEN

Dr. Sebastian Reuber, M. Sc. Jann Seeba, Dr. Christian Heubner, Dr. Axel Müller-Köhn, Dr. Michael Schneider, Dr. Tassilo Moritz, Dr. Mareike Wolter

Die Nutzerakzeptanz für Elektrofahrzeuge ist vor allem an deren Reichweite, Schnelladefähigkeit und Kosten geknüpft. Diese Kriterien sind direkt mit der Energie- und Leistungsdichte sowie den Produktionskosten der verwendeten Lithium-Ionen-Batterien verbunden. Elektroden mit gesteigerter Aktivmaterialbeladung und Schichtdicken über 100 µm gelten als vielversprechender Ansatz zur Erhöhung der Energiedichte und Kosteneffizienz. Allerdings zeigen konventionelle Gießverfahren bei der Herstellung sogenannter High-Load-Elektroden Limitierungen hinsichtlich Formstabilität und Homogenität sowie der damit einhergehenden elektrochemischen Leistungsfähigkeit. Daher entwickeln Forschende des Fraunhofer IKTS innovative Beschichtungsverfahren in Kombination mit modellgestützten Designtools.

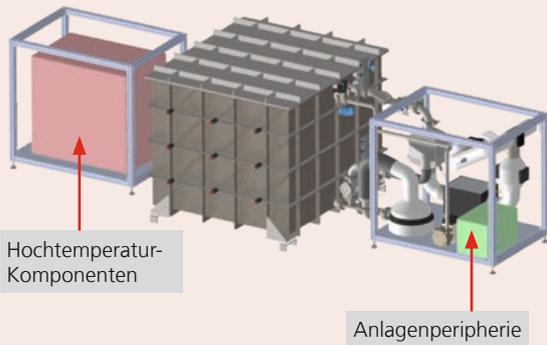
Basierend auf computergestützten Modellen zur Beschreibung des Elektrodenverhaltens und elektrochemischen Charakterisierungsmethoden werden anwendungsorientiert Designtools entwickelt und direkt in Fabrikationsprozesse für Lithium-Ionen-Batterien implementiert. Entscheidende Elektrodenparameter wie Schichtdicke, Mikrostruktur und Zusammensetzung sind hinsichtlich maximaler Energie- und Leistungsdichte modellgestützt optimierbar. Zudem können vordefinierte Randbedingungen, z. B. Bauraum oder Strombelastbarkeit berücksichtigt und die Ergebnisse anschließend zur praktischen Implementierung in den Herstellungsprozess transferiert werden. Für diesen am Fraunhofer IKTS entwickelten Prozess der Flachfolienextrusion werden zunächst die Aktivmaterialien, Additive und Binderlösungen vorgemischt und anschließend in einem Zweisechneckenextruder unter hohen Scherkräften fein dispergiert. Die erhaltene Elektrodenpaste wird dann über eine Schlitzdüse zu einer Flachfolie extrudiert, auf eine Stromsammelrfolie laminiert und

anschließend getrocknet. Durch Optimierung der Düsengeometrie und der rheologischen Eigenschaften der Elektrodenpaste ist ein kontinuierlicher Direktbeschichtungsprozess realisierbar (Bild 1). Gegenüber konventionellen Gießverfahren werden deutlich höhere Feststoffgehalte bis 85 Ma.-% erreicht. Der prozesseitige Bedarf an Lösemitteln kann somit um 80 Vol.-% gesenkt und die Trocknungszeit deutlich reduziert werden. Der aktuelle Entwicklungsstand erlaubt die Herstellung homogener Elektroden mit hoher Aktivmaterialbeladung und Beschichtungen bis 300 µm. Kritische Effekte beim klassischen Elektroden gießen wie Bindermigration und Haftungsprobleme bei Schnell-trocknung treten bei den entwickelten hochviskosen Pasten nicht auf (Bild 2). Der Funktionsnachweis wurde bereits erfolgreich für NCM-Graphit-Vollzellen erbracht. Neben einer gesteigerten Energiedichte auf Zellebene zeigt der entwickelte Beschichtungsprozess gegenüber konventionellen Verfahren unmittelbare Einsparungen hinsichtlich Material- und Energiekosten. In einer nächsten Entwicklungsstufe wird das Verfahren als Pilotprozess im Applikationszentrum Batterietechnologie etabliert.



1 *Kontinuierliche Flachfolienextrusion von Batterieelektroden.*

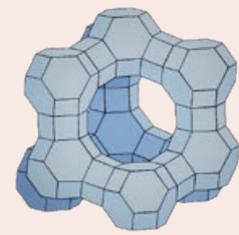
2 *Analyse von Bindermigration und Elektrodenhomogenität im Vergleich zwischen Foliengießen und Extrusion nach Schnell-trocknung.*



1



2



ZEOLITH Y (NaYBF)

Porenöffnung: 12-RING  
 Porengröße: 0,75 nm  
 Si/Al: 2-5  
 Charakteristik: sehr hydrophil  
 Wasseraufnahme: 45 MA.-%

3

ENERGIE

# SAISONALER WÄRMESPEICHER AUF DER BASIS VON ZEOLITHFORMKÖRPERN

Dr. Hannes Richter, M. Eng. Andy Vogel, Dipl.-Chem. Andreas Häusler

Hydrophile Zeolithe haben eine hohe Wasseradsorptionskapazität und Adsorptionenthalpie, woraus ein hohes Wärmespeichervermögen resultiert. Deshalb werden Zeolithe als Kurzzeitzwärmespeicher aber auch als Adsorptionskühler kommerziell eingesetzt. Langzeitwärmespeicher auf Zeolithbasis zur Speicherung von Solarenergie oder Abwärme aus industriellen Prozessen sind jedoch noch nicht kommerziell verfügbar. IKTS-Forschende untersuchten die Adsorbtienseigenschaften von binderfreien Zeolithgranulaten und Zeolithwaben systematisch, um die Bedingungen zu ermitteln, unter denen sie als saisonale Wärmespeicher zum Einsatz kommen können. Binderfreie Zeolithgranulate, getrocknet bei verschiedenen Temperaturen, wurden in einem geschlossenen und einem offenen Wärmetauschersystem getestet. Über die Adsorptionskapazität, die Wärme und den lokalen Temperaturverlauf konnte die freigesetzte Energie ermittelt werden. Nach dem Trocknen bei 300 °C und Rückbefeuchtung in gesättigter Wasserdampf-atmosphäre zeigte sich für binderfreie Zeolith-NaY-Granulate eine hohe Adsorptionskapazität von 26 Ma.-% H<sub>2</sub>O. Temperaturen von bis zu 80 °C konnten über einen Zeitraum von mehr als fünf Stunden gehalten werden. Bei niedrigerer Trocknungstemperatur war erwartungsgemäß die Adsorptionskapazität geringer, was zu einer kürzeren Zeitspanne der Wärmeentwicklung führte. Dennoch erreichten die Granulate bei der Wasseradsorption Temperaturen von 70 bis 80 °C. Offene und geschlossene Wärmespeichersysteme erzielten die gleichen Resultate bei der Ausheizung und Rückbefeuchtung. Allerdings zeigten sich aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit und der sehr schnellen Wasseraufnahme in der Granulatschüttung punktuell große Temperaturunterschiede, die durch konstruktive Maßnahmen im Wärmespeicher reduziert werden können.

Basierend auf diesen Ergebnissen wurde der Prototyp eines Zeolith-Wärmespeichersystems konstruiert und gebaut. Zwischen die eng beieinander liegenden Wärmetauscherplatten des Speichers wurden 900 Liter NaYBF-Zeolithgranulat mit einer thermischen Kapazität von 150 kWh gefüllt. In diesem geschlossenen System konnte Energie optimal bei 200 °C und einem Vakuum von 50 mbar thermochemisch gebunden werden. Die für die Aktivierung der Zeolithe benötigte Temperatur kann im Sommer aus Sonnenwärmekollektoren oder durch elektrisches Heizen mit Solarstrom gewonnen werden. So kann die thermo-chemische Energie in der Zeolithstruktur saisonal gespeichert werden.

## Leistungsangebot

- Entwicklung neuer Zeolithstrukturen
- Anwendungsgerechtes Formen und Entwicklung von binderfreien Zeolithformkörpern
- Auslegung und Konstruktion von Wärmespeichern



- 1 Design eines Prototyp-Wärmespeichersystems.
- 2 Zeolithkugeln im Wärmespeichersystem vor dem Schließen.
- 3 Struktur und Eigenschaften eines Zeoliths.



# RECYCLING VON NÄHRSTOFFEN AUS ORGANISCHEN RESTSTOFFEN

Dipl.-Ing. Marc Lincke, Dr. Burkhardt Faßbauer, Dipl.-Ing. Björn Schwarz

Organische Reststoffe wie Gülle, Mist, Gärprodukte, Klärschlämme und biogene Produktionsreste aus der Industrie sind grundsätzlich eine kostengünstige und nachhaltige Alternative zu mineralischen Düngern. Sie enthalten in unterschiedlichen Konzentrationen Pflanzennährstoffe wie Phosphor, Stickstoff und Kalium sowie Spurennährstoffe, größtenteils jedoch Wasser. Das direkte Ausbringen ist mittlerweile auf Grund von Flächenüberlastung und teilweiser Kontamination mit Schadstoffen wie Schwermetallen, Medikamentenrückständen oder Mikroplastik gesetzlich stark eingeschränkt. Deshalb gibt es vor allem in der Agrarwirtschaft große Speicherprobleme für Gülle und Gärprodukte aus Biogasanlagen. Zudem ist die gezielte Einstellung einer für die jeweilige Anbaukultur optimalen Düngewirkung auf Grund der oft heterogenen Zusammensetzung dieser Substanzen kaum möglich. Dies kann zu Überdüngung, zum unerwünschten Eintrag von Inhaltsstoffen wie beispielsweise Nitrat ins Grundwasser oder klimaschädlichem Lachgas in die Atmosphäre führen.

Die werthaltigen Komponenten dieser organischen Reststoffe, also Nährstoffe und Kohlenstoff, können und sollten dennoch im Sinne eines nachhaltigen regionalen Wirtschaftens sowohl stofflich als auch energetisch genutzt werden. Bisher fehlten aber entsprechende Aufbereitungstechnologien und zusammenhängende Verfahrensketten, um die werthaltigen Nährstoffe von der Wasser- und Schadstoffmatrix zu trennen und wirtschaftlich zu verwerten. Im 2019 gestarteten Wachstumskern **abonocare**<sup>®</sup> werden deshalb Technologien für ein vollständiges Nährstoffrecycling entwickelt. Im Fokus steht die Aufbereitung von phosphor- und stickstoffhaltigen Stoffen zu Düngerprodukten. Zudem sollen verschiedene Separations-, Aufberei-

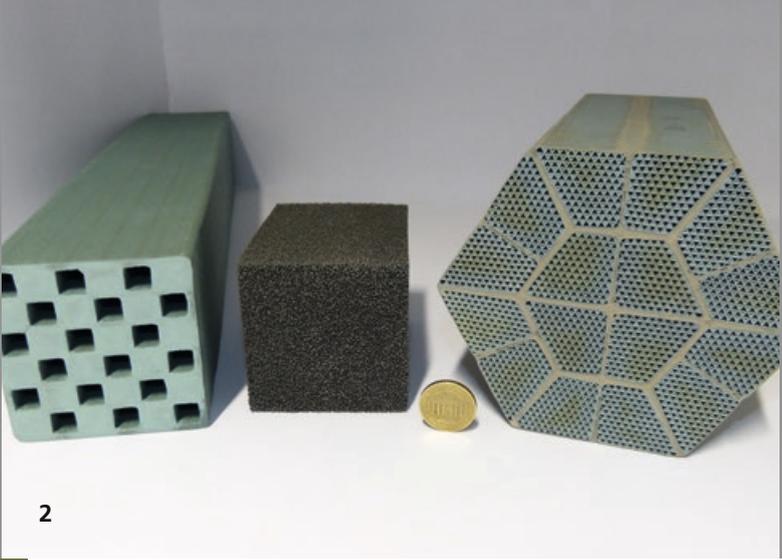
tungs- und Handling-Technologien für organische Reststoffe entwickelt werden. Neun Industriepartner und sechs Forschungseinrichtungen beteiligen sich an dem Projekt **abonocare**<sup>®</sup>, welches mit rund 10 Mio. Euro vom BMBF gefördert und vom IKTS wissenschaftlich koordiniert wird.

## Entwicklungsleistungen des Fraunhofer IKTS innerhalb des Wachstumskern **abonocare**<sup>®</sup>

- Entwicklung keramischer Membranen zur Phosphor-Gleichgewichtsverschiebung bei der hydrothermalen Carbonisierung
- Entwicklung von Filtern und Prozessen zur Heißgasfiltration für die Schwermetallabtrennung direkt in der Klärschlammverbrennung
- Entwicklung keramischer Membranen für die direkte Extraktion von Ammonium aus Prozesswässern der Biogasfermentation sowie aus Brüden der Trocknung und Stripping
- Entwicklung und Erprobung von Polyacrylamidfreien Flockungshilfsmitteln auf Stärkebasis für die Fest-Flüssig-Trennung
- Entwicklung von Analyseverfahren entlang der gesamten Verfahrenskette



1 *Fraktioniertes Gärprodukt sowie Endprodukte wie Düngergranulat, Flüssigdünger und Einstreupellets.*



2

# KERAMISCHE HEISSGASFILTER ZUR WERTSTOFFGEWINNUNG UND GASREINIGUNG

Lasse Fabian Köhl, Dr. Uwe Petasch, Dipl.-Krist. Jörg Adler

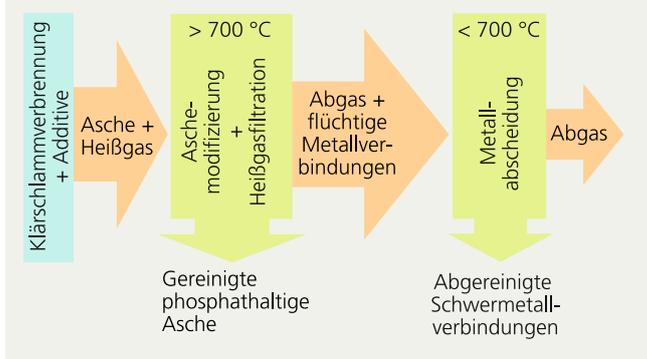
Zur Entstaubung von Heißgasen und bei der Rückgewinnung von Wertstoffen aus heißen Abgasen werden rückreinigungsfähige Keramikfilter bis zu einer Betriebstemperatur von ca. 800 °C und teilweise darüber eingesetzt. Poröse Keramiken kommen hier aufgrund ihrer ausgezeichneten Temperaturstabilität und chemischen Beständigkeit, ihrer mechanischen Festigkeit und ihrer sehr guten Filtrationsleistung zum Einsatz. Das Fraunhofer IKTS arbeitet an der Entwicklung und Verbesserung von Filtermaterialien für die Heißgasfiltration, an Technologien zur Herstellung von innovativen Filtergeometrien und an neuen Anwendungen für Heißgasfilter. Aktuelle Entwicklungsarbeiten beschäftigen sich mit der Heißgasentstaubung von Abgasen aus der Stahl- und Kalkindustrie. Mit Hilfe eines eigens aufgebauten Spezialprüfstands wurde das Abscheidungs- und Abreinigungsverhalten verschiedener Stäube untersucht sowie die Anwendbarkeit der Heißgasfiltration nachgewiesen. Durch nachgeschaltete membrangestützte Verfahren können zudem heiße und staubbeladene Abgase zur Gewinnung von CO<sub>2</sub> genutzt werden. Eine weitere neue Verfahrensentwicklung am IKTS konzentriert sich auf das umweltrelevante Thema der Phosphorrückgewinnung bei der Klärschlammverbrennung. Durch die Modifizierung des Klärschlamms mit speziellen Additiven wird die Schwermetallfracht der entstehenden phosphathaltigen Aschefractionen deutlich verringert. Das Verfahren beruht auf der gezielten Erzeugung von leichtflüchtigen Schwermetallverbindungen, die bei den hohen Temperaturen in die Gasphase übergehen und durch Heißgasfiltration von der Verbrennungasche separiert werden. Die korrosive Atmosphäre in Kombination mit Temperaturen von bis zu 1000 °C erfordert den Einsatz besonders temperatur- und chemikalienbeständiger keramischer Filter. Durch die In-situ-

Modifizierung kann der zur Wertstoffgewinnung notwendige spezifische Energieverbrauch gegenüber einer separaten Ascheaufbereitung reduziert werden.

## Leistungsangebot

- Entwicklung und Testung von Materialien und Filtern für die Heißgasfiltration und Abgaskatalyse
- Erarbeitung von Fertigungsverfahren zur industriellen Herstellung komplexer keramischer Filter
- Prüfstandsuntersuchungen zum Heißgasfiltrationsverhalten von industriellen Stäuben

## Verfahrensschema zur selektiven Abscheidung von Wertstoffen bei der Klärschlammverbrennung



- 1 Heißgasfiltrationsprüfstand für Wabenfilter oder Filterkerzen.
- 2 Verschiedene keramische Filterelemente.

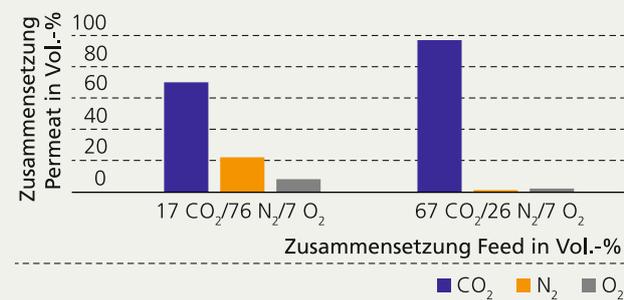


# EFFIZIENTE CO<sub>2</sub>-GEWINNUNG AUS INDUSTRIE- ABGASEN DURCH MEMBRANEN

Dr. Norman Reger-Wagner, Dr. Hannes Richter, Dr. Marcus Weyd, M. Sc. Matthias Bernhardt,  
Dipl.-Ing (FH) Susanne Kämnitz, Stephanie Kaiser

Zur Steuerung der CO<sub>2</sub>-Emission sind auf nationaler und internationaler Ebene Abgaben in Form von Zertifikaten eingeführt. Besonders betroffen von der Emissionsabgabe sind jedoch Industriezweige, die technologiebedingt die CO<sub>2</sub>-Entstehung nicht reduzieren können. Dazu gehören z. B. Stahlwerke und Kalkbrennereien. Hier ist es notwendig, das im Prozess entstehende CO<sub>2</sub> abzutrennen. Idealerweise kann dies dann in Folge als Rohstoff für nicht-fossile Treibstoffe oder Chemikalien verwertet werden. Für die Abtrennung von CO<sub>2</sub> aus staubbelasteten Abgasen ist sowohl eine Entstaubung (siehe Seite 44) als auch eine effiziente Gastrennung durch Membranen notwendig. Zielstellung ist es, beide Trennprozesse bei den vorliegenden erhöhten Temperaturen durchführen zu können, um einerseits auf aufwändige Kühlaggregate zu verzichten und andererseits für Folgeprozesse heißes CO<sub>2</sub> – idealerweise bei deren Reaktionstemperatur – zur Verfügung zu stellen. Das IKTS verfügt über alle Kompetenzen zur Entwicklung, Fertigung und Charakterisierung von temperaturstabilen Membranen – von porösen, keramischen Trägerstrukturen bis zur trennaktiven Schicht. Bei den jeweils mehrtägigen Testfahrten an relevanten CO<sub>2</sub>-Emittenten (Stahl-, Kalk- und Dolomitwerk) wurden mit Kohlenstoffmembranen bei einstufiger Trennung CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von über 70 % erreicht (Graphik, links). Bei zweistufiger Trennung werden Werte von > 97 % erzielt (Graphik, rechts), was eine direkte stoffliche Verwertung ermöglicht. Ein wesentlicher wirtschaftlicher Faktor für die membranbasierte Abtrennung von CO<sub>2</sub> sind die Fertigungskosten der Membranen. Hierzu laufen weitere Aktivitäten zur Skalierung der Fertigung zur Steigerung der Membranfläche pro Trägerkörper.

CO<sub>2</sub>-Trennleistung von Kohlenstoffmembranen an industriellen Abgasen bei 140 °C mit einer (links) oder zwei (rechts) Membranstufen.



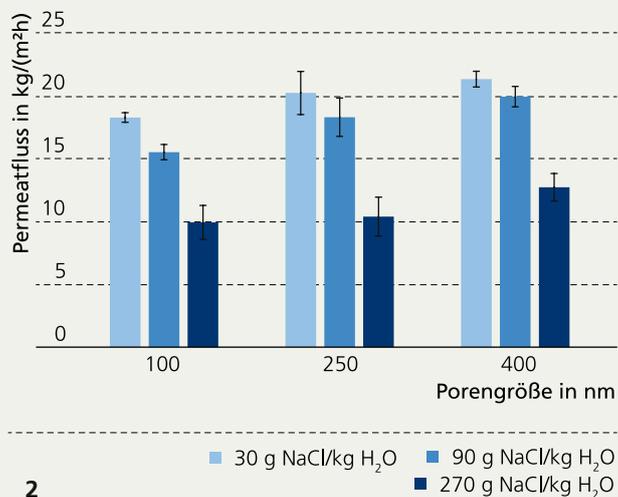
## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung gastrennender, anorganischer Membranen insbesondere für die Abgas-, Erd- und Biogasbehandlung und die chemische Industrie
- Kundenspezifische Gastrennversuche
- Planung und Konstruktion von Membrananlagen für die Gastrennung bis in den Technikumsmaßstab
- Entwicklung von Membranreaktoren und deren Verfahren zur Ausbeute- oder Selektivitätssteigerung bei chemischen Reaktionen



1 Prüfanlage für Vor-Ort-Tests der verbesserten Kohlenstoffmembranen.

2 Betrieb der Testanlage zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung im Container am Stahl-, Kalk- und Dolomitwerk.



# ENTSALZUNG HOCHKONZENTRIERTER LÖSUNGEN DURCH MEMBRANDESTILLATION

M. Sc. Johann Schnittger, Dr. Marcus Weyd

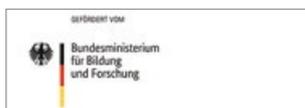
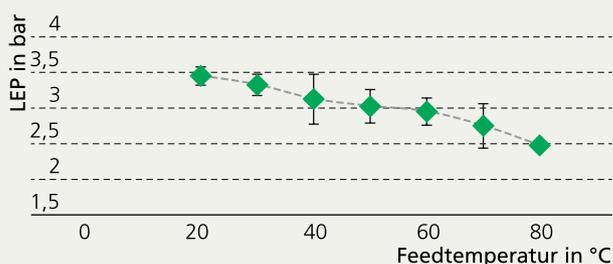
Die Bedeutung von Entsalzungsprozessen zur Sicherung der globalen Wasserversorgung und als Teil des integrierten Umweltschutzes nimmt stetig zu. Konventionelle Verfahren wie die Umkehrosmose und Verdampfungsprozesse weisen allerdings trotz ihrer technischen Reife weiterhin Limitationen auf, z. B. Einsatzgrenzen aufgrund der Rohwasserbeschaffenheit, hoher Platzbedarf und Korrosion. Die Membrandestillation (MD) verbindet als Hybridverfahren die Stärken membranbasierter und thermischer Verfahren miteinander: Ihre Leistungsfähigkeit wird nur im geringen Maße vom Salzgehalt des Rohwassers beeinflusst, sie kann niederkalorische Wärme verwenden, ist modular erweiterbar, kann gut mit anderen Verfahren kombiniert werden und hat einen geringen Platzbedarf. Bisher werden in der MD hauptsächlich Polymermembranen eingesetzt. Die Aufbereitung hochsalzhaltiger oder aggressiver wässriger Systeme (z. B. Anwesenheit von Lösemitteln, abrasive Stoffe, extreme pH-Werte) sowie Zero-Liquid-Discharge-Applikationen können jedoch den Einsatz robuster Membransysteme aus Keramik erfordern. Ein Einsatzgebiet ist die Aufbereitung von Abwässern der Erdöl- und Bergbauindustrie.

fizieren die Ausprägung und Stabilität der hydrophoben Eigenschaften. Ein- und Mehrkanalrohre wurden erfolgreich in verschiedenen MD-Konfigurationen unter Variation relevanter Prozessparameter getestet. So konnten in der Vakuummembrandestillation mit dünnwandigen TiO<sub>2</sub>-Rohren spezifische Permeatflüsse von ca. 25 kg/(m<sup>2</sup>h) und Permeatleitfähigkeiten ≤ 2 μS/cm gemessen werden. Damit bieten sich diese robusten keramischen Membransysteme beispielsweise für Trennaufgaben in hochsalzhaltigen, aggressiven Wässern an.

## Neue Einsatzgebiete für Mikrofiltrationsmembranen aus Keramik durch das Funktionalisieren der Oberfläche

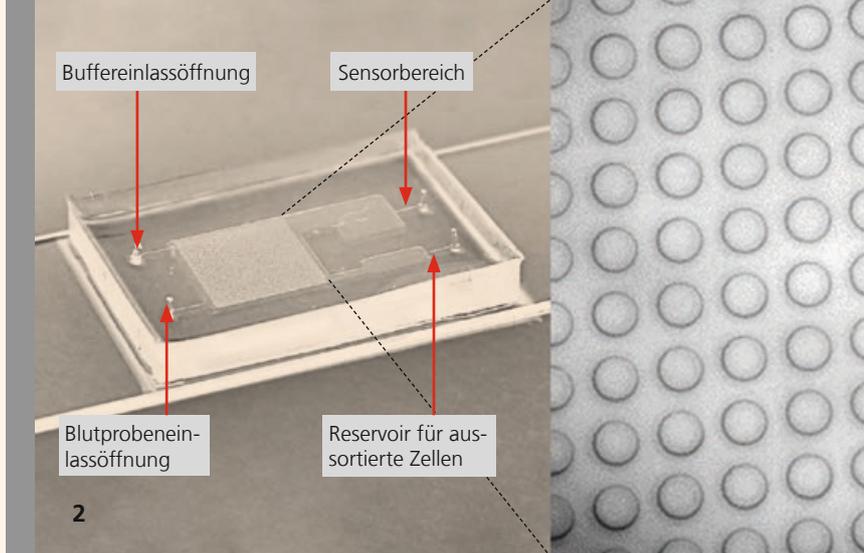
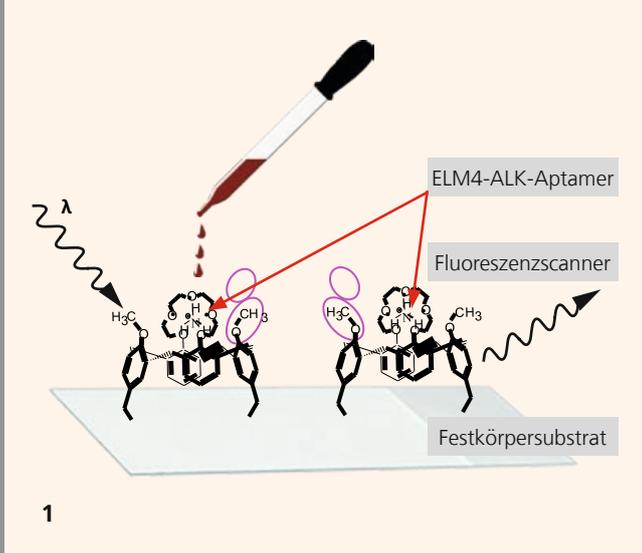
Für die MD werden am Fraunhofer IKTS makroporöse keramische Membranen (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Cordierit, Mischoxide) eingesetzt. Deren sonst hydrophile Oberflächeneigenschaften konnten am Institut zugunsten einer ausgeprägten Hydrophobie funktionalisiert werden. Das stellt sicher, dass das Feed nur in Dampf- form, nicht als flüssige Phase, die Membran passiert. Kontaktwinkelmessungen und Liquid Entry Pressure (LEP) Tests quanti-

LEP einer 250 nm Membran als Funktion der Feedtemperatur



1 MD-Anlage in der Direktkontaktkonfiguration.

2 Permeatflüsse von TiO<sub>2</sub>-Einkanalrohren in Abhängigkeit von der Porengröße und des Salzgehaltes im Feed.



# MIKROFLUIDIK FÜR DIE APTAMER-BASIERTE BIOSENSORIK

Dr. Natalia Beshchasna, Ragul Sivakumar, Dr. Jörg Opitz

Die Steigerung der Lebensqualität ist vor allem in Hinblick auf eine alternde Gesellschaft eines der wichtigsten Ziele globaler Forschung. Biosensoren ermöglichen schnelle, präzise und mobile Analysen von Biomarkern, Erregern oder Schadstoffen und sind daher ein entscheidender Baustein für die Erhaltung und Verbesserung des Gesundheitszustands. Im Eureka-Verbundprojekt BIOSTAR17 wird ein diagnostischer Biosensor für die Detektion eines Markers für nicht-kleinzelliges Lungenkarzinom (EML4-ALK-Fusionsprotein) im Blut entwickelt. Der Nachweis dieses Proteins beruht auf seiner Wechselwirkung mit hochspezifischen Rezeptoren (Aptameren), d. h. künstlich hergestellten Antikörpern aus selbstfaltenden einzelsträngigen DNA-Ketten oder Peptiden. Dafür werden Blut und Aptamere auf einem Mikrofluidik-Chip in Kontakt gebracht, indem die Aptamere auf einem Glas-Substrat fest immobilisiert sind und das Blut in Kanälen zum Aptamer transportiert wird. Für ein zuverlässiges Packaging des Biosensors wurde die Polydimethylsiloxan (PDMS)-basierte Mikrofluidik und die damit verbundene Systemtechnologie am Fraunhofer IKTS entwickelt. Beim Bau der Mikrofluidik-Kanäle und Zusammensetzen des PDMS-Packages mit dem funktionalisierten Festkörpersubstrat kommen lithographische Technologieverfahren (Laser-, UV- und Soft-Lithographie) zum Einsatz. Anschließend wird untersucht, ob diese Herstellungsschritte die empfindlichen Aptamere beeinflussen. Erste Ergebnisse mit Fluoreszenzmessungen zeigen keine Störung der Aptamer-Immobilisierung auf der Sensor-Oberfläche. Über die deterministische laterale Verschiebung werden Blutbestandteile, welche die Messung negativ beeinflussen, von den Zielmolekülen getrennt. Für diese passive Methode der Zellsortierung wurden entsprechende Sensordesigns und Mikrofluidik-Chips entwickelt und getestet. Erste Versuche

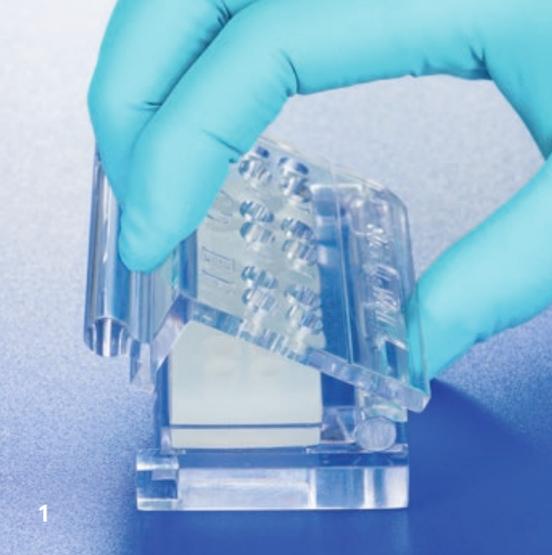
mit Testflüssigkeit zeigen eine Abhängigkeit der Sortierungsfunktion von der Geometrie mikrofluidischer Kanäle sowie von Partikelgröße, Fließgeschwindigkeit und Viskosität. Aktuell arbeitet das Konsortium an der Optimierung des Sensor-Designs, der Weiterentwicklung von Aptameren und an Sensortests mit Patientenblutproben in Kooperation mit der Asan Klinik in Seoul. Das Sensorkonzept soll zukünftig in ein Einweg-Diagnosegerät zum schnellen Erkennen von Lungenkrebs überführt werden.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

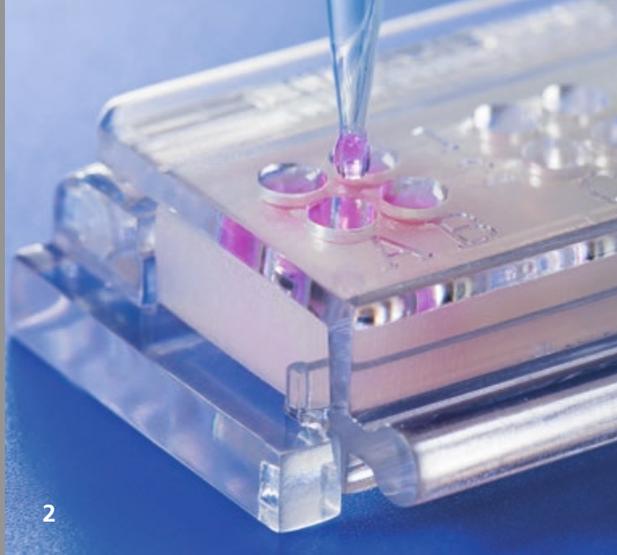
- Entwicklung von anwendungsspezifischen Sensor-Packaging-Designs inkl. biokompatibler Sensorik
- Entwicklung elektrochemischer, keramikbasierter Sensorik
- Assay-Entwicklung, biochemische Funktionalisierung, Sensormessung
- Sensorprüfung und -evaluierung unter Medieneinfluss
- Entwicklung und Herstellung mikrofluidischer Strukturen



- 1 Sensorprinzip des ELM4-ALK-Biosensors.
- 2 Sensor-Package auf PDMS-Basis.



1



2



3

1 cm

BIO- UND MEDIZINTECHNIK

# BIOMATERIALTESTUNG 2.0 – STANDARDISIERT, RESSOURCENSPPAREND: ClickKit-Well

M.Sc. Constantin Ibleib, Dr. Susanne Kurz, Dipl.-Ing. Elisabeth Preuße, Dr. Juliane Spohn

Die rasante Entwicklung innovativer, an Patientenbedürfnisse angepasster Implantatmaterialien erfordert verlässliche standardisierte Testverfahren und Prüfsysteme. Nur so lassen sich Material-sicherheit und -funktionalität präventiv beurteilen. Aktuell werden biologische Tests in einer Plastik-Zellkulturplatte (Goldstandard) durchgeführt. Hierbei werden die Materialprüfkörper in jeweils eine Vertiefung (Well) gelegt. Das birgt jedoch eine Reihe von Fehlerquellen (Tabelle):

### Analytische Fehlerquellen während Materialtestung in der Zellkulturplatte (Goldstandard) und Behebung dieser durch das eigens entwickelte In-vitro-Testsystem

Fehlerquellen (Zellkulturplatte)	In-vitro-Testsystem
<p>Seiten und Kanten</p>	Nur die behandelte Seite wird betrachtet
<p>Unterseite (inkl. ID-Tag)</p>	Nur die behandelte Seite wird betrachtet
<p>Einfluss der Umgebung in Abhängigkeit von Materialdimension</p>	Einfluss auf alle Materialproben identisch
<p>Unterschiede in Materialdimensionen</p>	Standardisierung für verschiedene Problemdimensionen

### Neuartiges In-vitro-Testsystem (ClickKit-Well)

Um diese Fehler zu reduzieren, wurde am Fraunhofer IKTS das In-vitro-Testsystem »ClickKit-Well« entwickelt (DE 10 2018 221 415.8, 12/18). Das System bietet größenstandardisierte Oberflächen und Wells (analog gängiger Zellkulturformate). Dies wird durch ein verformbares, durchlochtetes Aufnahmeelement realisiert, das auf der Oberseite des zu testenden Materials

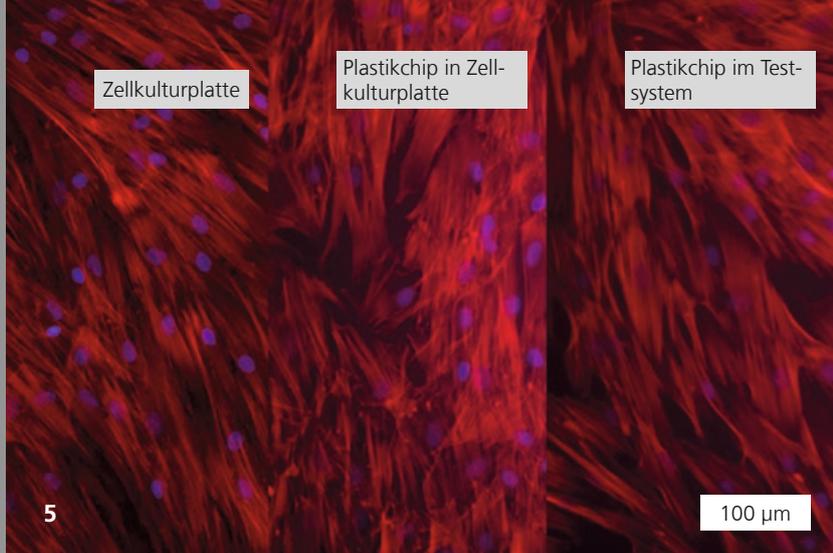
fixiert wird. In die erzeugten Wells kann Biomaterial eingebracht werden und so die Wechselwirkung zum Materialprüfkörper untersucht werden. Durch diesen spezifischen Aufbau des Testsystems werden unterschiedliche Oberflächeneigenschaften (z. B. Rauheiten) toleriert und die Durchführung multipler Tests auf einer Materialprobe ermöglicht.

Das In-vitro-Testsystem beschränkt den Kontakt des biologischen Materials mit dem Materialprüfkörper auf die zu testende Seite des Materialprüfkörpers. Der eigens entwickelte Verschleißmechanismus erlaubt einen dauerhaften, fluiddichten Verschluss zwischen Aufnahmeelement und Materialprüfkörper. Das Testsystem ist modular konzipiert und in den gängigen Zellkulturformaten 96-Well, 48-Well und 24-Well konstruiert. Im 96-Well-Format ist das Aufnahmeelement so gestaltet, dass bis zu 4 Wells gleichzeitig auf einem eingelegten Materialprüfkörper erzeugt werden. Ein Sterildeckel, der auf das geschlossene System aufgesetzt wird, erlaubt steriles Arbeiten.

Der neue Ansatz, größenstandardisierte Oberflächen auf Materialprüfkörpern zu erzeugen, sorgt für ein einheitliches Test-szenario, das unabhängiger von Materialdimensionen ist und bisherige Fehlerquellen in der In-vitro-Testung minimiert.

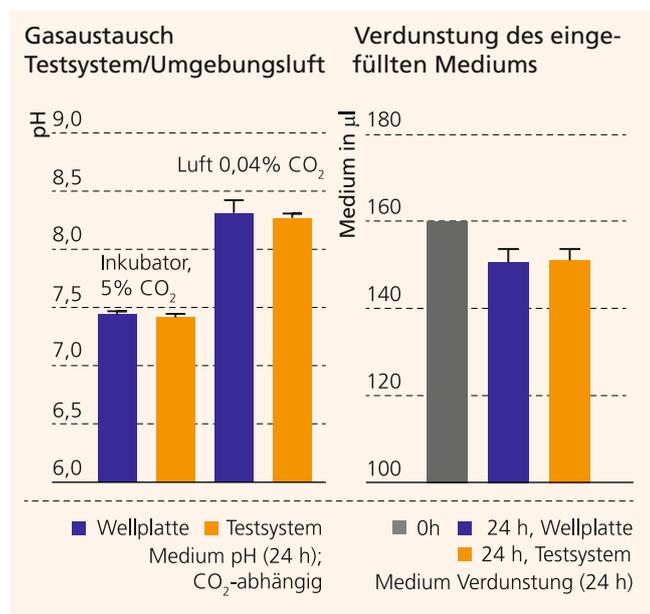
### Machbarkeitsuntersuchung

In Machbarkeitsuntersuchungen wurde der Gasaustausch zwischen Testsystem und umgebender Luft sowie Verdunstungsrate des eingefüllten Mediums im Vergleich zur Standard-Zellkulturplatte getestet.



## BIO- UND MEDIZINTECHNIK

Für optimale Wachstumsbedingungen der kultivierten Zellen muss der Gasaustausch mit der umgebenden Luft gewährleistet sein. Unter Verwendung eines Bicarbonat-Medien-Puffersystems enthält diese standardgemäß 5 % CO<sub>2</sub> (Brutschrank).



Der korrekte Gasaustausch wurde über die Bestimmung des Zellkulturmedien-pH-Wertes nach 24 Stunden Inkubation in 5 % und 0,04 % CO<sub>2</sub>-haltiger Luft getestet (Graphik Gasaustausch). Die Inkubation des Mediums in 0,04 % CO<sub>2</sub>-haltiger Luft führt sowohl im In-vitro-Testsystem als auch in der Zellkulturplatte gleichermaßen zu einem pH-Wert-Anstieg. Erwartungsgemäß zeigt die Inkubation in 5 % CO<sub>2</sub>-haltiger Luft sowohl im Testsystem als auch in der Zellkulturplatte eine optimale Medienpufferung um einen pH-Wert von 7,4. Durch die Abhängigkeit des Bicarbonat-Puffersystems vom CO<sub>2</sub>-Gehalt der umgebenden Luft konnte so der korrekte Gasaustausch des Testsystems mit der Umgebungsluft gezeigt werden.

Ähnliche Ergebnisse konnten für die Analyse der Medienverdunstungsrate über 24 Stunden Inkubation unter Brutschrankbedingungen (37 °C, feuchte Atmosphäre) gezeigt werden

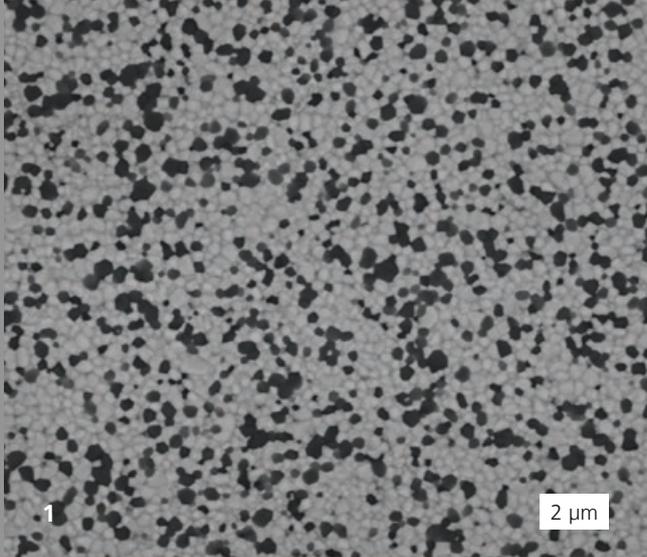
(Graphik Verdunstung). In einem vergleichenden Zellversuch wurden humane Knochenmarkstammzellen (MSCs) in einer Dichte von  $2,5 \times 10^3/\text{cm}^2$ /0,5 ml in eine 96-Well-Zellkulturplatte auf einen Plastik-Materialprüfkörper, der in der Zellkulturplatte sowie im In-vitro-Testsystem eingelegt wurde, ausgesät. Nach 24 Stunden zeigt sich ein nahezu identisches Bild der Zelldichte und -ausbreitung in allen drei Testansätzen.

Die Versuche zeigen, dass sich das In-vitro-Testsystem zur Untersuchung von Zellkulturen eignet. Im nächsten Schritt wird die Eignung des Testsystems für den breiten Einsatz in der Zellkultur, u. a. für Zellsekretions- und Zell-Metabolismus-Analysen, validiert. Es sollen technische Anforderungen für marktrelevante Anwendungen an das System gestellt und geprüft werden.

### Leistungs- und Kooperationsangebot

- Biologische Materialbeurteilung (Sicherheit und Funktionalität)
- Zellbiologische Assays für die direkte Anwendung auf Materialoberflächen
- Miniaturisierung biologischer In-vitro-Tests
- Entwicklung standardisierter Testszenarien
- Biointerface-Studien: Oberflächeneffekte

- 1 *Das In-vitro-Testsystem »ClickIt-Well« (DE 10 2018 221 415.8, 12/18) ermöglicht standardisierte Tests direkt am Material mit reproduzierbaren Ergebnissen.*
- 2 *Zelltest im 96-Well-Format.*
- 3 *Beispiele für Materialproben.*
- 4 *Einzelkomponenten des Testsystems.*
- 5 *Zelldichte und -ausbreitung in verschiedenen Testszenarien.*



# CERAMIC BONEPRESERVER – KERAMISCHER OBERFLÄCHENERSATZ FÜR DAS HÜFTGELENK

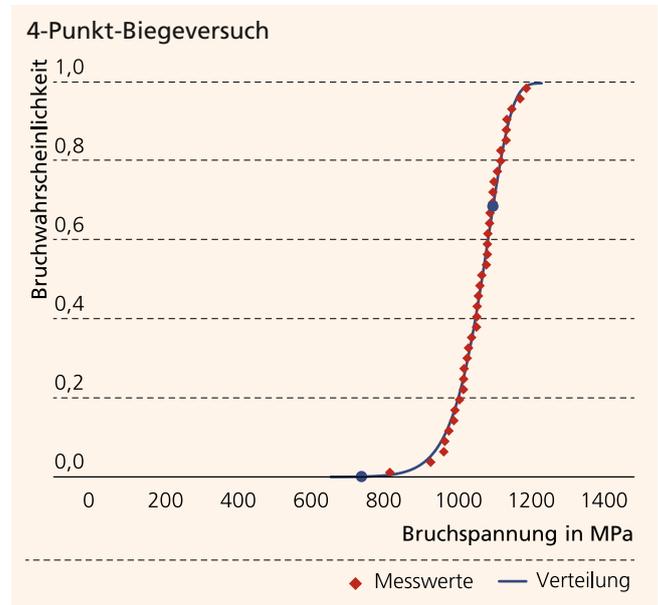
Dipl.-Chem. Martina Johannes, Dipl.-Ing. Olaf Sandkuhl

Bisher sind Oberflächenersatzprothesen für die knochensparende endoprothetische Rekonstruktion des menschlichen Hüftgelenks nur aus metallischen CoCrMo-Legierungen erhältlich. Diese verursachen klinisch Metallabrieb. Die Partikel und gelösten Metallionen werden sowohl im umliegenden Gewebe als auch im Blut nachgewiesen. Es kommt zur sogenannten Metallose-Krankheit, welche Reizzustände, Infektionen, allergische Reaktionen und Pseudotumore hervorruft. Das IKTS beteiligt sich an einem Verbundvorhaben, das zum Ziel hat, einen metallfreien keramischen Oberflächenersatz zu realisieren. Zusammen mit dem Medizintechnikhersteller Mathys Orthopädie GmbH werden konstruktive und fertigungstechnologische Lösungen zur Herstellung einer Femurkappe und einer monolithischen Hüftpfanne aus ATZ-Dispersionskeramik (Alumina toughened zirconia) erarbeitet.

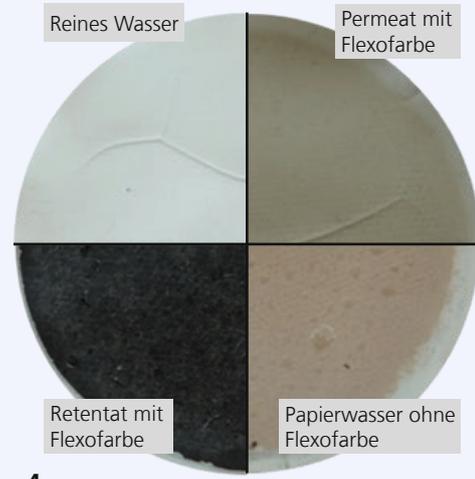
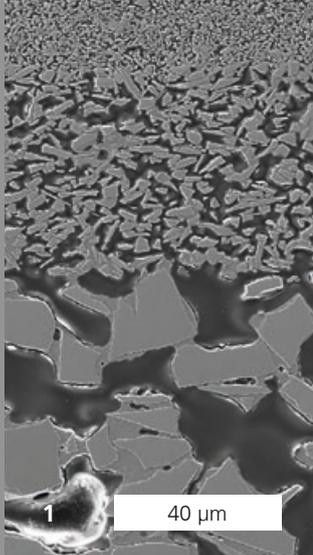
Am IKTS erfolgt mittels Schlickerguss die Formgebung der Hüftpfanne. Die Oberfläche der Keramik wird im Formgebungsprozess strukturiert, so muss sie weder mit subtraktiven, noch mit additiven Verfahren nachträglich bearbeitet werden. Erste Halbschalen mit strukturierten Oberflächen wurden hergestellt und die abgeformten Keramikoberflächen charakterisiert. Innerhalb der Projektlaufzeit wurden verschiedene Aluminiumoxid und Yttrium-stabilisierte Zirkonoxid-Pulver aus unterschiedlichen Preissegmenten verarbeitet. Bild 1 zeigt das Gefüge einer ATZ-Dispersionskeramik. Die mittlere Korngröße liegt bei einer Sinter- und HIP-Temperatur von 1450 °C für die helle Phase (TZ3Y) bei 350 nm und die dunkle Phase (Aluminiumoxid) bei 300 nm. Im Vier-Punkt-Biegeversuch (EN 843-1) wurden vielversprechende Weibull-Parameter ermittelt:  $\sigma_0 = 1110$  MPa und  $m = 18,5$ .

## Festigkeitsverteilung

Im weiteren Projektverlauf werden Untersuchungen zu Bauteilfestigkeiten an Hüftschalen-Prototypen durchgeführt. Im Ergebnis sollen Oberflächenersatzprothesen entstehen, die eine längere Einsatzfähigkeit aufweisen und für den Patienten besser verträglich sind.



- 1 FEREM Keramik-Gefüge einer ATZ-Dispersionskeramik.
- 2 Gegossene strukturierte Halbschalen.



# KREISLAUFWASSERREINIGUNG VON KRITISCHEN DRUCKFARBEN MIT KERAMISCHEN MEMBRANEN

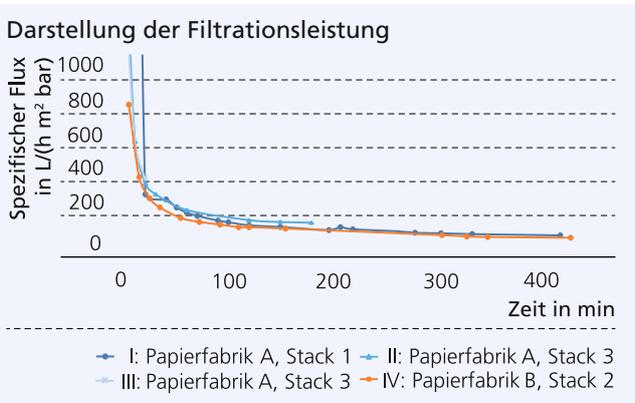
Dipl.-Ing. Franziska Saft, Dipl.-Ing. Anne Deutschmann, Dipl.-Ing. Heike Heymer, Dr. Hans-Jürgen Richter

Da zunehmend aus Altpapier graphische Papiere hergestellt werden, ist die Entfernung von Druckfarben ein wesentlicher und unverzichtbarer Bestandteil im Recyclingprozess. Unter Verwendung kostengünstiger keramischer Hochleistungsmembranen wurde am Fraunhofer IKTS ein innovatives, ergänzendes Deinking-Verfahren zur Entfernung schwer oder nicht deinkbarer Druckfarbenreste aus dem Wasserkreislauf von Altpapier verarbeitenden Papierfabriken entwickelt. Innerhalb eines aktuellen AiF-Projekts der Zellstoff- und Papierindustrie in Kooperation mit der Technischen Universität Dresden konnte eine Konfiguration für keramische Filter zur Entfernung solcher Farben festgelegt und mit Modell- und Realwässern untersucht werden. Dabei wurden gewellte keramische Membranen aus glasgebundenem SiC mittels keramischem Foliengießen, Strukturieren und anschließendem Fügen hergestellt. Im anschließenden Co-Firing konnte ein Mehrschichtaufbau realisiert werden. Für die mittels Dipcoating aufgebrachte Membranschicht wurden kommerzielle feinstkörnige SiC-Pulver mit engen Korngrößenverteilungen und D50-Werten zwischen 0,3 bis 1,2 µm untersucht. In den bewertenden Filtrationsversuchen mit Flexofarben-haltigem Modellwasser hat sich gezeigt, dass SiC-Pulver mit D50 = 1,2 µm und der daraus resultierenden Porengrößenverteilung mit D50 = 0,25 µm für die vollständige Entfernung von Flexofarbparkeln ausreichend ist. Mit den Mehrkanalelementen wurden anschließend Filtrationsstacks für die Crossflow-Filtration und für die Anwendung als getauchte Membran entwickelt. Mit diesen Stackvarianten wurden Wässer aus zwei Papierfabriken filtriert. Im Ergebnis konnte eine reproduzierbare Filtrationsleistung bei unterschiedlicher Wasserqualität erzielt werden (Graphik). Zudem ist es gelungen, Filtrationsstacks (Bild 2) reproduzierbar herzustellen, mit denen Flexofarbparkel nahezu voll-

ständig zurückgehalten werden. Darüber hinaus wurde mittels des Helligkeitswerts Y des Prüffilterpapiers nach Permeatdurchfluss die Qualität des Permeats bezüglich Trübung (Reduzierung um 99 %) und Konzentration an Flexofarbparkeln bewertet. Das Permeat weist ein Y von 74 auf im Vergleich zu reinem Wasser mit einem Y von 97. Das Kreislaufwasser der Papierfabrik zeigt hingegen ein Y von 56 gegenüber dem mit Flexofarbparkeln angereicherterem Retentat von 12 (Bild 4).

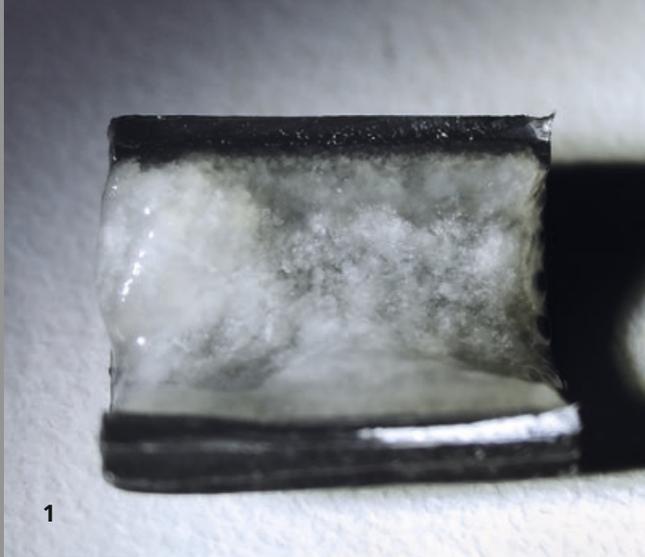
## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Werkstoff-/Technologieentwicklung für Keramikmembranen
- Filtermodulentwicklung und -fertigung
- Upscaling und Kommerzialisierung



- 1 *Filteraufbau der SiC-Membran.*
- 2 *Stack für Crossflow-Anwendung.*
- 3 *Feed (l) und Permeat (r).*
- 4 *Bewertung der Wasserqualität.*





WASSER

## BEHANDLUNG KOMPLEXER INDUSTRIELLER PROZESSWÄSSER MIT HOHEM SALZGEHALT

Dipl.-Ing. André Wufka, Dr. Burkhardt Faßauer

### Herausforderungen bei der Behandlung salzhaltiger Ab- und Prozesswässer

Wasser ist nicht nur ein wertvolles Lebensmittel, sondern auch wesentlicher Produktionsfaktor und eine zum Teil wachstumsbegrenzende Ressource. So scheitern Erweiterungen der Produktion in der Chemie-, Lebensmittel-, Pharma- und verarbeitenden Industrie nicht selten an zu geringen Wasserbehandlungskapazitäten. Daher gewinnen eine intelligente Kreislaufführung und innovative Abwasseraufbereitungstechnologien zunehmend an Bedeutung. Ein besonderes Problem stellen dabei hochsalzhaltige Ab- bzw. Prozesswässer dar, die oft auch erhebliche Frachten an organischen Stoffen enthalten. Für eine wiederholte Nutzung des Wassers muss diese Organik eliminiert werden. Dafür können aber – infolge der mit der hohen Salzfracht einhergehenden Schädigung und Hemmung der Mikroorganismen – keine kostengünstigen konventionellen biologischen aerob- oder anaerob-Verfahren eingesetzt werden. Somit ist eine Aufbereitung derzeit oft kompliziert und teuer.

### Technologische Lösungsansätze

Im Rahmen mehrerer Industrieprojekte entwickelten und erprobten Forschende des Fraunhofer IKTS spezifische Verfahrenskombinationen, die eine weitgehende Reinigung der branchenspezifischen Prozesswässer trotz der hohen Salzkonzentrationen ermöglichen, beispielsweise bei Abwässern aus der Zellstoffproduktion (Carboxymethylcellulose und Methylcellulose), der Silikonchemie, der Ionenaustauscher- und Membranproduktion sowie aus der Lebensmittelindustrie. Diese branchenspezifischen Abwässer haben jeweils ihre eigene stoffliche Charakteristik.

Daher bietet das IKTS ein sehr breites Spektrum an technologischen Ansätzen für wirtschaftliche und sichere Lösungen für den Kunden an. So kommen neben konventionell-klassischen Verfahren zur anaeroben und/oder aeroben Reduktion organischer Belastungen in Submers-, Fest- und Schwebebett-systemen auch physikalisch-chemische Prozesse wie die keramikbasierte Membranfiltration in Kombination mit chemischen (Fällung, Extraktion) und thermischen Verfahren (Verdampfung, Strippung) zur Reduktion von Nährstoffen zum Einsatz. Außerdem sind spezielle photo-, sono- und elektro-oxidative Verfahren und Elektrodialyse auf Basis von speziellen keramischen Hochleistungskomponenten im Kompetenzportfolio des IKTS.

Das IKTS verfügt damit über ein umfangreiches, praxisnahes Prozess-Know-how, langjährige Erfahrungen und die notwendige Materialkompetenz, um kunden- und branchenspezifische Lösungen für die wirtschaftliche Behandlung komplexer industrieller Prozesswässer auch dort bereitzustellen, wo herkömmliche Technologien wegen hoher Salzbelastungen scheitern.

- 1 *Kunststoffschwebekörper mit immobilisierten Mikroorganismen zur Reinigung salzhaltiger Abwässer.*
- 2 *Düngemittel- und Wasserrückgewinnung aus flüssigen Reststoffen.*



1



2

# VERGLEICHENDE LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUR ENTFERNUNG VON PESTIZIDRÜCKSTÄNDEN

Dipl.-Chem. Hans-Jürgen Friedrich

In den letzten Jahren sind Gewässerverunreinigungen durch anthropogene Spurenstoffe zunehmend in den Fokus öffentlicher Wahrnehmung gerückt. Neben Medikamentenrückständen, wie beispielsweise Antibiotika, verursachen auch Rückstände von Pflanzenschutzmitteln (PSM) zunehmend Probleme. Vor allem aus sandigen Böden können solche PSM-Rückstände relativ leicht ausgewaschen werden und so in Grund- oder Oberflächenwässer gelangen.

Im untersuchten Anwendungsfall verursachte der Eintrag des Schadstoffs Bentazon – Wirkstoff eines Breitband-Herbizids – in das Grundwasser derartige Probleme, sodass ein Tiefbrunnen mit einer Kapazität von 20 m<sup>3</sup>/h in einem Wasserwerk sogar stillgelegt werden musste.

## Wasserreinigungs-Verfahren im Langzeittest

Um solche schwerwiegenden Maßnahmen künftig vermeiden zu können, untersuchten und bewerteten Forschende des IKTS die Wirksamkeit der etablierten Verfahren elektrochemische Totaloxidation (eTO), Adsorption an Aktivkohle (AK) und Umkehrosmose (UO) für eine Abtrennung von Bentazon aus Brunnenwasser. Die zunächst ebenfalls in Betracht gezogene UV-Oxidation zeigte sich in Vorversuchen als ungeeignet. Im Rahmen dieses Projekts wurde eigens eine Technikumsanlage für das Wasserwerk geplant und vor Ort installiert. Alle drei Verfahren sind dann über vier Monate hinweg im Dauerbetrieb bei Durchsätzen bis zu 80 l/h erprobt worden – teilweise auch als Verfahrenskombinationen. Alle Prozesse liefen störungsfrei.

### Vergleich der Verfahren

Verfahren	eTO	AK	UO
Durchsatz (l/h)	36	12,5	80
Konz. im Ablauf (µg/l)	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Beseitigung Bentazon	ja	nein	nein

Die Auswertung der Untersuchungen zeigen, dass die Entfernung des Schadstoffs grundsätzlich mit allen drei Verfahren möglich ist (Tabelle). Eine wirkliche Beseitigung des Bentazons gelingt jedoch nur bei der elektrochemischen Totaloxidation, bei der hauptsächlich CO<sub>2</sub> entsteht. Der Elektroenergiebedarf der Elektrolyse ist mit 0,5 kWh/m<sup>3</sup> vergleichsweise sehr niedrig. Die Adsorption an Aktivkohle ist ebenso wirksam, allerdings ist bei technischer Anwendung eine zusätzliche Vorbehandlungsstufe notwendig, wodurch erhebliche Entsorgungskosten zu erwarten sind. Mittels Umkehrosmose ist ebenfalls eine vollständige Entfernung möglich. Dabei wird aber das zu behandelnde Wasser zugleich entsalzt, sodass es dann kein Trinkwasser mehr ist und nachmineralisiert werden muss. Weiterhin erfordert die UO eine umfangreichere Vorbehandlung wie Enteisung und Enthärtung. Beides macht das Verfahren aufwendig und kostspielig. Zudem entstehen erhebliche Mengen zu entsorgender Konzentrate, deren Volumen etwa 25 % des behandelten Rohwassers beträgt.

- 1 Tiefbrunnen eines Wasserwerks.
- 2 Elektrolyse-Apparatur zur Reinigung von Brunnenwasser.



1



2

WASSER

## ONLINE-SPURENSTOFFANALYTIK FÜR EINE EFFIZIENTE ABWASSERREINIGUNG

Dr. Roland Wuchrer, Dipl.-Ing. Nadja Steinke, Dr. Christiane Schuster, Prof. Dr. Thomas Härtling

Anthropogene Spurenschadstoffe wie Medikamente oder Pestizide kommen zunehmend im Wasserkreislauf vor. Die für das menschliche Auge unsichtbaren Verunreinigungen können mit bisherigen Abwasseraufbereitungsverfahren nur unvollständig entfernt werden und stellen Kläranlagenbetreiber vor neue Herausforderungen. Abhilfe soll eine weiterführende vierte Reinigungsstufe schaffen. Allerdings ist die hierfür vorgesehene Behandlung mit Aktivkohle oder Ozonierung bisher noch nicht bedarfsgerecht und damit wirtschaftlich möglich. Dies liegt vor allem an einer fehlenden Prozessüberwachung. Verfügbare Analysemethoden zur Bestimmung der Spurenstoffkonzentration, wie die Chromatographie, sind nicht für den Vor-Ort-Einsatz geeignet, da sie u. a. einen hohen labortechnischen Präparationsaufwand voraussetzen. Um diese Überwachungslücke zu schließen, wurde im BMBF-Verbundprojekt »ANTHROPLAS« eine Vor-Ort-Analytik für eine effiziente Abwasserreinigung entwickelt.

Kern der neuen Spurenstoffanalytik ist ein am IKTS entwickelter optischer Sensor-Chip (Bild 1) auf Basis einer nanostrukturierten Goldschicht. Die Nanostrukturierung erlaubt es, Oberflächenplasmonen (Elektronenschwingungen) in der Goldschicht mit einer Leuchtdiode anzuregen. Für das Analysegerät kann damit auf komplexe Optiken verzichtet werden, was einen deutlich kompakteren Aufbau gestattet. Zudem reagieren die Oberflächenplasmonen hoch sensitiv auf Molekülanbindungen, was Voraussetzung für die Detektion von Spurenschadstoffen ist.

Die größte Herausforderung beim Schadstoffnachweis besteht in der Messung geringer Konzentrationen im  $\mu\text{g/L}$ -Bereich. Vor diesem Hintergrund wurde ein Protokoll erarbeitet, bei dem

eine gerichtete Reaktion von Antikörpern (Erkennungsstruktur) mit dem gesuchten Spurenschadstoff vermessen wird. Die Goldoberfläche wird dazu biochemisch aktiviert. Ist ein bestimmter Schadstoff im Abwasser, wird eine Immunreaktion mit Antikörpern ausgelöst. Dadurch ändern sich die optischen Eigenschaften der Goldnanostruktur, was letztlich Rückschluss auf die Präsenz und die Konzentration des gesuchten Spurenschadstoffs gibt.

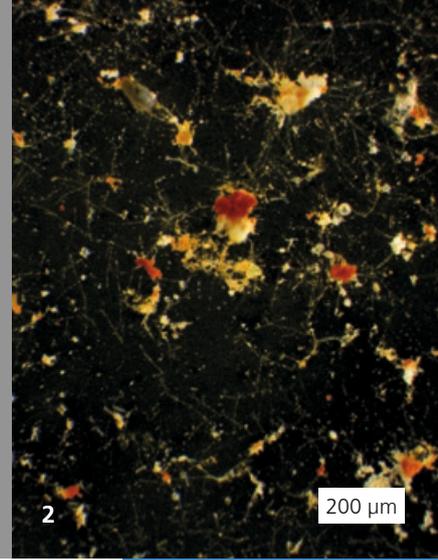
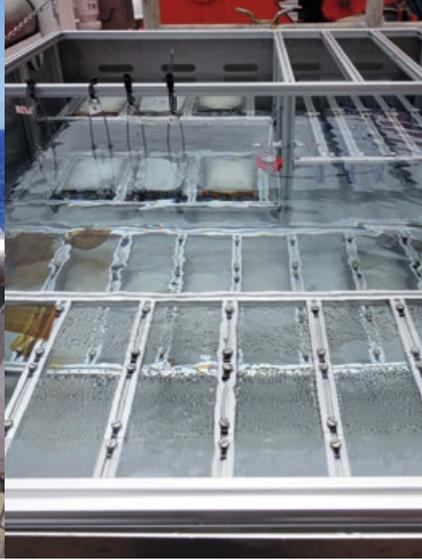
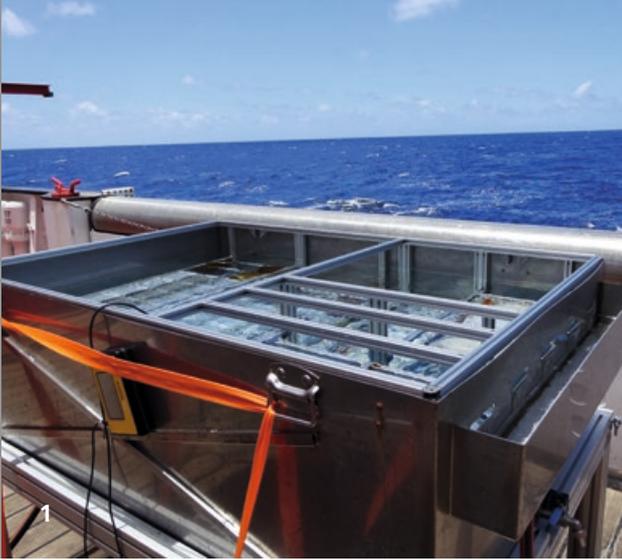
Das onlinefähige Analysegerät mit automatisiertem Messablauf (Bild 2) wurde von Industriepartnern aufgebaut und erfolgreich im Labor des Fraunhofer IKTS getestet. Beispielhaft wurde die Konzentration des Wirkstoffs Diclofenac in einem Bereich von 0,1 bis 10,0  $\mu\text{g/L}$  bei einem Messzyklus von 15 Minuten aufgelöst. Der Sensor-Chip konnte hierbei mehr als 100 Mal wiederverwendet werden. In einem letzten Schritt wurde das Analysegerät in eine Abwasseraufbereitungsanlage integriert.

In Zukunft soll mit der Online-Spurenstoffanalytik die Einhaltung von Grenzwerten direkt an der Kläranlage, aber auch an Gewässern geprüft werden. Über eine Anpassung der Funktionalisierung kann zukünftig jeder Spurenschadstoff detektiert werden. Neben anstehenden Langzeittests unter Realbedingungen wird die Normung des Verfahrens angestrebt.

1 Biosensor-Chip, z. B. zur Konzentrationsbestimmung von Diclofenac im Abwasser.

2 Onlinefähiges Analysegerät für den Einbau in die 4. Reinigungsstufe von Kläranlagen.





## WIE ALTERT PLASTIK? UNTERSUCHUNGEN IM LABOR UND IM PAZIFIK

Dr. Annegret Potthoff, Dipl.-Ing. Kathrin Oelschlägel, Markus Schneider, Dr. Annegret Benke

In der Öffentlichkeit wird die Zunahme des Plastikmülls im Meer als große Herausforderung wahrgenommen. Szenarios, die schon in Kürze mehr Plastik als Fische in den Ozeanen erwarten lassen, sind gleichermaßen realistisch wie besorgniserregend. Wesentliche Fragen, die in diesem Kontext geklärt werden müssen, beziehen sich auf polymertyp-spezifische Risiken, die aus Transport und Verbleib von Plastik ebenso wie aus dessen Aufnahme und Wirkung in Organismen resultieren.

Um dies zu verstehen und perspektivisch Vermeidungsstrategien aufbauen zu können, ist ein fundiertes Verständnis von Verwitterung/Alterung von Plastik unabdingbar. Bisher ist es möglich, im Labor Test-Setups beispielsweise zur UV-induzierten Verwitterung zu betreiben. Dabei zeigt sich, dass die Sprödigkeit von Materialien zunimmt, sich die Benetzbarkeit mit Wasser – quantifiziert mittels Kontaktwinkelmessungen – verändert und zu Unterschieden des Biofilmbewuchses in Quantität und Qualität führt. In der realen Umwelt sind die Verwitterungsmechanismen wesentlich komplexer. Wechselwirkungen zwischen den Plastikoberflächen und Inhaltsstoffen des umgebenden Wassers sind dabei ebenso zu berücksichtigen, wie die Fragmentierung der Partikel bis hin zur »Mikroplastik« und ggfs. »Nanoplastik«.

Um die im Labor gewonnenen Erkenntnisse zu validieren, wurde die Plastikalterung während einer Reise auf dem Forschungsschiff SONNE unter realitätsnahen Bedingungen auf dem Pazifik untersucht. In dafür konstruierten Mesokosmen (Bild 1) wurden Polymere unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung (LDPE, PS, PET) und Geometrie (Granulate, Platten) kontinuierlich mit Meerwasser, dessen Zusammensetzung zeit-

und ortsabhängig analysiert wurde, umspült (Bild 1). In Abhängigkeit von der Alterungsdauer und der UV-Einstrahlung, die durch die Exposition der Materialien in unterschiedlichen Wassertiefen gezielt variiert wurde, sind verschiedene Alterungsmechanismen deutlich geworden. Der nach 28 Tagen Verwitterungszeit erhebliche Biofilmaufwuchs (Bild 2) erhöht z. B. die Dichte des Polyethylens auf  $> 1 \text{ g/cm}^3$  und trägt so dazu bei, dass die Partikel zum Meeresboden absinken. Gleichzeitig ändern sich die chemische Beschaffenheit (Nachweis durch FTIR-Analysen) sowie die spezifische Oberfläche/Rauheit der Polymere. Eine Zunahme der Sprödigkeit ist durch Gefügeveränderungen nachweisbar und mündet in eine Zunahme der Fragmentierung und Entstehung von mikroskaligen Plastikpartikeln.

Zusätzlich wurde Material aus dem Pazifik entnommen und dessen Eigenschaften mit denen der unter bekannten Umweltbedingungen in den Mesokosmen gealterten Proben verglichen. Somit ist eine Gegenüberstellung von Polymertypen zur Risikoabschätzung möglich. Zukünftig sind die standardisierten Verwitterungsbedingungen im Labor dazu geeignet, synthetische und biologisch abbaubare Polymere zu bewerten.



1 Mesokosmos, betrieben auf dem Forschungsschiff SONNE im Pazifik.

2 PS-Sheet mit Biofilmbewuchs nach 28 Tage Alterung (Stereomikroskop).



Oszilloskop

Signalgenerator

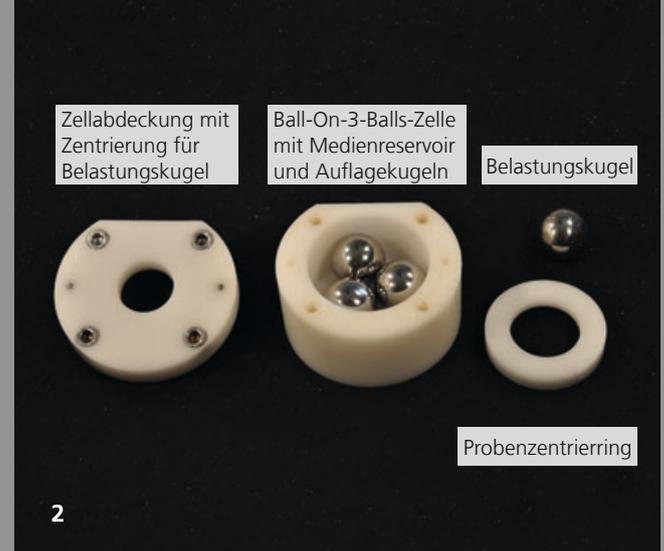
Belastungs-  
vorrichtungPC mit Steuer-  
und Messsoftware

Kraftmesssystem

Stromversorgung

Piezosteuerung

1

Zellabdeckung mit  
Zentrierung für  
BelastungskugelBall-On-3-Balls-Zelle  
mit Medienreservoir  
und Auflagekugeln

Belastungskugel

Probenzentrierring

2

## MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

# MESSUNG DER DYNAMISCHEN ERMÜDUNG IN KORROSIVEN MEDIEN

Dipl.-Math. Michael Brand

## Keramik testen unter realen Bedingungen

Keramische Komponenten sind hochfest und funktionalisierbar, daher eignen sie sich besonders als Konstruktionselemente im industriellen Umfeld. Dies erfordert neue Verfahren zur Ermittlung der Langzeitstabilität solcher Komponenten unter realen Einsatzbedingungen. Besonders das Ermüdungsverhalten unter dynamischer Belastung ist hier von Interesse, da es eine wichtige Rolle für Materialauswahl und Bauteildimensionierung spielt. Keramische Werkstoffe zeigen in Abhängigkeit von Belastungsfrequenz und umgebendem Medium unterschiedliche Tendenzen für unterkritisches Risswachstum und daraus resultierend unterschiedliches Ermüdungsverhalten. Herkömmliche Prüfverfahren konzentrieren sich bisher meist auf niederfrequente Belastungsszenarien bis 20 Hz. Dadurch werden Prüfungen mit hohen Lastwechselzahlen größer  $10^8$  Zyklen sehr zeit- und kostenintensiv. Zudem werden Keramiken, im Gegensatz zu vielen Metallen, auch in korrosiven Medien eingesetzt. Aktuelle dynamische Tests erlauben allerdings meist keine Variierung des Prüfmediums und berücksichtigen diesen Aspekt realer Einsatzbedingungen nicht genügend.

## Automatisierter Belastungsteststand

Ein neuer, am Fraunhofer IKTS entwickelter Teststand ermöglicht die dynamische Belastung von Keramiken in korrosiven Medien mit Belastungsfrequenzen von mehr als 250 Hz. In Verbindung mit Festigkeits- und Gefügeuntersuchungen kann damit das medium- und frequenzabhängige Ermüdungsverhalten von Materialien auch bei sehr hohen Lastwechselzahlen detailliert und systematisch untersucht werden. Als Lastszenario wird die

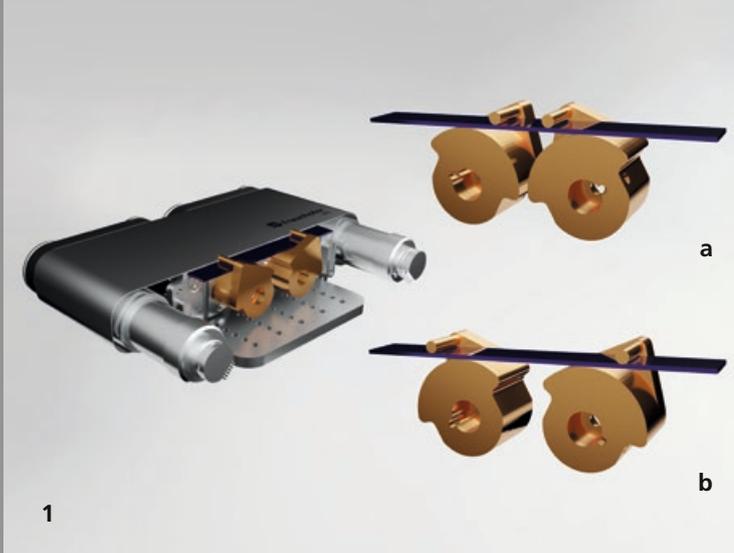
etablierte »Ball-On-3-Balls«-Anordnung genutzt, mit der Proben auch ohne eigenschaftsverändernde Oberflächenbehandlung geprüft werden können. Die Anlage wird mit dem wässrigen Medium umgeben. Der modulare Aufbau ermöglicht eine einfache Adaption an andere standardisierte und kundenspezifische Belastungsszenarien. Der gesamte Testablauf erfolgt softwaregesteuert auf Basis flexibel definierbarer Lastparameter und Abbruchkriterien. Dadurch ist ein autonomer Dauerbetrieb des Teststands inklusive Datenerfassung möglich. Als Lastparameter können unabhängig voneinander regelbare Anteile für eine statische Vorlast und eine überlagerte dynamische Last definiert werden. Als Abbruchkriterien stehen neben einer integrierten Logik zur Bruchdetektion der Probe und der Maximalzahl der Belastungszyklen auch definierbare Korridore für statische, dynamische und Gesamlast sowie Temperaturmesspunkte zur Verfügung. Die Funktion des Systems wurde in Dauerversuchen an SiC-Diamant-Werkstoffen in wässrigem Medium nachgewiesen. Untersuchungen der Proben nach  $10^7$  Lastwechseln zeigten die sehr hohe zyklische Stabilität der Materialien.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

- Testung des Ermüdungsverhaltens von Keramiken
- Entwicklung applikationsorientierter Prüfverfahren

1 *Dynamischer Belastungsteststand.*

2 *Ball-On-3-Balls-Zelle zur Probenbelastung mit Medienreservoir.*



## MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

# FLEXIBLES VIER-PUNKT-BIEGESYSTEM FÜR ZUG- UND DRUCKBEANSPRUCHUNG

Dipl.-Ing. Christoph Sander, Dr. André Clausner, Dipl.-Ing. Frank Macher, Matthias Lehmann, Prof. Dr. Ehrenfried Zschech

Mikrochips und elektronische Bauteile sind hochkomplexe Strukturen. Sie bestehen aus einer Vielzahl von Materialien mit jeweils spezifischen thermischen und mechanischen Eigenschaften. Unterschiedliche thermische Ausdehnungen während Fertigung und Betrieb können zur Rissbildung infolge mechanischer Spannungen und damit zum Ausfall des Bauteils führen. Daher ist es notwendig, die Materialien selbst und auch den Einfluss mechanischer Spannungen auf die Strukturen zu charakterisieren. Durch gezieltes Belasten von Teststrukturen oder Bauelementen, z. B. mittels Vier-Punkt-Biegung (4PB), kann ein mechanischer Spannungszustand erzeugt werden.

### In-situ-Vier-Punkt-Biegesystem

Die Vier-Punkt-Biegung ist ein häufig verwendeter Belastungsmodus zum Verbiegen balkenartiger Proben. Der Vorteil der Methode ist das homogene Biegemoment zwischen den inneren Auflagepunkten. Am Fraunhofer IKTS wurde ein neuartiges 4PB-System für In-situ-Experimente in Rasterelektronenmikroskopen (REM) entwickelt (Bild 1). Eine Besonderheit des neuen Systems liegt in der geringen Bauhöhe, die einen Einsatz in geschlossenen und beengten Systemen, z. B. der Vakuumkammer eines REM, ermöglicht. Zudem kann die Probe in dem neuen System ohne Umbau der Probenaufnahme mit wechselnder Biegerichtung belastet werden. Dadurch wird auf der Probenoberseite alternierend eine Zug- oder Druckspannung aufgebracht. Im Gegensatz zu üblichen 4PB-Systemen wird dies durch drehbare Probenaufnahmen erreicht, die den notwendigen relativen Linearvorschub der Auflagepunktpaare durch Rotation erzielen (Bild 1a und b). Indem die anliegenden Drehmomente im neuen 4PB-System gemessen werden, kann mit Kenntnis

der Probengeometrie die wirkende mechanische Spannung quantitativ in jedem Punkt bestimmt werden.

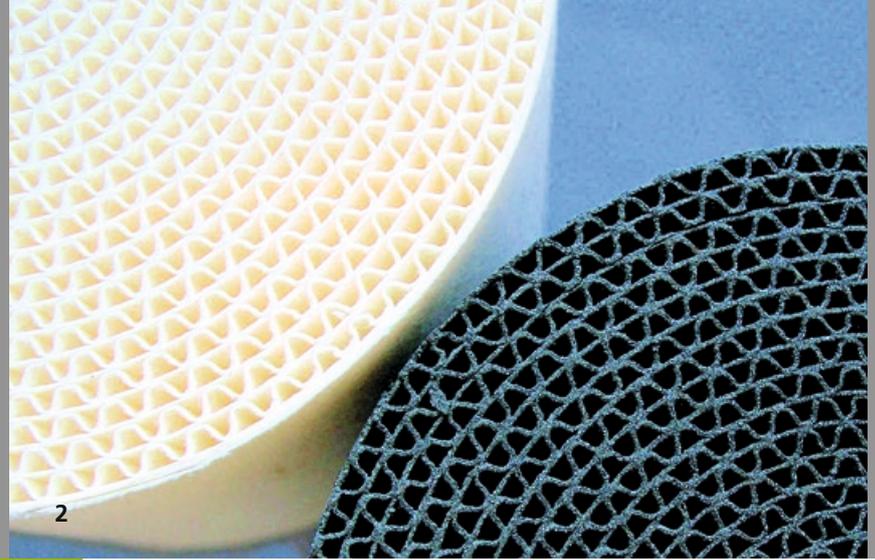
### Flexibilität durch Tooltransfer

Durch das hohe, stromlose Haltemoment von 2 Nm können verspannte Proben den mechanischen Spannungszustand beibehalten und, aufgrund der geringen Bauhöhe des Systems, flexibel in verschiedene Analyse- oder Bildgebungsgeräte überführt werden. So ist es zum Beispiel möglich, auf verspannten Proben Eindringprüfungen durchzuführen, die entstandenen Abdrücke im REM zu untersuchen und anschließend die mechanischen Spannungen mittels Ramanspektroskopie zu validieren.

### Leistungsangebot

- Messungen an verspannten Proben in Verbindung mit REM, Nanoindentation oder Ramanspektroskopie
- Korrelierte Auswertung der Spannungszustände auf der Probe mit begleitenden Experimentalkonzepten
- Gerätespezifische Anpassungen der 4PB-Einrichtung nach Kundenwunsch

- 1 *Neuartige, extrem flache 4PB-Einrichtung mit Ausgangsstellung der Probenhalter für Druckspannung (a) und Zugspannung (b) auf der Probenoberseite.*
- 2 *Verspannte Siliciumprobe (Dicke 300 µm) in Zugspannungskonfiguration.*



## MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

# VERFORMUNGSANALYSEN BEI ISOSTATISCHER DRUCKBELASTUNG

Dr. Steffen Kunze, Dipl.-Ing. Heike Heymer, Dipl.-Krist. Jörg Adler

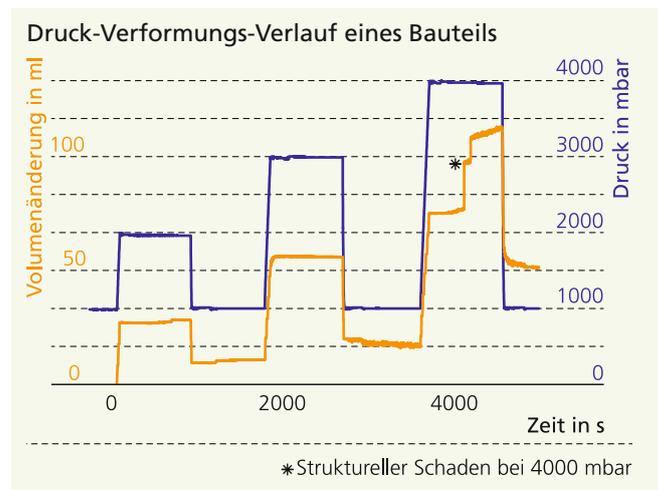
In vielen Anwendungen unterliegen Bauteile axialen oder allseitigen Druckbeanspruchungen. Ein Beispiel stellen Katalysatoren oder Partikelfilter dar, die in Kombination mit hochtemperaturbeständigen Dichtmatten in metallischen Cannings eingepresst werden. Die Kenntnis des mechanischen Verhaltens der filigranen komplexen Bauteile auf die Druckbeanspruchungen ist für die Konstruktion und Auslegung der Gesamtsysteme essenziell. Die Ermittlung reproduzierbarer und vergleichbarer mechanischer Kennwerte für diese Beanspruchungsarten stellt eine große Herausforderung an die Messtechnik dar.

Das IKTS hat für derartige Fragestellungen einen isostatischen Druckprüfstand adaptiert, mit dem die Bauteilkompression inline messbar ist. Dabei wird das Bauteil, welches abgedichtet und in einem inkompressiblen Fluid eingebettet ist, mit Druck und Temperatur beaufschlagt. Die resultierende Verformung des Bauteils determiniert eine Verringerung des Fluidpegelstandes, der während des Versuchs kapazitiv gemessen wird. Durch die Möglichkeit der Programmierung von Druckrampen und -zyklen lassen sich umfangreiche Prüfroutinen umsetzen, mit denen sich Rückschlüsse auf die Kriech Eigenschaften und das elastisch-plastische Verformungsverhalten bis hin zum Bruchverhalten der getesteten Komponenten ziehen lassen (Diagramm).

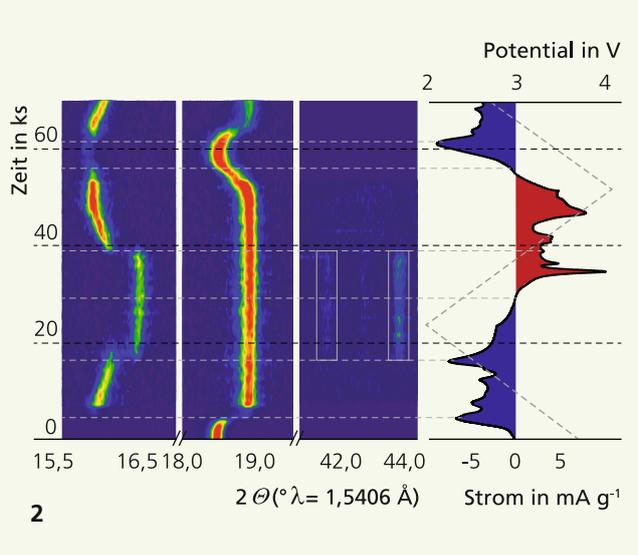
Durch die Möglichkeiten Echtzeit-Videos zu dokumentieren und Unterdruckversuche durchzuführen, ist der Prüfstand sehr vielfältig einsetzbar. Die Anwendungen reichen von klassischen Druck- und Dichtigkeitstests bis zur Charakterisierung der Volumenschwindung während der Konsolidierung von Reaktionsharzen.

### Leistungs- und Kooperationsangebot

- Isostatische Drucktestung von Bauteilen, insbesondere Filter und Katalysatoren unter folgenden Bedingungen:  
Bauteilgrößen bis:  $\varnothing = 360 \text{ mm}$ ;  $h = 270 \text{ mm}$   
Druck: 0–10 bar  
Temperatur: bis 250 °C
- Erarbeitung von anwendungsgerechten Druckrampen und -zyklen zur Inline-Messung der Volumenänderung zur Bewertung der Bauteilelastizität sowie von Kriech- und Versagensvorgängen



- 1 Isostatischer Druckprüfstand.
- 2 Beispiele zu prüfender keramischer Wabenstrukturen.



MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

# IN-SITU UND OPERANDO-STRUKTURUNTERSUCHUNGEN AN ELEKTROCHEMISCHEN SYSTEMEN

Dr. Björn Matthey, Dr. Christian Heubner, M. Sc. Christoph Lämmel, Dr. Michael Schneider, Dr. Mathias Herrmann

Elektrochemische Prozesse und Systeme gelten als Schlüsseltechnologien für eine nachhaltige Produktions- und Energiewirtschaft. Dazu zählen innovative Beschichtungsverfahren sowie elektrochemische Energiespeicher und -wandler. Eine wissenschaftsbasierte Entwicklung und Optimierung derartiger Systeme verlangt ein tiefgreifendes Verständnis der ablaufenden Reaktions- und etwaiger Degradationsprozesse. Insbesondere In-situ- und operando-Strukturuntersuchungen mittels Röntgenbeugung (XRD) erlauben, durch die komplementären elektrochemischen und Strukturinformationen, eine detaillierte Aufklärung von Reaktionsmechanismen und resultierenden Prozess-Struktur-Eigenschaftsbeziehungen. Am IKTS werden spezifisch angepasste elektrochemische Zellaufbauten (Bild 1) zur komplementären In-situ- und operando-Strukturuntersuchung entwickelt (Bild 2).

## Funktionale Schichten

Die relevanten Eigenschaften elektrolytischer Funktionsschichten werden maßgeblich durch deren Mikrostruktur bestimmt. Am IKTS werden XRD-Untersuchungen zur Aufklärung der mikrostrukturellen Entwicklung während der Herstellung elektrolytischer Funktionsschichten in-situ durchgeführt. Die Messungen erlauben die Bestimmung und Entwicklung von Phasenzusammensetzung und Mikrostrukturparametern wie z. B. Kristallgröße und Mikrospannungen während der Abscheidung in Abhängigkeit der elektrochemischen Herstellungsbedingungen. Dadurch sind Prozess-Struktur-Eigenschaftsbeziehungen für eine gezielte Optimierung ableitbar.

## Energiespeicher

Auch die Entwicklung innovativer elektrochemischer Energiespeicher und -wandler wird am IKTS durch komplementäre operando-Strukturuntersuchungen mittels XRD und Raman-Spektroskopie begleitet. Diese Untersuchungen erlauben ein umfassendes Verständnis zu Mechanismen und Reversibilität struktureller und kompositorischer Veränderungen während des Betriebs. Auf Basis der Erkenntnisse wird die Material- und Designentwicklung von neuartigen Lithium- und Natriumbatterien sowie Hybridsystemen hinsichtlich gesteigerter Leistungsparameter und verbesserter Langzeitstabilität wissenschaftsbasiert vorangetrieben.

## Leistungs- und Kooperationsangebot

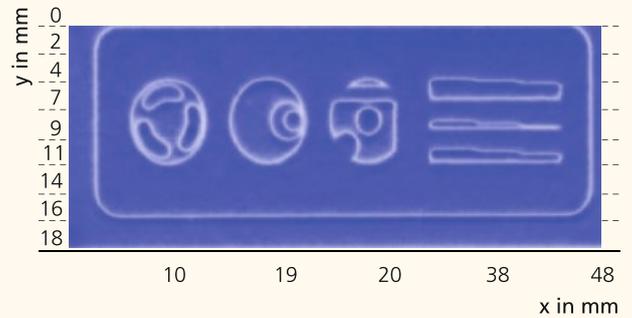
- Entwicklung und Validierung elektrochemischer Zellaufbauten für In-situ- und operando-Strukturuntersuchungen mittels XRD und Raman-Spektroskopie
- Berechnung von Phasen- und Strukturparametern
- Analyse von Prozess-Struktur-Eigenschaftsbeziehungen

- 1 Am IKTS entwickelte elektrochemische operando-XRD-Zelle.
- 2 Röntgenographische Untersuchung der Phasenzusammensetzung während der elektrochemischen Li/Na-Substitution in  $\text{LiCoO}_2$ .





1



2

## ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG UND ÜBERWACHUNG

# AUTOMATISIERTE ULTRASCHALLPRÜFUNG VON DÜNNEN BLECHEN MIT PCUS® PRO HF

Dipl.-Ing. (FH) Christian Richter, Dipl.-Ing. (FH) Hendrik Funke

### Herausforderungen für die Ultraschallprüfung

Die Frontend-Geräte der »PCUS® pro«-Familie wurden für die automatisierte, zerstörungsfreie Ultraschallprüfung entwickelt. Mit ihrem Schallfrequenzbereich von etwa 500 kHz bis maximal 30 MHz eignen sie sich für übliche Ultraschall-Prüfanwendungen – wie Schweißnähte und Halbzeuge in der Industrie oder wiederkehrende Prüfungen im Bahnwesen. Neue Materialien und Anwendungen führen jedoch zu neuen Herausforderungen für die zerstörungsfreie Prüfung. Getrieben vom Wunsch nach Gewichtsreduktion werden im Automobilbau zunehmend sehr dünne und komplex geformte Bleche verwendet, die mit entsprechenden Fügeverfahren wie Laser- und Punktschweißen bearbeitet werden. Diese kleineren, mitunter schwer zugänglichen Strukturen können mit konventioneller Ultraschalltechnik oft nur unzureichend geprüft werden, da sie höhere Messauflösungen und Signalfrequenzen erfordern. Für derartige Prüfaufgaben musste bisher auf zerstörende Prüfung oder hochfrequente Ultraschall-Mikroskopie zurückgegriffen werden. Da die Ultraschall-Mikroskope nicht inlinefähig sowie sehr kostenintensiv ist, werden oft nur Stichproben geprüft.

### Hohe Signalfrequenzen für neue Prüfaufgaben

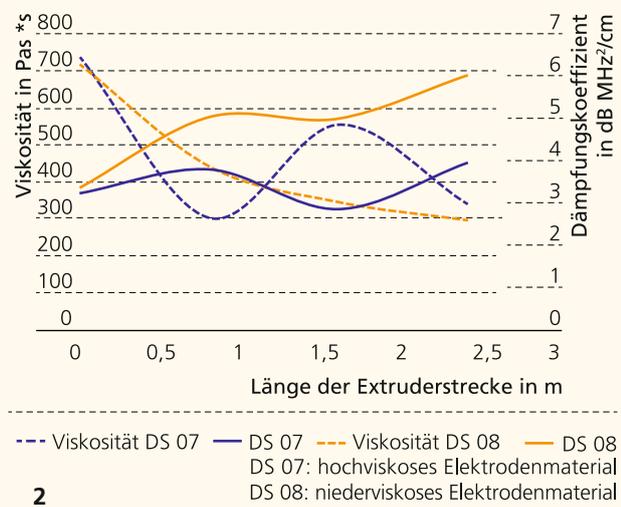
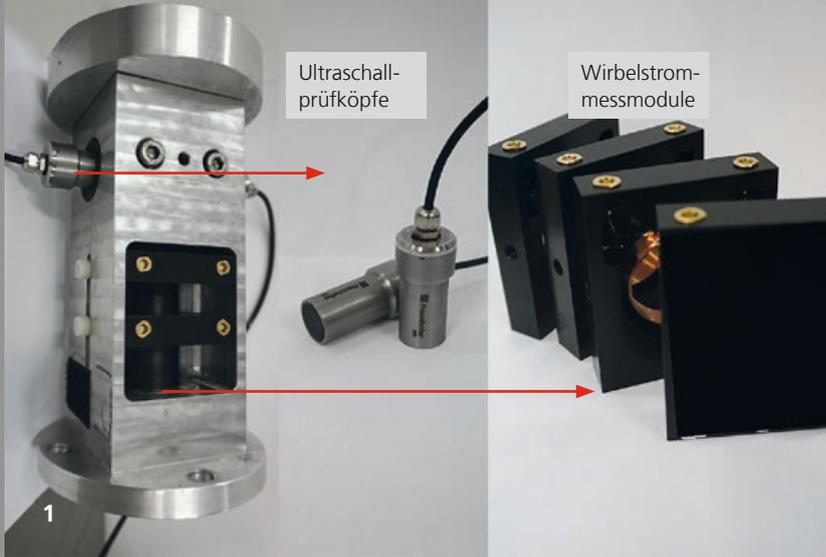
Das am Fraunhofer IKTS entwickelte Frontend »PCUS® pro HF« schließt diese Lücke zwischen klassischem Ultraschall und Hochfrequenz-Mikroskopie. Das inlinefähige Frontend eignet sich für den Einsatz im Frequenzbereich von 5 bis 150 MHz. Mit den Abmessungen 170 x 120 x 30 mm<sup>3</sup> ist es so kompakt, dass es direkt in Prüfkopfnähe, z. B. auf einem Scanner, montiert werden kann. Die passive Kühlung in Kombination mit einer

niedrigen Leistungsaufnahme von nur 7 Watt erlaubt den Betrieb auch unter schwierigen industriellen Bedingungen. Der Anschluss an den Host-PC erfolgt über eine schnelle USB-3.0-Datenverbindung, die sich bei Bedarf auch als Glasfaser ausführen lässt. Zudem zeichnet sich das Gerät durch eine rauscharme Analog-Elektronik, einen in weiten Bereichen einstellbaren Sender sowie die Übernahme möglichst vieler »klassischer« Funktionen eines konventionellen Ultraschallgeräts aus.

### Einfache Integration in vorhandene Anlagen

Das »PCUS® pro HF«-Frontend ist mit allen anderen Geräten der »PCUS® pro«-Familie kompatibel und wird über ein Software Development Kit (SDK) angesprochen. Dieses SDK erlaubt die Integration in kundenspezifische Anwendungssoftware. Für eine flexible Integration der Hardware in eine Prüf- oder Produktionsanlage stehen Schnittstellen für Wegaufnehmer, Trigger sowie digitale und analoge Ein- und Ausgänge direkt am Frontend zur Verfügung.

- 1 »PCUS® pro HF« für die Ultraschallprüfung mit hohen Frequenzen.
- 2 C-Scan einer Testplatte aus Aluminium mit Strukturen von 100 µm Größe.



ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG UND ÜBERWACHUNG

# MONITORING DES EXTRUSIONSPROZESSES IN DER PRODUKTION VON BATTERIEFOLIEN

Dipl.-Ing. Marcel Wild, Prof. Dr. Henning Heuer, M. Sc. Martin Schulze, Dr. Thomas Herzog, Dr. Sebastian Reuber

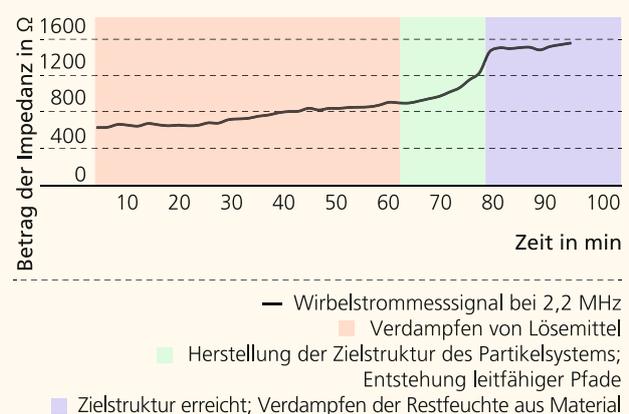
Die Elektromobilität wird stetig ausgebaut. Kernelement sind die Batteriezellen, deren wirtschaftliche Herstellung derzeit noch nicht zufriedenstellend möglich ist. Ein Lösungsansatz ist die Effizienzsteigerung im Batteriefertigungsprozess, d. h. Senkung der Ausschussraten und damit Erhöhung der Wirtschaftlichkeit. Um dies zu realisieren, kann ein Inline-Prüfsystem eingesetzt werden, das während der Elektrodenherstellung für Batteriezellen zerstörungsfrei prüft und Defekte oder Änderungen in der Materialzusammensetzung so früh wie möglich erkennt.

An einem Doppelschneckenextruder für die Batterieelektrodenherstellung wurde dafür zwischen Extruder-Ausgang und Beschichtungswerkzeug ein multisensorisches Mundstück (Bild 1) integriert. Dieses nutzt sowohl das Wirbelstrom- als auch das Ultraschallverfahren für das Monitoring von Batterieelektroden. Der kombinierte Einsatz beider Messverfahren ermöglicht es, eine große Bandbreite an Materialparametern aufzunehmen.

Zur Überwachung akustischer Materialeigenschaften wie Dichte, Viskosität oder Partikelgröße werden die Parameter Schallgeschwindigkeit und Schalldämpfung aus dem Ultraschallverfahren herangezogen. Mit dem Wirbelstromverfahren können elektrische und dielektrische Materialeigenschaften überwacht werden. Dabei wird im Wirbelstromverfahren mit Prüffrequenzen von 1 bis 10 MHz gearbeitet. Bei der Ultraschallprüfung liegen die Prüffrequenzen bei Transmissionsmessungen zwischen 1 und 5 MHz. Bild 2 zeigt, dass sich die Viskosität mit zunehmender Extruderlänge ändert. Eine solche Viskositätsänderung führt zu anderen Dämpfungskoeffizienten bei der Ultraschallprüfung. Auf Grundlage dieser Information kann der Prozess frühzeitig angepasst und eine fehlerhafte Produktion vermieden werden.

Neben der Viskosität konnten noch weitere Korrelationen mit der Dichte, der Aktivmaterialkomponente und mit elektrischen und dielektrischen Materialeigenschaften nachgewiesen werden. Das Trocknungsmonitoring von Batteriefolien kann mit einem Wirbelstrom-Einzel- oder -Flächensensor realisiert werden. Diese Messsysteme erlauben aufgrund der Definition des Trocknungszustands (Diagramm unten) sowohl eine höhere Fertigungsgeschwindigkeit als auch Reproduzierbarkeit. Dies ist möglich, indem z. B. eine kürzere Trocknungsstrecke installiert wird.

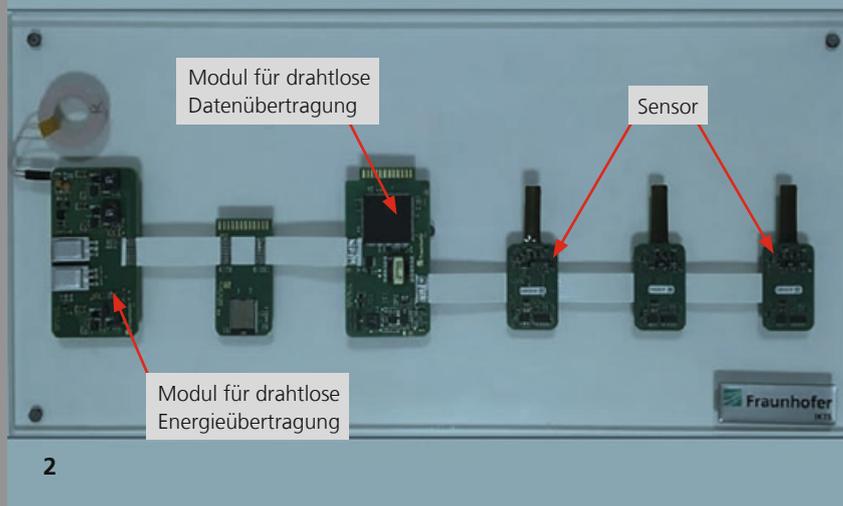
Wirbelstrom-Trocknungsmonitoring eines Anodenschlickers mit LTO\*-Aktivmaterial bei einer Messfrequenz von 2,2 MHz



- 1 Multisensorisches Mundstück zum Monitoring des Batteriezellen-Fertigungsprozesses.
- 2 Korrelation von Viskosität und Ultraschallsignal bei der Inline-Überwachung.



1



2

## ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG UND ÜBERWACHUNG

# DRAHTLOSE SENSORSYSTEME FÜR SICHERE OFFSHORE-BAUWERKE – CoMoBelt

Dr. Bianca Wehnacht, Dipl.-Ing. Tobias Gaul, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Klesse, Dipl.-Ing. Martin Oemus, M. Sc. Sebastian Sonntag, Dr. Lars Schubert

Eine Alternative zur Windenergieerzeugung an Land sind Windenergieanlagen auf hoher See – allerdings ist die Erzeugung von Offshore-Energie derzeit noch deutlich teurer als an Land. Das liegt auch an den höheren Wartungskosten. Vor allem die Prüfung der metallenen Verankerungen am Meeresgrund, der sogenannten Gründungsstrukturen, ist aufwändig und gefährlich. Für die Wartung müssen Techniker und Material mit Schiffen zur Anlage gebracht werden. Voraussetzung für den Transport und die notwendigen Unterwassereinsätze sind geeignete Wetterbedingungen, die nur an wenigen Tagen im Jahr tatsächlich gegeben sind. Zudem sind die Kosten für Schiffsmiete und Taucheinsätze sehr hoch.

Am Fraunhofer IKTS wurde deshalb mit der Sensormanschette CoMoBelt ein Messsystem entwickelt, das an der Gründungsstruktur von Offshore-Anlagen fest installiert wird und diese dauerhaft überwacht. Das reduziert den Aufwand für kostenintensive Vor-Ort-Einsätze und letztlich die Wartungskosten. Die Sensormanschette wird wie ein Ring direkt und dauerhaft an stark belasteten Bereichen von Gründungsstrukturen, beispielsweise Schweißnähten, angebracht. Damit beeinflusst von außen aufwachsendes Biomaterial die Messungen kaum und die kräftezehrende und zeitaufwändige manuelle Säuberung der Messstellen durch Taucher entfällt.

Im Überwachungssystem CoMoBelt sind Ultraschallwandler integriert, die abwechselnd als Sensor oder Aktor agieren. Bei der Ausbreitung der Ultraschallwellen im Überwachungsobjekt kommt es an Materialschäden zu Streuungen und Reflexionen. Anhand dieser können durch die integrierte Signalverarbeitung Schädigungen wie Schweißnahtrisse identifiziert werden.

Neben Biomaterial werden auch das korrosive Salzwasser und die enormen Kräfte der Wellen zur Belastung für die Messsysteme. Um dauerhaft unter Wasser arbeiten zu können, muss die Sensormanschette den harschen Umweltbedingungen standhalten. Deshalb werden die Sensoren einlaminiert und durch Barrierschichten zuverlässig vor eindringendem Meerwasser geschützt. Das setzt eigens entwickelte, flache elektronische Komponenten voraus.

Die Energieversorgung für die piezokeramischen Wandler und das Auslesen der gemessenen Daten am CoMoBelt erfolgen nicht mehr durch Taucher, sondern durch »Remote Operating Vehicle« (ROV) – per Kabel ferngesteuerte Unterwasser-Roboter. Mittels geeigneter drahtloser Nahfeldkommunikation werden die Daten von der Sensormanschette auf das Diagnosegerät am Roboter und anschließend über Kabel zu den Technikern auf dem Schiff übertragen. Durch diese neue Technologie werden Steckverbindungen am Messsystem komplett vermieden, was wiederum auf See entscheidend zu einem langfristigen zuverlässigen Betrieb des CoMoBelt-Systems beiträgt.

- 1 CoMoBelt – Überwachungssystem mit kabelloser Kommunikation und Energieübertragung.
- 2 Komponenten des Gesamtsystems zur Überwachung von Offshore-Bauwerken.

# KOOPERATIONSAUSBAU IN VERBÜNDEN, ALLIANZEN UND NETZWERKEN

JAHRESBERICHT 2019/20

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.

## Mitgliedschaft in Fraunhofer-Verbänden, Allianzen und Netzwerken

AGENT-3D e. V.

AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e. V.

American Ceramic Society (ACerS)

Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschungsinstitutionen e. V. (AGEF)

biosaxony e. V.

BTS Rail Saxony

Bundesverband Energiespeicher e. V. (BVES)

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

Carbon Composites e. V. (CCeV)

CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

CO<sub>2</sub> Value Europe

Cool Silicon e. V.

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.

DeepSea Mining Alliance e. V.

Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e. V. (DGO)

Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM)

Deutsche Gesellschaft für Membrantechnik e. V. (DGMT)

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

Deutsche Glastechnische Gesellschaft e. V. (DGG)

Deutsche Keramische Gesellschaft e. V. (DKG)

Deutsche Phosphor Plattform

Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.

Deutsche Thermoelektrik-Gesellschaft (DTG)

Deutscher Hochschulverband (DHV)

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

DIN-Normenausschuss Informationstechnik und Anwendung (NIA)

DRESDEN-concept e. V.

Dresdner Fraunhofer-Cluster Nanoanalytik

Dresdner Gesprächskreis der Wirtschaft und der Wissenschaft e. V.

ECPE European Cluster for Power Electronics

EIT Health

Energy Saxony e. V.

e.qua impuls – Wasserwirtschaftliches Energiezentrum Dresden e. V.

Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS)

Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V. (EFB)

European Network of Materials Research Centres (ENMAT)

European Powder Metallurgy Association (EPMA)

Expertenkreis Hochtemperatursensorik 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)

Fördergesellschaft Erneuerbare Energien (FEE)

Forschungsnetzwerk Mittelstand AIF e. V.

## VERBÜNDE, ALLIANZEN, NETZWERKE

Fraunhofer-Allianz Adaptronik	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)	Kompetenzzentrum nanoeva®	Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk e. V. (TheEN)
Fraunhofer-Allianz AdvanCer			
Fraunhofer-Allianz Batterien	Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung e. V. (GFE)	Materialforschungsverbund Dresden e. V. (MFD)	Trägerverein Institut für Holztechnologie Dresden e. V.
Fraunhofer-Allianz Big Data		medways e. V.	Treffpunkt Keramik
Fraunhofer-Allianz Energie	Gesellschaft für Korrosionsschutz e. V. (GfKORR)	Meeting of Refractory Experts Freiberg e. V. (MORE)	TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V.
Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung	HYPOS Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e. V.	Mikro-Nanotechnologie Thüringen e. V. (MNT)	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA)
Fraunhofer-Allianz Leichtbau			
Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie	InDeKo Innovationszentrum Deutschland Korea	Nachhaltigkeitsabkommen Thüringen	VDMA Arbeitsgemeinschaft Medizintechnik
Fraunhofer-Allianz Numerische Simulation von Produkten, Prozessen	Innovationszentrum Bahntechnik Europa e. V. Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA)	NAFEMS – International Association for the Engineering Modelling, Analysis and Simulation Community	Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI) Verein für Regional- und Technikgeschichte e. V.
Fraunhofer-Allianz SysWasser		NanoMat – überregionales NETZWERK für Materialien der Nanotechnologie	Hermisdorf
Fraunhofer-Allianz Textil	International Microelectronics and Packaging Society		WindEnergy Network Rostock e. V.
Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS	International Zeolite Association	OptoNet e. V. Organic Electronics Saxony	
Gemeinschaft Thermisches Spritzen e. V. (GTS)	KMM-VIN (European Virtual Institute on Knowledge-based Multifunctional Materials AISBL)	ProcessNet – eine Initiative von DECHEMA und VDI-GVC	
Gemeinschaftsausschuss Hochleistungskeramik der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. und der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V.	Kompetenzzentrum Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen/Thüringen e. V. (LRT)	Silicon Saxony e. V. smart³ e. V.	
		SmartTex-Netzwerk	



## 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. Dies gilt auch 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. Besonderes Engagement widmet der Verbund auch der Entwicklung angepasster Materialien für die Additive Fertigung. Mit der Erweiterung der für die Additive Fertigung nutzbaren Materialpalette bis hin zu Multimaterialsystemen leistet der Verbund einen wesentlichen Beitrag zur Ausschöpfung und wirtschaftlichen Nutzung dieser vielversprechenden Fertigungstechnologie.

Erneuerbare Energien gewinnen im Zuge der Energiewende eine dominante Bedeutung. Um sie zu gewinnen, zu speichern, zu transportieren und zu wandeln wird eine Vielzahl von Materialien in deutlich höherem Umfang als für klassische Energie-

versorgungssysteme zum Einsatz kommen, von Kupfer, Stahl und Beton bis hin zu Seltenen Erden. Der Verbund bearbeitet diesen Fragenkomplex insbesondere mit Blick auf Ressourcenverfügbarkeit und die Schaffung geschlossener Ressourcenkreisläufe für diese Anlagen und Komponenten.

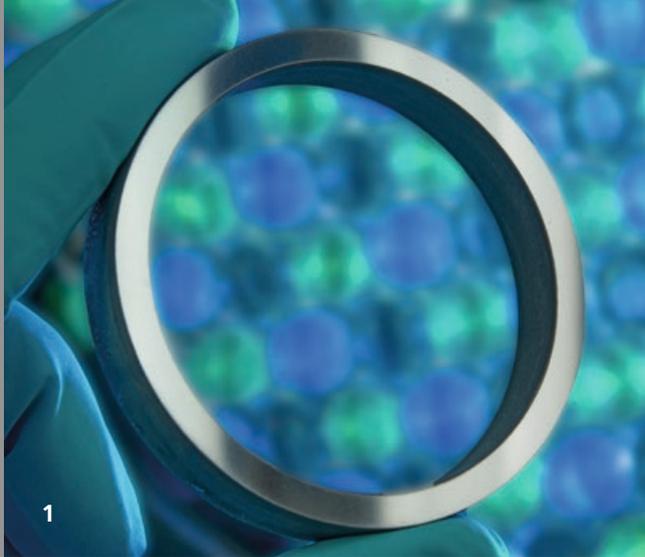
### Ziele des Verbunds

- Unterstützung beschleunigter Innovationen in den Märkten
- Erfolgssteigerung von Industrie 4.0 durch passende Werkstoffkonzepte (digitale Zwillinge, Materials Data Space®)
- Erfolgssteigerung der Additiven Fertigung durch erweiterte Materialpaletten und Technologien
- Unterstützung der Energiewende durch geeignete Materialeffizienz- und Ressourcenstrategien
- 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

### Verbundvorsitzender

Prof. Dr. Peter Gumbsch, Fraunhofer IWM

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



1

VERBÜNDE, ALLIANZEN, NETZWERKE

## 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.

Ein Forschungsschwerpunkt der Allianz AdvanCer liegt auf Systemlösungen und Prüfverfahren für die Öl- und Gasindustrie sowie den Tiefseebergbau. Dies umfasst die Entwicklung von neuen Keramik- und Hartmetallwerkstoffen für den Verschleiß- und Korrosionsschutz, die Prozesswasseraufbereitung sowie optische Anwendungen. Damit können Bauteileigenschaften erreicht werden, die einen wartungsfreien Betrieb in bis zu 6000 m Meerestiefe ermöglichen. Darüber hinaus werden Sensoren und Verfahren ausgelegt, die eine zerstörungsfreie Defekterkennung, Echtzeitüberwachung und eine damit verbundene zustandsbasierte Wartung oder Anlagenoptimierung auch unter harschen Betriebsbedingungen erlauben.

In der Fraunhofer-Allianz AdvanCer beteiligen sich die Institute IKTS, IPK, ISC/HTL und IWM entlang der gesamten Wertschöpfungskette: 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.

### Leistungsangebot

- Entwicklung und Bewertung von Werkstoffen (Struktur- und Funktionskeramik, faserverstärkte Keramik, Cermets, Keramikverbunde, Hartmetalle)
- Technologieentwicklung und -transfer
- Bauteilauslegung, Prototypenherstellung, Kleinserienfertigung
- Systemintegration und Nachweis der Serienfähigkeit
- 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
- Beratung, Machbarkeitsstudien, Schulungen

### Sprecher der Allianz

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

1 Hoch verschleiß- und korrosionsfester Gleitring aus Diamantkeramik für den Einsatz in Pumpen.



VERBÜNDE, ALLIANZEN, NETZWERKE

## TREFFPUNKT KERAMIK – CERAMIC APPLICATIONS

Der Treffpunkt Keramik ist fester Bestandteil der Öffentlichkeitsarbeit des Instituts. Durch die Kooperation mit den derzeit 51 Partnern und Mitgliedern unter dem Label »Ceramic Applications« des Göller-Verlags kann das Institut einen einmaligen Überblick zum Markt der Technischen Keramik bieten. Es besteht die Möglichkeit, in einem Raum die aktuellsten Forschungsthemen bis hin zur Systemprüfung zu sehen und gleichzeitig den Kontakt zu potenziellen Lieferanten herzustellen. Alle Veranstaltungen des Fraunhofer IKTS werden somit zur idealen Plattform für Anwender, die bisher die Branche noch nicht kennen. Die Vernetzung zur Fraunhofer-Gesellschaft wird durch die Einbindung der Fraunhofer-Allianz AdvanCer verstärkt. Dadurch kann das gesamte Leistungsangebot aller Institute präsentiert werden.

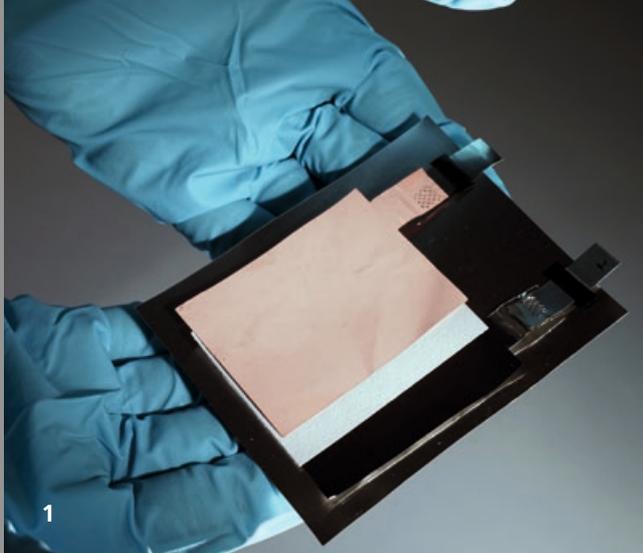
In den Seminarveranstaltungen und Schulungen der Fraunhofer-Allianz AdvanCer sowie der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. (DKG) und der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM) wird durch die Präsentation des Stands der Technik in der Industrie die von den Teilnehmern gewünschte Praxisnähe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

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 von den aktuellen Themenschwerpunkten der Forschung und kann gleichzeitig erfahren, welche Hersteller welche Produkte heute bereits kommerziell anbieten.

Themenschwerpunkte im Jahr 2019 waren die Metall-Keramik-Verbindungstechnik sowie neueste Verfahren der Additiven Fertigung. Die Ausstellung bleibt in die verschiedenen Veranstaltungen des Instituts eingebunden und sichert so bis zu 2000 Besuchern jährlich einen schnellen Marktzugang in die Welt der Technischen Keramik.

Der Treffpunkt war auch 2019 ein wesentlicher Bestandteil der Arbeit des Fachgebiets 1: Chemie-/Maschinen- und Anlagenbau der DKG. Aus der Vernetzung der Hersteller, Anwender und Forschungseinrichtungen werden die begleitenden Ausschüsse der Forschungsgemeinschaft der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. (FDKG) unter den AiF-geförderten Projekten leichter gebildet.

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



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 13 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 innehat. Die Arbeitsgruppe widmet sich Themen der Wasserbehandlung, Wasserreinigung und Wasseranalytik mit neuartigen Verfahren wie Ultraschall und hydrodynamisch erzeugter

Kavitation, Elektrochemie sowie keramischer Membrantechnik. Im Jahr 2019 konnte, insbesondere im Forschungsgebiet Spurenstoffe, neue Hochleistungsanalytik beschafft werden, die in extrem niedrige Konzentrationsbereiche vordringt und Daten zu Schadstoff-Abbauprozessen im automatisierten Hochdurchsatz liefert. Damit wird der Pfad zur Digitalisierung und Sensorik auch in der Wasserbehandlung eröffnet.

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 Neuartige Batterieelektroden aus dem CEEC (Quelle: Jan-Peter Kasper/ FSU Jena).

---

# NAMEN, DATEN, EREIGNISSE

Eine Übersicht über Publikationen, Patente und das wissenschaftliche Engagement von IKTS-Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Jahr 2019 finden Sie auf der Webseite [www.ikts.fraunhofer.de/de/daten2019](http://www.ikts.fraunhofer.de/de/daten2019)



Erteilte Patente  
Patentanmeldungen

Buch- und Zeitschriftenbeiträge  
Vorträge und Poster

Lehrtätigkeiten  
Mitarbeit in Gremien und Fachausschüssen

Dissertationen  
Abschlussarbeiten

# VERANSTALTUNGEN UND MESSEN IM JAHR 2020

JAHRESBERICHT 2019/20

## Tagungen und Events

### Juniordoktor

12. Februar und 13. Mai, Dresden, Maria-Reiche-Straße

### Girls' Day

26. März, Hermsdorf, Michael-Faraday-Straße

### Symposium 20 Jahre Arbeitskreis Keramische Membranen

12.–13. Mai, Hermsdorf, Michael-Faraday-Straße

### Symposium Smart Production

25. Mai, Dresden, Winterbergstraße

### Sodium Battery Symposium SBS 2

1.–2. September, Dresden, Winterbergstraße

### AM Ceramics meets Ceramitec

16.–17. September, Dresden, Winterbergstraße

Weitere Informationen finden Sie unter

[www.ikts.fraunhofer.de/de/kommunikation/  
veranstaltungen](http://www.ikts.fraunhofer.de/de/kommunikation/veranstaltungen)

## Seminare und Workshops

### DGM-Fortbildungsseminar: Keramische Werkstoffe: Eigenschaften und industrielle Anwendungen

24.–25. Juni, Dresden, Winterbergstraße

## Messebeteiligungen

### Karrierestart

24.–26. Januar, Dresden

Gemeinschaftsstand Fraunhofer Dresden

### ICACC

26.–31. Januar, Daytona

### Battery Japan

26.–28. Februar, Tokio

### Rad-Schiene

26.–28. Februar, Dresden

### Thüringer Werkstofftag

4. März, Jena

### ZfP im Eisenbahnwesen

10.–12. März, Erfurt

### Energy Storage Europe

tba, Düsseldorf

Gemeinschaftsstand mit Alumina Systems GmbH

### LOPEC

25.–26. März, München

Gemeinschaftsstand Organic Electronics Saxony e. V.

### ALD for Industry

31. März–1. April, Freiburg

### Analytica

31. März–3. April, München

Gemeinschaftsstand Fraunhofer-Gesellschaft

### IFAT

4.–8. Mai, München

Gemeinschaftsstand Fraunhofer-Allianz SysWasser

Gemeinschaftsstand mit Rauschert Distribution GmbH,

Geschäftsbereich inopor



### RapidTech

5.–7. Mai, Erfurt

Gemeinschaftsstand Fraunhofer-Allianz Generativ

### PCIM

5.–7. Mai, Nürnberg

Gemeinschaftsstand ECPE

### Control

5.–8. Mai, Stuttgart

Gemeinschaftsstand Fraunhofer-Allianz Vision

### JEC World

12.–15. Mai, Paris

Gemeinschaftsstand Wirtschaftsförderung Sachsen

### WCNDT

8.–12. Juni, Seoul

Gemeinschaftsstand mit KIMS

### Woche der Umwelt

9.–10. Juni, Berlin

### Sensor+Test

23.–25. Juni, Nürnberg

IKTS-Stand »Sonderstand Sensorik und Messtechnik für die Zustandsüberwachung«

### ALD/ALE

28. Juni–1. Juli, Ghent

### Hannover Messe

13.–17. Juli, Hannover

Gemeinschaftsstand Ceramic Applications

Gemeinschaftsstand Energy Saxony e. V.

### ICC8

23.–27. August, Bexco

### Innotrans

22.–25. September, Dresden

Gemeinschaftsstand Wirtschaftsförderung Sachsen

### Chillventa

13.–15. Oktober, Nürnberg

Gemeinschaftsstand Fraunhofer-Gesellschaft

### FAD-Konferenz Herausforderung Abgasnachbehandlung

4.–5. November, Radebeul

### Electronica

10.–13. November, München

### Formnext

10.–13. November, Frankfurt/Main,

Gemeinschaftsstand Fraunhofer-Allianz Generativ

Fraunhofer-Gemeinschaftsstand

### Compamed

16.–19. November, Düsseldorf

### Hagener Symposium

25.–26. November, Hagen

### Oceanology International

1.–3. Dezember, London

Gemeinschaftsstand Fraunhofer@Subsea

Weitere Informationen finden Sie unter

[www.ikts.fraunhofer.de/de/kommunikation/messen](http://www.ikts.fraunhofer.de/de/kommunikation/messen)

# ANFAHRT ZUM FRAUNHOFER IKTS

JAHRESBERICHT 2019/20



Weitere Informationen und Anfahrtsskizzen  
finden Sie unter

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

## 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 Mügelnstraße
- 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-Reichel-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 (Richtung Flughafen) bis Dresden-Grenzstraße
- Die Grenzstraße ca. 400 m zurückgehen
- Rechts in die Maria-Reiche-Straße abbiegen

### Flugverbindung

- Ab Flughafen Dresden-Klotzsche mit Bus 80 (Richtung Bf. Klotzsche) bis Grenzstraße, dann zurück zur Grenzstraße, dort rechts einbiegen. Nach ca. 150 m mündet rechts die Maria-Reiche-Straße ein
- Oder mit S-Bahn eine Haltestelle bis Dresden-Grenzstraße, und nach etwa 400 m rechts in die Maria-Reiche-Straße einbiegen

## 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

Shutterstock

**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 04/2020