

JAHRESBERICHT
2018
2019



70 JAHRE
FRAUNHOFER
**70 JAHRE
ZUKUNFT**
#WHATSNEXT

JAHRESBERICHT 2018/2019

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

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

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

info@ikts.fraunhofer.de
www.ikts.fraunhofer.de



VORWORT

JAHRESBERICHT 2018/19

Liebe Freunde und Partner des IKTS,

erneut können wir auf ein ereignis- und erfolgreiches Jahr zurückblicken und freuen uns, Ihnen unseren Jahresbericht vorzulegen. Im Berichtsjahr 2018 haben wir erstmalig einen Gesamthaushalt von 60 Mio. Euro knapp überschritten. Im Vergleich zum Vorjahr entspricht das einem Wachstum um ca. 5 Mio. Euro. Bei einem leichten Personalwachstum auf jetzt ca. 700 Mitarbeitende an unseren drei Standorten ist ein Großteil dieser Summe in Investitionen geflossen, die vielen unserer Bereiche in der Struktur- und Funktionskeramik zu Gute gekommen sind. Hervorzuheben sind der weitere Ausbau unserer Pulveraufbereitung, neue Ofentechnologie, Ausrüstung zur Formgebung speziell im Bereich der additiven Fertigung und ein neu ausgestatteter Technikumsbereich zur Entwicklung von Festkörperbatterien. Wir sind damit auch weiterhin bestens gerüstet, der Fraunhofer-Mission nachzukommen und im Auftrag unserer öffentlichen aber insbesondere auch unserer Industriepartner, Herausforderungen im Bereich der angewandten Forschung zu meistern.

Den Ländern Sachsen und Thüringen sowie dem Bund möchten wir für die stetige finanzielle Unterstützung danken. Unser Team aus Wissenschaftlern, Technikern und Laboranten steht Ihnen gerne wieder zur Verfügung, um mit Ihnen Projektideen zu besprechen und diese dann in die Tat umzusetzen. Dem gesamten IKTS-Team möchte ich an dieser Stelle für das herausragende Engagement danken.

Wie bereits im vorigen Bericht erwähnt, haben wir zusammen mit unseren Kollegen vom Fraunhofer IFAM ein Projektzentrum zu EnergieSpeicherSystemen »ZESS« bzw. »ProZESS« in Braunschweig gegründet, das nun auch durch die Kollegen vom Fraunhofer IST verstärkt wird und eng mit der TU Braunschweig zusammenarbeitet. Damit können wir unsere starken Kompetenzen zur Elektrochemie und Speichertechnologie für stationäre und mobile Anwendungen weiter ausbauen. Dem Land Niedersachsen und der Fraunhofer-Gesellschaft danken wir für die Bereitstellung der erheblichen finanziellen Mittel.





Neben unserem Werkstoff-Know-how spielt hier auch unsere Material- und Prozessdiagnostik-Kompetenz eine herausragende Rolle. Wir können damit unsere Industriepartner bei der Konzeption neuer voll digitalisierter Produktionseinrichtungen unterstützen. Insbesondere in Thüringen sind hierzu große weitere Ausbauaktivitäten geplant, die derzeit mit dem Land abgestimmt werden. In diesem Zusammenhang ist auch unsere kürzlich gegründete Forschergruppe »Kognitive Materialdiagnostik« in Cottbus zu nennen. Damit werden die IKTS-Kompetenzen auf dem Gebiet des maschinellen Lernens und der Datenanalyse speziell für Fragen der Materialdiagnostik und zerstörungsfreien Prüfung zielstrebig weiter ausgebaut. Die Forschergruppe arbeitet eng mit dem Forschungscluster »Kognitive Systeme« an der BTU Cottbus-Senftenberg zusammen. In diesem Cluster, das Forschungen an technischen Systemen durchführt, welche die Fähigkeit zum Wahrnehmen, Interpretieren, Denken und Handeln besitzen, arbeiten verschiedene Fachgebiete der Informatik, Mathematik, Elektrotechnik und Medienwissenschaften eng zusammen.

Das Thema »Digitalisierung in der Keramik« gewinnt damit für das IKTS zunehmend an Bedeutung und wird in alle Geschäftsfelder mit einbezogen. Hierbei kommt uns die Integration des IKTS am Standort Dresden-Klotzsche sehr zu Gute. Einen schönen Erfolg haben wir hierbei auch in unserem Geschäftsfeld Umwelttechnologie erzielt, wo wir zusammen mit weiteren Fraunhofer-Partnern ein neues Leitprojekt »Cognitive Agriculture« (Cognac) einwerben konnten. Die Themen Smart Agriculture und Wassertechnologien – zu denen wir ein eigenes Geschäftsfeld etablieren werden – wollen wir weiter stark ausbauen. Beispielsweise haben wir in Portugal bereits ein Fraunhofer-Center zu diesem Themenkomplex gegründet und sind in verschiedene Projekte im Rahmen der Zukunftsinitiative »SIMUL« des sächsischen Umweltministeriums eingebunden.

Weitere Highlights aus unseren Geschäftsfeldern haben wir in diesem Bericht 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 gemeinsame Projekte und sind jederzeit für neue Themen und Anregungen Ihrerseits offen.

Ihr,

Alexander Michaelis

April 2019

INHALT

JAHRESBERICHT 2018/19

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 Ultradünne Transparentkeramik für kratzstabile Display-Cover

25 Extrudierte Bauteile aus dichtem Siliciumcarbid (SiC)

26 Verfahrenshybride: Vorteile von Fertigungsverfahren gezielt nutzen

27 Industriennahe kontinuierliche Schaumkeramikfertigung

28 Tinten und Pasten für Funktionsschichten

Maschinenbau und Fahrzeugtechnik

30 Schallemissionsmessungen an Verbundstrukturen zur Schadensidentifikation

31 Duktile 3D-Keramikarmierungen für neuartige Schutzkonzepte – DuktAr

32 Auslegung, Fertigung und Zuverlässigkeitsbewertung von keramischen Federn

33 Universelle kognitive Benutzerschnittstelle zur Gerätesteuerung

34 Ultraschall-Prüfsystem für zugfeste Pressverbinder an Fahrdrathleitungen

Elektronik und Mikrosysteme

35 Finite-Elemente-Simulation von Chipvergussmassen aus Nano-XCT-Daten

36 Einzelfaserwandler für die 3D-Ultraschall-Computertomographie (USCT)

37 Diodenlaser-Array zur Nachbearbeitung Inkjet-gedruckter Schichten

38 Cold Sintering – Neue Wege zur Herstellung und Integration funktioneller Keramiken

Energie

- 39 Premiere: Weltgrößte NaNiCl₂-Zellen im cerenergy®-Batteriemodul
- 40 Gasdichte Fügung von vollkeramischen Wärmetauschern aus Siliciumcarbid
- 41 Dünnschichtsolarzellen auf technischen Textilien – PhotoTex
- 42 In-situ-Charakterisierung von MCFC-Kathoden mittels Impedanzspektroskopie
- 43 EMBATT – Bipolar-Lithium-Ionen-Batterie für sicheres Fahren mit großer Reichweite

Umwelt- und Verfahrenstechnik

- 44 Weltgrößte Membrananlage zur Erzeugung von Reinst-Sauerstoff
- 45 Effiziente und verschleißfeste Rührer für Biogasanlagen
- 46 Keramik-Metall-Schwebekörper entfernen Medikamentenrückstände aus Abwasser
- 47 Entwässerung überkritischer Gemische mit keramischen Membranen
- 48 CO₂-reduzierte Stahlproduktion durch elektrolysegestützte Direktreduktion

Bio- und Medizintechnik

- 50 Kontaktlose Bestimmung der Biomechanik am Auge mittels numerischer Simulation
- 51 Transluzente Keramiken – hydrothermal stabil und verschleißbeständig
- 52 Titanoxinitrid-Stent-Beschichtungen mit Langzeitbiostabilität
- 53 Untersuchungen zur Anhaftung und Ausbreitung von Zellen auf Siliciumnitrid

Optik

- 54 Optische Kohärenztomographie zur Überwachung des selektiven Laserschmelzens

Material- und Prozessanalyse

- 55 Warmhärtemessung von Hartmetallen für thermisch beanspruchte Werkzeuge
- 56 3D-Gefügeanalyse zur Modellierung des Materialverhaltens von Bauteilen
- 57 TEM – eine vielseitige Methode zur Untersuchung neuer Materialien
- 58 Keramische Bauteiloberflächen besser verstehen
- 59 Schüttgutverhalten – Prozessanalyse und komplexe Charakterisierung

60 Kooperationsausbau in Verbänden, Allianzen und Netzwerken

67 Namen, Daten, Ereignisse

- 68 Veranstaltungen und Messen im Jahr 2019
- 70 Anfahrt zum Fraunhofer IKTS

DAS FRAUNHOFER IKTS IM PROFIL

KURZPORTRÄT

Das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS deckt das Feld der technischen Keramik von der grundlagenorientierten Vorlaufforschung bis zur Anwendung in seiner ganzen Breite ab. Hierzu stehen an den Standorten Dresden-Gruna, Dresden-Klotzsche und Hermsdorf, Thüringen sowie in mehreren Außenstellen hervorragend ausgerüstete Labors und Technika auf mehr als 30 000 m² 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 acht marktorientierten Geschäftsfeldern, um keramische Technologien und Komponenten für Branchen, Produktideen und Märkte in bekannten und neuen Einsatzgebieten zu demonstrieren und zu qualifizieren. Im Blick stehen dabei gesamtgesellschaftliche Herausforderungen im Bereich neuer Mobilitätsformen, innovativer Konzepte für die Energie- und Wassertechnik sowie die Landwirtschaft, für die das Fraunhofer IKTS bewährte und neue Werkstoff-, Technologie- und Systemkonzepte integriert. Einsatz finden diese in Maschinenbau und Fahrzeugtechnik, Elektronik und Mikrosystemen, Energie, Umwelt- und Verfahrenstechnik, Bio- und Medizintechnik sowie der Optik. In den Querschnittsfeldern Werkstoffe und Verfahren sowie der Material- und Prozessanalyse werden etablierte und neue Technologien als

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

Als unikale Kompetenzen können wir hierbei bieten:

Durchgehende Fertigungslinien vom Werkstoff zum Prototypen

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

Multiskalenentwicklung

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



Synergien zwischen Werkstoff, Technologien und Anwendung

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

Kompetente Analytik und Qualitätsbewertung

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

Netzwerkbildner

In den laufenden Projekten ist das Fraunhofer IKTS aktuell mit über 450 nationalen und internationalen Partnern verbunden. Das IKTS ist in zahlreichen regionalen, nationalen und internationalen Allianzen sowie Netzwerken aktiv. So ist das Institut im Fraunhofer-Verbund Werkstoffe und Bauteile – MATERIALS sowie in 12 weiteren Allianzen bestens innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft vernetzt. Als Gründungsmitglied stellt das IKTS weiterhin den Sprecher der Fraunhofer-Allianz AdvanCer, die aus vier besonders auf die Keramik spezialisierten Instituten

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

Standortübergreifendes Management zur nachhaltigen Qualitätssicherung

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

KERNKOMPETENZEN DES FRAUNHOFER IKTS

WERKSTOFFE UND HALBZEUGE

STRUKTURKERAMIK

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

FUNKTIONSKERAMIK

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

UMWELT- UND VERFAHRENSTECHNIK

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

ROHSTOFF-, PROZESSANALYSE UND MATERIALDIAGNOSE, ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFTECHNIK

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

Prozessauslegung, Prozessüberwachung

TECHNOLOGIE

KOMPONENTEN UND SYSTEME

Pulvertechnologie
Formgebung
Wärmebehandlung und Sintern
Finishbearbeitung
Precursortechnologie

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

Dickschicht-technologie

Multilayer
 - HTCC, LTCC

Aerosol- und Inkjet-Printing

Dünnschicht-technologie

Elektrochemische Bearbeitung

Galvanik

Stofftrennung

- Filtration, Pervaporation
- Dämpferpermeation
- 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

Umwelt- und Verfahrenstechnik

Nanoporöse Membranen

Dr. Hannes Richter

- Zeolithmembranen und Nanokomposite
- Kohlenstoffbasierte Membranen
- Membranmuster

Hochtemperaturseparation und Katalyse

Dr. Ralf Kriegel

- Hochtemperaturmembranen und -speicher
- Katalyse und Materialsynthese

Biomassetechnologien und Membranverfahrenstechnik

Dr. Burkhardt Faßauer

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

Chemische Verfahrenstechnik

PD Dr. Matthias Jahn

- Modellierung und Simulation
- Systemverfahrenstechnik

Standorte des Fraunhofer IKTS

Hauptsitz Dresden-Gruna, Sachsen

Standort Dresden-Klotzsche, Sachsen

Standort Hermsdorf, Thüringen

Büro Berlin

Projektgruppe BTU Cottbus-Senftenberg

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

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

- Pulver- und Suspensionscharakterisierung*
 - Labor für Qualität und Zuverlässigkeit*, Mechanisches Labor
 - Chemische und Strukturanalyse
 - Hartmetalle und Cermets
 - ZfP-Zentrum*
- * 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

- Füge- und AVT
- Werkstoffe für gedruckte Systeme
- Keramische Energiewandler
- Hochtemperatur-Elektrochemie und funktionalisierte Oberflächen

Systemintegration und Technologietransfer

Dr. Roland Weidl

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

Bio- und Nanotechnologie

Dr. Jörg Opitz

- Biologische Materialanalytik
- Charakterisierungsverfahren
- Biodegradation und Nanofunktionalisierung

Energiespeicher und Elektrochemie

Dr. Mareike Wolter

- Elektrochemie
- Zellkonzepte
- Elektrodenentwicklung
- Elektrochemische Energiespeicher und Wandler

Hybride Mikrosysteme

Dr. Uwe Partsch

- Dickschichttechnik und 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

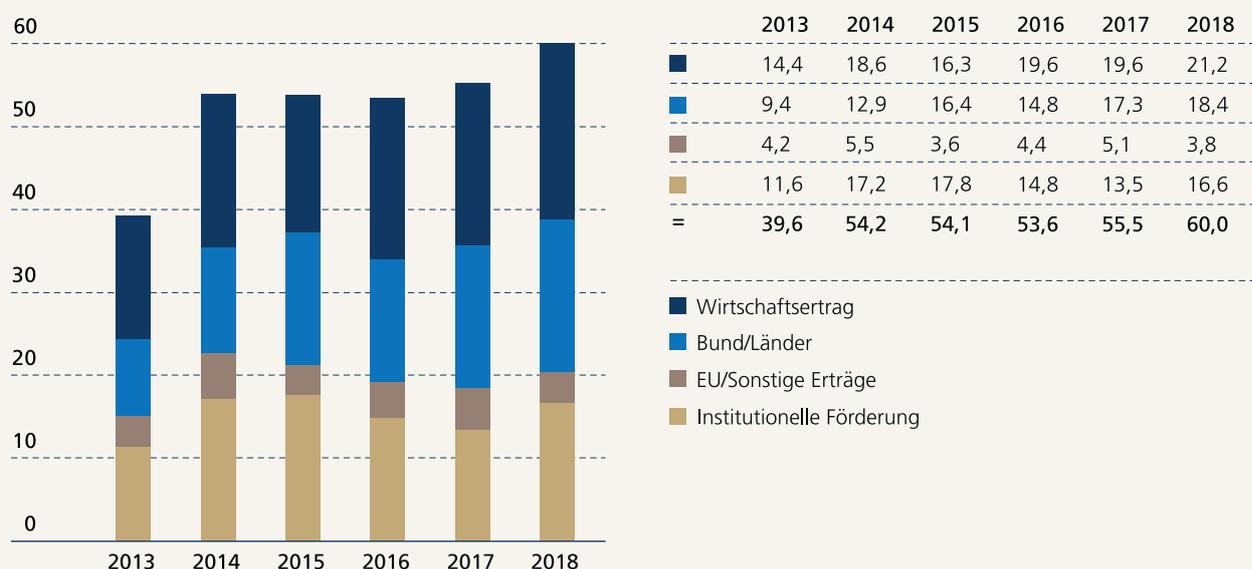
Haushalt und Erträge

Der Gesamthaushalt überstieg mit einem Volumen von über 60 Mio. Euro das Niveau des Vorjahres um fast 5 Mio. Euro. Dabei wurden 5,7 Mio. Euro in die Ausstattung investiert, alleine 3,9 Mio. Euro entfielen auf strategische Investitionen am Standort Dresden-Winterbergstraße. Der Sachaufwand ist dabei nur um 0,2 Mio. Euro auf 19,5 Mio. Euro gestiegen. Durch konsequente Optimierung der Infrastruktur konnten die Energie- und Wasserkosten auf dem Vorjahresniveau gehalten werden. Die Aufwände für Personal stiegen um 3,3 Mio. Euro. Insgesamt wurde der externe Ertrag auf 43,4 Mio. Euro gesteigert, davon 21,2 Mio. Euro direkt von der Industrie. Projekte im Wert von 8,7 Mio. Euro wurden aus dem Ausland beauftragt, davon 2,5 Mio. Euro im Rahmen von EU-geförderten Projekten. Schwerpunkte lagen hier in den USA und der EU mit jeweils fast 25 % sowie in China und Indien.

Erfreulicherweise ist die Finanzierung von Projekten mit Landesförderung im IKTS durch Thüringen und Sachsen um insgesamt 15 % angestiegen. Die Instandsetzungsarbeiten des Gebäudekomplexes Maria-Reiche-Straße wurden begonnen. Schwerpunkt der Gebäudeinvestitionen 2018 waren Brandschutzsanierungen. Hier entstehen 2019 weitere erhebliche Belastungen im Rahmen der Umsetzung des Standortkonzepts. Im Rahmen kleiner Baumaßnahmen auf der Winterbergstraße in Dresden wurden Laborflächen für die Bereiche Struktur- und Funktionskeramik erweitert. Insgesamt sind 2018 an den drei Standorten zusätzlich zum oben genannten Haushalt Baumaßnahmen im Wert von 1 Mio. Euro ausgeführt worden.

Die Vernetzung des IKTS wird erfolgreich weiter betrieben. Mit dem Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme in Braunschweig, der Forschergruppe in Cottbus und der Beteiligung am Fraunhofer-Zentrum in Portugal ist die Basis für einen Ausbau der Verbundprojektaktivitäten gelegt. Notwendige

Entwicklung des Gesamthaushalts des Fraunhofer IKTS (in Millionen Euro) in den Haushaltsjahren 2013 bis 2018





verwaltungstechnische Anpassungen erhöhen allerdings den organisatorischen Aufwand. Eine wachsende Herausforderung sind neue Beschaffungsrichtlinien (UVgO) und die unterschiedliche Kostenrechnung der verschiedenen Fördermittelgeber. Hieraus entstehen Unsicherheiten bei der Bestimmung abrechenbarer Kosten und damit bei der Finanzplanung. Reduzierte Förderquoten für Fraunhofer belasten zusätzlich den Ausbau von strategischen Forschungsthemen.

Personalentwicklung

Insgesamt wurden an den drei Standorten fast 700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beschäftigt. Durch das starke Wachstum im Geschäftsfeld Energie wurden insgesamt fast 30 Vollstellenäquivalente mehr beschäftigt als 2017. Die Anzahl der Doktoranden stieg um weitere vier Personen auf 25. Viele Mitarbeiter wählen inzwischen Teilzeitmodelle, um sich flexibel um Familie oder sonstige Belange kümmern zu können. Zur besseren Ver-

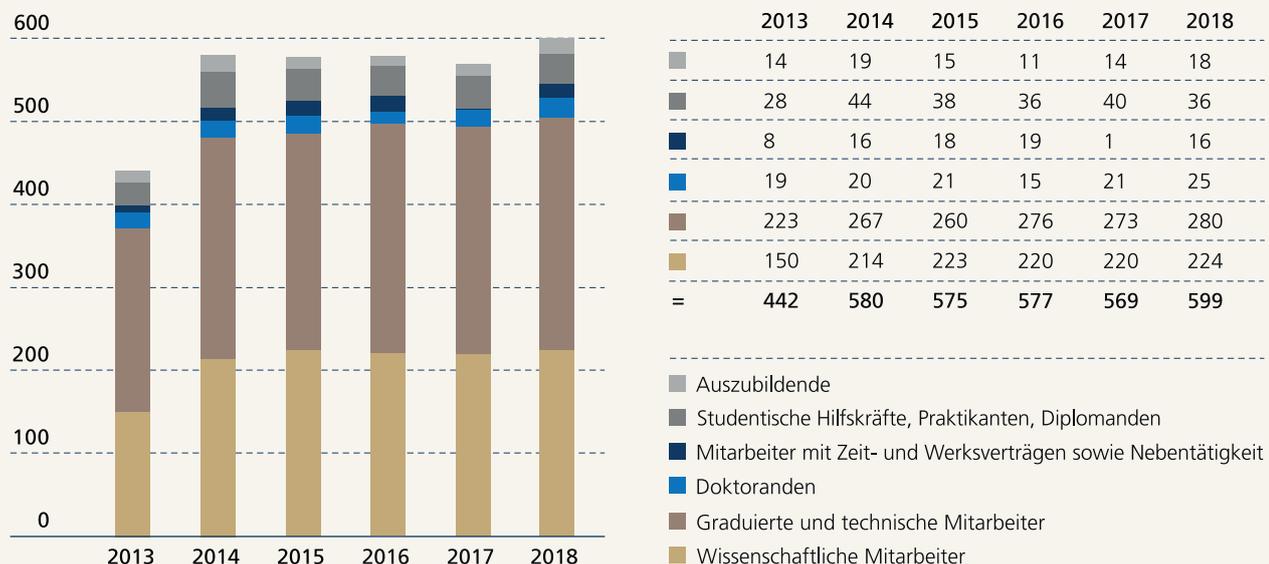
gleichbarkeit werden die verschiedenen Gruppen daher als Vollzeitäquivalente dargestellt. Neben 224 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern waren 2018 280 Personen im technischen Bereich tätig. Der Anteil der weiblichen Beschäftigten lag bei 38 %, im wissenschaftlichen Bereich bei 27 %. Die Gewinnung und Förderung von weiblichen Führungskräften ist ein erklärtes Ziel.

Die Anzahl der Auszubildenden ist mit 18 um vier Stellen gewachsen. Auch die Weiterbildung zum Ausbilder bietet Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern persönliche Entwicklungsmöglichkeiten. Die systematische Planung von Karrieremöglichkeiten

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.

Entwicklung des Personalbestands des Fraunhofer IKTS

Mitarbeiterzahl 2013 bis 2018, Vollstellenäquivalente Personalstruktur zum 31.12. des jeweiligen Jahres



und Beschäftigungszeiten am IKTS wurde 2018 konsequent vorangetrieben. Die Personalentwicklungsplanung geriet nicht nur für die Doktoranden in den Vordergrund. Auch für andere Bereiche wurden die Möglichkeiten für eine Fachkarriere geschaffen. Persönliche Karriereziele wurden gefördert und dabei gleichzeitig eine transparente Personalpolitik verfolgt. Angepasste Vergütungsmöglichkeiten und die Umsetzung von Weiterbildungsmaßnahmen bilden eine wichtige Perspektive für die Mitarbeitergewinnung in den nächsten Jahren.

Das Unterstützungsprogramm für Flüchtlinge wurde erfolgreich genutzt, um auf ein Studium in Deutschland vorzubereiten oder auch um eine Anstellung im Technikerbereich zu ermöglichen. Sehr erfreulich ist die breite Unterstützung in diesem Bereich.

Die Perspektive für 2019 ist insgesamt sehr gut. Für die geplante Personalakquise sind besondere Ressourcen eingeplant.

Erweiterung der Forschungsbasis

Im klassischen Arbeitsfeld des IKTS ist der Bereich der additiven Fertigung strategisch ausgebaut worden. Viele Projekte werden allerdings erst 2019 fertiggestellt. Dabei liegt ein Augenmerk auf neuen Technologien, die sowohl den wirtschaftlichen Aspekt als auch die Mehrkomponentenfähigkeit der Verfahren betrachten. Ergänzt wird die Integration neuer Prüfmethode. Dies ermöglicht weitere Projekte im Bereich der Oxid-, Nichtoxid- und Hartmetallwerkstoffe. Im Rahmen der Landesförderung Thüringen wird am Standort Hermsdorf eine Syntheseanlage für Nanopulver umgesetzt, die neue Möglichkeiten für die Werkstoffentwicklung von der Strukturkeramik bis zur Batterieentwicklung schafft. Mit dem Bau des Pilotierungszentrums Pulversynthese und Extrusion, welcher im April 2019 mit einem feierlichen Spatenstich begonnen wird, werden dafür ideale Rahmenbedingungen am Standort Hermsdorf geschaffen. Die Kapazität der Sintertechnologie wird in Dresden weiter ausgebaut.

Leider verzögern sich laufende Projekte durch die allgemeine hohe Auslastung von Zulieferern. Der Bereich der maritimen Forschung wird weiter ausgebaut. Am Standort Dresden-Klotzsche wird erfolgreich an der Entwicklung neuartiger Sensortechnik zur Überwachung von Windkraftanlagen gearbeitet. Am Standort Dresden-Winterbergstraße werden neue Technologien für die Herstellung von Werkstoffen für die Tiefsee in Verbindung mit den notwendigen Fertigungsverfahren implementiert. In Hermsdorf ist eine Prüfanlage für Außendruckversuche im Aufbau. Zusammen mit den Fraunhofer-Schwesterinstituten wird das Thema ausgebaut. Die für das Jahr 2018 geplanten Aufbauarbeiten in Braunschweig verschieben sich in das Jahr 2019. Die Energie- und Umwelttechnik bleibt ein zentrales Thema.



KURATORIUM

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

Dr. A. Beck

Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, Dresden

Leiterin des Referats 43

»Bund-Länder-Forschungseinrichtungen«

Dipl.-Ing. R. Fetter

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

Dr. habil. M. Gude

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

Dr. P. Heilmann

arXes Information Design Berlin GmbH, Berlin
Geschäftsführer

A. Heller

Landrat des Saale-Holzland-Kreises, Eisenberg

Dr. W. Köck

Plansee SE, Reutte
Geschäftsführender Direktor

A. Krey

Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen mbH, Erfurt
Geschäftsführer

Dr. R. Lenk

CeramTec GmbH, Plochingen
Vice President R&D

Dr. C. Lesniak

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

Dr. H. H. Matthias

TRIDELTA GmbH, Hermsdorf
Geschäftsführer

Dr. R. Metzler

Rauschert GmbH, Pressing
Geschäftsführer

Dipl.-Ing. P. G. Nothnagel

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Dresden
Stabsstelle »Strukturentwicklung«

M. Philipps

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

Dr.-Ing. W. Rossner

Ehem. Siemens AG, Holzkirchen

Dr. K.-H. Stegemann

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

Dr. D. Stenkamp

TÜV Nord AG, Hannover
Mitglied des Vorstands

MR C. Zimmer-Conrad

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Dresden
Leiter des Referats »Industrie«

1 Kuratoriumssitzung 2018 im Fraunhofer IKTS.

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 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2,5 Mrd. Euro. Davon fallen

mehr als 2,1 Mrd. Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 % dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 30 % werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

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



Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

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

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

RETROSPEKTIVE



Das IKTS präsentierte sich auf 29 Messen im In- und Ausland und veranstaltete mehrere wissenschaftliche Kongresse. Die internationale Vernetzung wurde ebenfalls erfolgreich ausgebaut.

17. Januar | 12. Februar | 26. April | 30. Mai 2018
Von Miniforschern, Juniordoktoren und Girls' Day 1

Auch 2018 öffnete das IKTS seine Labore für die Vorschüler der Kita »Pfiffikus« in Dresden-Striesen und interessierte Grundschüler des Juniordoktor-Programms. Die Mini-Forscher beschäftigten sich mit der Zustandsüberwachung von Windrädern und untersuchten verschiedene Materialien mit Ultraschall. Beim Girls' Day in Hermsdorf erhielten Schülerinnen des Holzland-Gymnasiums Einblicke in unsere nicht »typisch weiblichen« Ausbildungsberufe z. B. Stoffprüferin. Im Labor stellten sie selbst Zahnersatz aus Keramik her – von der Rohstoffaufbereitung bis zur Formgebung.

15. Februar 2018, Porto, Portugal
Auftakt für neues Fraunhofer-Zentrum in Portugal

Die portugiesische Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), die Fraunhofer-Gesellschaft und Fraunhofer Portugal beschlossen

in einem Kooperationsvertrag den Aufbau eines Fraunhofer Center for Smart Agriculture and Water Management AWAM – unter aktiver Beteiligung des IKTS.

13.–15. März 2018, Köln
Filtech | Keramische Filtrations- und Trenntechnik

Reine Luft, sauberes Wasser – auf der Filtech präsentierte das IKTS Lösungen, die dies sicher und nachhaltig ermöglichen: Membranen aus Siliciumcarbid (SiC) sind bei der Aufbereitung von »produced water« aus der Öl- und Gasförderung deutlich effizienter als konventionelle Membranfilter. Da die Herstellungskosten unter 170 €/m² liegen, sind die robusten SiC-Filter auch für Massenanwendungen, wie der Kreislaufschließung von Grau- zu Trinkwasser, eine attraktive Lösung.

10.–13. April 2018, München 2
Ceramitec | Technische Keramik für extreme Bedingungen

Mit den am IKTS entwickelten keramischen Technologien können extrem robuste Komponenten für hochbeanspruchte Umgebungen kosteneffizient gefertigt werden: Auf der weltweiten



RETROSPEKTIVE

Leitmesse des Keramik- und Pulvermetallurgiesektors zeigte das IKTS u. a. gegossene Düsen und Lager aus SiC-gebundenen Diamantwerkstoffen, die im Einsatz eine Wartungsfreiheit von über 30 Jahren ermöglichen. Auf der Sonderschau »Additive Fertigung« stellten wir Keramikerstellern und Anlagenentwicklern unser Dienstleistungsportfolio vor.

24.–27. April 2018, Stuttgart

Control | Zerstörungsfreie Mess- und Prüftechnik

Auf der Weltleitmesse für Qualitätssicherung präsentierte das IKTS u. a. die PCUS® pro-Gerätefamilie. Die Ultraschallsysteme werden kundenspezifisch für die automatisierte und bei Bedarf robotergestützte Werkstoffprüfung in der Metallverarbeitung sowie im Bahn- und Automobilbau, der Kraftwerks- oder auch Windkrafttechnik entwickelt.

5.–7. Juni 2018, Stuttgart

Surface Technology | Vom Beschichtungswerkstoff bis zur Oberflächenprüfung

Erstmals präsentierte das IKTS sein Portfolio auf der internationalen Leitmesse für Oberflächentechnik. Einen Schwerpunkt bildeten Partikelsuspensionen für das thermische Spritzen, mit denen sich ohne Nachbearbeitung extrem dünne, glatte Schichten auf großflächigen Metall- und Leichtbauteilen realisieren lassen. Die Besucher erhielten zudem Einblicke in zerstörungsfreie Prüfmethode, die eine hohe Oberflächengüte während des Beschichtungsprozesses sichern.

11.–15. Juni 2018, Frankfurt am Main

ACHEMA | Grüne Chemie dank keramischer Elektrolyse

Die Energiewende ermöglicht es, Strom deutlich CO₂-ärmer zu erzeugen. Mit Hilfe elektrochemischer Verfahren lassen sich aus regenerativ erzeugtem Strom Basischemikalien synthetisieren. Herzstück dieser Verfahren sind hochtemperaturstabile keramische Festoxidbrennstoffzellen, entwickelt am IKTS Dresden.

Sie produzieren längst nicht mehr nur Strom und Wärme, sondern auch Wasserstoff und Synthesegas für die Industrie.

18.–22. Juni 2018, Dresden

International Conference on Inorganic Membranes 1

Neuheiten aus der Membranentwicklung, -technologie und -anwendung standen im Fokus der 15. International Conference on Inorganic Membranes (ICIM) in Dresden, die auf Einladung des Fraunhofer IKTS und des Forschungszentrums Jülich erstmals in Europa stattfand. 300 internationale Experten aus 29 Ländern informierten sich in 160 Vorträgen sowie auf der Industrie- und Posterausstellung über Forschungstrends und neue Produkte. Der Laborworkshop am IKTS Hermsdorf ermöglichte den Besuchern zudem Einblicke in die Membranherstellung, -prüfung und -anwendung.

4. Juli 2018

Max-Buchner-Stipendium für IKTS-Nachwuchsforscher

IKTS-Forscher Dr. Adrian Simon erhielt als einer von 15 deutschen Nachwuchswissenschaftlern ein Max-Buchner-Stipendium in Höhe von 10 000 Euro. Die DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V. zeichnet damit jedes Jahr Forschungsarbeiten der Verfahrenstechnik, Biotechnologie oder Chemie aus, in denen neue Methodiken erarbeitet werden. Simon entwickelt ein Verfahren zur Herstellung ultradünner hochselektiver Palladiummembranen zur Wasserstoffabtrennung. Diese Membranen eignen sich ebenso zur Produktaufbereitung bei Power-to-X-Prozessen sowie zur Reaktion bei der Herstellung von Feinchemikalien mit hoher Reinheit.

6. Juli 2018, Hermsdorf

Wirtschaftsminister Tiefensee besucht IKTS 2

Auf seiner Sommertour durch das »digitale Thüringen« besuchte Wolfgang Tiefensee, Thüringer Minister für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft, das IKTS Hermsdorf. Bei einem



3



4



5

© David Ausserhofer

RETROSPEKTIVE

Technikumsrundgang informierte sich Tiefensee über die Herstellung keramischer Folien. Sie sind das Basismaterial für Sensoren, die im Rahmen von »Industrie 4.0« Daten über Produktionsprozess und Qualitätsparameter liefern. Neben der Folientechnologie werden am Standort auch keramische Batteriekomponenten entwickelt, in denen derartige Sensoren integriert werden. Bei seinem Besuch sprach der Minister auch mit Vertretern der Standortinitiative TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V.

12. September 2018, Dresden

Early Morning Science mit Fraunhofer | Pressefrühstück

Bereits zum 5. Mal stellten Dresdens Fraunhofer-Wissenschaftler beim »Early Morning Science mit Fraunhofer« eine große Bandbreite anwendungsorientierter Forschung vor: von Filtersystemen für das Aquafarming, gelaserten und somit reibungsarmen Oberflächen für die Automobilindustrie, von umweltfreundlicher Aluminiumherstellung bis hin zu intelligenten Datenbrillen. Journalisten vor Ort – und zugeschaltet per Livestream – nutzten die Gelegenheit für individuelle Interviews. Weitere Presseveranstaltungen sind für 2019 geplant.

24. September 2018, Dresden

3

Zukunftsvision ZfP | Verabschiedung von Prof. Meyendorf

Die Potenziale der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) im Zeitalter von Industrie 4.0 waren das zentrale Thema des Symposiums, das am IKTS in Dresden-Klotzsche stattfand. Das Symposium fand als Ehrenkolloquium für Prof. Norbert Meyendorf statt, der sich zum 1. Oktober 2018 in den »Unruhestand« verabschiedete. Von 2004 bis Ende 2013 leitete er den Dresdner Institutsteil des Fraunhofer IZFP, der seit 2014 zum IKTS gehört.

4. Oktober 2018, London, England

Tag der Deutschen Einheit

4

Anlässlich des Tags der Deutschen Einheit luden der sächsische Ministerpräsident Michael Kretschmer und der deutsche Bot-

schafter in London Dr. Peter Wittig zahlreiche Gäste aus Politik, Kultur, Wirtschaft und Forschung zu einem Empfang in das Botschaftsgebäude ein. Der Freistaat Sachsen präsentierte sich mit einer großen Ausstellung, um für sächsische Ideen, Initiativen und Vorhaben zu werben. Die sächsischen Fraunhofer-Institute stellten bei einer vielbeachteten Präsentation gemeinsam mit den sächsischen Hochschulen neueste Forschungsaktivitäten vor.

8.–12. Oktober 2018, Berlin

Fraunhofer-Erlebniswelt #Zukunftsarbeit

5

In der Fraunhofer-Erlebniswelt #Zukunftsarbeit, einer interaktiven Ausstellung, inszenierte die Fraunhofer-Gesellschaft in Berlin Arbeitswelten der Zukunft. Auf acht spannenden Themeninseln konnten die Besucher visionäre Arbeitsszenarien in den Bereichen Produktion und Gesundheit hautnah erleben. Große Aufmerksamkeit erfuhr die Leap Motion-Anwendung zur Demonstration des 3D-Drucks personalisierter keramischer Knochenimplantate des IKTS. Parallel dazu bot sich den Besuchern die Möglichkeit, in einer Veranstaltungsreihe mit Experten zum Thema zu diskutieren.

14.–18. Oktober 2018, Bilbao, Spanien

EuroPM | Härtere Werkzeuge aus dem 3D-Drucker

Die »Fused Filament Fabrication« ist ein additives Fertigungsverfahren, bei dem komplexe 3D-Komponenten aus einem schmelzfähigen Filament aufgebaut werden. Die Filamente entwickeln wir anwendungsspezifisch aus keramischen oder hartmetallischen Pulvern und organischen Bindern für den Einsatz in Standarddruckern. In Vorträgen und einer Ausstellung stellte das IKTS auf der EuroPM erstmals extrem harte Bauteile mit bis zu 1700 HV10 vor, die additiv gedruckt werden können.



1



2



3

RETROSPEKTIVE

22. Oktober 2018, Hermsdorf

Ministerpräsident Bodo Ramelow am IKTS

1

Thüringens Ministerpräsident Bodo Ramelow informierte sich bei einem Arbeitsbesuch am IKTS Hermsdorf über aktuelle Projekte im Bereich Batterieentwicklung und Wasserstoffherzeugung. Prof. Ingolf Voigt sowie Prof. Michael Stelter präsentierten das breite Forschungsspektrum des IKTS bei einem ausgiebigen Laborrundgang u. a. durch das europaweit modernste Zentrum für Foliengießtechnik. Besonders interessierte Ramelow dabei, welchen vielseitigen Beitrag Hochleistungskeramik zur Herstellung verschiedener Batterietypen leisten kann.

23.–24. Oktober 2018, Dresden

Siliciumnitrid – ein Werkstoff für Höchstleistungen

Siliciumnitrid-Werkstoffe erfüllen höchste Zuverlässigkeitsanforderungen selbst unter extremen Einsatzbedingungen – sei es als Schneidstoff, Hochtemperatur-Bauteil, Isolator in der Mikroelektronik, Medizinprodukt oder Maschinenkomponente. Beim Industrietag informierten sich rund 50 Forscher und Industrievertreter über aktuelle Entwicklungen und Anwendungspotenziale von Siliciumnitrid-Werkstoffen. Im Fokus standen neuartige Fertigungsverfahren sowie Fragen der Bauteilzuverlässigkeit, Hochtemperatur- bzw. Korrosionsbeständigkeit, mechanische und tribologische Eigenschaften, die Optimierung der Wärmeleitfähigkeit sowie elektrisch leitfähige Kompositwerkstoffe. Sieben Firmen präsentierten ihre Produkte in der begleitenden Ausstellung.

24.–26. Oktober 2018, Dresden

10. International Symposium on NDT in Aerospace

Das IKTS lud erstmals als Gastgeber der internationalen Tagungsreihe mehr als 140 Teilnehmer nach Dresden ein, um aktuelle Fragen rund um die zerstörungsfreie Prüfung für die Luft- und Raumfahrt zu diskutieren. Themenschwerpunkte waren »Big Data«, »Simulation«, »Robotik« und »Additive Fertigung«. Neben Plenarvorträgen und Workshop-Sessions stellte die be-

gleitende Ausstellung ein Highlight der Veranstaltung dar. Den Abschluss bildete traditionell die Besichtigung themenbezogener Unternehmen in der Region: die Elbe Flugzeugwerke GmbH, IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH sowie die Aircraft Maintenance and Engineering Service GmbH (AMTES) in Leipzig. Das 11. International Symposium on NDT in Aerospace wird 2019 in Frankreich stattfinden.

14. November 2018, Dresden

Prof. Michaelis in den Energiebeirat Sachsen berufen

2

Sachsens Wirtschaftsminister Martin Dulig hat Prof. Alexander Michaelis für weitere drei Jahre in den Energiebeirat Sachsen berufen. Der Energiebeirat ist ein informelles Expertengremium, dessen ehrenamtliche Tätigkeit der aktuell 22 Mitglieder darauf gerichtet ist, die Sächsische Staatsregierung in Fragen der Energiepolitik zu beraten und Empfehlungen auszusprechen.

14. November 2018, Dresden

CIO-Campus | Neue Technologien zur Wasserreinigung

Clean Technologies bieten Chancen und die Etablierung neuer Geschäftsfelder für Wasserreinigung und Wasserwirtschaft. Am 14. November lud die CLEANTECH Initiative Ostdeutschland (CIO) mitteldeutsche Experten aus KMUs und Wissenschaft ins Fraunhofer IKTS Dresden ein, um sich beim CIO-Campus über nachhaltige Lösungen für die moderne Wasserwirtschaft auszutauschen. Im Fokus standen Fragen zur Energieeffizienz, Trinkwasseraufbereitung, Abwasser als Energiequelle und die vierte Reinigungsstufe. Im Rahmen der Veranstaltung nahm auch der neu gegründete CIO-Arbeitskreis Wasserwirtschaft seine Arbeit auf. Das Fraunhofer IKTS ist hier ein Gründungsmitglied.

29.–30. November 2018, Dresden

Hybrid materials and additive manufacturing processes

Rund 50 Experten aus ganz Europa kamen auf Einladung der Fraunhofer-Institute IKTS und IWS im November nach Dresden,



um sich über neuartige additive Verfahren zur Herstellung metallischer, keramischer sowie materialhybrider Bauteile zu informieren. In praxisnahen Laborworkshops wurden verschiedene Fertigungsmaschinen im Betrieb demonstriert. Mit den neuen Verfahren können höchstkomplexe Geometrien hergestellt, aber auch verschiedene Materialien und Funktionseigenschaften (leitfähig/isolierend, dicht/porös etc.) in einem Bauteil vereint werden. Darüber hinaus lassen sich seriell produzierte Bauteile schnell und preisgünstig funktionalisieren (Sensoren, Heizgeräte) oder individualisieren (Beschriftungen).

5. Dezember 2018, Jena

Ingolf Voigt erhält Honorarprofessur der EAH Jena 3

Dr. Ingolf Voigt wurde am 5. Dezember von Rektor Prof. Steffen Teichert zum Honorarprofessor der Ernst-Abbe-Hochschule Jena ernannt. Mit der Honorarprofessur wurde Voigts langjährige Lehrtätigkeit an der Hochschule gewürdigt. Seit 2010 hält er die Vorlesung »Keramiktechnologie« für Masterstudierende der Werkstofftechnik im Fachbereich SciTec. Als Standortleiter des IKTS Hermsdorf hat er zahlreiche Studierende für Qualifikationsarbeiten betreut. Darüber hinaus engagiert sich Voigt im Hochschulrat der EAH Jena. Zwischen der Jenaer Hochschule und dem IKTS besteht seit vielen Jahren eine enge Kooperation – auch bei der Nachwuchsförderung und -gewinnung.

11. Dezember 2018, München

IKTS-Azubi gehört zu Fraunhofers Besten

IKTS-Physiklaborant Robin Anton gehört zu den acht besten Fraunhofer-Auszubildenden 2018. Er schloss seine Ausbildung mit der Note »sehr gut« ab. Die »Ehrung der Besten« durch Fraunhofer-Personalvorstand Prof. Alexander Kurz fand am 11. Dezember in der Fraunhofer-Zentrale in München statt.

3. Januar 2019, Cottbus

Neue IKTS-Gruppe »Kognitive Materialdiagnostik« 4

Gleich zu Beginn des Jahres überreichte Brandenburgs Wissenschaftsministerin Dr. Martina Münch in Cottbus den Zuwendungsbescheid für die neue IKTS-Projektgruppe »Kognitive Materialdiagnostik« an Dr. Christian Wunderlich. Die Fraunhofer-Projektgruppe entwickelt neuartige selbstlernende und intelligente Systeme zur Materialdiagnostik auf Basis künstlicher Intelligenz und maschinellen Lernens. Dafür werden das Know-how des IKTS zur zerstörungsfreien Prüfung und die Expertise der Brandenburgischen Technischen Universität zur künstlichen Intelligenz gebündelt. Das Land Brandenburg unterstützt das Projekt mit 2,6 Millionen Euro, die Laufzeit beträgt fünf Jahre. Die Fraunhofer-Gesellschaft beteiligt sich an dem Projekt mit 1 Million Euro.

7. Februar 2019, Braunschweig

Fraunhofer-Projektzentrum ZESS in Braunschweig eröffnet 5

Im Beisein des Niedersächsischen Ministerpräsidenten Stephan Weil und des Oberbürgermeisters der Stadt Braunschweig Ulrich Markurth fiel am 7. Februar im Niedersächsischen Forschungszentrum für Fahrzeugtechnik der Startschuss für das Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS. Im Anschluss fand ein per Livestream übertragenes Pressegespräch statt, wo den Journalisten das Vorhaben ZESS sowie ausgewählte Demonstratoren vorgestellt wurden. Beteiligte Partner sind die Fraunhofer-Institute IKTS, IFAM sowie IST in enger Kooperation mit der Technischen Universität Braunschweig. Ziel des Projektzentrums ist es, mobile und stationäre Energiespeichersysteme zur industriellen Reife zu führen und zukunftsfähige Lösungen mit Fokus auf die Technologiereifegrade vier bis sechs zu demonstrieren.

AUS DEN GESCHÄFTSFELDERN DES FRAUNHOFER IKTS

Werkstoffe und Verfahren



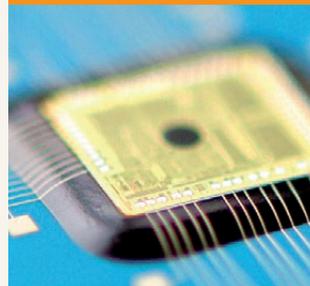
Das Geschäftsfeld ist ein zentraler Anlaufpunkt für alle Fragen rund um die Entwicklung, Herstellung und Qualifizierung von Hochleistungskeramiken für eine große Breite von Anwendungen. Im Mittelpunkt steht dabei die langjährige Erfahrung mit allen relevanten keramischen Werkstoffen und Technologien,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

Maschinenbau und Fahrzeugtechnik



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

Elektronik und Mikrosysteme



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

Energie



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

Umwelt- und Verfahrenstechnik



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

Bio- und Medizintechnik



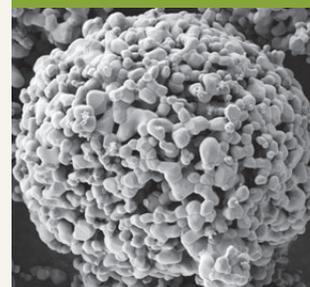
■ Das Fraunhofer IKTS macht sich die hervorragenden Eigenschaften keramischer Werkstoffe für die Entwicklung dental- und endoprothetischer Implantate sowie chirurgischer Instrumente zu Nutze. In bestens ausgestatteten und zertifizierten Laboren werden die Wechselwirkungen zwischen biologischen und künstlichen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

Optik

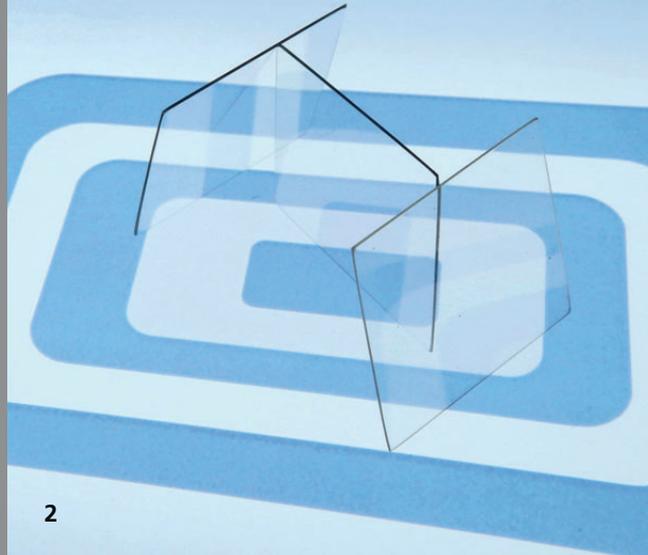


■ Das Fraunhofer IKTS entwickelt keramische Werkstoffe und Komponenten für Photonik, Beleuchtungsanwendungen und ballistischen Schutz. Dabei greifen Phasensynthese, Werkstoff- und Technologiekompetenz eng ineinander, um innovative Leuchtstoffe, aktive Optokeramiken, optische oder ästhetische Elemente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

Material- und Prozessanalyse



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



ULTRADÜNNE TRANSPARENTKERAMIK FÜR KRATZSTABILE DISPLAY-COVER

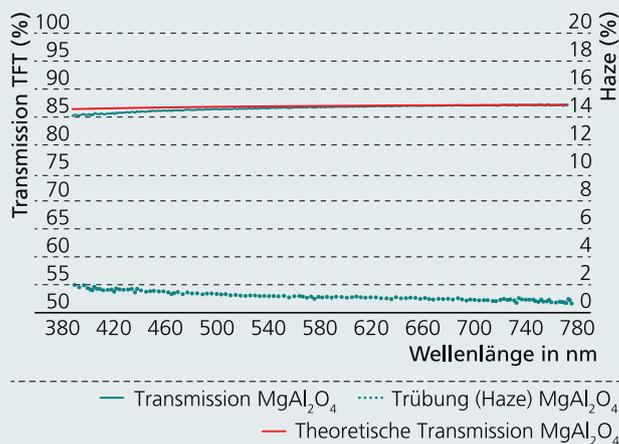
Dipl.-Ing. Thomas Hutzler, Dr. Stefanie Hildebrandt, PD Dr. Lutz-Michael Berger

Moderne Kommunikationstechnik kommt heute – ob für industrielle Anwendungen, Applikationen der Medizin- und Haushaltstechnik oder den Freizeitbereich – nicht mehr ohne elektronische Anzeige- und Schaltelemente aus. Bauteilintegrierte Displays mit Touch-Funktionalitäten sind dabei nicht nur unter harschen Industriebedingungen, sondern auch im täglichen Gebrauch großen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt. Geeignete Cover-Materialien müssen daher nicht nur besonders dünn sein, sondern auch hohe optische Transparenz, Kratzfestigkeit und mechanische Stabilität vereinen. Transparente Spinellkeramik erfüllt diese Anforderungen in hervorragender Weise. In der industriellen Fertigung ist die Herstellung planarer Bauteile aus transparenter Spinellkeramik mit Dicken über 2 mm mittels Presstechnologie bereits etabliert. Größere, noch dünnere Platten mit Dicken nahe dem gewünschten Endmaß und sehr guter Formhaltigkeit sowie Ebenheit konnten bisher nur mit einer aufwendigen und langwierigen Hartbearbeitung nach dem Sinterprozess hergestellt werden.

Im Rahmen des Fraunhofer-internen Forschungsprojekts MAVO CeGlaFlex wurden im Fraunhofer IKTS die technologischen Schritte zur Pulveraufbereitung, Formgebung und Sinterung so weiterentwickelt, dass es nunmehr möglich wird, bereits während des Umformprozesses mittels uniaxialen Pressen und kaltisostatischer Nachverdichtung ebene planare Grünkörper mit Kantenlängen bis zu 160 mm und Dicken ≤ 1 mm zu erzeugen. Über einen mehrstufigen Sinterprozess entstehen dann hochdichte, transparente Bauteile mit ca. 110 mm Kantenlänge und Dicken zwischen 0,5 und 0,8 mm. Um Platten dieser Art mit Dicken nahe dem Endmaß (0,1–0,4 mm) z. B. als Cover für Smartphones nutzen zu können, ist dann nur noch ein geringer

Arbeitsaufwand zur Oberflächenbearbeitung erforderlich: Nach beidseitigem Schleifen, Läppen bzw. Polieren zeigen die Bauteile eine sehr hohe optische Transmission nahe am theoretischen Limit und eine sehr geringe Trübung (Haze) unter 2 % (Diagramm).

Optische Transmission und Trübung (Haze) einer großformatigen Spinellkeramikplatte (Dicke: 0,4 mm)

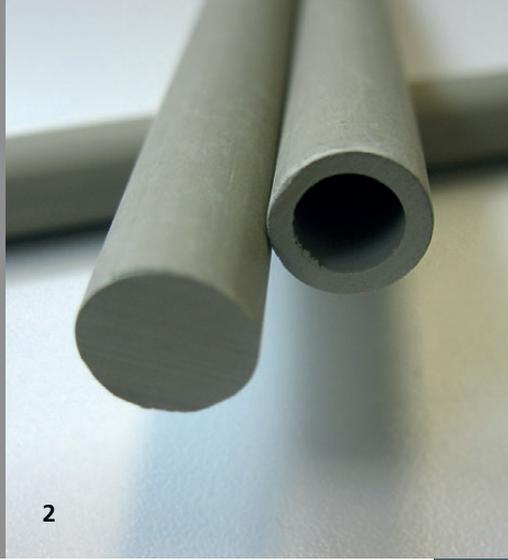


Infolge der sehr feinkörnigen defektarmen Mikrostruktur weist die transparente Spinellkeramik mit einer Härte von HV10 = 14,5 GPa eine extrem hohe Kratzbeständigkeit und mit einer Biegefestigkeit von ca. 280 MPa eine ausreichend hohe mechanische Stabilität für den Einsatz in Display-Covern auf.

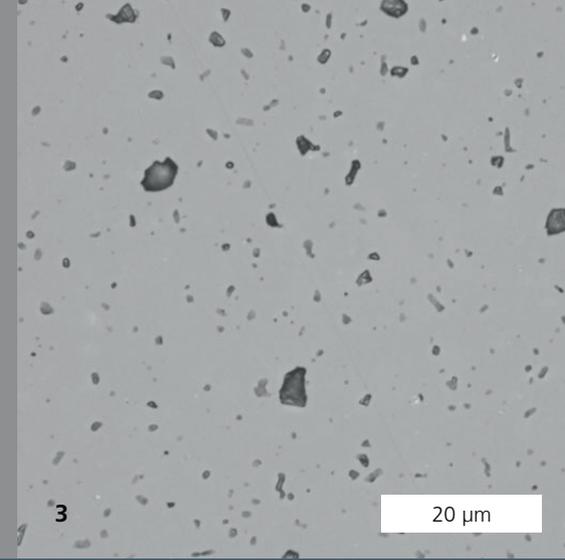
- 1 Platte aus transparenter Spinellkeramik mit 0,8 mm Dicke.
- 2 Platten aus transparenter Spinellkeramik mit 0,4 mm Dicke.



1



2



3

20 μm

EXTRUDIERTER BAUTEILE AUS DICHTEM SILICIUMCARBID (SSiC)

Dr. Alexander Füssel, Dr. Hans-Jürgen Richter, Dipl.-Ing. (FH) Kim Mazitschek, Dipl.-Krist. Jörg Adler

Drucklos gesintertes Siliciumcarbid (SSiC) kann Sinterdichten von bis zu 98 % aufweisen und ist durch seinen einphasigen Aufbau und seine Reinheit anderen klassischen SiC-Werkstoffen, wie RSiC, SiSiC, LPS-SiC und NSiC hinsichtlich des Hochtemperaturverhaltens und der Korrosionsstabilität deutlich überlegen.

Bisher erfolgt die Formgebung von SSiC-Bauteilen überwiegend mittels uniaxialer oder isostatischer Pressen, was Einschränkungen in der Geometrie mit sich bringt. Lange und filigrane Profile mit konstantem Querschnitt, wie Stangen, Rohre und Waben können nur über Extrusion in Form gebracht werden. Das war bisher für SSiC nicht oder nur mit deutlichen Qualitätseinbußen bzgl. Dichte und Festigkeit möglich. Die Ursache liegt in der anspruchsvollen Verarbeitung der keramischen Extrusionsmassen. Diese müssen feine Submikronpulver in Kombination mit relativ hohen Anteilen an Binde- und Prozesshilfsmitteln enthalten. Daraus resultieren vergleichsweise geringe Gründichten im extrudierten Bauteil. Die für das drucklose Sintern erforderlichen Additive Bor und Kohlenstoff müssen zudem sehr genau dosiert und in der Extrusionsmasse homogen verteilt sein. Mit gängigen Additiven wie Ruß oder Harz ist dies nur eingeschränkt möglich, da beide die Dispergierung und letztlich die Formgebung erschweren. Sehr anspruchsvoll sind neben der rissfreien Trocknung auch die Pyrolyse und Sinterung. Dabei gilt es vor allem die lineare Sinterschwindung von bis zu 20 % nicht zu behindern und dadurch einen Verzug oder gar die Bildung von Defekten zu riskieren.

Am Fraunhofer IKTS wurde im Rahmen einer Machbarkeitsstudie eine kaltplastische Masse für die SSiC-Herstellung entwickelt, mit der sich unterschiedliche Geometrien, wie Stangen, Rohre

und Waben extrudieren lassen. Die Wahl der SiC-Partikelgröße und der eingesetzten Additive zielt dabei auf eine gute Verarbeitbarkeit mit geringem Werkzeugverschleiß und eine möglichst hohe Gründichte ab. Die Anpassung des organischen Bindersystems ermöglicht nach der Pyrolyse eine ausreichend hohe Konzentration fein verteilten Kohlenstoffs im Bauteil.

Im Ergebnis dieser Arbeiten ist es gelungen, homogene Testkörper zu extrudieren und mittels drucklosem Sintern bis zu 96 % der theoretischen Dichte zu erreichen – bei einer linearen Schwindung von bis zu 17 %. Zusätzliche Anpassungen hinsichtlich der Zusammensetzung der kaltplastischen Masse und der Prozessparameter können zu einer weiteren Verdichtung des Gefüges führen.

Leistungsangebot

- Entwicklung und Optimierung kaltplastischer Massen zur Herstellung von SSiC-Extrudaten
- Anwendungsangepasste Konstruktion und Entwicklung extrudierbarer SSiC-Bauteile

1 Extrusion der kaltplastischen Masse.

2 Gesinterte SSiC-Bauteile.

3 Gefüge eines extrudierten SSiC-Rohrs.



VERFAHRENSHYBRIDE: VORTEILE VON FERTIGUNGSVERFAHREN GEZIELT NUTZEN

Dipl.-Ing. Steven Weingarten, Dipl.-Ing. Johannes Abel, Dipl.-Ing. Uwe Scheithauer, Dipl.-Ing. Eric Schwarzer, Dipl.-Ing. Axel Müller-Köhn, Dr. Matthias Ahlhelm, Dr. Tassilo Moritz

Kaum eine Technologie ist in den letzten Jahren so schnell gewachsen wie die Additive Fertigung. Das Fraunhofer IKTS entwickelt und adaptiert additive Verfahren für den 3D-Druck keramischer Materialien. Der aktuelle Entwicklungsfokus liegt dabei auf der Herstellung funktionalisierter Bauteile. Unter anderem wurden die thermoplastischen 3D-Druckverfahren CerAM-FFF (Fused Filament Fabrication) und CerAM-T3DP (Thermoplastischer 3D-Druck) entwickelt. Damit können nicht nur hochkomplexe Geometrien mit variierenden Strukturmerkmalen realisiert, sondern auch mehrere aufeinander abgestimmte Materialien innerhalb einer Schicht verdruckt werden. Der Werkstoff wird dabei nur an der benötigten Stelle abgeschieden. Dadurch sind die Verfahren sehr materialsparend und werkzeugfrei einsetzbar. Je nach Kundenwunsch werden Materialsysteme auch für den Mehrkomponenten-Druck entwickelt und charakterisiert. Durch Kombination additiver Verfahren mit konventionellen, in der Industrie etablierten Fertigungsverfahren, werden die Vorteile der einzelnen Techniken besser genutzt. Hierdurch sind neuartige funktionalisierte oder individualisierte Bauteile und Bauteilserien kostengünstig herstellbar.

Im Rahmen der Projekte CerAMufacturing (EU, GA678503) und Addimat (ZIM, ZF 4076417EB6) wurden konventionell über Keramikhochdruck- bzw. -niederdruckspritzguss (HP-CIM und LP-CIM) gefertigte Bauteile mithilfe von CerAM-FFF und CerAM-T3DP nachträglich individualisiert (Bild 1). Dafür wurde der spritzgegossene Grünkörper um eine individuelle Struktur additiv ergänzt. Das hybride Bauteil wurde anschließend entbindert und gesintert. Die Prototypen zeigen, dass es möglich ist, seriell mittels Spritzguss gefertigte Grundkörper nachträglich mit einem funktionalisierten Werkstoff zu modifizieren oder

individuell zu kennzeichnen. Durch Kombination unterschiedlicher Fertigungstechnologien lassen sich z. B. elektrisch leitfähige und isolierende Eigenschaften (Bild 2 – CerAM-VPP | Aerosol-druck) in einem Bauteil kostengünstig und schnell realisieren. Zudem können dicht/poröse Hybridstrukturen als potenzielle Knochenersatzmaterialien (Bild 3 – CerAM-VPP | Gefrierschäumen) hergestellt werden. Um derart komplexe, hochstrukturierte, kleine Keramikbauteile mit sehr guten Oberflächeneigenschaften zu erzeugen, eignet sich das additive CerAM VPP-Verfahren (VAT-Photopolymerisation). Dieses basiert auf der Aushärtung lichtempfindlicher Suspensionen durch selektive Bestrahlung mit Licht. Das Projekt wurde aus Mitteln des Forschungs- und Innovationsprogramms der Europäischen Union »Horizon 2020« gefördert (Förderkennzeichen: 678503).

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Suspensions-, Filament- und Feedstockentwicklung für Multimaterialanwendungen
- Technologieentwicklung und -transfer auf Basis additiver Herstellungsverfahren oder Verfahrenshybride

- 1 Mittels LP-CIM hergestellte Grundplatte, die mit CerAM VPP individualisiert wurde.
- 2 Additiv hergestellter Durchflusssensor, der mittels Aerosol-druck funktionalisiert wurde.
- 3 Künstliches Knochenimplantat; mittels CerAM VPP und Gefrierschäumen hergestellt.





INDUSTRIENAHE KONTINUIERLICHE SCHAUMKERAMIKFERTIGUNG

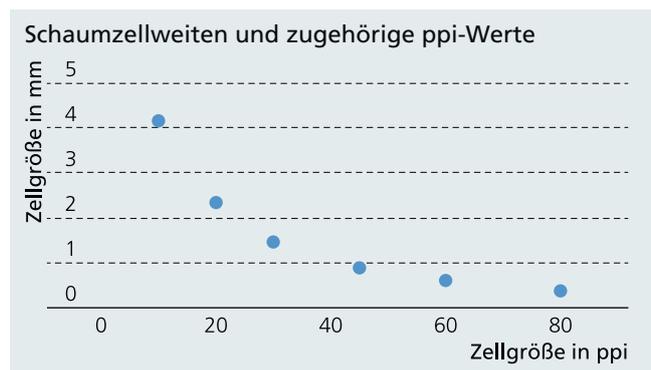
Dipl.-Ing. Gisela Standke, Dr. Alexander Füssel, Dipl.-Krist. Jörg Adler

Keramische Schäume werden industriell über die Schwarzwald-Replikatechnik meist auf kontinuierlichen Walzanlagen produziert. Eine Erprobung veränderter oder neu entwickelter Rezepturen keramischer Suspensionen ist im laufenden Betrieb aufgrund des Aufwands (Produktionsstopp, Reinigung, Umstellung, Ausschuss) nur sehr schwer möglich. Im Labor optimierte Suspensionen und Verfahrensparameter lassen sich jedoch nur bedingt auf die industriellen Produktionsbedingungen in Walzanlagen übertragen. Um diese Lücke zu schließen, wurde am Fraunhofer IKTS eine kontinuierlich arbeitende Beschichtungsanlage entwickelt, die sich hervorragend zur Überführung entwickelter Rezepturen und Ableitung von Anlagenparametern in den Produktionsmaßstab eignet. Sie besteht aus drei, flexibel kombinierbaren Modulen:

- **Imprägniermodul** zum Einpressen der Suspension in die Schaumstruktur über Rollen mit strukturierten oder speziell präparierten Oberflächen
- **Homogenisiermodul** zum Auspressen überschüssigen Materials und Einstellen geschlossener oder offener Seitenwände
- **Sprühmodul** zum Verstärken der äußeren Schaumoberfläche durch Aufspritzen von Suspension auf beschichtete Grünkörper oder zum Aufbringen von Funktionsschichten nach dem Sintern

Die Schaumbeschichtungsanlage im Technikumsmaßstab ist so dimensioniert, dass Bauteile im Querschnitt bis 200 x 200 mm² in variabler Höhe verarbeitet werden können. Besonders hervorzuheben ist die große Effektivität der Anlage, bei der dimensionsabhängig in der Stunde bis zu 60 Bauteile gefertigt werden können. Die dafür benötigten Suspensionsmengen können dank der ausgezeichneten Infrastruktur an Intensivmischern in hoher Mischgüte und Lagerstabilität bereitgestellt werden. Darüber hinaus sind wissenschaftliche und anwendungsnahe Prüfmethoden vor-

handen, um die Suspensionseigenschaften auf die späteren Produktionsbedingungen einzustellen und den Partnern Kenngrößen für die Produktion und Qualitätssicherung an die Hand zu geben. Dabei wird auf umfangreiche Erfahrungen aus der Entwicklung hochgefüllter Suspensionen mit guter Fließfähigkeit und Haftung auf der Schaumstoffoberfläche auf Basis von Oxid- und Nichtoxidkeramiken zurückgegriffen. Eine weitere Kompetenz besteht in der Herstellung von metallpulverbasierten Suspensionen, welche nach ähnlichen Verfahrensparametern als Replikaschaum abgebildet werden können.

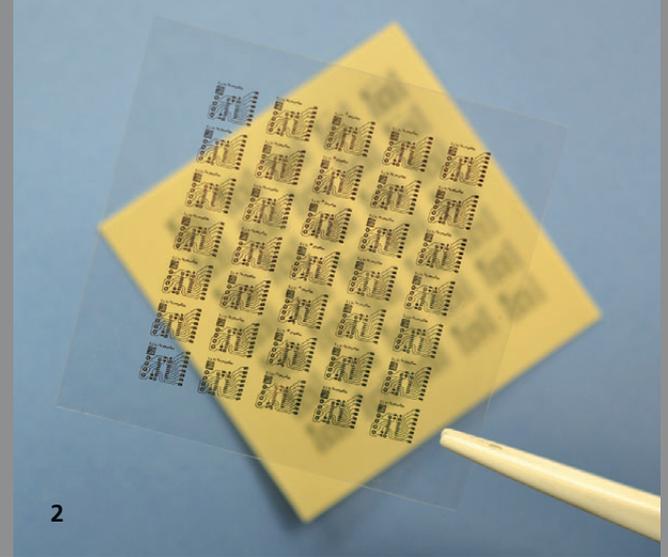
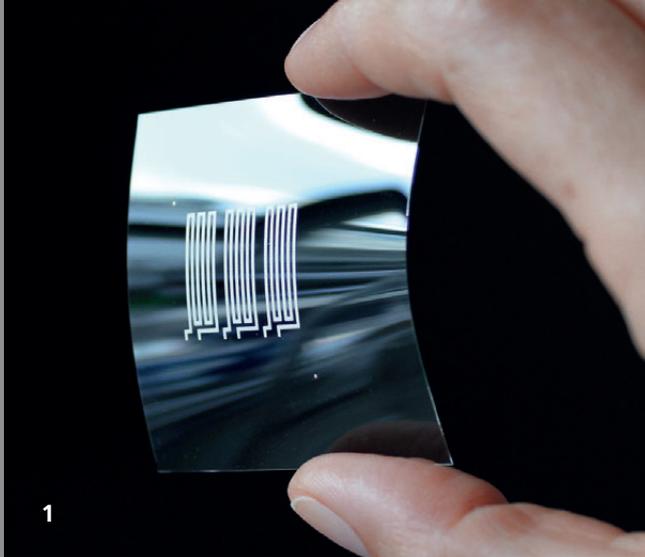


Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung, Optimierung, Erprobung von Suspensionen und Anlagentechnik zur kontinuierlichen Schaumbeschichtung
- Adaption der Beschichtungstechnik auf spezielle Filterausführungen, wie seitliche Rahmen
- Beratung und Begleitung beim Aufbau von Schaumbeschichtungsanlagen

1 Beschichtungsanlage.

2 Schaumkeramikbauteile.



TINTEN UND PASTEN FÜR FUNKTIONSSCHICHTEN

Dr. Sindy Mosch, Dr. Stefan Körner

Gedruckte Funktionsschichten werden oft auf keramische 2D-Substrate aufgebracht. Zunehmend kommen aber auch dünne Glas- und Polymerfolien oder Papier als Trägermaterial zum Einsatz. Beispiele für solche Anwendungen sind Touchdisplays, RFID-Tags, Dehnungsmessstreifen, chemische sowie physikalische Sensoren oder Messbrücken. Die mittlerweile hohe Auflösung der Druckverfahren – sowohl digital als auch maskenbasiert – ermöglicht die Miniaturisierung der Funktionsschichten nicht nur auf 2D-Substraten, sondern auch auf 3D-Strukturen.

Werkstoffauswahl und -aufbereitung als Basis

Um die Funktionsschichten für ihre Applikation optimal anzupassen, greift das Fraunhofer IKTS auf jahrzehntelange Erfahrung im Bereich der anorganischen Pulver sowie in der Auswahl der organischen Bestandteile (Lösungsmittel, Polymere, Additive) zurück. Die anorganische Basis der für den Druck benötigten Suspensionen kann dabei aus verschiedenen Werkstoffklassen bestehen. Die Bandbreite reicht hier von keramischen, metall-oxidischen oder auch Edelmetallpulvern bis hin zu Gläsern.

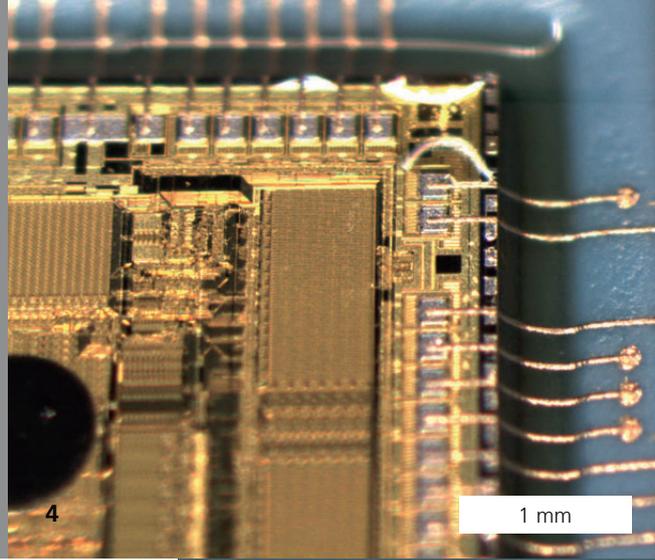
Am IKTS gibt es verschiedene Routen, um Partikel entsprechend ihrer Anwendung anzupassen. So werden Edelmetall-Nanopartikel, die in Funktionstinten zum Einsatz kommen, am Institut synthetisiert. Während der Synthese von Gold, Platin, Silber u. a. werden die finalen Partikeleigenschaften eingestellt. Eine andere Möglichkeit ist, Pulver durch hochenergetische Mahlungen gezielt zu zerkleinern. Dafür werden Scheibenschwingmühlen sowie Backenbrecher für grobes (bis mm), Planetenkugelmühlen für mittleres (bis 100 μm) und Rührwerkskugelmühlen für feines (bis 5 μm) Aufgabegut eingesetzt. Die damit erreichbaren Par-

tikelgrößen von unter 500 nm werden sowohl in funktionalen Tinten für Inkjet- oder Aerosoldruck als auch in Pasten eingesetzt. Um pastöse Suspensionen im Sieb- und Maskendruck, beim (Mikro-)Dispensen, Jet-Dispensen oder Rollcoating zu applizieren, werden weitaus gröbere Partikel (bis zu 75 μm) gemahlen und verarbeitet.

Geeignete Organikzusammenstellung

Die Auswahl der organischen Komponenten für die Suspensionen erfolgt in Abhängigkeit von Substratwerkstoff, Einbrandtechnologie, finaler Schichtgeometrie und -eigenschaften. Um die benötigten Attribute für das jeweilige Druckverfahren präzise einstellen zu können, werden Polymere in verschiedenen Lösungsmitteln gelöst. So ist es möglich, die Viskosität von 1 bis 100 000 Pa*s in einem Scherratenbereich von 0,01 bis 100 000 s^{-1} anzupassen. Die für die Dispergierung benötigte Organik wird auf Basis einer breiten, am IKTS experimentell ermittelten Datenmatrix zusammengestellt. Diese enthält Aussagen über Viskosität, Abdampfungsverhalten oder auch Benetzungseigenschaften.

Im Tintenbereich erfolgt die Auswahl der Polymere vor allem in Hinblick auf Benetzung und Schichthaftung, um bereits nach der Trocknung gute Haftungseigenschaften zu erzielen. Bei den Pasten werden die Polymere hingegen anhand des angestrebten fehlerlosen Druckbilds und geometrischer Faktoren, z. B. hohe Aspektverhältnisse, ausgewählt. Ein weiteres Kriterium für die Polymerauswahl sind die späteren Einbrand- oder Verwendungsbedingungen: Soll unter inerter Atmosphäre oder bei besonders niedrigen Temperaturen eingebrannt werden, wählt man andere



Polymere als für den Fall, dass das Polymer im Schichtverbund verbleiben soll (bspw. wenn Elektronik auf flexible Substrate gedruckt wird). Darüber hinaus werden der Suspension Additive zur Stabilisierung der Partikel und Beeinflussung der Druckbarkeit zugesetzt.

Herstellung der Suspension

Der wichtigste Arbeitsschritt der Suspensionsherstellung ist die Dispergierung der gewählten Werkstoffe in den organischen bzw. wässrigen Druckträgern. Dabei werden im Pulver vorhandene Agglomerate aufgebrochen, unterschiedliche anorganische Komponenten homogen durchmischt, Feststoffe mit dem organischen Druckträger benetzt und die Viskosität mit zugesetzten Additiven eingestellt. Je nach Suspensionsart, Anwendung, Feststoffgehalt und späterer Applikationstechnik stehen am IKTS dafür verschiedene Geräte zur Verfügung: Dissolver, Perlmühlen, Mörmühlen, Dreiwalzwerke, Rührwerkskugelmühlen sowie Zentrifugalmischer. Die Qualität einer dispergierten Suspension zeigt sich im Langzeitverhalten – in der Entmischung der anorganischen Bestandteile vom Druckträger und deren Absetzverhalten.

Charakterisierung in allen Verfahrensschritten

Am IKTS wird vom Pulver bis hin zur gedruckten Funktionsschicht umfassend charakterisiert. Dies beginnt bei der Betrachtung der eingesetzten Werkstoffe hinsichtlich Partikelgrößenverteilung, -form sowie der spezifischen Oberfläche. Darauf folgt die Bestimmung der rheologischen Eigenschaften mit jeweils geeigneten Messgeräten (konventionelle Kegel-Platte-Rheometer, Kapillarrheometer, Zylinder-Becher-Aufbau für Tinten). Anhand der rheologischen Untersuchungen lassen sich neben Aussagen über die Viskosität auch Angaben zur Lagerstabilität und den Nivelliereigenschaften treffen.

Die Benetzung der Substratoberfläche und das Auslöseverhalten der Tinten aus der Druckdüse werden temperaturabhängig

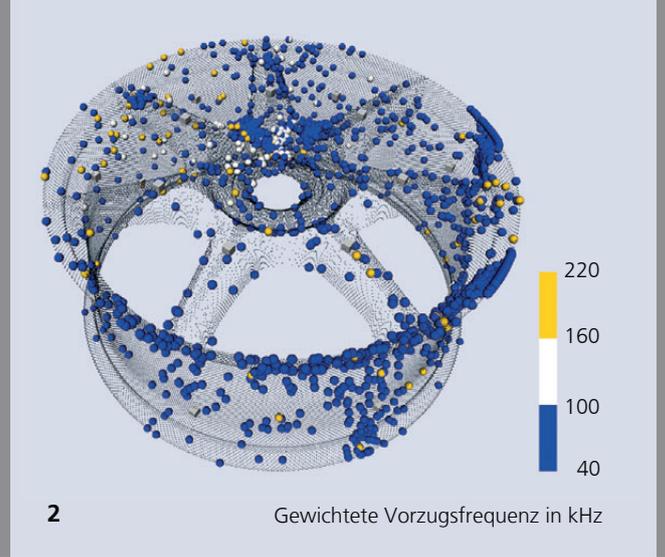
charakterisiert. Die Druckbarkeit selbst wird zusätzlich durch Teststrukturen bewertet. Bei Tinten werden z. B. Druckbreite und applizierte Schichtdicke bestimmt. Bei Funktionspasten erfolgt die Untersuchung an definierten Teststrukturen hinsichtlich Line-Space-Ratio, Aspektverhältnissen der gedruckten Schichten, minimalen Linienbreiten, Gleichmäßigkeit von Vollflächen und Nivelliereigenschaften.

Abschließend werden auch die applizierten und thermisch behandelten Funktionsschichten umfassend charakterisiert. Dafür stehen verschiedenste Prüfmethode zur Verfügung, angefangen vom Gitterschnitt oder Wire-Peel-Test (Schichthaftung), über Weißlichtinterferometer (Schichtgeometrie) oder Rasterelektronenmikroskop (Schichtverbund) bis hin zur elektrisch/ elektrochemischen Charakterisierung.

360°-Service für die Entwicklung funktioneller Tinten und Pasten

Mit diesen Kompetenzen deckt das IKTS das gesamte Spektrum der Entwicklung von Funktionstinten und -pasten für vielfältige Anwendungen ab: Von der Auswahl bzw. Synthese der Grundstoffe über die Einstellung spezifischer Eigenschaften, die Auswahl der Organik bis zur Herstellung der Suspension – angepasst an das geeignete Druckverfahren. Dabei werden die Charakteristika der Einzelemente von Tinte oder Paste bis zur fertigen Funktionsschicht stetig überwacht.

- 1 *Funktionalisiertes Dünnglas für flexible Elektronikanwendungen.*
- 2 *Inkjetgedruckte Interdigitalsensoren auf planarem Substrat.*
- 3 *Inkjetgedruckte Kontaktierung auf Textil.*
- 4 *3D-Chipkontaktierung mit Goldtinte.*



SCHALLEMISSIONSMESSUNGEN AN VERBUND-STRUKTUREN ZUR SCHADENSIDENTIFIKATION

Dr. Lars Schubert

Faserverstärkte Kunststoffe (FVK) sind aus dem modernen Fahrzeugbau kaum noch wegzudenken. Besonders bei sicherheitsrelevanten Bauteilen steht die Zuverlässigkeit dieser Materialien an oberster Stelle. Die Lebensdauer von FVK-Bauteilen wird durch Alterungsprozesse oder Fehlnutzung beeinflusst. So können Schäden, wie Rissbildungen in der Matrix, Delaminationen oder Faserbrüche zum Versagen des Bauteils führen.

Zerstörungsfreie Prüfung mit Schallemissionsanalyse

Die Schallemissionsprüfung, oder Acoustic Emission Testing (AT), ist ein Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung von Bauteilen. Hierbei werden akustische Signale an der Oberfläche von Festkörpern detektiert, wenn unter Belastung Energie in Form einer elastischen Welle freigesetzt wird. Die Schallemissionsanalyse unterscheidet sich insofern von der klassischen Ultraschallprüfung, als dass der Schall vom eigentlichen Schaden im Werkstoff – der Schallemissionsquelle – initiiert wird.

Die Ergebnisse der Tests auf Couponebene identifizierten Cluster im Parameterraum aus gewichteter Vorzugsfrequenz (Weighted Peak Frequency – WPF) und der partiellen akustischen Leistung in einem spezifischen Frequenzband. Das erlaubt die Bestimmung des Schallemissionsparameters, der Informationen zu Schädigungsart, Schädigungsfortschritt und somit auch zur Strukturintegrität der geprüften Materialproben liefert.

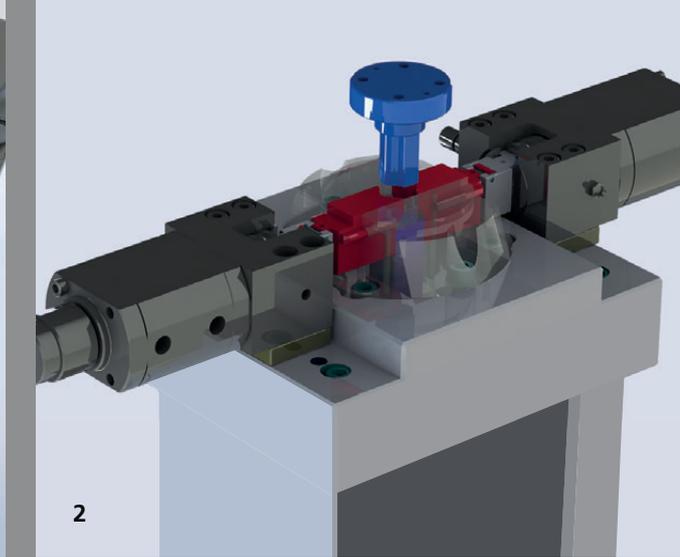
Bei der Interpretation der Schallemissionssignale im Rahmen von Ermüdungstests ganzer Bauteile muss speziell bei der Frequenzanalyse der Dämpfungseffekt einbezogen werden. Dies ist nötig, da mit zunehmendem Abstand der Schallemissionsquelle

zum Schallaufnehmer die Dämpfung hochfrequenter Signalanteile wächst. Bei der Bauteilprüfung können zwei Clusterbereichen der WPF unterschiedliche Schädigungsmechanismen zugeordnet werden: Niederfrequente Schallereignisse weisen auf matrixdominierte Schädigungsmechanismen (blau gekennzeichnete Ereignisse in Bild 2) und hochfrequente Burstsignale auf faserdominierte Schädigungsmechanismen (gelb markierte Ereignisse in Bild 2) hin.

Messungen auch unter hohem Umgebungsrauschen

Mit dem am Fraunhofer IKTS entwickelten Schallemissionsmesssystem können auf Basis einer speziell angepassten Mess- und Auswertesoftware auch AT-Messungen unter hohem Umgebungsrauschen erfolgen, z. B. bei dynamischen Ermüdungstests. So gelang es beispielsweise im Rahmen der Biegeumlaufprüfung (BUP) Schäden mit AT zu identifizieren.

- 1 *Mit Schallemissionssensoren instrumentiertes Leichtbaurad während quasistatischer Ermüdungstests auf einer Universalprüfmaschine.*
- 2 *Carbonfaser-Leichtbaurad: 3D-Ortungsplot der Schallemissionen während der Biegeumlaufprüfung.*



DUKTILE 3D-KERAMIKARMIERUNGEN FÜR NEUARTIGE SCHUTZKONZEPTE – DuktAr

Dipl.-Krist. Jörg Adler, Dr. Steffen Kunze, Dipl.-Ing. Jens Stockmann, Dipl.-Ing. Sven Roszeitis, Dipl.-Ing. Gisela Standke

Schutzkonzepte für hochdynamisch belastete Bauteile im Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbau können derzeit nur mit hohem Gewicht (metallisch) oder mit sehr eingeschränkter Formbarkeit (keramisch) realisiert werden. Gegenwärtig existiert kein Verbundmaterial, welches die herausragenden Eigenschaften beider Werkstoffgruppen – wie maximale Festigkeit bei gleichzeitig guter Verformbarkeit – vereint.

Mit den neuartigen, am Fraunhofer IKTS entwickelten Keramikstrukturen, kombiniert mit kosteneffizienten Löt- oder Klebverfahren, können nun komplex geformte Stahloberflächen mit duktilen Keramikarmierungen (DuktAr) versehen und so effektive dreidimensionale Schutzkonzepte realisiert werden. Diese können beispielsweise in Schutzvorrichtungen bei Zentrifugen, Rotoren, Recyclinganlagen oder bei der Hochgeschwindigkeitszerspannung eingesetzt werden. Besonders vorteilhaft dabei ist, dass sich die Keramikbauteile durch die spezielle Geometrie wie Puzzleteilchen zu Flächen variabler Größe zusammensetzen lassen. Somit wird eine hohe gestalterische Freiheit erreicht.

Neben der Erarbeitung einer geeigneten keramikgerechten geometrischen Auslegung wurde am IKTS ein neues Pressverfahren etabliert, bei dem die DuktAr-Teile in einem Schritt besonders kosteneffizient ohne spätere mechanische Nachbearbeitung gefertigt werden können. Dafür wurde eine Pressform entwickelt und diese in eine bereits vorhandene Pressvorrichtung integriert. Zusätzlich zum klassischen vertikalen Pressstempel enthält das neue Werkzeug zwei um 180° versetzte, horizontale Querstempel, deren Oberfläche die benötigte 3D-Kontur abbildet. Diese Querstempel werden hydraulisch angetrieben. Bei der Herstellung der Pressteile befinden sich die

Stempel während des Füllens und Pressens in der vorderen Position und bilden mit der Matrize einen geschlossenen Polyzug. Zum Freilegen und Ausstoßen des gepressten Teils werden die Stempel in die hintere Endlage verschoben. Im Automatikbetrieb können Stückzahlen von ca. 5 bis 10 Teilen pro Minute hergestellt werden. Bisher wurden mit dieser Technik Bauteilserien aus Siliciumcarbid und Aluminiumoxid gepresst und gesintert. Die fertigen DuktAr-Teile wurden über Weichlöten oder Kleben auf Stahlblechen fixiert. Die Verbundqualität wurde anschließend über die Abscherfestigkeiten gemessen. Die Lötverbindung aus Siliciumcarbid-Keramik und Tiefziehblech erreichte Werte von 18 MPa, Klebverbindungen sogar 40 MPa.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung und Herstellung von 3D-Keramikbauteilen aus verschiedenen Keramikarten für die Armierung von Metallblechoberflächen als Schutzauskleidung
- Entwicklung der Verbindungstechnik von Metall und Keramik über Löten oder Kleben
- Herstellung von prototypischen Bauteilen

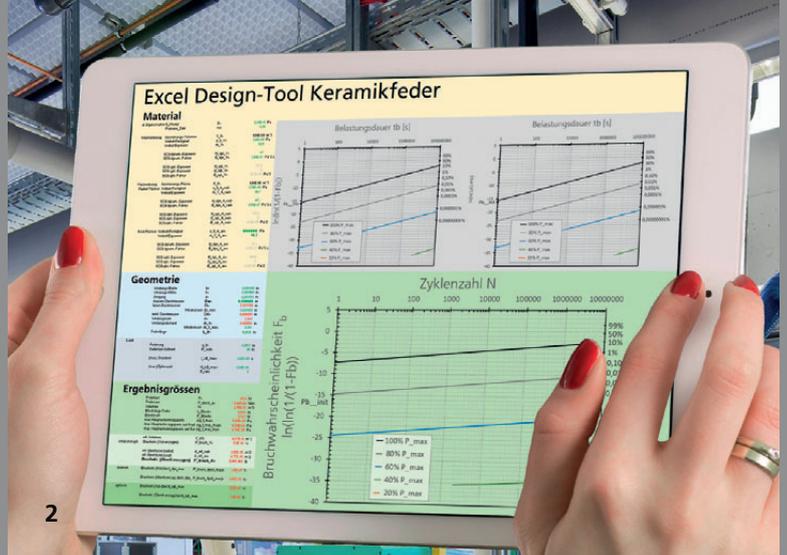
Das Projekt »DuktAr« (Fördernummer 601 039) wurde Fraunhofer-intern gefördert.

1 *Prototypische Keramik-Metall-Armierungen.*

2 *Presswerkzeug für DuktAr-Bauteile.*



1



2

AUSLEGUNG, FERTIGUNG UND ZUVERLÄSSIGKEITSBEWERTUNG VON KERAMISCHEN FEDERN

Dr. Wieland Beckert, Dipl.-Ing. Jens Stockmann

Der stetige Fortschritt bei der Entwicklung keramischer Werkstoffe und Fertigungsverfahren ermöglicht die Herstellung keramischer Federelemente wie Schraubendruck- oder Tellerfedern. Die exzellente thermische, chemische und tribologische Beständigkeit sowie die amagnetische Charakteristik des Werkstoffs bieten für spezifische Anwendungen mit höchsten Anforderungen Vorteile gegenüber Standard-Federmaterialien, z. B. in der Medizintechnik, in Hochtemperaturanlagen oder in chemisch aggressiven Medien.

Ein Hemmnis für einen verbreiteten Einsatz der keramischen Federn bilden bisher jedoch fehlende Erfahrungen bei deren Auslegung, Herstellung und Anwendung. Fertigungsbedingte Adaptionen der Geometrie (rechteckiger Materialquerschnitt) sowie die spröde Werkstoffcharakteristik haben etwa für keramische Schraubendruckfedern zur Folge, dass die standardisierten Dimensionierungsverfahren metallischer Federn nicht angewendet werden können und neue konstruktive Lösungen z. B. für die Krafteinleitung benötigt werden.

Im Rahmen des AiF-Projekts EndurSpring (IGF-Vorhaben-Nr.: 19125 BG) wurden umfangreiche experimentelle und theoretische Untersuchungen zu keramischen Schraubendruckfedern (Fraunhofer IKTS) sowie Tellerfedern (Fraunhofer IWM) in Kooperation mit dem Verband der Deutschen Federindustrie e. V. durchgeführt. Auf dieser Basis wurden Auslegungstools erstellt und verifiziert, Fertigungstechnologie und Materialauswahl optimiert, Verfahren zur Testung der Bauelemente und Materialien unter Einsatzbedingungen konzipiert sowie reale Prototypen gefertigt.

Eine Besonderheit bei der Auslegung keramischer Bauteile ist, dass zur mechanischen Zuverlässigkeitsbewertung (Weibullstatistik) und zur Berücksichtigung unterkritischer Rissausbreitung (SCG) statistische Verfahren benötigt werden, um Bruchwahrscheinlichkeit und Lebensdauer abzuschätzen. Grundlage hierfür ist die experimentelle Messung der benötigten Weibull- sowie SCG-Parameter unter anwendungsnahen Bedingungen aus statistischen Versuchsreihen.

Am Fraunhofer IKTS wurden die als Federmaterialien ausgewählten Werkstoffe (Si_3N_4 , ZrO_2) unter stationären, dynamischen und zyklischen Belastungen bei Raumtemperatur und 1000 °C sowie in verschiedenen Bearbeitungsqualitäten (grün gefräst, weiß bearbeitet und geschliffen) experimentell charakterisiert (Basis: Vierpunkt-Biegeversuch). Auf Grundlage der erhaltenen, realen Datensätze wurden Auslegungswerkzeuge zur Grob- (Excel-Tool) und Feinauslegung (FEM) keramischer Federn gemäß der Methodik der statistischen Zuverlässigkeitsbewertung erstellt und verifiziert.

Die gewonnenen Erfahrungen und Kompetenzen können analog auf die statistische Zuverlässigkeitsbewertung anderer keramischer Bauteile übertragen werden und erweitern damit das methodische Portfolio des IKTS.

1 Beispiele für Federprototypen sowie FEM-Analyse.

2 Excel-Tool: Übersicht relevanter Parameter der Lebensdaueranalyse für eine Beispiel-Feder unter zyklischer Belastung.





UNIVERSELLE KOGNITIVE BENUTZERSCHNITTSTELLE ZUR GERÄTESTEUERUNG

Dr. Constanze Tschöpe, Dr. Frank Duckhorn, Dipl.-Ing. (FH) Christian Richter, Dipl.-Ing. (FH) Peter Blüthgen

Die universelle kognitive Benutzerschnittstelle (UCUI) ermöglicht die intelligente und intuitive Steuerung von Geräten über verschiedene Kommunikationskanäle, wie Sprache, Gesten oder Berührung.

Selbstlernendes System, das höchste Anforderungen an die Datensicherheit erfüllt

Das am Fraunhofer IKTS entwickelte System lernt das individuelle Nutzerverhalten und hat zudem den Vorteil, dass es zur Bedienung weder eine Internetanbindung noch ein Funknetz benötigt. Die Daten werden lediglich auf dem Gerät gehalten und nicht an externe Server oder eine Cloud von Drittanbietern übertragen. Das gewährleistet absolute Datensicherheit. Eine Verbindung zu anderen UCUI-Geräten ist nur über eine verschlüsselte Funkverbindung möglich.

Die implementierte Verhaltenssteuerung basiert auf Merkmal-Werte-Relationen. Damit werden die Bedeutung der Benutzereingabe über die verschiedenen Kanäle erkannt, fehlende Informationen identifiziert und diese gezielt vom Benutzer erfragt. Selbst Äußerungen oder Eingaben, die keine direkte Bedeutung für die Anwendung haben, können so interpretiert werden.

Vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für Mensch-Maschine- und Mensch-Computer-Interaktionen

Ein Einsatz des Systems ist in vielen Bereichen denkbar: neben dem industriellen Umfeld auch in privater Umgebung (Smart Home) oder bei medizinischen Anwendungen (Sprachsteuerung zur Bedienung von Geräten im Operationssaal).

Über eine Standardschnittstelle ist die Ansteuerung beliebiger Geräte möglich. Bild 1 zeigt die Anwendung für eine Heizungssteuerung. Das System ist durch die Interaktion mit dem Benutzer und das Erlernen des Nutzerverhaltens in der Lage, eine Einstellung der Heizung mit minimalem Aufwand durchzuführen und optimal an die Bedürfnisse der Bewohner anzupassen.

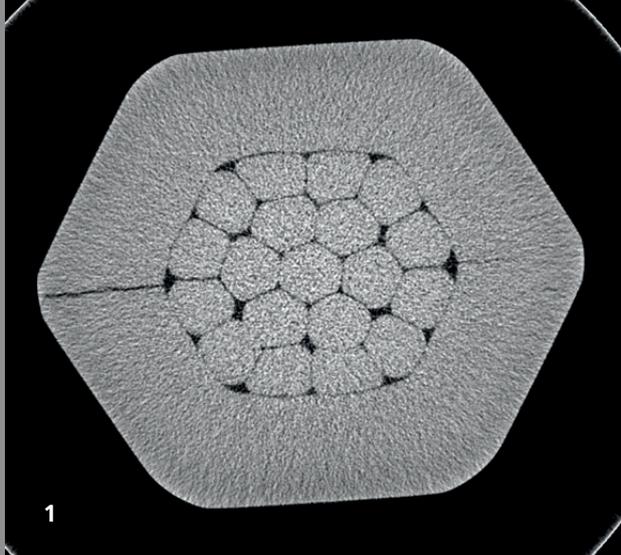
Das Fraunhofer IKTS entwickelte dafür die Hardware (Bild 2) sowie die Algorithmen zur Spracherkennung und -synthese und setzte sie in DSP (Digital Signal Processor) und FPGA (Field Programmable Gate Array) um.

Wir danken unseren Projektpartnern, den Lehrstühlen Kommunikationstechnik und Angewandte Medienwissenschaften der BTU Cottbus-Senftenberg, der Innotec21 GmbH, Javox Solutions GmbH, Agilion GmbH und XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH für die gute Zusammenarbeit sowie dem Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF und der VDI/VDE Innovation+Technik GmbH für die Förderung und Unterstützung (Förderkennzeichen: 16SV7305K).



1 Beispiel: Demonstrator für eine Heizungssteuerung.

2 Leiterplatte für die kognitive Benutzerschnittstelle.



ULTRASCHALL-PRÜFSYSTEM FÜR ZUGFESTE PRESSVERBINDER AN FAHRDRAHTLEITUNGEN

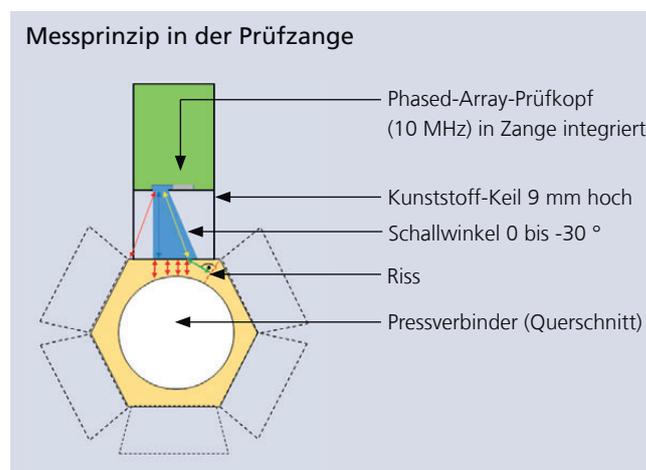
Dr. Thomas Herzog, Dipl.-Ing. Susan Walter, M. Sc. Jürgen Michauk, Dipl.-Inf. (FH) Stephan Heilmann, Prof. Dr. Henning Heuer

Im elektrischen Schienenverkehr werden Oberleitungen durch zugfeste Pressverbinder aus kupferhaltigen Legierungen mechanisch und elektrisch miteinander verbunden. Die Verbinder müssen statische Zugkräfte bis 10,8 kN dauerhaft tragen, der dynamischen Schwingungsbelastung während der Zugdurchfahrt standhalten und unter den rauen klimatischen Bedingungen am Einsatzort eine Lebensdauer von 30 Jahren garantieren. Zudem muss der elektrische Strom sicher und zuverlässig geführt werden, ohne dass eine unzulässige Erwärmung der Verbindung auftritt. Das bedeutet, dass der elektrische Verbindungswiderstand nach dem Verpressen der Kupferhülse auf einen sechseckigen Querschnitt und dem mechanischen Fixieren der Seilenden im Inneren möglichst niedrig sein muss. Dies wird durch eine sehr gute elektrische Kontaktierung beim Verpressen erreicht, die sich mit der Zeit durch Relaxation der Werkstoffe, Rissbildung oder chemische Umweltreaktionen nicht unzulässig vergrößern darf. Auch der mechanische Halt sollte nicht gefährdet sein.

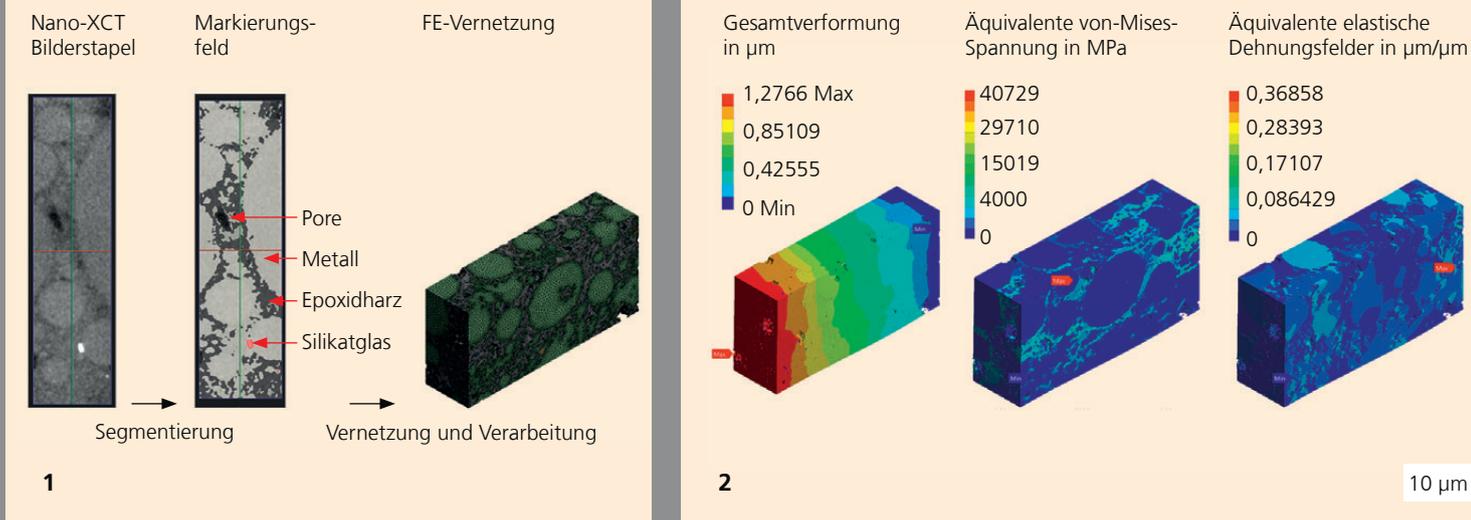
Bisher können diese Pressverbindungen nur mittels Sichtprüfung inspiziert werden. Erst wenn der Riss bis nach außen durch den Querschnitt gewachsen ist (Bild 1), kann er als potenzieller Verbinderausfall festgestellt werden. Mit einem am Fraunhofer IKTS entwickelten und erfolgreich im Feld getesteten Ultraschall-Prüfsystem ist nun erstmals das Erkennen der Rissbildung bereits im Entstehungsprozess möglich. Mit einer Prüfzange (Bild 2), die an den sechseckigen Querschnitt des Pressverbinders angepasst ist, wird ein Ultraschallprüfkopf an die gequetschte Oberfläche gedrückt. Die Ultraschallsignale werden mit der am IKTS entwickelten Ultraschall-Elektronik PCUS® pro Array gesteuert und unter 0 bis 30 Grad zur einen Seite bzw. 0 bis -30 Grad

zur anderen Seite in den Pressverbinder geleitet. Dadurch werden die Schallwellen direkt auf die inneren Risse gelenkt und Echo-Signale in Reflektion erzeugt. Diese gelangen auf umgekehrtem Weg wieder zum Prüfkopf und zeigen so das Vorhandensein von Rissen an. Bei einer Inspektion werden nun potenziell gefährdete Pressverbinder rechtzeitig erkannt und können entsprechend ausgetauscht werden.

Das System wurde als Prototyp erfolgreich im Feld getestet. Zukünftig wird es so erweitert, dass sechs Ultraschallprüfköpfe in die Zange integriert werden. Damit sind dann komplette Pressverbinder ohne Umsetzen der Zange prüfbar.



- 1 Röntgenbild eines Pressverbinders (Querschnitt).
- 2 Prüfkopf-Zange und defekte ausgebaute Pressverbinder.



FINITE-ELEMENTE-SIMULATIONEN VON CHIPVERGUSSMASSEN AUS NANO-XCT-DATEN

M. Sc. Emre Topal (TU Dresden), Dr. André Clausner, Dr. Jürgen Gluch, Dr. Markus Löffler (TU Dresden), Prof. Dr. Ehrenfried Zschech

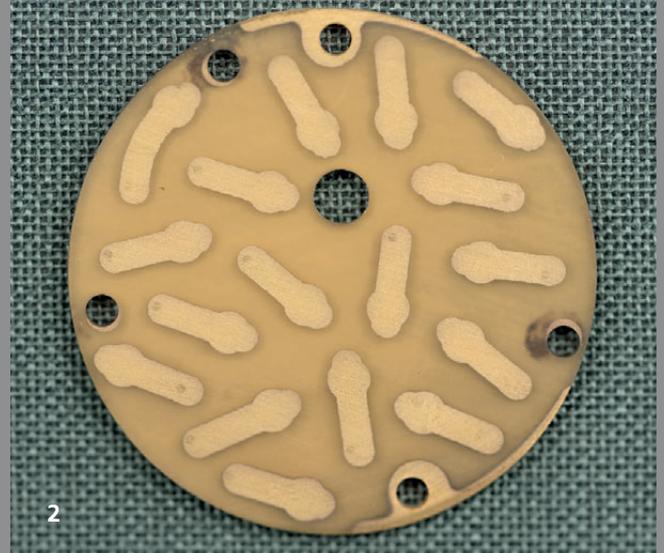
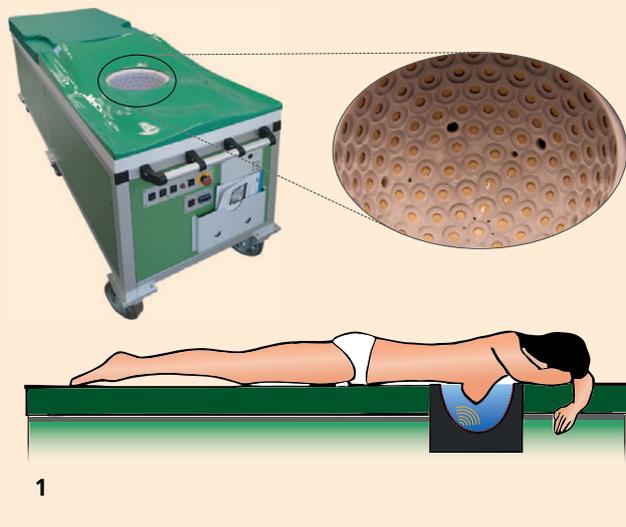
Die Röntgen-Computertomographie (XCT) ist eine zerstörungsfreie Methode zur 3D-Charakterisierung der inneren Strukturen eines Objekts, die vor allem aus der Medizin bekannt ist. Seit etwa zehn Jahren wird die hochauflösende Nano-XCT auch in der Materialwissenschaft und dem Ingenieurwesen eingesetzt. Mit dem Verfahren ist die innere Struktur von Objekten und die Mikrostruktur von Materialien mit hoher Auflösung bis unter 100 nm abbildbar. Für die Rekonstruktion der 3D-Daten werden Bilder, die aus verschiedenen Perspektiven aufgenommen wurden, zusammengesetzt. Dabei kann es durch mechanische Achseninstabilitäten, Fehlausrichtung, Probenbewegung, fehlende Daten und physikalische Artefakte zu Problemen kommen. Um diese zu reduzieren bzw. zu eliminieren und damit artefaktfreie Volumendaten zu erhalten, entwickelten Wissenschaftler der TU Dresden und des Fraunhofer IKTS spezifische Korrekturverfahren. Das so entstandene Softwarepaket nutzt maschinelles Lernen zur Datenwiederherstellung, Computer-Vision zur Kompensation der Bewegungsabweichung und statistische Optimierungsmethoden zur Korrektur von Fehlausrichtungen, um die Rekonstruktionsqualität und Genauigkeit der erfassten Daten zu verbessern. Mit diesen präzisen 3D-Daten können Computermodelle erstellt werden, die die hierarchische Mikrostruktur von Materialien beinhalten und deren morphologische Merkmale, wie Poren oder Verstärkungskomponenten, berücksichtigen. Werden bisherige vereinfachende Finite-Elemente-Modelle durch diese komplexeren nano-XCT-basierten Modelle ersetzt, ist es möglich, die lokale Materialantwort der realen Materialstruktur bei Belastung zu verstehen.

Chipvergussmassen sind Kunststoffe, die zum Einkapseln von mikroelektronischen Produkten wie Prozessoren und Speichern

verwendet werden. Materialsimulationen sind zu einem entscheidenden Teil des Konstruktionsprozesses dieser Werkstoffe geworden, da nur so deren Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit gewährleistet werden kann. Die mit Nano-XCT gemessenen 3D-Morphologiedaten der Vergussmassen sind die Ausgangsdaten für das Simulationsmodell. Zunächst wird aus dem Bilderstapel die segmentierte Oberflächengeometrie eines 3D-Objekts erzeugt (Bild 1), das anschließend mit Hilfe von ANSYS-Reverse-Engineering-Tools in eine Volumengeometrie umgewandelt wird. Im oben gezeigten Beispiel wurde ein Tetraedernetz mit 1,2 Mio. Knoten und 4,6 Mio. Elementen generiert, um mechanische Druckspannungssimulationen durchzuführen. Die sich ergebende Gesamtverformung, die äquivalente Von-Mises-Spannung und die äquivalenten elastischen Dehnungsfelder des heterogenen Modells der Vergussmasse sind in Bild 2 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass Größe und Platzierung der im Material enthaltenen Glaskugeln die mechanischen Eigenschaften heterogener Vergussmassen erheblich beeinflussen.

Es wurde gezeigt, dass sich die Methode für alle Arten von Materialsystemen eignet und die Erstellung von Modellen mit genauen morphologischen Eigenschaften auf Basis realer Geometrien aus 3D-Bilddaten ermöglicht.

- 1 Arbeitsschritte zur Umwandlung von Nano-XCT-Daten der Mikrochip-Vergussmasse in ein Finite-Elemente-Modell.
- 2 Simulationsergebnisse der mechanischen Kompression der heterogenen Vergussmasse.



EINZELFASERWANDLER FÜR DIE 3D-ULTRASCHALL-COMPUTERTOMOGRAPHIE (USCT)

Dr. Sylvia Gebhardt, Dr. Kai Hohlfeld, Dr. Holger Neubert

Bildgebung zur Brustkrebsfrüherkennung

Die 3D-Ultraschallcomputertomographie (USCT) ist ein sonografisches Schichtbildverfahren. Vor allem in der Früherkennung von Mammakarzinomen wird ihm großes Anwendungspotenzial zugemessen. Gegenüber Röntgen-Mammographie, konventioneller Ultraschalluntersuchung und Magnetresonanztomographie (MRT) besticht die USCT durch hohe Sensitivität und Spezifität bei moderaten Kosten und ohne Strahlungsexposition der Patienten. Der Systemaufbau ist komplex. Auf dem Rand des halbellipsoiden Untersuchungsgebiets wird eine große Anzahl von Ultraschallwandlern gleichmäßig, in einem sich wiederholenden Muster verteilt angeordnet. Diese müssen das Gebiet möglichst homogen durchschallen bzw. aus ihm breitbandige Signale mit gleicher, hoher Empfindlichkeit aus unterschiedlichen Richtungen empfangen können. Dies verlangt Wandler mit großen Öffnungswinkeln und Bandbreiten sowie kleine Eigenschaftsstreuungen der Wandler untereinander. Konventionelle Technologien für Ultraschallwandler geraten bei diesen Anforderungen an ihre Grenzen.

Ultraschallwandler aus piezokeramischen Fasern

Am Fraunhofer IKTS wurde eine Technologie für Ultraschallwandler entwickelt, die diese besonderen Anforderungen berücksichtigt. Die darauf basierenden Ultraschallwandler wurden im 3D-USCT-System des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) praktisch getestet. Die Grundlage bilden piezokeramische Fasern von kreisrundem Querschnitt. Sie werden aus einem keramischen Schlicker quasi endlos durch eine Düse in ein Fällbad gesponnen, gleich abgelängt, getrocknet und anschließend

gesintert. Die gesinterten Fasern werden in einem genau definierten Muster parallel angeordnet und mit Epoxidharz vergossen. Der so entstandene Block wird in gleich dicke Scheiben geschnitten. Jedes piezokeramische Faserelement in den Scheiben bildet nach weiterer Prozessierung einen einzelnen adressierbaren Ultraschallwandler, daher der Begriff Einzelfaserwandler. Das Vermeiden einer periodischen Nahordnung der Fasern in der Scheibe verbessert das Signal-Rausch-Verhältnis in den erzeugten Bildern. Die Dicke der Scheiben wird entsprechend der gewünschten Arbeitsfrequenz gewählt.

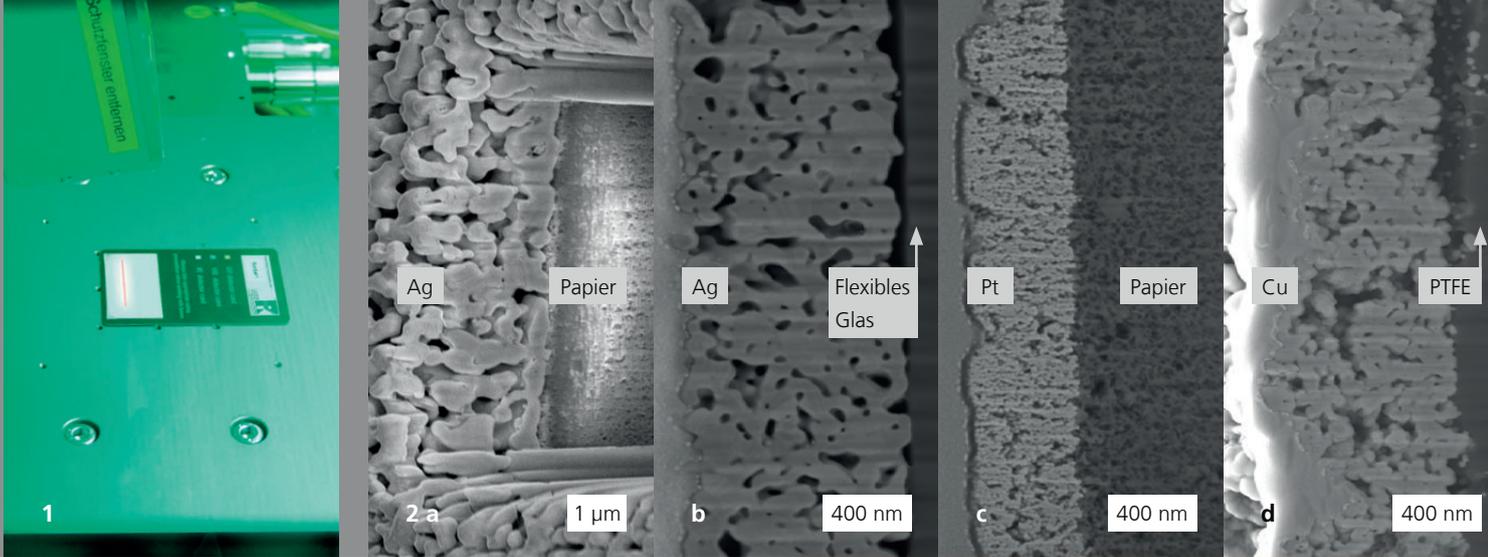
Messungen der Einzelfaserwandler zeigen Öffnungswinkel von 50° und damit eine Vergrößerung auf fast das Anderthalbfache gegenüber konventionell nach dem Dice-and-Fill-Verfahren gefertigten Wandlern. Für das USCT-System des KIT wurden Wandler mit einer Arbeitsfrequenz von 2 MHz ausgelegt unter Verwendung von Fasern mit einem Durchmesser von $460 \mu\text{m}$.

Die beschriebene Technologie ist über einen großen Geometrie- und damit Frequenzbereich flexibel anwendbar. Damit ist sie nicht auf medizinische USCT-Applikationen beschränkt, sondern überall dort anwendbar, wo eine Vielzahl gleichartiger Ultraschallwandler in regulären Anordnungen benötigt wird.

1 3D-Ultraschall-Tomographie zur Brustkrebsvorsorge (Quelle: KIT).

2 Einzelfaserwandler in Polymermatrix mit gesputterten Elektroden.





DIODENLASER-ARRAY ZUR NACHBEARBEITUNG INKJET-GEDRUCKTER SCHICHTEN

Dr. M. Vinnichenko, Dr. M. Fritsch, J. Xiao, Dr. V. Sauchuk, Dr. N. Trofimenko, Dr. M. Kusnezoff

Die Metallisierung großflächiger dünner (100–200 µm) bis ultradünner (< 10 µm) Substrate mit digitalen Direktdruckverfahren wie dem Inkjet-Druck ermöglicht eine breite Anwendung flexibler Elektronik. Die damit realisierbare gute elektrische Leitfähigkeit der Druckschichten wird üblicherweise über eine 30- bis 60-minütige thermische Nachbehandlung im Durchlaufofen erreicht. Bei Temperaturen von mindestens 130 °C für Silber oder über 300 °C für Kupfer und Gold werden organische Schichtkomponenten entfernt und die metallischen Partikel versintert. In der Technologiekette ist dies ein kritischer Schritt, der durch das zu verdruckende Material bestimmt wird und zudem sehr lange dauert. Darüber hinaus erfordert die Ofentechnik hohe Investitionskosten.

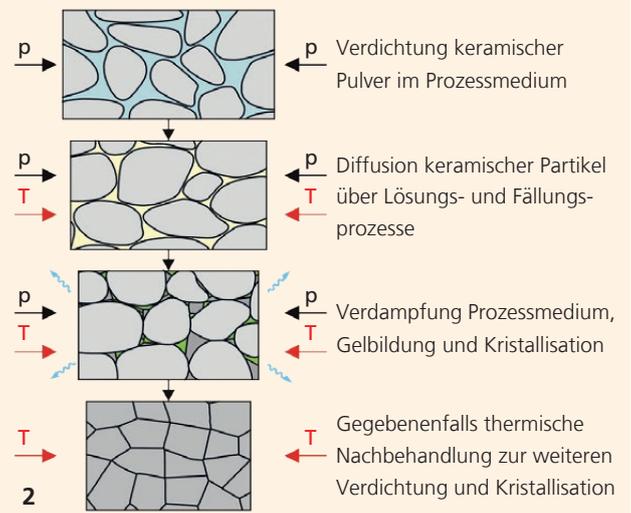
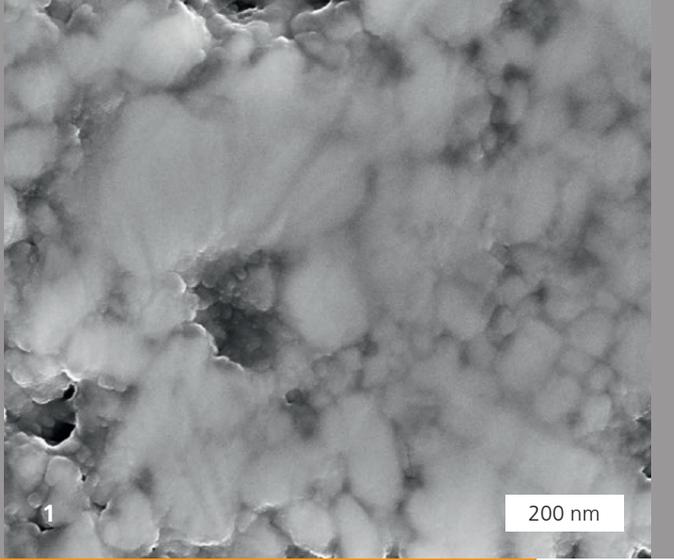
Eine Alternative bietet das Sintern solcher Druckschichten mit mikrooptisch gestalteten eindimensionalen Diodenlaserquellen (Diode Laser Array). Diese zeichnen sich durch ein linienförmiges Strahlprofil und hohen Energieeintrag aus. Mit diesem Ansatz konnten am Fraunhofer IKTS bereits verschiedenste Materialien in extrem kurzer Zeit erfolgreich gesintert werden. Dies wird dadurch unterstützt, dass das Substrat im thermischen Prozess mit einer Geschwindigkeit von 5 bis 20 m/min kontinuierlich vorwärts bewegt wird (R2R-kompatibel).

Das IKTS nutzt das Lasersintern bereits für eigens entwickelte, wasserbasierte metallische Nanotinten (Ag, Cu, Au und Pt). Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit des Verfahrens wurden metallische Leiterbahnen auf unterschiedliche dünne (100 µm Glas, 120 µm PET, 170 µm Papier) sowie ultradünne (< 10 µm PET) Substrate mittels Inkjet gedruckt. Diese auf Silber, Gold und Platin basierenden Metallisierungen zeigten bereits nach

Schichttrocknung eine mäßige elektrische Leitfähigkeit. Die nur einige Millisekunden dauernde Lasernachbehandlung verbesserte die Leitfähigkeit deutlich. Für Silberleiterbahnen wurde so selbst auf ultradünnen 2,5 µm-PET-Substraten ein spezifischer Widerstand vom Dreifachen des Bulksilbers erreicht. Die Abweichung vom Bulkwiderstand ergibt sich aus der Restporosität der Druckschichten (30–40 Vol.-%). Auch lasergesinterte Kupfer-, Gold- und Platinmetallisierungen erreichten einen verbesserten spezifischen Schichtwiderstand, der teils um den Faktor 10 höher lag als beim Bulkmaterial. Neben der elektrischen Leitfähigkeit wurde auch die mechanische Biegebarkeit der Metallisierungen geprüft. So konnten zum Beispiel auf Papier gedruckte Silberleiterbahnen erfolgreich bis zu Biegeradien von 4 mm getestet werden. Zyklen-Biegetests mit mind. 100 Zyklen und einem Biegeradius von 10 mm führten nur zu geringfügigen Widerstandsänderungen (< 1 %).

Die laserbasierte ultraschnelle Wärmebehandlung kann selbst für hochschmelzende, schwer zu sinternde Werkstoffe eingesetzt werden. Diese neue Technologie erlaubt es damit, Elektronik auch auf thermisch empfindliche Substrate zu drucken. Die Ergebnisse entstanden mit finanzieller Unterstützung des Fraunhofer-Attract-Projekts INNOVELLE.

- 1 *Prinzip der Diodenlaser-Array-Bearbeitung.*
- 2 *Mikrostruktur der Inkjet-gedruckten Ag-, Pt- und Cu-Kontakte nach der Laserbearbeitung bei Energiedichten von 2,8 (a), 4,8 (b), 0,8 (c) und 2,1 J/cm² (d).*



COLD SINTERING – NEUE WEGE ZUR HERSTELLUNG UND INTEGRATION FUNKTIONELLER KERAMIKEN

Dipl.-Chem. Christian Molin, Dipl.-Phys. Michael Hofmann, Dr. Stefan Barth, Dr. Sylvia Gebhardt

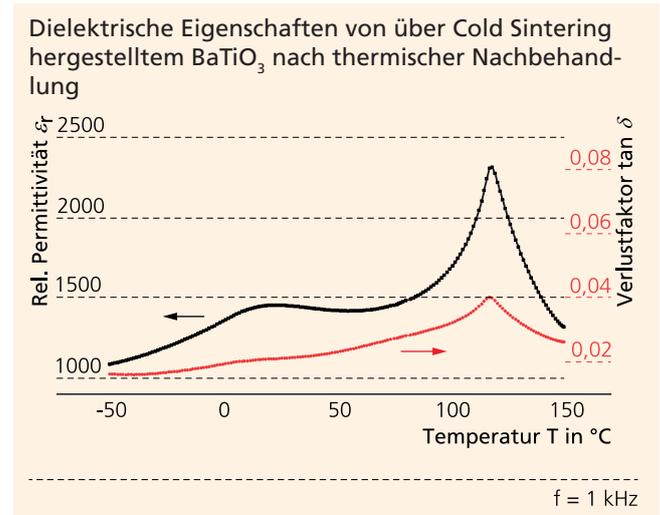
Der Prozess des Cold Sintering verspricht eine Verdichtung keramischer Werkstoffe schon bei Temperaturen von unter 300 °C. Cold Sintering bezeichnet ein Niedrigtemperatur-Flüssigphasen-Verfahren basierend auf Lösungs- und Rekristallisationsvorgängen. Grundvoraussetzung ist die kongruente Löslichkeit des Werkstoffs in einem geeigneten Prozessmedium, was im einfachsten Fall Wasser sein kann. Die gelösten Bestandteile verteilen sich unter hohem Druck und moderater Temperatur um und diffundieren unter anderem in die Partikelzwischenräume. Durch Ausfällungsprozesse bilden sich amorphe Phasen an den Korngrenzen. Diese können nach Verdampfen des Prozessmediums bestehen bleiben oder kristallisieren (Bild 2).

Diese Prozessbedingungen erlauben neuartige Materialkombinationen, wie beispielsweise die monolithische Verbindung von unterschiedlichen keramischen Materialien (z. B. Oxid und Nitrid), die Kombination verschiedener Mikrostruktur-Motive (z. B. Nano und Mikro) oder die Integration von Polymeren bzw. von metallischen Schichten in Keramik in einem Prozessschritt. Voraussetzung dafür ist die Ermittlung geeigneter Druck- und Temperaturbedingungen.

Die Forschungsarbeiten am Fraunhofer IKTS an Werkstoffen wie LiFePO_4 , BaTiO_3 , $(\text{K}, \text{Na})\text{NbO}_3$, ZrO_2 und TiO_2 zeigen, dass sich keramische Funktionswerkstoffe in unterschiedlichem Maße für das Cold Sintering eignen. Es konnten Prozessparameter bestimmt werden, die eine prinzipielle Herstellung monolithischer Keramikproben erlauben. Während beispielsweise LiFePO_4 bei 220 °C/150 bar bereits auf 89 % relative Dichte kalt gesintert werden kann (Bild 1) bedarf z. B. BaTiO_3 einer thermischen Nachverdichtung. Die an BaTiO_3 ermittelten Pha-

senübergangstemperaturen zeigen dabei eine gute Übereinstimmung mit konventionell hergestellten Komponenten. Allerdings erreichen die Materialkennwerte noch nicht vergleichbare Werte, so dass eine weitere Erforschung des Cold Sintering-Prozesses Gegenstand zukünftiger Forschungsprojekte ist.

Für das Cold Sintering eignen sich somit besonders Werkstoffe mit geringer Gitterenergie, reaktiven Oberflächenzuständen, ionischen Bindungsanteilen und verminderter hydrolytischer Beständigkeit.



- 1 FESEM-Aufnahme von LiFePO_4 (hergestellt über Cold Sintering).
- 2 Schematische Darstellung des Cold Sintering-Prozesses.



ENERGIE

PREMIERE: WELTGRÖSSTE NaNiCl_2 -ZELLEN IM cerenergy®-BATTERIEMODUL

Dr. Roland Weidl, Dr.-Ing. Matthias Schulz, Prof. Dr. Michael Stelter

Stationäre Energiespeicher gehören zu den vielversprechendsten Wachstumsmärkten in Deutschland, Europa und weltweit. Interessant sind hierfür besonders Lösungen jenseits von Lithium-Ionen- und Blei-Säure-Technologien, weil sie hohe Sicherheit bei niedrigen Anschaffungs- und Betriebskosten ermöglichen. Die Natrium-Technologie steht vor einem Comeback im neuen Gewand, gerüstet für die Energiespeicheraufgaben der Zukunft.

ZEBRA-Batterie – etablierte Technologie neu aufgelegt

Schon in den 80er-Jahren begann der Siegeszug der damals »ZEBRA – Zero Emission Battery Research Activities« genannten Batterie, die bei ca. 300 °C betrieben wird und im Wesentlichen auf den Materialien Kochsalz (NaCl_2) und Nickel (Ni) basiert. Da die damaligen Forschungsarbeiten jedoch auf die aufkommenden Lithium-Ionen-Batterien umschwenkten, erfuhr der Vormarsch der ZEBRA-Batterie gegen Ende der 90er Jahre einen jähen Abbruch. Dennoch verschwanden diese Batterien nie ganz aus der Produktion. Die derzeit drei größten weltweit betriebenen Batterien im MWh-Bereich sind ebenfalls Hochtemperaturbatterien – sogenannte Natrium-Schwefel-Batterien. Sie basieren auf derselben Technologie und dem gleichen Festkörperelektrolyt, dem Natriumbetaaluminat.

Aufgrund der intrinsischen Sicherheit des NaNiCl_2 -Batterietyps und den lokal verfügbaren, nicht strategischen Grundmaterialien, richtet sich die Entwicklung am Fraunhofer IKTS seit mittlerweile fünf Jahren auf das Re-Engineering dieser Batterie – mit besonderem Fokus auf Herstellung, Layout und Größe.

Technologische Herausforderungen gemeistert

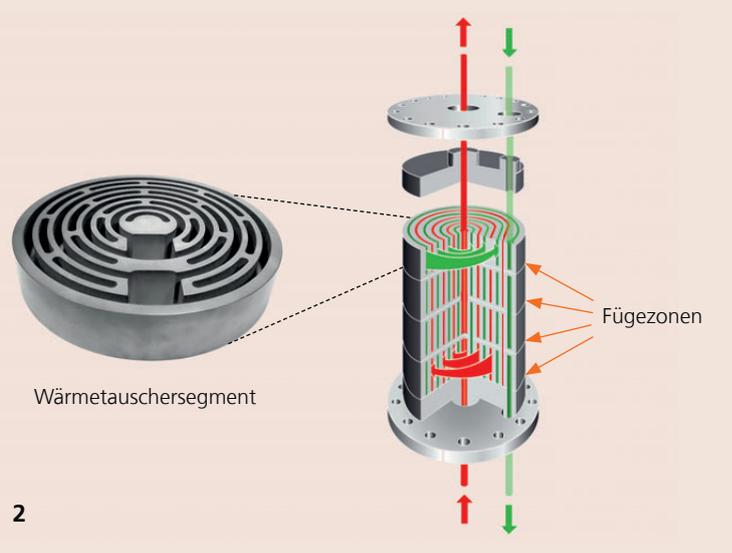
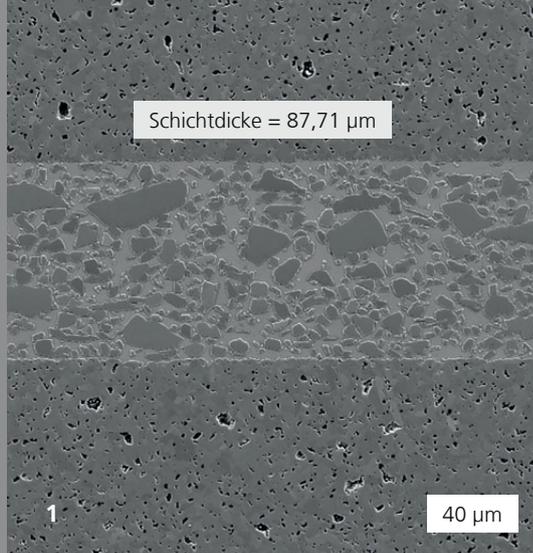
Für die Herstellung des Kernstücks der Hochtemperatur-Batterie, des Elektrolyten, konnte ein kostengünstiges Extrusionsverfahren etabliert werden, das – zusammen mit dem neuen Layout der Zellen – ein Upscaling ermöglichte. Hierzu mussten zahlreiche Versatzrezepte und Keramik-Metall-Verbindungsvarianten getestet und optimiert werden. Eine weitere technologische Herausforderung stellte der Verschluss dar, welcher unter Natrium-Dampf-Atmosphäre langzeitstabil sein muss. Im Ergebnis der Entwicklungsarbeiten konnten statt der marktüblichen 38 Ah-Zellen nun erstmals 100 Ah-Zellen realisiert werden. Die damit gemessene an der Kapazität – weltgrößte NaNiCl_2 -Zelle ist in stationären Batteriemodulen bereits erfolgreich getestet worden.

Das Fraunhofer IKTS als Batterie-Entwicklungspartner

Zum Leistungsspektrum des IKTS gehören die Entwicklung und Herstellung von keramischen Elektrolytprototypen, die elektrochemische Vermessung von Hochtemperaturzellen, Post-Mortem-Analysen sowie die Zell- und Modulentwicklung inklusive energetischer Systemsimulation für kundenspezifische Anwendungen.



- 1 100 Ah NaNiCl_2 -Batteriezellen.
- 2 cerenergy®-Batteriemodul im Teststand.



ENERGIE

GASDICHTE FÜGUNG VON VOLLKERAMISCHEN WÄRMETAUSCHERN AUS SILICIUMCARBID

Dr. Steffen Kunze, Dipl.-Krist. Jörg Adler

In vielen Anwendungen der chemischen Industrie haben sich, insbesondere zur Abwärmenutzung von Reaktionsprozessen, modulare Rekuperatoren aus gesintertem Siliciumcarbid etabliert. Jedoch beschränken die marktgängigen Dicht- und Füge-technologien der einzelnen Module die chemische und thermische Belastbarkeit und damit die Einsatzgebiete solcher Wärmetauschersysteme. Zur Überwindung dieser technischen Grenzen hat das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit der GAB Neumann GmbH ein Verfahren für das stoffschlüssige keramische Verbinden von Siliciumcarbidkeramiken entwickelt.

Ausgangspunkt für die Fügung ist eine Folie aus polymergebundenen Siliciumcarbidpartikeln. Diese lässt sich mittels Laser präzise auf die Abmaße der zu verbindenden Bauteile zuschneiden. Auch die Herstellung komplexer Zuschnittmuster ist möglich. Die zu verbindenden Bauteilflächen können anschließend mit der zugeschnittenen Folie bereits bei niedrigen Temperaturen von ca. 200 °C miteinander gefügt werden. Aufgrund der Verwendung von thermoplastischen Bindemitteln erfolgt dies kostengünstig, mit geringem apparativen Aufwand, unter Luft und bei niedrigen Pressdrücken ab ca. 1 MPa. Das Fügen von sphärischen bzw. sehr rauen Oberflächen ist ebenfalls möglich, da sich die Folie sehr gut drapieren lässt und im plastischen Zustand Unebenheiten optimal nivelliert. Die auf diese Weise miteinander verbundenen Bauteile werden anschließend einer Pyrolyse unterzogen. Dabei entsteht in der Fügezone eine poröse Schicht aus Siliciumcarbidkörnern, die mit Glaskohlenstoff verbunden sind. Unter Zuführung von flüssigem Silicium wird diese in einem Hochtemperaturschritt bei ca. 1600 °C in eine dichte SiSiC-Fügeschicht überführt. Das Silicium wird dabei in Form von Nuten oder Sacklöchern als Reservoir mit direktem Kontakt

zur Fügezone in den Werkstoff eingebracht. Beim Überschreiten der Schmelztemperatur (1414 °C) verflüssigt sich das Silicium in den Reservoirs und wird aufgrund der Kapillarkräfte in die Fügezone gezogen. Dort reagiert es mit dem vorliegenden freien Glaskohlenstoff zu sekundärem Siliciumcarbid. Das Ergebnis ist eine gasdichte Fügung aus Siliciumcarbid, deren Poren mit freiem Silicium geschlossen sind. Die auf diese Weise erzeugten keramischen Fügezone besitzen eine Dicke von ca. 100 µm, sind hochtemperaturgeeignet und sehr chemikalienresistent. Beim Industriepartner GAB Neumann GmbH wird die entwickelte Füge-technologie derzeit bei Platten- und Ringnutwärmetauschern erstmals angewendet.

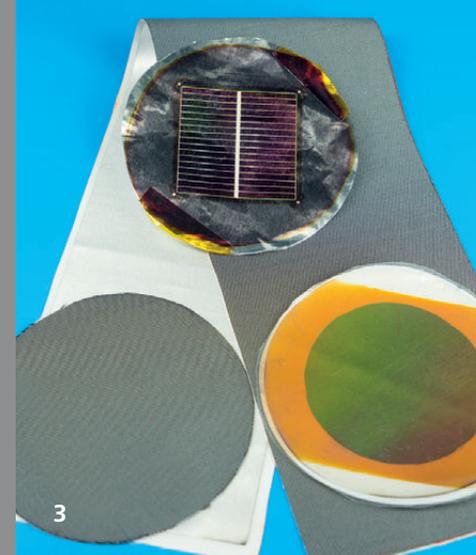
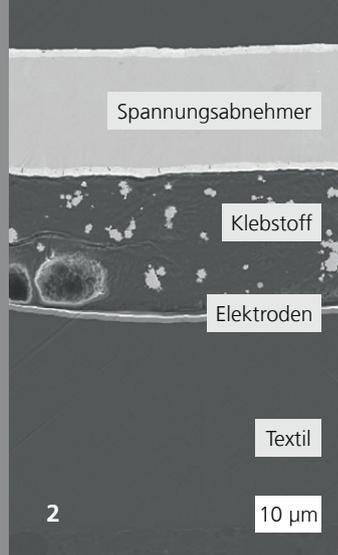
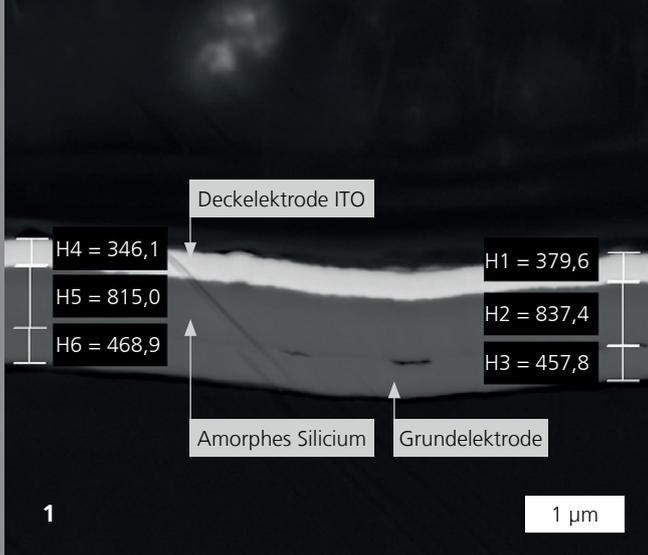
Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung von Fügeprozessen für keramische Werkstoffe
- Anwendungsbezogene Werkstoffentwicklung
- Erarbeitung von Fertigungsverfahren zur industriellen Herstellung komplexer keramischer Bauteile
- CFD-Simulationen zur Unterstützung der Auslegung und Optimierung von Rekuperatoren
- Erarbeitung von angepassten Pyrolyse- und Silicierregimen



1 Fügenaht zwischen zwei SiSiC-Bauteilen.

2 Schema der keramischen Fügung von Segmenten eines Ringnutwärmetauschers.



DÜNNSCHICHTSOLARZELLEN AUF TECHNISCHEN TEXTILIEN – PhotoTex

Dr. Lars Rebenklau, Mario Krug, Dr. Paul Gierth, Dr. Jonas Sundqvist

Markisen, Lamellen und Sonnensegel sollen zukünftig nicht mehr nur vor Sonne schützen, sondern auch Solarstrom erzeugen. Dieser kann z. B. für die energieautarke Markisensteuerung genutzt werden. Im »PhotoTex«-Projekt arbeitet das Fraunhofer IKTS mit Partnern daran, erstmals flexible technische Textilien mit praxistauglichen photovoltaisch wirksamen Schichten auszustatten. Hierzu werden Dünn- und Dickschichttechnologien mit Textiltechnologien kombiniert. Ziel ist die Entwicklung und Validierung verschiedener photovoltaischer Schichtsysteme, die mit unterschiedlichen Verfahren auf textile Unterlagen aufgebracht werden. Voraussetzung für eine gleichmäßige Applikation der Dünnschicht solarzellen auf den rauen textilen Oberflächen ist neben der Substratvorbehandlung eine Basisbeschichtung der Textilien. Dafür mussten in einem ersten Schritt Textilien und Ausgleichwerkstoffe qualifiziert werden, die in ihrem Temperaturverhalten mit den Dünnschichttechnologien kompatibel sind. Für den eigentlichen Schichtaufbau wurden auf der ebenen Ausgleichsschicht elektrisch leitfähige Grundelektroden aus Aluminium bzw. Molybdän durch DC-Magnetronspütern abgedruckt. Als noch effizienter erwies sich der Elektrodenaufbau mittels Folienkaschierung von Aluminium. Die Grundelektroden wurden wiederum mit amorphem photovoltaischem Silicium beschichtet – dies erfolgte mit plasmaunterstützter chemischer Gasphasenabscheidung (PECVD). Als elektrisch leitfähige Deckelektroden dienten Indiumzinnoxid (ITO)-Schichten, gefolgt von siebgedruckten hochleitfähigen Polymerpasten. Speziell letztere sind als Montageebene zum Leistungsabgriff notwendig. Die Entwicklung von Klebtechnologien, Lötmontagekonzepten mit reduzierten Temperaturanforderungen und textilindustriekompatiblen Nietmontagekonzepten war für den Anschluss der Spannungsabnehmer nötig. Zudem mussten angepasste Maskie-

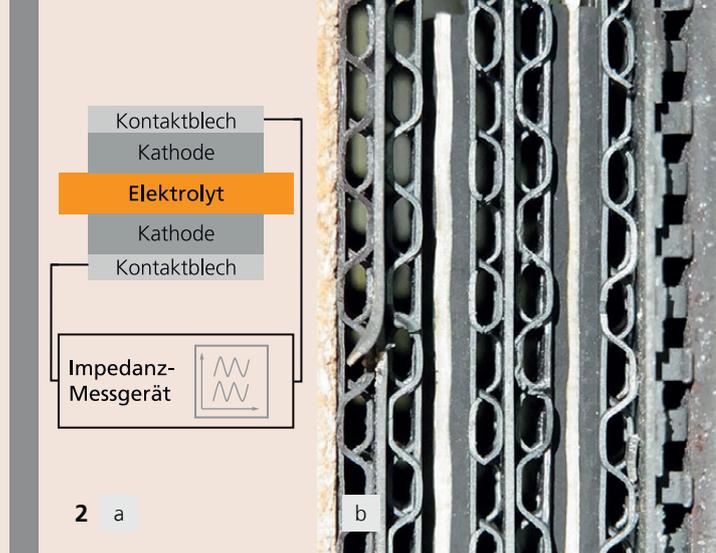
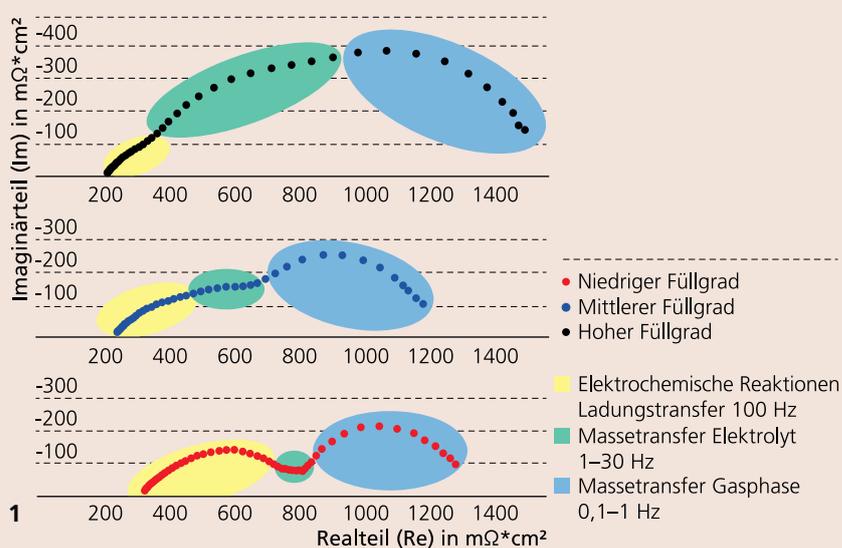
rungstechnologien validiert werden, die den direkten Kontakt zwischen Elektroden und Siliciumschicht verhindern und so Kurz- und Nebenschlüsse im hybriden Schichtaufbau mindern. Letztlich garantiert die hermetische Verkapselung der Dünnschicht solarzellen mittels Folienmontage einen langzeitstabilen Betrieb. Versuche und Prototypen zeigen, dass die Herstellung photovoltaischer aktiver Schichten auf technischen Textilien möglich ist. Zur Bewertung von Leistungsfähigkeit und Langzeitstabilität der Schichtsysteme wurde eine Kleinserie mit aktiven Zellflächen bis zu 250 mm² auf Glasfasertextilien aufgebaut. Die Charakterisierung der Effizienz erfolgte im Sonnenspektrum AM 1,5. Dabei erbrachten die Photo-Tex-Module Effizienzen von 0,1–0,3 %. Durch Weiterentwicklung der Technologie erwartet das Projektkonsortium eine Steigerung auf 2–5 %. Damit scheint eine wirtschaftliche Nutzung von solaraktiven Sonnenschutztextilien in naher Zukunft möglich. Wir danken dem BMBF für die Förderung des »PhotoTex«-Projekts (Förderkennzeichen: 03ZZ0614A).

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Funktionsschichtentwicklung und Validierung auf Textilien
- Entwicklung von Aufbau- und Verbindungstechniken
- Aufbau und Erprobung von Kleinserien



- 1 Im Dünnschichtprozess abgeschiedene Schichtfolge auf Glasfasergewebe.
- 2 Im Klebprozess kontaktiertes Dünnschicht-Solarmodul auf technischem Textil.
- 3 Prototyp textiler Solarzelle.



ENERGIE

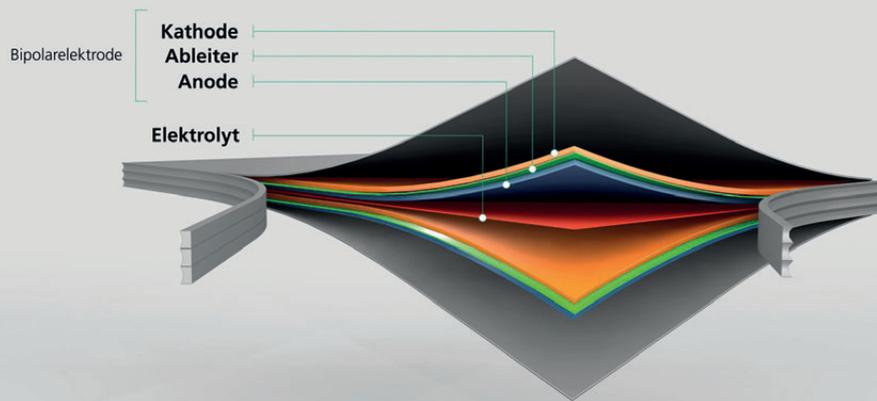
IN-SITU-CHARAKTERISIERUNG VON MCFC-KATHODEN MITTELS IMPEDANZSPEKTROSKOPIE

Dipl.-Ing. Christoph Baumgärtner, Dr. Mihails Kusnezoff, Dr. Mykola Vinnichenko

Die Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC) zählt zu den ausgereiftesten und effizientesten Brennstoffzellentechnologien für die stationäre, dezentrale Energieversorgung. Sowohl Effizienz als auch Laufzeit werden dabei maßgeblich durch Spannungsverluste an den elektrochemisch aktiven Elektroden beeinflusst. Im Vergleich zur Anodenreaktion weist die Kathodenseite höhere Verluste auf und birgt somit ein großes Optimierungspotenzial. Der grundlegende Mechanismus der Sauerstoffreduktion in Karbonatschmelzen wurde bereits ausführlich untersucht, jedoch häufig unter Einsatz modellhafter und vereinfachter Versuchsanordnungen, welche die Vorgänge an realen porösen Kathoden unter betriebsnahen Bedingungen nur unzureichend beschreiben. Tiefere Einblicke in den Mechanismus der Kathodenreaktion liefert die In-situ-Impedanzanalyse unter betriebsnahen Bedingungen (600–700 °C; in $O_2/CO_2/N_2/H_2O$ -Atmosphäre). Am Fraunhofer IKTS wurden Impedanzmessungen an Kathodenhalbzellen (KHZ) durchgeführt, bei denen sowohl Arbeits- als auch Gegenelektrode aus Kathodenmaterialien bestehen. Vorteil der Methode im Vergleich zur Charakterisierung kompletter Zellen ist die Vermeidung überlagerter Prozesse durch anodenseitige Reaktionen. Die Anregung in einem breiten Frequenzbereich von 10 mHz bis 100 kHz macht es möglich, elektrochemische Vorgänge mit unterschiedlichen Zeitkonstanten, wie Ladungstransfer an Grenzflächen und Diffusionsprozesse (Massetransfer), getrennt darzustellen und auszuwerten. Hierdurch kann der Einfluss unterschiedlicher Betriebsparameter, wie Temperatur, Gaszusammensetzung und Laufzeit, auf einzelne Reaktionsschritte untersucht und aufbauend darauf die Kathode zielgerichtet optimiert werden. Für MCFC-Kathoden können in der Regel drei Prozesse – Ladungstransfer, Massetransfer im Elektrolyten sowie Massetransfer in der Gasphase – mit unterschiedlichen Geschwindig-

keiten identifiziert werden. Im Nyquist-Diagramm (Bild 1) sind diese Prozesse näherungsweise als Halbkreise dargestellt. Bei ähnlichen Zeitkonstanten kommt es teilweise zu einer starken Überlagerung der Prozesse. Untersuchungen an Kathoden mit unterschiedlichen Füllgraden poröser Nickeloxid-Strukturen zeigen, dass der durch Massetransfer verursachte Spannungsverlust durch eine Reduzierung des Elektrolytgehalts stark verringert werden kann. Der Elektrolytgehalt ist jedoch nicht beliebig reduzierbar, da ein hoher Elektrolytverlust oder zu geringe Füllgrade die Degradation der Elektrode verstärken. Dies hätte wiederum einen starken Anstieg des Spannungsverlusts durch die elektrochemischen Reaktionen zur Folge – sichtbar im hochfrequenten Anteil des Impedanz-Spektrums. Die Versuche demonstrierten, dass die Impedanzspektroskopie eine optimale Methode ist, um komplexe elektrochemische Systeme wie MCFC-Brennstoffzellen zu charakterisieren und hinsichtlich unterschiedlicher Parameter zielgerichtet zu optimieren. Das Verfahren eignet sich zur Charakterisierung elektrochemischer Prozesse bei hohen Temperaturen und unter verschiedensten Umgebungsbedingungen und kann auch auf andere Anwendungsfälle, wie Hochtemperaturbatterien, übertragen werden.

- 1 Impedanz-Spektren (Nyquist-Diagramm) von Kathodenhalbzellen mit unterschiedlichen Elektrolytfüllgraden.
- 2 Schematische Darstellung des Impedanz-Messaufbaus (a) und Aufbau eines Stacks, bestehend aus zwei Halbzellen (b).



1



2

EMBATT – BIPOLAR-LITHIUM-IONEN-BATTERIE FÜR SICHERES FAHREN MIT GROSSER REICHWEITE

Dr. Mareike Wolter, M.Sc. Matthias Coeler, Helmut Kotzur, Dipl.-Ing. Stefan Börner, Dr. Sebastian Reuber, Dr. Kristian Nikolowski

Konzept der EMBATT-Batterie

Als Voraussetzung für eine breite Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen wird neben der Reduzierung der Produktkosten für Fahrzeugbatterien die Erhöhung der Energiedichten und Reichweiten gesehen. Für die etablierte Lithium-Zell-Technologie wird dies durch Einführung von Aktivmaterialien mit erhöhter Energiedichte sowie ein optimiertes Zell- und Systempackaging adressiert.

Die EMBATT-Bipolarbatterie basiert auf einem Konstruktionsprinzip, das für Brennstoffzellen bereits etabliert ist und auf Lithium-Ionen-Batterien übertragen wurde (DE 10 2014 210 803 A1, WO 2015/185723 A1). Die Basis des neuen Batterieaufbaus bilden gestapelte großflächige Elektroden in bipolarem Schichtaufbau. Die Zellen der EMBATT-Batterie sind in einer Stackbauweise derart gestapelt, dass der Ableiter der negativen Elektrode einer Zelle die Kontaktierung der positiven Elektrode der nächsten Zelle darstellt. Damit teilen sich zwei in Reihe geschaltete elektrochemische Zellen die Ableiter – eine Seite der Bipolarelektrode dient somit als Anode in einer Zelle und die andere Seite als Kathode in der nächsten Zelle. Je größer und dicker die Elektroden sind, desto höher ist die Kapazität der Batterie. Die Stapelstruktur der EMBATT-Batterie erzielt eine hohe Systemspannung sowie hervorragende Leistungsparameter durch einen verringerten Innenwiderstand.

In den vergangenen Jahren hat das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit seinen Partnern vor allem Prozesse für die Herstellung von Bipolarelektroden im Technikumsmaßstab entwickelt und damit die Voraussetzung für die Skalierung von EMBATT bis auf die

Größe 20 x 30 cm² geschaffen. Diese Zellstapel werden heute mit flüssigen Elektrolyten befüllt und getestet.

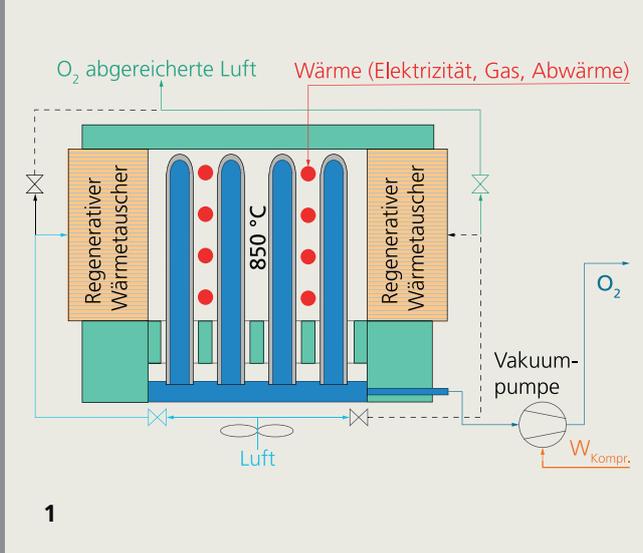
Mehr Sicherheit durch polymere Elektrolyte

In einem nächsten Entwicklungsschritt soll der brennbare, leicht flüchtige Flüssigelektrolyt durch polymere Elektrolytmaterialien substituiert werden. Aktuell werden ausgewählte Polymere hinsichtlich ihrer Eignung und Verarbeitbarkeit untersucht. Dabei werden spezifische Eigenschaften wie die Leitfähigkeit, aber vor allem auch die chemische und elektrochemische Stabilität gegenüber möglichen Anoden- und Kathodenwerkstoffen betrachtet. Zu Kompositen vermischt, bilden Aktivmaterialien und polymere Elektrolyte die Basis von zukünftigen Komposit-elektroden.

Am IKTS wurden bereits Bipolarelektroden mit PEO (Polyethylenoxid) infiltrierte und damit erfolgreich Kompositkathoden im Technikumsmaßstab hergestellt. PEO ist kostengünstig und gut verarbeitbar und wird daher als Polymerelektrolyt erforscht. Bei den durchgeführten Versuchen wurde das Polymer auf den Erweichungspunkt von 60 °C erhitzt, in die Elektrode infiltrierte und danach das Lösemittel bei einer Temperatur von 80 °C ausgetrocknet. Die elektrochemische Funktion PEO-LITFSI-infiltrierter Schichten wurde in Zyklentests mit Lithium als Gegenelektrode bestätigt.

- 1 Aufbau von EMBATT.
- 2 Infiltration von Polyethylenoxid in Bipolarelektrode im Technikumsmaßstab.



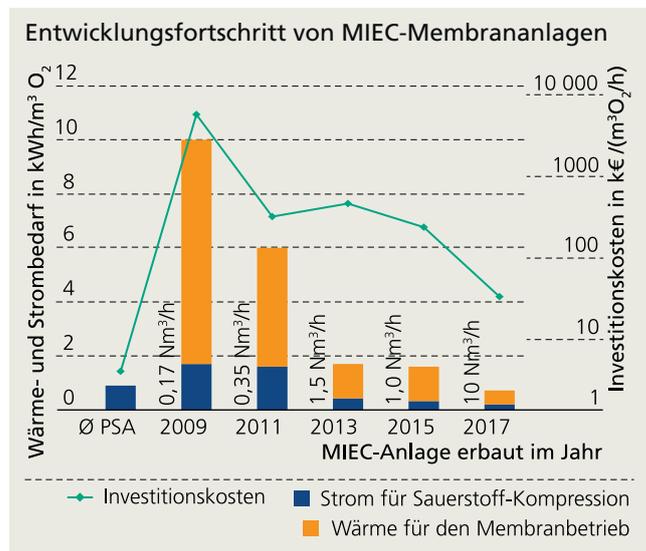


WELTGRÖSSTE MEMBRANANLAGE ZUR ERZEUGUNG VON REINST-SAUERSTOFF

Dr. Ralf Kriegel, Dr. Robert Kircheisen

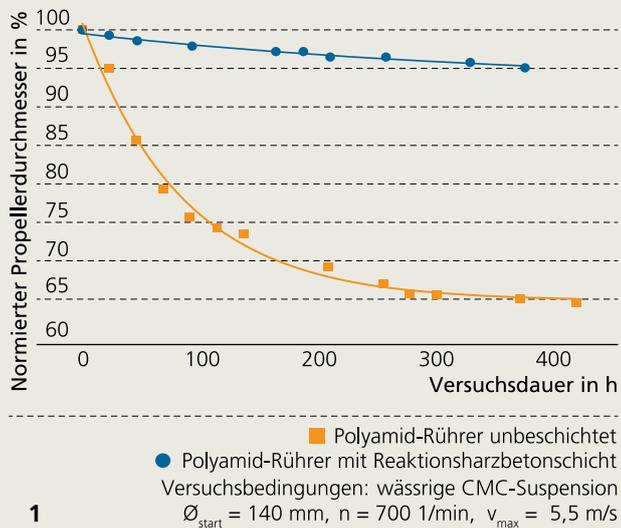
Sauerstoff wird industriell in sehr großen Mengen benötigt, z. B. zur Vergasung von Kohle, in der Metallurgie (Stahl, Kupfer, Aluminium) sowie der chemischen Industrie. Zudem ermöglicht die Verbrennung mit reinem O₂ eine hocheffiziente CO₂-Abtrennung und die Einsparung von Primärbrennstoff. Für kleinere Wärmebehandlungsanlagen ist eine Belieferung mit O₂ meist nicht wirtschaftlich, da der Preis mit sinkender Abnahmemenge stark steigt. Die alternative Erzeugung vor Ort mit PSA-Anlagen (Pressure Swing Adsorption) liefert bei relativ hohem Energieverbrauch nur ca. 93 Vol.-% O₂, diese Reinheit ist häufig unzureichend. Von einer energieeffizienten und preiswerten Erzeugung reinsten O₂ vor Ort würden viele Industrieprozesse profitieren. Das Fraunhofer IKTS entwickelt keramische MIEC-Membranen (Mixed Ionic Electronic Conductor), die bei hoher Temperatur nur für Reinst-O₂ permeabel sind. Seit 2009 wurden mehrere Versuchsanlagen mit diesen Membranen realisiert. Das Diagramm zeigt, dass seitdem der O₂-Durchsatz der Anlagen erhöht und Energieverbrauch sowie Gerätekosten deutlich gesenkt werden konnten. Seit 2015 verfolgt das BMBF-Projekt MedPROmM das Ziel, den spezifischen Energieverbrauch einer großindustriellen kryogenen Luftzerlegungsanlage (< 0,5 kWh/Nm³ O₂, N – Normzustand) zu unterschreiten. Mit Partnern aus der Industrie hat das Fraunhofer IKTS das patentierte Anlagenkonzept (Bild 1) in einer Versuchsanlage (Bild 2) umgesetzt. Während des Baus der Membrananlage ergab sich ein enormer Anpassungs- und Änderungsbedarf der CAD-Konstruktion, da an vielen Stellen neue technische Lösungen erarbeitet werden mussten. Der tatsächliche Energieverbrauch der Versuchsanlage lag mit 0,72 kWh/Nm³ O₂ merklich höher als konzipiert (0,46 kWh/Nm³ O₂), da sie noch Wärmebrücken am Gehäuse aufwies und einige regenerative Wärmetauscher eine deutlich verminderte Wärmerückgewinnung zeigten. Der

Energiebedarf für die O₂-Verdichtung (0,2 kWh/Nm³ O₂) stimmt jedoch mit dem Zielwert sehr gut überein, der O₂-Durchsatz von 9,8 Nm³ O₂/h macht die Anlage zur größten ihrer Art weltweit. Bei 8000 Jahresstunden, zehn Jahren Nutzungsdauer und 0,1 €/kWh_{el} ergibt sich ein O₂-Preis von 0,43 €/Nm³ O₂ für die Anlage. Eine Belieferung mit Flüssig-O₂ ist fast doppelt so teuer und würde Zusatzkosten von ca. 29.000 € im Jahr verursachen.



- 1 Schematisches Anlagenkonzept der MIEC-Membrananlage.
- 2 Anlage zur Erzeugung von 10 Nm³ O₂/h, 0,72 kWh/Nm³ O₂.



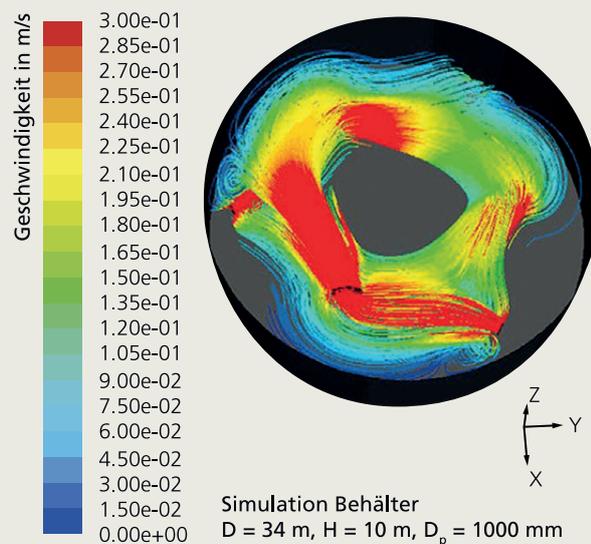


EFFIZIENTE UND VERSCHLEISSFESTE RÜHRER FÜR BIOGASANLAGEN

Dr. Steffen Kunze, Dipl.-Ing. Anne Deutschmann

Die Hauptaufgaben der Rührtechnik in den Fermentern von Biogasanlagen sind das Mischen von frischem Substrat mit dem bereits gärenden Material, die Verringerung von Temperaturgradienten zur Realisierung konstanter Milieubedingungen sowie die Vermeidung von Schwimmschichten als Voraussetzung für einen ungehinderten Austritt des Biogases aus der Flüssigphase. Aufgrund der hohen tribologischen und korrosiven Beanspruchungen durch die aggressiven Gärsubstrate sind die Standzeiten derzeitiger Rührer gering. Aus diesem Grund arbeitet das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit dem Rührwerkshersteller RTO GmbH und dem Mineralgusspezialisten SiCcast GmbH sowohl konstruktiv als auch materialeitig an einer effizienteren und verschleißfesteren Rührwerksgeneration. Auf Grundlage von CFD-Simulationen wurde ein spezielles Rührerdesign mit einem erhöhten Wirkungsgrad entwickelt. Die Validierung der Mischergebnisse mit den optimierten Rührergeometrien erfolgte mittels prozessstomografischer Untersuchungen. Zur Verlängerung der Lebensdauer wurden die tribologisch beanspruchten Zonen der Rührer mit speziellen Verschleißschutzschichten aus Reaktionsharzbeton versehen. Untersuchungen am Rührwerkprüfstand des Fraunhofer IKTS zeigen, dass die verwendete siliciumcarbidhaltige Beschichtung im Vergleich zum Standardwerkstoff eine wesentliche Verschleißminimierung bewirkt. Die Ergebnisse der tribologischen Versuche sind neben dem Diagramm dargestellt (v.u.n.o. Rührer Ausgangszustand, beschichtet nach dem Rührversuch, unbeschichtet nach dem Rührversuch). Diese neuen Schutzschichten aus Reaktionsharzbeton erwiesen sich auch beim Einsatz im realen Gärmedium als äußerst korrosions- und verschleißresistent. Bereits im Jahr 2019 sollen erste Feldtests des neuentwickelten Rührersystems in einer Biogasanlage durchgeführt werden.

CFD-Simulation der Fluiddurchmischung im Rührwerksbehälter (Quelle: RTO GmbH)

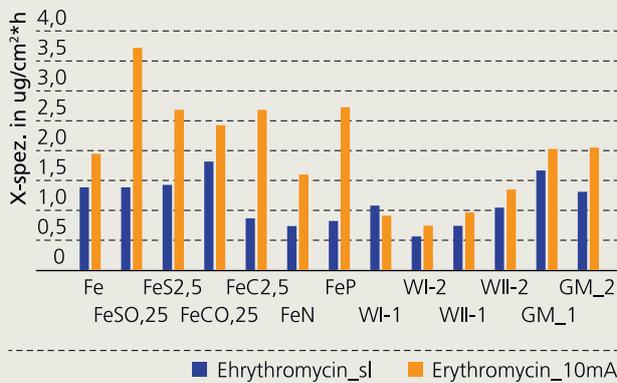


Leistungs- und Kooperationsangebot

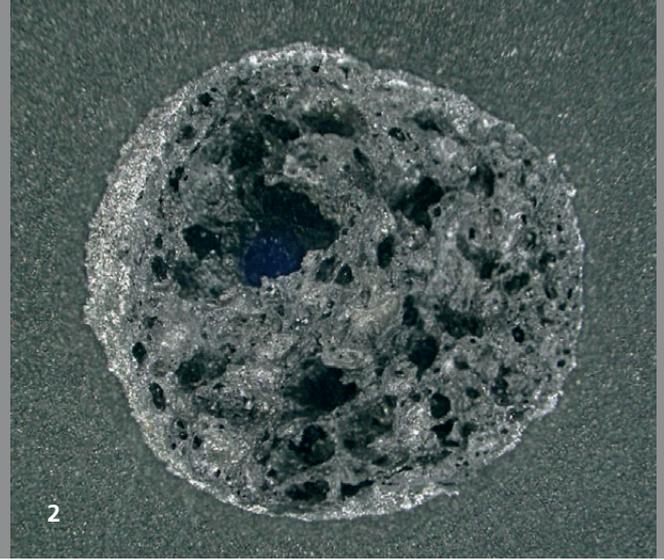
- Charakterisierung, Entwicklung, Optimierung von Rührwerken
- Anwendungsbezogene Werkstoffentwicklung
- Charakterisierung tribologischer und korrosiver Effekte



- 1 Vergleich des Verschleißes zwischen beschichteten und unbeschichteten Rührermustern.
- 2 Versuchspropeller während der Beschichtung mit Reaktionsharzbeton (Quelle: SiCcast GmbH).



1



2

KERAMIK-METALL-SCHWEBEKÖRPER ENTFERNEN MEDIKAMENTENRÜCKSTÄNDE AUS ABWASSER

Dipl.-Chem. Hans-Jürgen Friedrich, Dr. Daniela Haase

In immer größerer Menge gelangen Medikamente, Pestizide oder deren Rückstände in das Grund- und Oberflächenwasser, aus dem auch unser Trinkwasser gewonnen wird. Dies betrifft vor allem die urbanen Ballungsräume und solche mit intensiver Landwirtschaft. Obwohl diese Stoffe nur in sehr kleinen Konzentrationen vorliegen, sind sie im Wasser relativ beständig und entfalten ungewollte biologische Wirkungen. So tragen z. B. Antibiotikarückstände zum Entstehen multiresistenter Keime bei. Hormone wie Östrogen werden für die Zunahme von Fertilitätsstörungen mitverantwortlich gemacht. Leider gelingt es bei zahlreichen dieser Stoffe bisher kaum, sie in der kommunalen Abwasserbehandlung – einem Haupteintragspfad – wirksam zurückzuhalten.

Lösungsansatz: Eisenlegierungen auf Keramikschaum

Innerhalb des BMBF-Verbundprojekts KERAMESCH hat das Fraunhofer IKTS Werkstoffe entwickelt, mit denen Medikamenten- und Pestizidrückstände reduzierend und adsorptiv aus dem Wasser entfernt werden können. Dies sind Eisenlegierungen spezieller Zusammensetzung, die auf schwimmfähige Keramikschäumkugeln aufgebracht werden.

Umfangreiche Untersuchungen zum Einfluss der Eisenzusammensetzung zeigen, dass vor allem schwefelreiche Legierungen die Schadstoffentfernung stark begünstigen (Beispiel Erythromycin in Bild 1). Durch eine kathodische Polarisation des Eisens lässt sich dieser Effekt meist noch verstärken. Bei der reduktiven Transformation werden Wirkstoffe wie Diclofenac unschädlich gemacht, indem Chloratome abgespalten oder andere funktionelle Gruppen angegriffen werden. Die Reaktivität des Eisens

sinkt jedoch infolge von Korrosionsschichtbildung rasch ab, sodass eine permanente Regeneration der Eisen-Oberfläche notwendig wird.

Vom Werkstoff zum schwimmfähigen Katalysator

Damit die eisen umhüllten Keramikschäumkugeln schwimmen, bestand eine Herausforderung darin, ein mechanisch stabiles keramisches Trägermaterial mit einer Dichte von maximal 0,5 g/cm³ zu entwickeln. Die Herstellung erfolgte über die Direktschäumung einer Tonsuspension durch das Einbringen von Luft bei Zugabe eines Tensids. Der Keramikschaum wurde anschließend in Kugelformen gefüllt, getrocknet und gesintert. Der Durchmesser der Kugeln wurde auf 20 mm festgelegt, damit sie nach der Beschichtung mit einer ca. 500 µm dünnen Eisenlegierungsschicht noch schwimmen. Zur Beschichtung der Keramikschäumkugeln wurde eine stabile Suspension des Eisenpulvers entwickelt. Nach der Trocknung erfolgte die Sinterung der Eisenschicht bei 1150 °C unter Schutzgas. Um zukünftig größere Wasservolumina behandeln zu können, sollen die neuartigen Katalysatoren nun in Fluidized-Bed-Reaktoren umfassend getestet werden. Solche Reaktoren haben den Vorteil, dass sich die Reaktionsschicht durch Abrieb permanent erneuert.



- 1 Legierungseinfluss auf die Elimination von Erythromycin.
- 2 Querschnitt einer eisen umhüllten Tonschaumkugel.



ENTWÄSSERUNG ÜBERKRITISCHER GEMISCHE MIT KERAMISCHEN MEMBRANEN

Dr. Marcus Weyd, Dr. Hannes Richter, Dipl.-Ing. (FH) Susanne Kämnitz

Effizienzsteigerung durch prozessintegrierte Trocknung bei überkritischen Bedingungen

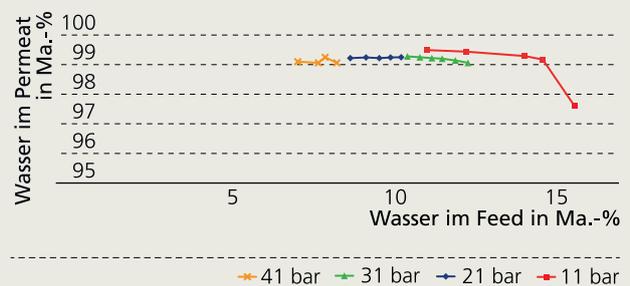
Viele industrielle Anwendungen erfordern neue Morphologien, beispielsweise für verschiedene Polymere, besonders temperaturempfindliche Biopolymere oder Nano-Komposite. Eine Möglichkeit diese herzustellen ist es, die Ausgangsmaterialien unter überkritischen Bedingungen im Sprühtrockner zu entwässern – eine Methode, die in der sogenannten Pressurized Gas Expanded (PGX)-Technologie Anwendung findet. Dabei wird CO₂ und Ethanol bei ca. 100 bar verwendet. Dieses sogenannte überkritische Gemisch kann das während der Sprühtrocknung anfallende Wasser aufnehmen. Um den gesamten PGX-Prozess effizient zu gestalten, muss das Gemisch aus CO₂ und Ethanol immer wieder recycelt, d. h. getrocknet werden. Bei der klassischen Aufarbeitung wird das Gemisch auf Normaldruck entspannt und konventionell entwässert. Das entspannte, abgetrennte CO₂ muss danach mit dem entwässerten Ethanol wieder aufwendig komprimiert werden. Eine prozessintegrierte Trocknung bei überkritischen Bedingungen soll die Effizienz des Verfahrens steigern.

Membranen halten überkritischen Anforderungen stand

Am Fraunhofer IKTS wurden Membranen entwickelt, mit denen Lösemittel-Wasser-Gemische durch Pervaporation oder Dampfpermeation entwässert werden können. Die Entwässerung bei kritischen Bedingungen stellt jedoch besondere Anforderungen an die Membranen, sowohl chemisch als auch mechanisch. In einem deutsch-kanadischen Forschungsprojekt wurden Zeolith- und Kohlenstoffmembranen evaluiert, weiterentwickelt und in

der Anwendung erprobt. Dabei musste die Porengröße der trennaktiven Schicht und deren chemische Stabilität sowie die mechanische Stabilität des Membranträgers betrachtet werden. Kohlenstoffmembranen, die auf einem Membranträger erhöhter mechanischer Stabilität aufgebracht wurden, zeigten in Versuchen bei erhöhten Drücken überzeugende Trennleistungen und höchste Selektivitäten. So konnte im Labor auch bei Drücken von über 40 bar nahezu reines Wasser aus Wasser/Ethanol/CO₂-Gemischen separiert werden. Aktuell befinden sich die Membranen beim kanadischen Projektpartner CEAPRO in der Erprobung bei überkritischen Bedingungen. Die aktuellen Trennergebnisse lassen eine Übertragung der Membrantechnologie in die praktische Anwendung als sehr wahrscheinlich erscheinen.

Permeatkonzentration bei verschiedenen Feeddrücken



- 1 Pervaporationsanlage für Versuche bis zu 50 bar.
- 2 Kohlenstoffmembranen auf keramischem Membranträger für Hochdruckanwendungen.



CO₂-REDUZIERTER STAHLPRODUKTION DURCH ELEKTROLYSEGESTÜTZTE DIREKTREDUKTION

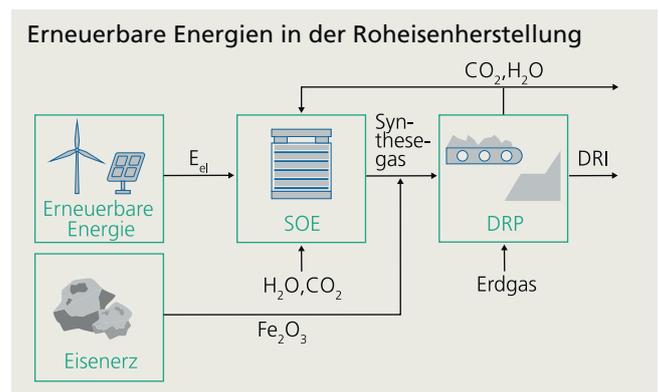
Nils Müller, Dipl.-Ing. Gregor Herz, Dr. Erik Reichelt, Dr. Matthias Jahn, Dipl.-Ing. Aniko Walther

Für die Umsetzung eines nachhaltigen Energie- und Rohstoffsystems ist die Reduzierung der Kohlenstoffdioxid-Emissionen (CO₂) in allen Wirtschaftssektoren entscheidend. Mit einem Anteil von 5 % an den gesamten Treibhausgasemissionen der Europäischen Union zählt die Stahlindustrie zu den größten Treibhausgas-Verursachern. Bei der Gewinnung von Rohstahl – einem der wichtigsten Rohstoffe des 21. Jahrhunderts – entstehen erhebliche Mengen an CO₂ als Nebenprodukt der konventionellen Eisenerzreduktion über die etablierte Hochofenroute. Gegenstand aktueller Forschung am Fraunhofer IKTS ist daher die Minderung der CO₂-Emissionen bei der Roheisengewinnung durch elektrolysegestützte Direktreduktion unter Nutzung erneuerbarer Energie.

Gegenwärtig werden etwa 95 % der weltweit produzierten Roheisenmengen über die Hochofenroute hergestellt. Als Reduktionsmittel dient hierbei Koks. Der im Eisenerz vorhandene Sauerstoff wird während des Reduktionsprozesses an den im Koks enthaltenen Kohlenstoff gebunden. Als Reaktionsprodukte entstehen Roheisen und Kohlenstoffdioxid.

Eine bereits großtechnisch verfügbare Alternative zum Hochofen ist der Direktreduktionsprozess. Als Produkt entsteht hierbei direktreduziertes Eisen (Direct Reduced Iron, DRI), dessen Qualität durch den eingestellten Kohlenstoffgehalt und einen Restanteil an Eisenoxiden charakterisiert ist. Im überwiegenden Teil der existierenden kommerziellen Direktreduktionsanlagen dient Erdgas als Reduktionsmittel. Bei der als »Reformierung« bezeichneten Reaktion des Erdgases entstehen Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid, die dann für die Reduktion der Eisenerze zur Verfügung stehen. Neben CO₂ entsteht dabei auch Wasser

als Reaktionsprodukt. Allerdings wird deutlich weniger CO₂ frei, da der reduzierende Wasserstoff bereits einen Teil des im Eisenerz vorhandenen Sauerstoffs in Form von Wasser bindet. Um künftig die CO₂-Emissionen noch weiter zu senken bzw. perspektivisch auf die Nutzung fossiler Energieträger vollständig zu verzichten, können die für den Reduktionsprozess relevanten Verbindungen Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid mittels Hochtemperaturelektrolyse (Solid Oxide Electrolysis, SOE) bereitgestellt werden. Damit wird der Elektrolyseur zum Bindeglied zwischen erneuerbaren Energiequellen und Stahlerzeugung.



Die einfachste Art eine derartige Kopplung umzusetzen, ist die Beimischung regenerativ erzeugten Wasserstoffs zum Erdgas. Dazu sind keine Änderungen am eingesetzten Schachtofen nötig. Mit zunehmendem Anteil an Wasserstoff sinken die CO₂-Emissionen – ab einem bestimmten Punkt jedoch auch der Kohlenstoffgehalt im DRI. Dies wirkt sich nachteilig auf die folgenden Prozessschritte aus, weshalb die Substitution nur bis zu einem Anteil von 70 Vol.-% technisch sinnvoll ist. Diese Limitierung umgeht ein vom IKTS zum Patent angemeldetes Prozess-

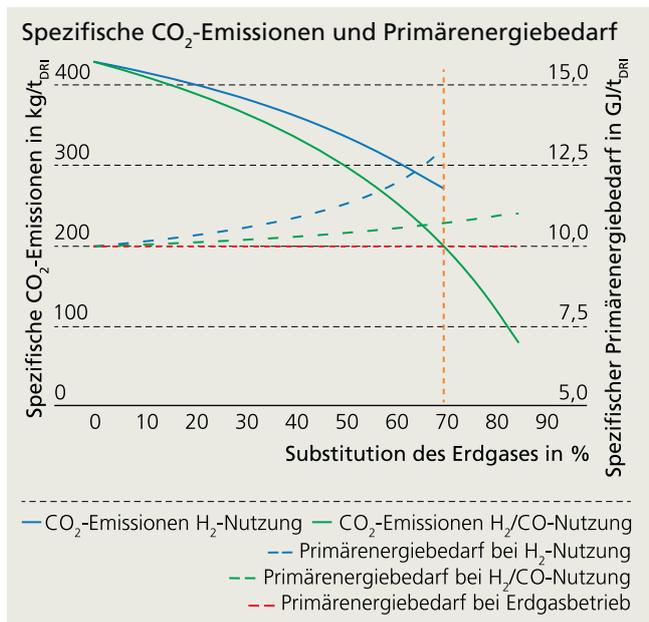


UMWELT- UND VERFAHRENSTECHNIK

konzept. Dieses nutzt die Fähigkeit der ebenfalls am Institut entwickelten Hochtemperaturelektrolyse-Stacks nicht nur Wasser, sondern auch CO_2 umwandeln zu können. Im Direktreduktionsprozess ohnehin abgetrenntes CO_2 wird dem Elektrolyseur zusammen mit Wasser zugeführt. Es entstehen die Reduktionsmittel Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff. Bei gleichem Substitutionsanteil können so die CO_2 -Emissionen im Vergleich zur reinen Wasserstoff-Substitution noch weiter gesenkt werden. Gleichzeitig reduziert sich die notwendige elektrische Energiemenge deutlich, die für die Emissionsminderung aufgewendet werden muss.

Der Grenzwert, bis zu dem der Kohlenstoffgehalt im DRI konstant gehalten werden kann, wird auf diese Weise von 70 Vol.-% auf 85 Vol.-% verschoben, wodurch ein deutlich größerer Anteil Erdgas substituiert werden kann – ohne die Eigenschaften des DRI negativ zu beeinflussen. Wird Erdgas zu 70 Vol.-% durch ein H_2/CO -Gemisch mit dem Verhältnis 2:1 substituiert, entspricht der CO_2 -Bedarf der Elektrolyse exakt der Menge CO_2 aus der prozessinternen Abtrennung der Direktreduktionsanlage. Verbleibende Emissionen sind dann nur noch auf die Vorheizung des Reduktionsgases durch die Verbrennung eines Teils des H_2/CO -Gemischs zurückzuführen. Der restliche über Erdgas zugeführte Kohlenstoff wird im produzierten Roheisen gebunden. Wird erneuerbare Energie auch für die Vorheizung genutzt, können die CO_2 -Emissionen auf nahezu Null abgesenkt werden.

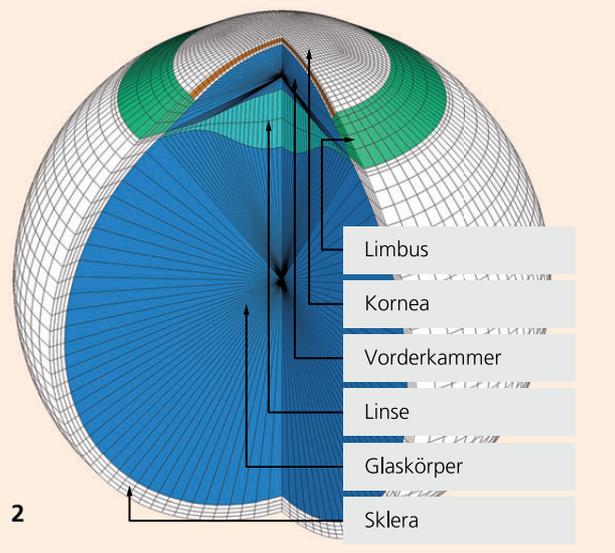
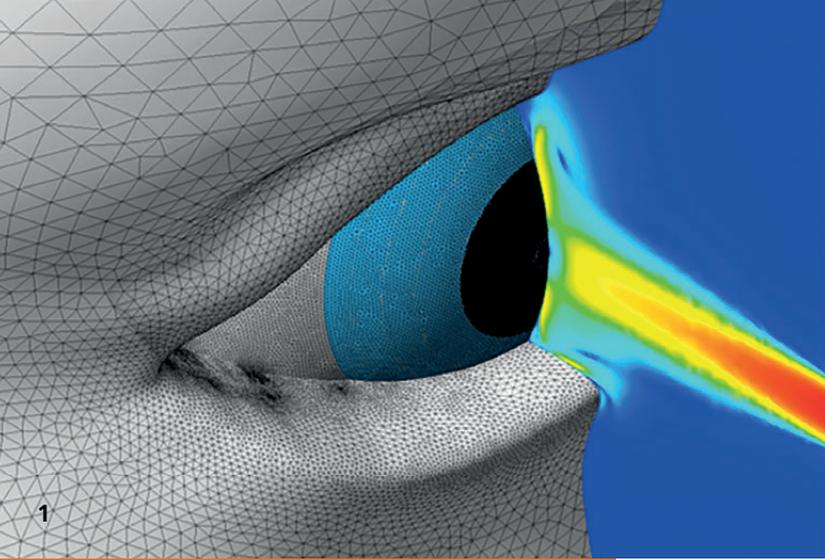
Wird das Erdgas zu mehr als 70 Vol.-% substituiert, kann das gekoppelte System aus SOEC und Direktreduktionsanlage für die Roheisenproduktion sogar als CO_2 -Senke betrieben werden. Für eine zukünftige, nachhaltige Stahlerzeugung ist damit auch der komplette Verzicht auf fossile Kohlenstoffträger möglich. Das entwickelte Verfahren bietet damit ein enormes Potenzial zur Erreichung der angestrebten weltweiten Emissionsminderungsziele.



Wir bedanken uns für die Projektförderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF (Förderkennzeichen 03EK3044A).

- 1 Abstich eines Hochofens (Shutterstock, Oleksiy Mark).
- 2 Eisenerzpellets vor der Reduktion im Direktreduktionsprozess.
- 3 Qualitätsprüfung des Zielprodukts.
- 4 Roheisenbarren (Shutterstock, Kaband).
- 5 Direktreduktionsanlage (Shutterstock, M.Khebra).





KONTAKTLOSE BESTIMMUNG DER BIOMECHANIK AM AUGE MITTELS NUMERISCHER SIMULATION

Dipl.-Ing. Stefan Münch, Dr. Mike Röllig

Die Biomechanik des menschlichen Auges ist in der Medizin von dreifacher Bedeutung. Sie spiegelt pathologische Prozesse aufgrund biochemischer Veränderungen der Gewebestruktur wider und eignet sich so zur Krankheitsdiagnose. Zudem ermöglicht sie die Untersuchung von Heilungsprozessen nach Operationen. Die Biomechanik der Augenhülle beeinflusst die Abbildungseigenschaften und damit die Sehschärfe. Um die biomechanischen Eigenschaften des menschlichen Auges kontaktlos identifizieren zu können, kooperieren das Fraunhofer IKTS, die Technische Universität Dresden sowie die Ruhr-Universität Bochum in einem Forschungsprojekt.

Grundlage der Forschung ist die Luftpulstonometrie, die einen Luftimpuls auf das Auge appliziert und die darauffolgende Augenverformung mithilfe eines Kamerasystems aufzeichnet. Bei bekannter Deformation des Auges und Kenntnis über die zur Verformung benötigte Last, lassen sich Rückschlüsse auf die Augeneigenschaften ziehen. Letzteres wird durch eine numerische Simulation, basierend auf der Finite-Elemente-Methode (FEM), realisiert. Dabei werden die Materialkennwerte solange iterativ angepasst, bis das Verformungsfeld dem optisch ermittelten entspricht. Diese Aufgabe setzt eine realitätsnahe Definition äußerer Lasten, eine detaillierte virtuelle Abbildung des menschlichen Auges sowie die Verwendung eines geeigneten Materialmodells voraus.

Die durch das Luftpulstonometer erzeugten Lasten müssen sowohl in ihrer qualitativen Verteilung als auch in ihren quantitativen Werten vorher experimentell bestimmt werden. Dafür wird ein Glasauge vor dem Luftpulstonometer platziert und dessen Bewegung infolge des Luftimpulses mithilfe der Lasertriangu-

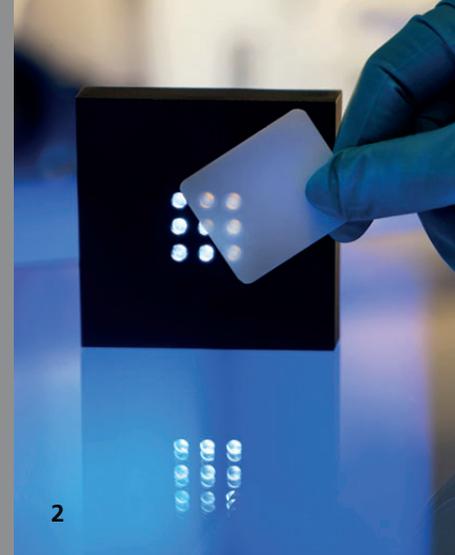
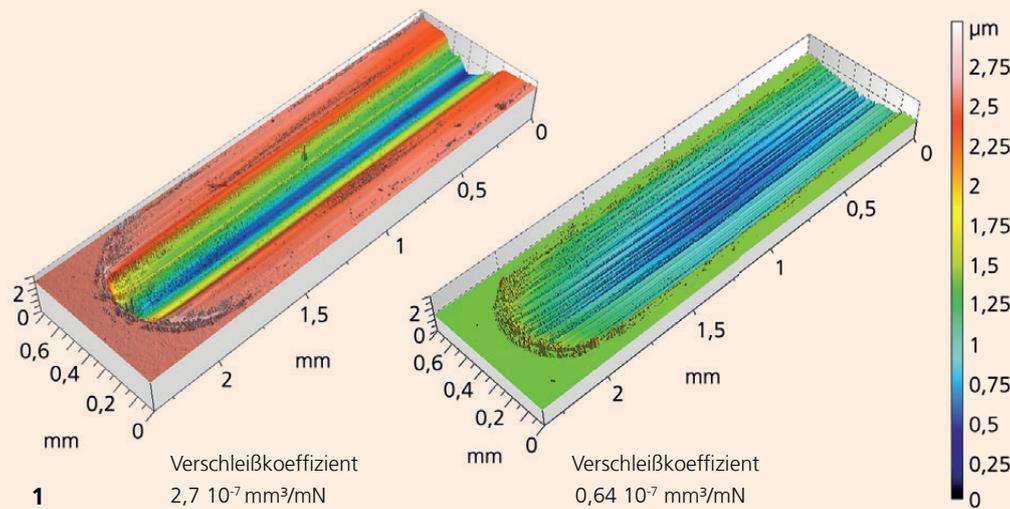
lationsmethode aufgezeichnet. Gekoppelt mit einer Strömungssimulation (CFD) kann so der Druckimpuls charakterisiert und der Einfluss der Augendeformation und der Augenlider auf die Lastverteilung untersucht werden.

Um den komplexen Aufbau der Augenhülle aus Zellen, extrazellulärer Matrix und Kollagenfasern akkurat zu beschreiben, wird ein spezielles Materialmodell mithilfe der UserMat-Routine in ANSYS implementiert. Dieses Modell ermöglicht die Abbildung des inkompressiblen und hyperelastischen Materialverhaltens und berücksichtigt zudem die positionsabhängige Faserausrichtung und statistische Faserstreuung.

Im Ergebnis lässt sich festhalten, dass die Methode die Identifikation eindeutiger Materialkennwerte basierend auf optischen Deformationsmessungen ermöglicht. Die Funktion des Verfahrens wurde bereits mit vordefinierten Testfällen gezeigt. In zukünftigen Arbeiten soll die derzeitige Rechenzeit von ca. 24 Stunden auf nahezu Echtzeit reduziert werden. Dadurch wird die Methode auch für den Einsatz in Untersuchungsgeräten direkt am Patienten praktikabel.

1 Geschwindigkeitsprofil des Luftimpulses am Auge.

2 Detailliertes FE-Modell des Auges.



BIO- UND MEDIZINTECHNIK

TRANSLUZENTE KERAMIKEN – HYDROTHERMAL STABIL UND VERSCHLEISSBESTÄNDIG

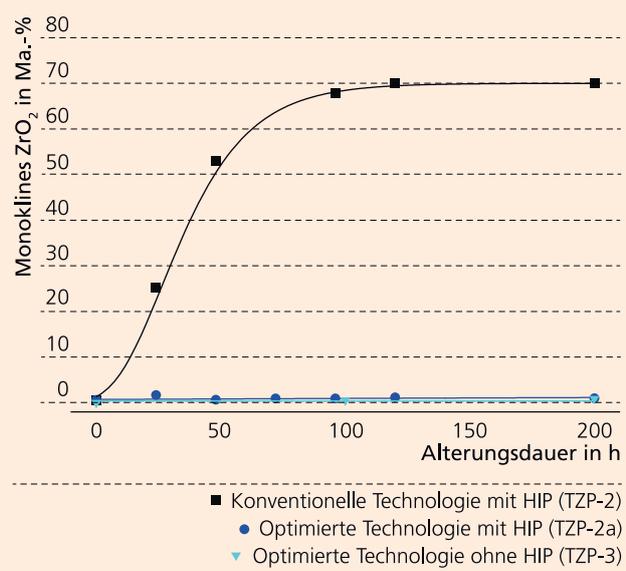
Dipl.-Chem. Martina Johannes, Dr. Sabine Begand

Am Fraunhofer IKTS bestehen umfangreiche Erfahrungen im Bereich Rohstoffdispersion und Formgebung. Mit kostengünstigen kommerziellen Submikro-Pulvern gelang es eine Keramik zu erzeugen, die erhöhte Transluzenz (Bild 2), hydrothermale Alterungsbeständigkeit (Graphik) sowie hohe Härte und Verschleißbeständigkeit (Bild 1) in sich vereint: tetragonales Yttriumstabilisiertes Zirkonoxid (TZP). Diese Keramik eignet sich hervorragend für Dentalimplantate sowie industrielle Anwendungen.

Untersuchungen zeigen, dass eine Steigerung der Transluzenz von TZP durch Senkung der Korngröße im Gefüge und eine Verringerung von Restporosität und Verunreinigungen möglich ist. Das bestätigen Messungen der Inline-Transmission von TZP-Keramiken mit unterschiedlichen mittleren Korngrößen im Gefüge (TZP-2: 340 ± 30 nm, TZP-2a: 150 ± 30 nm). Die Keramiken wurden anschließend heißisostatisch (HIP) nachverdichtet. Durch Senkung der Korngröße um 55 % konnte eine Verdopplung der Transluzenz erzielt werden. Auch ohne HIP (TZP-3) gibt es bei einer mittleren Korngröße von 190 nm eine sichtbare Transluzenzsteigerung. Im Autoklaven wurde zudem bei 134 °C und 2 bar über 200 Stunden eine hydrothermale Alterung simuliert. In der Graphik ist die anschließende Phasenzusammensetzung dargestellt. Während Probe TZP-2 einen raschen Anstieg der monoklinen Phase zeigt, war bei den Proben TZP-2a und TZP3 (ohne HIP) kein Anstieg der monoklinen Phase, also keine Alterung, im untersuchten Zeitraum zu verzeichnen.

Die interferenz-mikroskopischen Aufnahmen der Verschleißuntersuchungen (Bild 1) zeigen zudem, dass die feinkörnige TZP-Keramik vier Mal verschleißbeständiger ist als die grobkörnigere Probe.

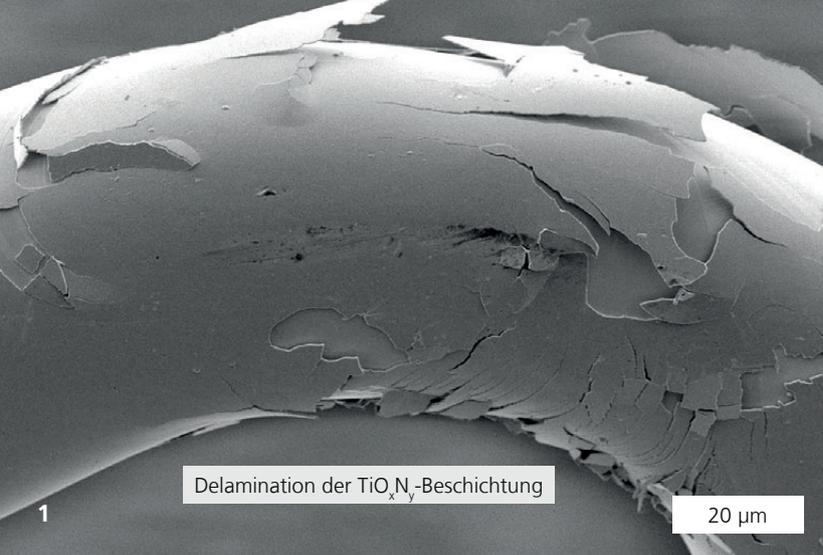
XRD-Messungen nach hydrothormaler Alterung



Leistungsangebot

- Entwicklung von Aufbereitungs- und Formgebungstechnologie für oxidkeramische Werkstoffe
- Herstellung von Prototypen
- Zertifizierung nach ISO 13485 (Qualitätsmanagement für Medizinprodukte)

- 1 Verschleißspur TZP2, grobkörnig (links) sowie Verschleißspur TZP2a, feinkörnig (rechts).
- 2 Transluzenz von TZP-Keramik.



Delamination der TiO_xN_y -Beschichtung

20 µm



Anlagerung von Salzen aus künstlichen Körperflüssigkeiten

50 µm

BIO- UND MEDIZINTECHNIK

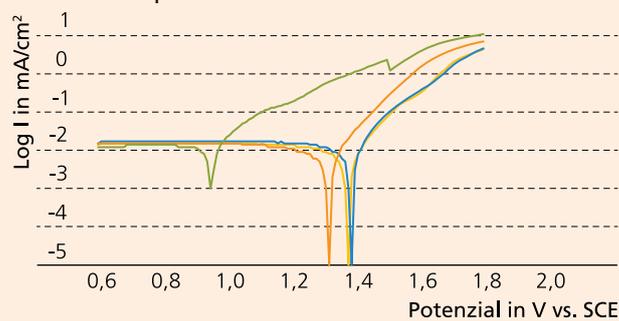
TITANOXINITRID-STENT-BESCHICHTUNGEN MIT LANGZEITBIOSTABILITÄT

Dr. Natalia Beshchasna, Dr. Jörg Opitz, M.Sc. Muhammad Saqib

Herzerkrankungen sind weltweit die häufigste Todesursache. Die Implantation von Stents ist eine etablierte Methode, um verengte oder verschlossene Blutgefäße für den Blutfluss zu öffnen. Obwohl das Risiko von Komplikationen sehr klein ist, bleibt die Wiederverengung der Blutgefäße (Restenose) ein Problem. Eine spezifische Beschichtung der Stents soll dem entgegenwirken. Ein vielversprechender Ansatz ist die Titanoxinitrid-Beschichtung (TiO_xN_y); abgetrennt durch Magnetronspütern. Die Biokompatibilität solcher Stents steigt mit zunehmender Beschichtungsdicke. Allerdings führt das zu einer drastischen Senkung der Schichtadhäsion zum Stent-Grundmaterial. Durch geringere Adhäsion löst sich die dicke TiO_xN_y -Beschichtung ab und es kommt zu unerwünschten Defekten (Bild 1). Im Rahmen des vom Fraunhofer IKTS geleiteten Projekts »TiOxTechBio« (Förder-Nr. 01DJ15023) mit Partnern aus Polen, Rumänien und Russland wurde eine neue Technologie entwickelt. Diese ermöglicht die Herstellung von TiO_xN_y -Schichten auf Edelstahl-Stents (316L) mit geringer Dicke, hoher Härte, hohem Korrosions-, Verschleiß- und Oxidationswiderstand sowie ausreichender Biostabilität. Das IKTS bringt sich mit der Entwicklung eines In-vitro-Verfahrens zur Untersuchung der Langzeitbiostabilität von zahlreichen beschichteten Stent-Prototypen sowie Untersuchungen der physikalisch-chemischen Oberflächeneigenschaften und Korrosionstests in das Projekt ein. In den Experimenten wurde der Einfluss von zwei Faktoren auf die Mikrostruktur der TiO_xN_y -Schicht bestätigt: die Stickstoffkonzentration in der Gasatmosphäre der Beschichtungskammer und die Anwesenheit der negativen Schubspannung am Substrat. Es wurde gezeigt, dass das optimale O_2/N_2 -Verhältnis bei 3/5 liegt, während die optimale Dicke der Beschichtung 150 bis 170 µm beträgt. Mit erhöhter Stickstoffkonzentration verkleinern sich die Korngrößen, was zu geringerer Oberflächenrauigkeit und erhöhter Dichtheit der Beschichtung führt.

Ziel der Weiterentwicklung der Abscheidungs-technologie ist eine höhere Beschichtungsqualität, Flexibilität und gute Adhäsion. Dies wurde durch die Anpassung der Abscheidungsparameter in mehreren Technologieoptimierungsschritten erreicht und in dynamischen Tests mit künstlichen Körperflüssigkeiten überprüft (Bild 2). Die Untersuchungen der Testflüssigkeit nach der Stent-Inkubation mittels Massenspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma zeigen keine Freisetzung der Schichtbestandteile im Fall der optimierten Beschichtungen. Nach erfolgreichen In-vivo- und klinischen Studien kann die Technologie in die industrielle Praxis überführt werden.

Tafel-Diagramm der TiO_xN_y -beschichteten Stents und der Referenzprobe

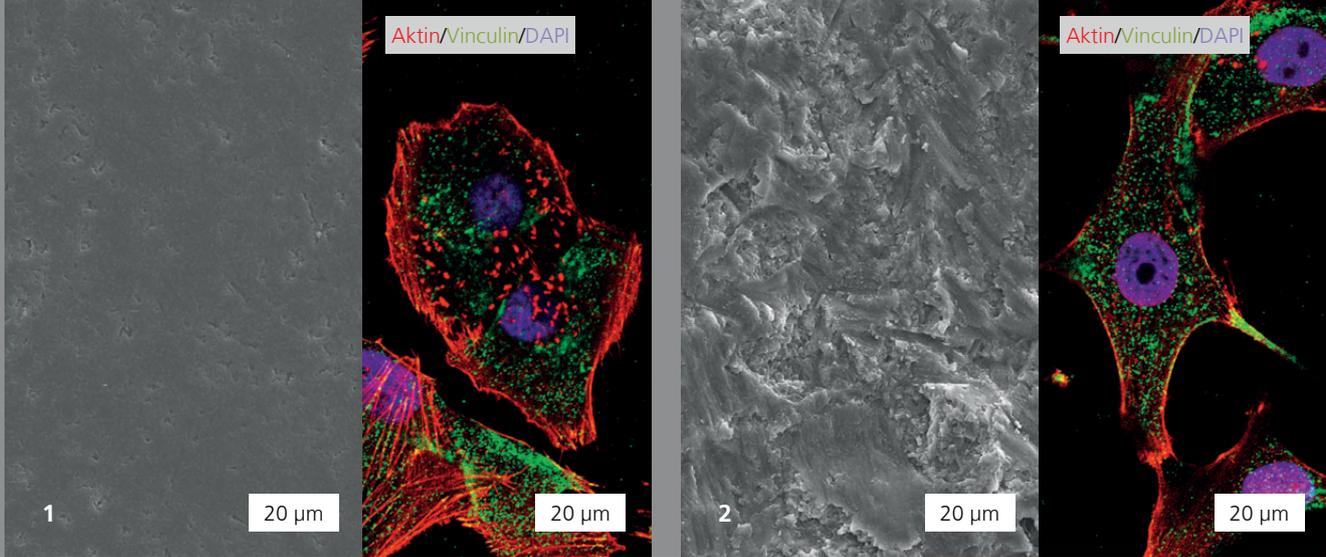


t = 37 °C
 ■ $TiO_xN_y(O_2/N_2 = 27/10)$ ■ $TiO_xN_y(O_2/N_2 = 13/10)$
 ■ $TiO_xN_y(O_2/N_2 = 6/10)$ ■ Unbeschichtet

1 TiO_xN_y -beschichteter Edelstahl-Stent mit mangelnder Schichtadhäsion.

2 TiO_xN_y -beschichteter Edelstahl-Stent nach dem Kontakt mit Hanks' Pufferlösung.





UNTERSUCHUNGEN ZUR ANHAFTUNG UND AUSBREITUNG VON ZELLEN AUF SILICIUMNITRID

Dr. Susanne Kurz, Dr. Juliane Spohn, Dr. Eveline Zschippang

Siliciumnitrid (Si_3N_4) ist durch seine einzigartige Kombination von Werkstoffeigenschaften ein ideales Implantatmaterial. Es ist chemisch beständig, zeigt eine hohe Steifigkeit, Härte, Biegefestigkeit sowie Zähigkeit und ist höchst verschleißfest. Neueste Forschungen zeigen zudem, dass Si_3N_4 nicht nur biokompatibel ist, sondern auch antimikrobielle Eigenschaften aufweist. Mit der gezielten Gestaltung der Oberflächentopografie können Zelladhäsion und Osteokonduktivität wesentlich beeinflusst werden. Am Fraunhofer IKTS werden biokompatible Si_3N_4 -Werkstoffe hergestellt und deren Oberfläche gezielt modifiziert.

Einfluss der Oberfläche auf Anhaftung und Ausbreitung von Osteoblasten

Am Beispiel zweier Bearbeitungsverfahren, Läppen und Sandstrahlen, wird der Einfluss der Oberflächenstruktur auf das osteoblastäre Zellverhalten (Zelllinie MG63) aufgezeigt. Die mittlere Rauheit R_a liegt für die geläppte und sandgestrahlte Oberfläche bei 0,03 bzw. 1,3 μm . Auch in der Benetzbarkeit der Oberflächen zeigen sich Unterschiede (Kontaktwinkel geläppte Oberfläche: 41° , mit Sandstrahlen bearbeitet: 54°). Biologische Untersuchungen hinsichtlich Zelladhäsion und Zellausbreitung zeigen eine geringere Ausbreitung der einzelnen Zellen nach 24 Stunden Kultivierung auf der raueren, weniger hydrophilen Oberfläche (sandgestrahlt, Bild 2) im Vergleich zur glatteren, hydrophileren Oberfläche (geläpft, Bild 1). Die Menge der adhären Zellen ist nach 24 Stunden durch die Proben topografie nicht beeinflusst. Weitere Untersuchungen zur Prüfung des positiven Einflusses der veränderten Zellausbreitung auf die Funktionalität der Osteoblasten schließen sich inhaltlich an.

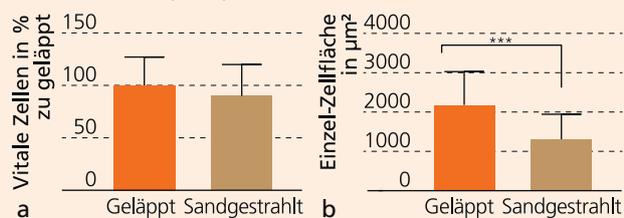
Oberflächenstrukturierung und -optimierung

Neben dem Sandstrahlen gibt es weitere Strukturierungsverfahren, mit denen die Zellausbreitung erheblich beeinflusst werden kann. Hier ist zum Beispiel die Laserstrukturierung denkbar. Zudem kann mit thermischen Verfahren in inerter oder sauerstoffhaltiger Atmosphäre die Chemie und damit die Hydrophilie der Si_3N_4 -Oberfläche gezielt angepasst werden, um ggf. die Oberfläche für die biologische Nutzung weiter zu optimieren.

Leistungs- und Kooperationsangebot

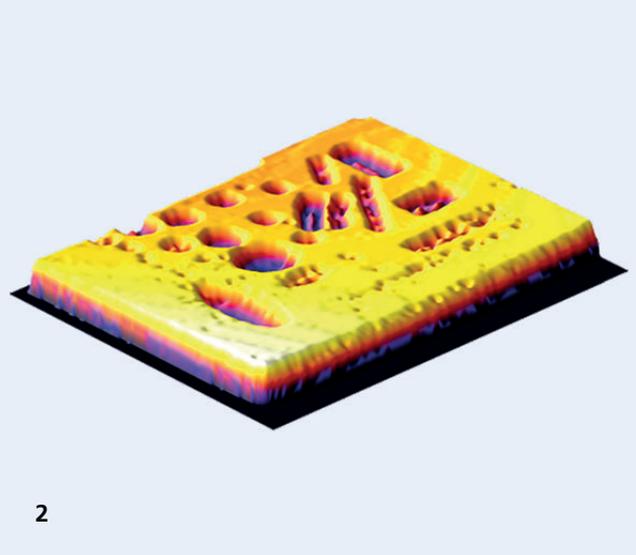
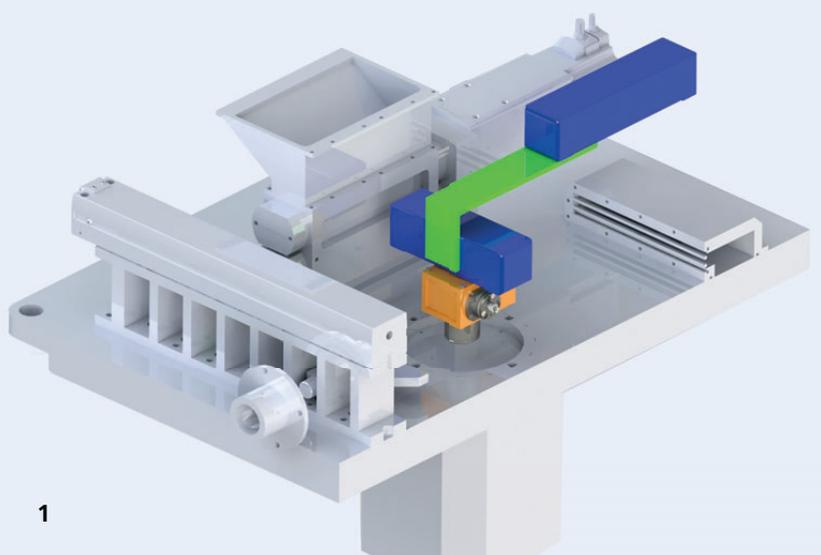
- Forschung und Entwicklung zu Siliciumnitridwerkstoffen und Eigenschaftsoptimierung
- Osteo-/immunologische Zellanalytik auf modifizierten Oberflächen/Biomaterialien

Zelladhäsion (a) und -ausbreitung (b) von Osteoblasten (24 h)



REM-Bild (ohne Zellen) und Fluoreszenz-Laserscan von osteoblastären Zellen

- 1 auf geläpftem Si_3N_4 und
- 2 auf sandgestrahltem Si_3N_4



OPTIK

OPTISCHE KOHÄRENZTOMOGRAPHIE ZUR ÜBERWACHUNG DES SELEKTIVEN LASERSCHMELZENS

Dipl.-Ing. Andreas Lehmann, Thomas Schmalfuß, Dr. Jörg Opitz

Die additive Fertigung (AM) von Produkten in der Medizintechnik, Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt gewinnt stetig an Bedeutung. Das erfordert neue Ansätze in der Qualitätskontrolle. Im Gegensatz zur konventionellen Fertigung liegt die Losgröße meist bei wenigen oder gar nur einem Teil pro Fertigung. Deshalb können statistische Prüfverfahren, wie die stichprobenartige Prüfung mit Laborgeräten, nicht zielführend eingesetzt werden. Zudem sollten Fehler idealerweise bereits während des Herstellungsprozesses erkannt werden, um zeitnah eingreifen zu können und damit Material und Zeit zu sparen. Für eine 100 %-Überwachung muss neben einer passenden Messtechnologie, wie der optischen Kohärenztomographie (OCT), ein entsprechender Feedbackloop integriert werden.

Dafür wird im Rahmen eines ZIM-Projekts die optische Kohärenztomographie für die Überwachung des selektiven Laserschmelzens (SLM) qualifiziert. Projektpartner sind neben IMM electronics GmbH, Nanoval GmbH & Co KG, die Fraunhofer-Institute IKTS und IGCV, Yonsei University sowie Sentrol Inc., die eine selbst entwickelte SLM-Maschine für die OCT-Integration bereitstellt. Derzeit werden SLM-Prozesse über die Schmelzbadüberwachung kontrolliert. Dem ist die OCT überlegen, da sie hochaufgelöste 3D-Oberflächendaten der gefertigten Teile liefert. Mit den gewonnenen Daten werden erstmals Fehler während des Prozesses aufgenommen. Diese können in nachfolgenden Projekten Grundlage für die Entwicklung von Machine-Learning-Algorithmen sein, die aus den OCT-Daten Signale für einen Feedbackloop erzeugen.

Die Randbedingungen für die Integration sind sehr komplex. Zum einen ist der Bauraum in der Maschine sehr begrenzt und zum

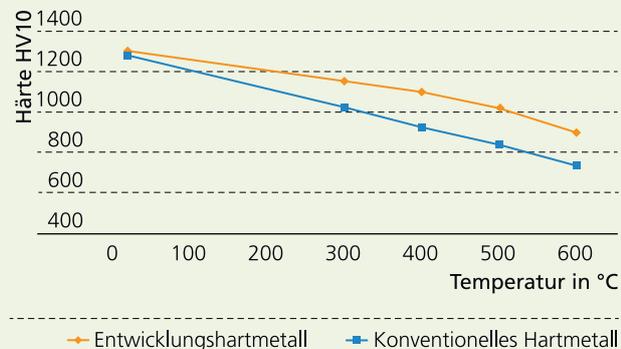
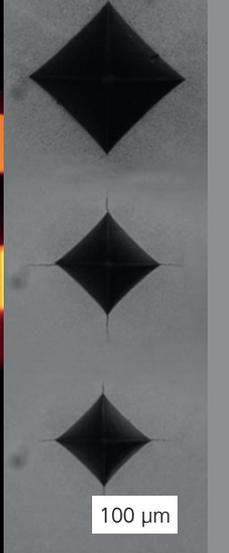
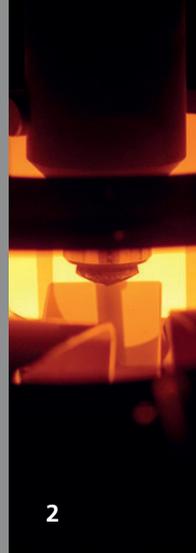
anderen müssen kritische Prozessbedingungen, wie große Temperaturschwankungen oder Verschmutzungen des Messsystems im Betrieb, berücksichtigt werden. In einem ersten Schritt wird der Messkopf der OCT-Anlage minimiert und angepasst. Eine weitere Herausforderung ist das große Messfeld – mit einem Durchmesser von 10 cm. Mit Beendigung des Projekts wird erstmals ein OCT-Tomogramm in dieser Größe gemessen. Aus diesem werden Oberflächendaten gewonnen, welche händisch mit den zugrunde liegenden Konstruktionsdaten (CAD) verglichen werden. In dieser Projektphase spielt die benötigte Mess- und Auswertzeit noch keine Rolle. Deren Optimierung soll mit der Einführung eines Feedbackloops in einem Folgeprojekt erfolgen.

Das entwickelte Konzept für die Prozesskontrolle soll zukünftig auch für andere AM-Verfahren umgesetzt werden. Zudem wird die Erweiterung auf andere Materialien, wie additiv gefertigte Keramiken, biologische Materialien oder Kunststoffe geplant oder bereits durchgeführt. Hier bietet die OCT weitere Vorteile, da auch tiefer liegende Fehler, z. B. Delaminationen oder Einschlüsse zwischen den Schichten, detektiert werden können.

Wir danken dem Forschungsnetzwerk Mittelstand (AiF) für die Förderung des Projekts im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM).



- 1 CAD-Modell des OCT-Systems in der SLM-Maschine.
- 2 OCT-Aufnahme eines 3D-gedruckten Bauteils.



MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

WARMHÄRTEMESSUNG VON HARTMETALLEN FÜR THERMISCH BEANSPRUCHTE WERKZEUGE

Dipl.-Ing. Clemens Steinborn, Dr. Johannes Pötschke

Das Fraunhofer IKTS entwickelt innovative verschleißbeständige Hartmetalle für Werkzeuge zur Zerspaltung von modernen Metalllegierungen und Verbundwerkstoffen. Viele Titan- und Nickellegierungen führen beim Zerspaltungprozess zu extrem hohen thermischen Beanspruchungen am konventionellen Hartmetallwerkzeug. Die Schneide kann trotz aktiver Kühlung Temperaturen über 500 °C erreichen, der Werkzeugverschleiß nimmt dadurch enorm zu. Dies erhöht die Bearbeitungskosten für viele Werkstoffe dramatisch. Bisherige Lösungen zur Absenkung des Werkstoffverschleißes und zur Gewährleistung produktionseffizienter Parameter fokussieren auf die geometrische Optimierung der Werkzeuge, die Integration einer Innenkühlung oder die Beschichtung mit einer CVD/PVD-Hartstoffschicht.

Ein neuer Lösungsansatz des IKTS setzt an der Modifizierung des Bindermetalls und der Hartstoffzusammensetzung im Hartmetallwerkstoff an, um höhere Bearbeitungstemperaturen zu ermöglichen. Im Ergebnis werden effizientere Zerspaltungprozesse bei gleichzeitig geringerem Werkzeugverschleiß möglich, wodurch die Kosten sinken. Ein wichtiges Instrument bei der Entwicklung verschleißbeständiger Hartmetalle ist die Messung der Vickershärte im Temperaturbereich von 300 bis 900 °C (Warmhärtemessung). Im Vergleich zu marktüblichen Hartmetallsorten, deren Härte ab 400 °C deutlich abfiel, zeigten einige IKTS-Hartmetalle eine bessere Temperaturbeständigkeit. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden im Rahmen eines SAB-Projekts (Fkz. 100301902) grundlegende Untersuchungen durchgeführt, um den spezifischen Einfluss des Bindergehalts, der Korngröße der Wolframcarbid (WC)-Hartstoffphase, der Legierung des Binders und weiterer Hartstoffzusätze auf die Warmhärte exakt zu quantifizieren. Daraufhin wurden erste Modellwerkstoffe

mit angepasster WC-Korngröße und Binderzusammensetzung hergestellt und charakterisiert. Bei den neu entwickelten Hartmetallen konnte der Härteabfall gegenüber marktüblichen mittelkörnigen WC-Co-Hartmetallen deutlich reduziert werden (Bild 2). Geplant sind nun weitere Untersuchungen zur Materialanhaftung bei der Zerspaltung und zur Oxidationsbeständigkeit der neuen Hartmetalle. Anschließend soll ein erstes Demonstratorfräs Werkzeug mit verbesserter Warmhärte auf seine Verschleißbeständigkeit getestet werden.

Leistungs- und Kooperationsangebot

Entwicklung von Hartmetallen

- mit abgestimmtem Härte-Zähigkeitsverhältnis für ein breites Anwendungsspektrum
- für hohe thermomechanische Beanspruchung

Mechanische Werkstoffcharakterisierung

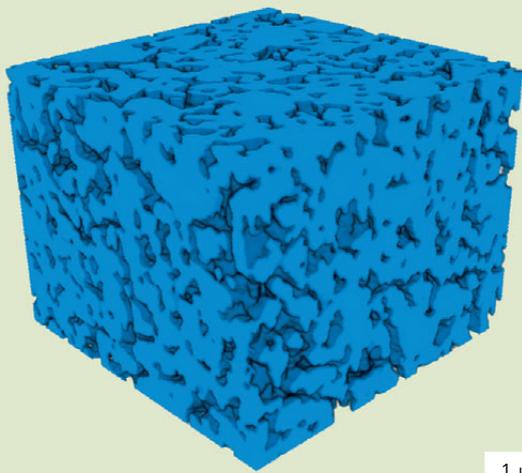
- Messung der Festigkeit, Härte und Bruchzähigkeit von Raumtemperatur bis 1550 °C an Luft oder im Hochvakuum
- Entwicklung von Prüfverfahren

1 Prüfstand zur Messung der Warmhärte.

2 Setzen der Härteeindrücke bei 900 °C und Härteeindrücke in WC 10%-Co der Messung bei 20, 500 und 900 °C.

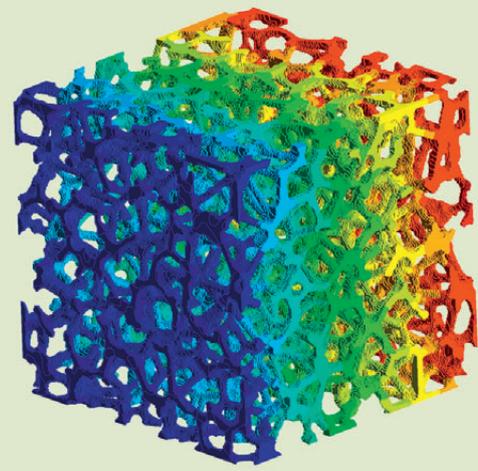
3 Vergleich Warmhärte von Hartmetallen.





1

1 μm



2

3D-GEFÜGEANALYSE ZUR MODELLIERUNG DES MATERIALVERHALTENS VON BAUTEILEN

Dr. Wieland Beckert, Dr. Jürgen Gluch, Dr. Sören Höhn

3D-Gefügeanalyse im Mikro- und Nanometerbereich

Mit experimentellen Daten lassen sich poröse oder mehrphasige Materialien dreidimensional analysieren. Das ermöglicht neben der Ermittlung geometrischer Kenngrößen auch die direkte Erstellung von Modellen für die Simulation. Zum Einsatz kommen dafür zwei Verfahren: Röntgentomographische Methoden (Mikro-CT und Röntgenanatomographie) eignen sich für größere Volumina mit moderater Auflösung oder einige hundert Mikrometer große Proben bei hoher Auflösung bis zu 50 nm. Serienschnittverfahren (FIB-Tomographie) werden hingegen für höchste Auflösung bis zu einigen Nanometern per Voxel eingesetzt. Bei diesem zweiten Verfahren wird im Rasterelektronenmikroskop mit fokussiertem Ionenstrahl gezielt Material scheibenweise abgetragen (slice-and-view). Die zahlreichen Abbildungs- und Analysetools (EDX, EBSD) des Rasterelektronenmikroskops ermöglichen die Aufnahme kontrastreicher 3D-Gefügedatensätze. Am Fraunhofer ITWM entwickelte Algorithmen wurden genutzt, um Primärdaten des Fraunhofer IKTS zu einer 3D-Abbildung zusammensetzen. Dabei werden aus den mehreren hundert zweidimensionalen Schnittbildern quantifizierbare Probenvolumen rekonstruiert (Bild 1).

Modellierung des Materialverhaltens

Eine interessante Option, um strukturabhängige Werkstoffeigenschaften zu ermitteln sowie die Korrelationen zwischen Strukturparametern und Eigenschaften zu untersuchen, bietet die Mikrostruktursimulation an virtuellen Probekörpern. Durch die Simulation ist es möglich, messtechnische Beschränkungen bei der Ermittlung von Eigenschaften, etwa im Mikrobereich,

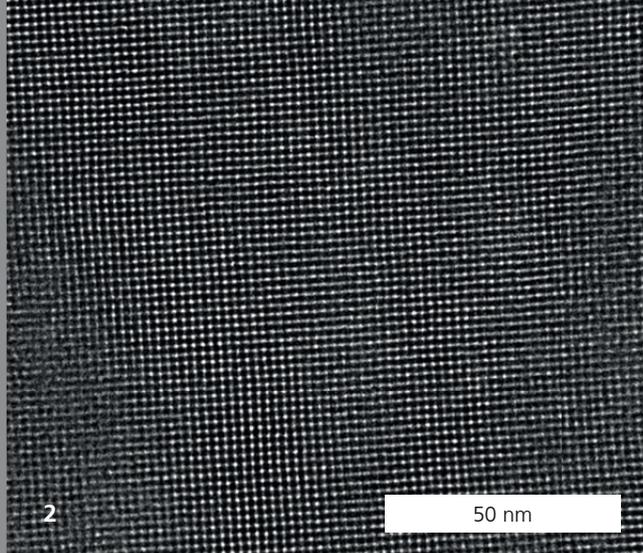
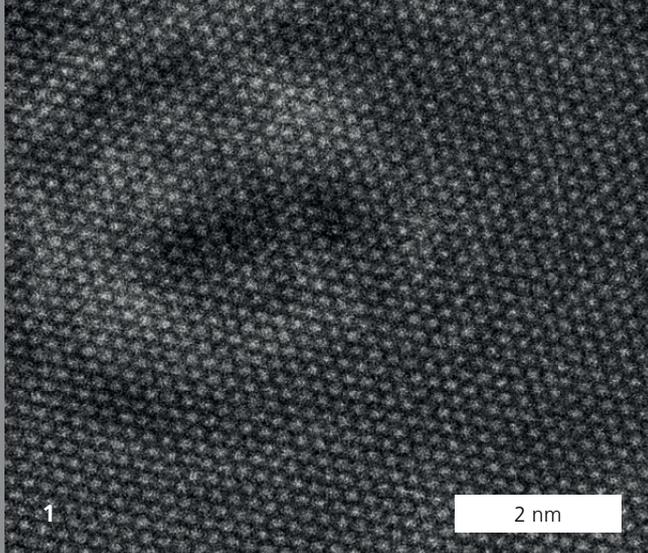
zu umgehen. Zudem lässt sich durch virtuelle Analysekampagnen der experimentelle Aufwand bei der Probenfertigung und -charakterisierung reduzieren. Analysierbar sind mechanische Eigenschaften, thermische und elektrische Leitfähigkeiten von Verbundwerkstoffen und zellulären Strukturen, aber auch Durchströmungs- und Diffusionseigenschaften von porösen Strukturen. Zunächst werden aus den 3D-Gefügedatensätzen – oder mit Hilfe synthetischer Strukturgeneratoren (GeoDict) – Geometriemodelle erstellt. Die physikalische Modellierung erfolgt dann für Basis-Eigenschaften direkt innerhalb der Softwaretools (GeoDict). Für komplexere Analysen kann die Mikrostruktur als CAD-Geometriemodell in leistungsfähige CFD- und FEM-Tools (Fluent, COMSOL, ANSYS) exportiert werden. Alle diese Optionen stehen Kunden am IKTS zur Verfügung. Entsprechende Kompetenzen wurden an Beispielanwendungen aufgebaut.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Analyse von keramischen 3D-Strukturen im Makro-, Mikro- und Nanobereich
- Modellierung des Materialverhaltens auf Basis von 3D-Gefügemodellen

1 3D-Rekonstruktion einer nanoporösen ZrO₂-Membranschicht (Voxelgröße 20 x 20 x 20 nm³).

2 Mikrostruktursimulation (Temperaturfeld → thermische Leitfähigkeit) an synthetischer Schaumstruktur (Einheits-Zellgröße 10 x 10 x 10 mm³).



TEM – EINE VIELSEITIGE METHODE ZUR UNTERSUCHUNG NEUER MATERIALIEN

Dr. Zhongquan Liao, Dr. Uwe Mühle, Dr. Jürgen Gluch, Prof. Dr. Ehrenfried Zschech

Mittels Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) werden Materialien charakterisiert, indem die Wechselwirkung zwischen Elektronen und dem Material betrachtet wird. Das erlaubt Aussagen zu Mikrostruktur, Kristallstruktur, Dehnung, Defekten, Zusammensetzung (z. B. durch energiedispersive Röntgenspektroskopie) oder chemischer Bindung (durch Elektronenenergieverlustspektroskopie). Die Auflösung bei dieser Methode reicht bis in den atomaren Bereich. Damit können viele Herausforderungen in der Entwicklung neuer Materialien angegangen, Produkteigenschaften und Herstellungsprozesse verbessert sowie physikalische Fehleranalysen unterstützt werden.

Hochauflösende Bildgebung und Analyse neuartiger 2D-Materialien

In der Nanoelektronik, bei Sensoren und als Katalysatoren werden strahlempfindliche Materialien wie Graphen- [1] oder 2D-Polymere eingesetzt. Im TEM werden diese bei niedrigen Beschleunigungsspannungen charakterisiert. Dadurch werden die Polymermoleküle nicht zerstört und können in den hochaufgelösten Bildern direkt vermessen werden. Mit den gewonnenen Daten kann die Materialsynthese kontrolliert und das Verständnis der elektronischen Eigenschaften (z. B. elektrische Leitfähigkeit) verbessert werden. Durch die Kombination von TEM mit Elementanalysen sind zudem Strukturinformationen von Elektrokatalysatoren mit schnellen Wasserdissoziationskinetiken für die Energiespeicherung [2] generierbar. Die in dieser Studie ermittelte Morphologie und die genaue Position von Nanopartikeln in diesen Katalysatoren konnte zudem die schnelle photokatalytische Wasserspaltungsleistung, die mit Platin vergleichbar ist, erklären.

Dehnungs- und In-situ-Studien zur Unterstützung der Zuverlässigkeitstechnik in der Halbleiterindustrie

Mechanische Dehnungen im Transistorkanal entstehen durch neue Aufbau- und Verbindungstechniken und werden mit Elektronenbeugung quantitativ bestimmt. Zudem werden mit Hilfe von In-situ-Experimenten Zuverlässigkeitsuntersuchungen für neuartige Produkte in der Mikroelektronik [3] und für das Bandlückenengineering in Graphennanobändern entwickelt [1]. Damit lassen sich Schädigungsprozesse von Dielektrika im Back-End-of-Line (BEOL) von Mikrochips beobachten und Erkenntnisse über die Verzerrung der Bandlücke in 2D-Materialien für Sensoren gewinnen.

Analytische Dienstleistungen

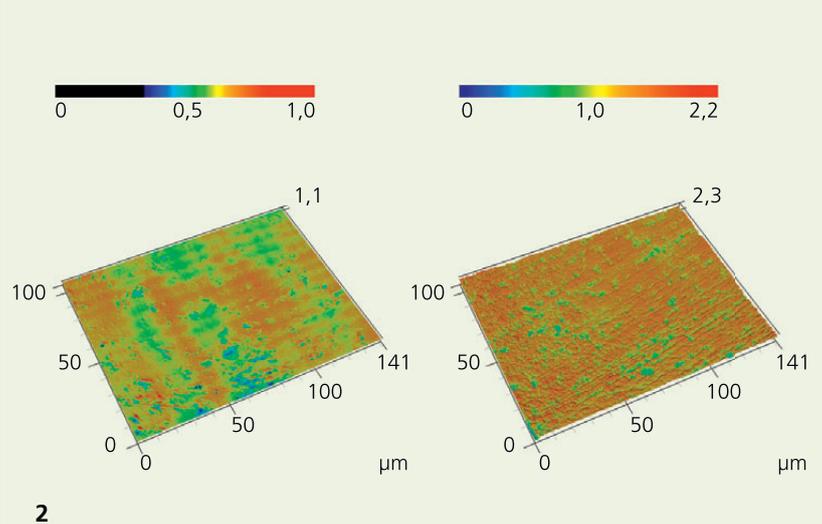
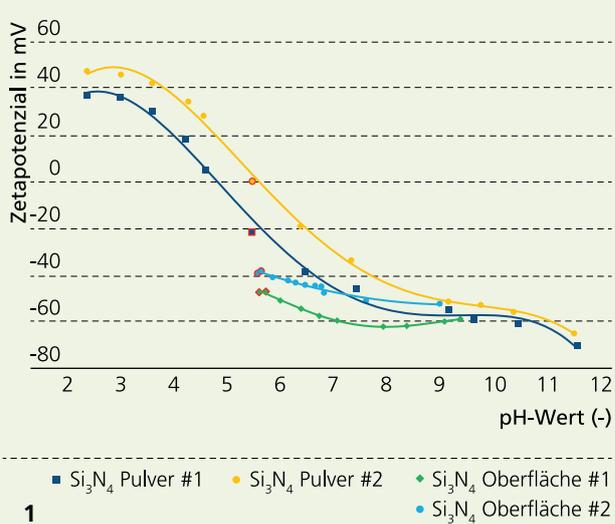
- Hochauflösende Bildgebung (TEM, STEM), Tomographie
- Analyse im TEM (EDS, EELS, Elektronenbeugung)
- In-situ-TEM-Experimente (elektrisch, mechanisch, Erwärmung bis 445 °C)

Literatur

- [1] Z. Liao et al. Sci. Rep. 7, (2017), 211-1-7.
- [2] J. Zhang et al. Nat. Commun. 8, (2017), 15437-1-8.
- [3] Z. Liao et al. Microelectron. Eng. 137, (2015), 47-53.

1 TEM-Abbildung von Graphen in atomarer Auflösung.

2 TEM-Abbildung eines kristallinen 2D-Polymers. Jeder helle Punkt repräsentiert ein Molekül.



MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

KERAMISCHE BAUTEILOBERFLÄCHEN BESSER VERSTEHEN

Dr. Annegret Potthoff

Das Verhalten von Bauteilen mit keramischen Oberflächen wird wesentlich von der Struktur und der Reaktivität des eingesetzten Materials bestimmt. Solche Bauteile kommen z. B. in Dichtungen, Lagern, Armaturen oder auch medizinischen und biologischen Anwendungen zum Einsatz. Eine genaue Kenntnis von Materialeigenschaften und -verhalten kann Anwendern helfen, Schadensfälle zu analysieren bzw. Komponenten gezielt weiterzuentwickeln. Das Fraunhofer IKTS bietet ein breites Methodenspektrum zur Oberflächencharakterisierung keramischer Bauteile:

Mit konfokalen Laser-Scanning-Mikroskopen lässt sich die Topographie keramischer Oberflächen selbst an Proben mit Vorzugsorientierung mit hoher Auflösung bestimmen (Bild 1). Rasterkraftmikroskop (AFM) und Nanoindenter erlauben darüber hinaus die Messung lokaler elastischer, elektrischer, dielektrischer und thermischer Eigenschaften. Die chemische bzw. Phasenzusammensetzung der Bauteiloberfläche wird mittels Element- bzw. Phasenanalyse bestimmt.

Um tribologische und biologische Prozesse zu verstehen, ist es wichtig, die Wechselwirkungen zwischen Oberflächen und den sie umgebenden Medien zu kennen. Hier eignet sich z. B. die Oberflächencharakterisierung mittels Kontaktwinkelmessungen, um die Benetzbarkeit von Oberflächen (z. B. hydrophil/hydrophob) zu quantifizieren. Strömungspotenzialmessungen erfassen die Oberflächenladung und lassen damit Rückschlüsse auf die chemische Beschaffenheit, insbesondere die Oxidbildung ganzer Bauteilflächen zu (z. B. Si_3N_4 - oder SiC -Komponenten). Für Partikel- und Bauteiloberflächen gilt: Je dicker die Oxidschicht, desto stärker verschiebt sich der isoelektrische Punkt zu niedrigen

pH-Bereichen (Bild 2). Lokal lassen sich Oxidschichtdicken bis 100 nm auf Metallen oder Nichtoxiden mittels Thin-Film-Tool im Rasterelektronenmikroskop zerstörungsfrei bestimmen.

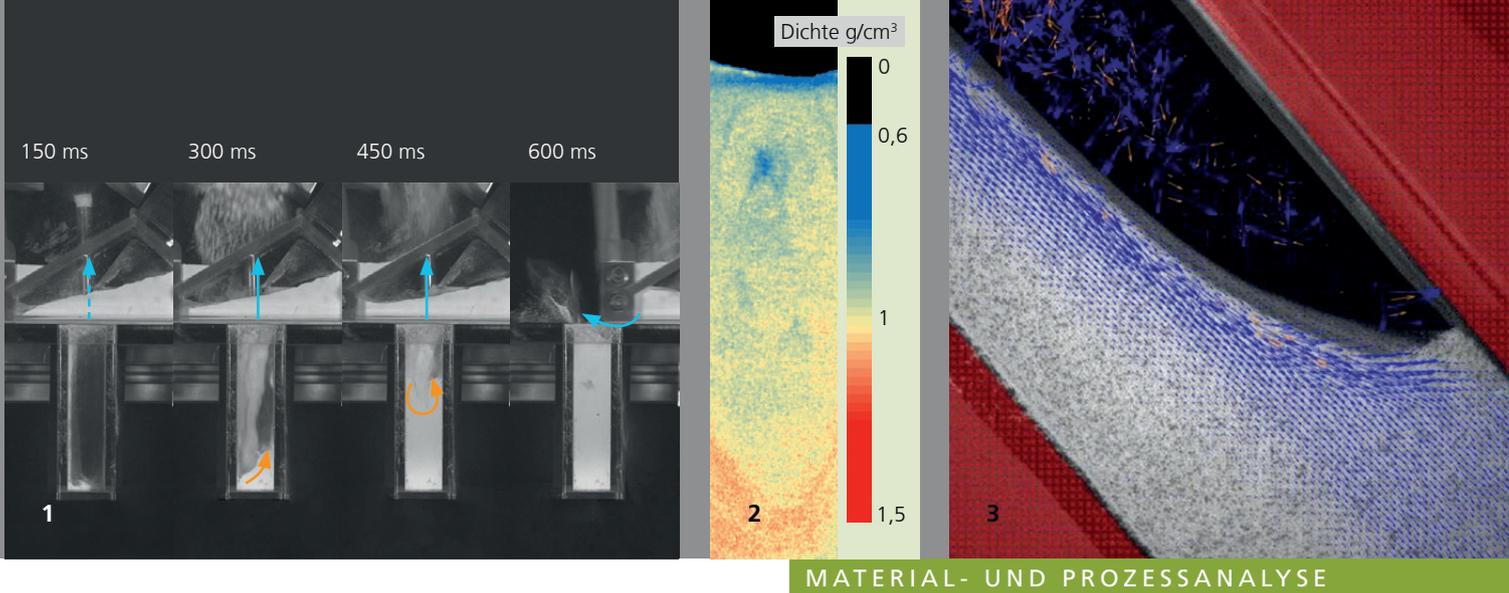
Mit Strömungspotenzialmessungen wird am IKTS die Adsorption von organischen Materialien, z. B. Proteinen an keramischen Bauteiloberflächen oder auch Kunststoffen, charakterisiert. Diese Analyse liefert wertvolle Erkenntnisse für den Einsatz von Keramik in der Medizintechnik (z. B. als Knochenersatzmaterial). Auch im technischen Bereich (z. B. Elektrokorrosion) kommt diese Analysetechnik zum Einsatz. Die Wirkung chemischer, thermischer oder mechanischer Funktionalisierungen oder Modifikationen auf die Oberflächeneigenschaften ist damit reproduzierbar quantifizierbar.

Leistungs- und Kooperationsangebot

Analytische Bewertung keramischer Bauteiloberflächen für Anwendungen in

- Maschinen- und Fahrzeugbau
- Medizintechnik
- Energietechnik

- 1 Rauheit von Si_3N_4 -Schichten nach Lappen bzw. Sandstrahlen.
- 2 Zetapotenzialbestimmung an Partikeln und Oberflächen in Abhängigkeit von der Vorbehandlung.

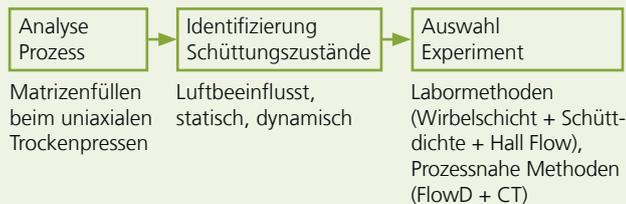


SCHÜTTGUTVERHALTEN – PROZESSANALYSE UND KOMPLEXE CHARAKTERISIERUNG

Dipl.-Ing. Bianca Glöß, Dr. Manfred Fries

Feindisperse Pulver und Granulate werden als Ausgangsstoff, Zwischen- oder Endprodukt in nahezu allen Industriebranchen verarbeitet, transportiert und gelagert. Ihr Schütt- und Fließverhalten beeinflusst sowohl die Effizienz der Verarbeitungsprozesse als auch die Produktqualität. Umfassende Prozessanalysen und eine adäquate Charakterisierung der Fließeigenschaften unter Prozessbedingungen sind Grundlage für die Entwicklung und Optimierung feindisperser Materialien und ihrer Verarbeitungsprozesse.

Prozessanalyse und Charakterisierung (Beispiel)



Im Rahmen von Prozessanalysen identifiziert das Fraunhofer IKTS wesentliche Schüttungszustände und erstellt für diese ein spezifisches Charakterisierungskonzept. Eine Vielzahl standardisierter und selbst entwickelter Methoden steht dafür zur Verfügung. Neben der Charakterisierung unter realen Prozessbedingungen ist so auch die Analyse grundlegender Mechanismen des Schüttgutverhaltens möglich. Dies erlaubt die umfassende und prozessrelevante Bewertung von Granulaten für die keramische Pressformgebung, Pulvern für die additive Fertigung (z. B. 3D-Pulverdruck) und funktionalen Pulvern. Je nach Kundenwunsch werden diese applikationsspezifisch weiterentwickelt und ergänzt. Für die prozessnahe Analyse der Schüttungszustände entlang der Transportstrecke einer uniaxialen Presse wurde folgendes Charakterisierungskonzept entwickelt:

- Visualisierung **makroskopischer Fließvorgänge** während des Matrizenfüllvorgangs (Bild 1) oder im Füllschuh mit einer Hochgeschwindigkeitskamera und anschließender qualitativer und quantitativer Bewertung.
- Die qualitative und quantitative Analyse der Dichteverteilung der Schüttung in der Matrize (Bild 2) sowie im Füllschuh auf Basis nicht-invasiver Computertomographie liefert Aussagen zur **Schüttungsstruktur**.
- Innerhalb einer planaren Transportstrecke erfasst eine Hochgeschwindigkeitskamera **mikroskopische Fließvorgänge** in Schüttungen. Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit der Partikel werden mit dem Bildanalyseverfahren Particle Image Velocimetry (PIV; Bild 3) quantifiziert (min. Partikelgröße: 40 µm, max. Fließgeschwindigkeit: 0,3 m/s).
- Bestimmung **lokaler und zeitlicher Entmischungen** im Schüttgut über eine ortsaufgelöste Probenahme und Granulatgrößenmessung.

Die komplexe prozessnahe Charakterisierung von Pulvern und Granulaten ermöglicht es, die Qualität von Produkten und Verarbeitungsprozessen kontinuierlich zu verbessern. Wir danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi und der IGF für die finanzielle Unterstützung.



- 1 *Makroskopische Fließvorgänge beim Matrizenfüllen – FlowD.*
- 2 *CT der Schüttungsstruktur.*
- 3 *Mikroskopische Fließvorgänge – Analyse der Partikelbewegung mittels Particle Image Velocimetry.*

KOOPERATIONSAUSBAU IN VERBÜNDEN, ALLIANZEN UND NETZWERKEN

JAHRESBERICHT 2018/19

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 Forschungs-
institutionen e. V. (AGEF)

biosaxony e. V.

BTS Rail Saxony

Bundesverband Energiespeicher e. V. (BVES)

Bundesverband mittelständische Wirtschaft, Unternehmer-
verband Deutschlands e. V. (BVMW)

Carbon Composites e. V. (CCeV)

CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

CO₂ 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 Oberflächen-
technik 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.	Fraunhofer-Allianz Energie
e.qua impuls – Wasserwirtschaftliches Energiezentrum Dresden e. V.	Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung
Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS)	Fraunhofer-Allianz Leichtbau
Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V. (EFB)	Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie
European Network of Materials Research Centres (ENMAT)	Fraunhofer-Allianz Numerische Simulation von Produkten, Prozessen
European Powder Metallurgy Association (EPMA)	Fraunhofer-Allianz SysWasser
Expertenkreis Hochtemperatursensorik in der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V.	Fraunhofer-Allianz Textil
Expertenkreis Keramikspritzguss (CIM) in der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. (DKG)	Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS
Fachverband Biogas e. V.	Gemeinschaft Thermisches Spritzen e. V. (GTS)
Förderkreis Abgasnachbehandlungstechnologien für Dieselmotoren e. V. (FAD)	Gemeinschaftsausschuss Hochleistungskeramik der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. und der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V.
Fördergesellschaft Erneuerbare Energien (FEE)	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)
Forschungsnetzwerk Mittelstand AIF e. V.	Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung e. V. (GFE)
Fraunhofer-Allianz Adaptronik	Gesellschaft für Korrosionsschutz e. V. (GfKORR)
Fraunhofer-Allianz AdvanCer	HYPOS Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e. V.
Fraunhofer-Allianz Batterien	InDeKo Innovationszentrum Deutschland Korea
Fraunhofer-Allianz Big Data	Innovationszentrum Bahntechnik Europa e. V.
	Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA)

VERBÜNDE, ALLIANZEN, NETZWERKE

International Microelectronics and Packaging Society

International Zeolite Association

KMM-VIN (European Virtual Institute on Knowledge-based Multifunctional Materials AISBL)

Kompetenzzentrum Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen/Thüringen e. V. (LRT)

Kompetenzzentrum nanoeva®

Materialforschungsverbund Dresden e. V. (MFD)

medways e. V.

Meeting of Refractory Experts Freiberg e. V. (MORE)

Mikro-Nanotechnologie Thüringen e. V. (MNT)

Nachhaltigkeitsabkommen Thüringen

NAFEMS – International Association for the Engineering Modelling, Analysis and Simulation Community

NanoMat – überregionales NETZWERK für Materialien der Nanotechnologie

OptoNet e. V.

Organic Electronics Saxony

ProcessNet – eine Initiative von DECHEMA und VDI-GVC

Silicon Saxony e. V.

smart³ e. V.

SmartTex-Netzwerk

Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk e. V. (TheEN)

Trägerverein Institut für Holztechnologie Dresden e. V.

Treffpunkt Keramik

TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V.

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA)

VDMA Arbeitsgemeinschaft Medizintechnik

Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)

Verein für Regional- und Technikgeschichte e. V. Hermsdorf

WindEnergy Network Rostock e. V.

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 Energieversorgungssysteme 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. Ralf B. Wehrspohn, Fraunhofer IMWS
www.materials.fraunhofer.de



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. Aktuell arbeitet AdvanCer an einem Verbundprojekt, in dem Systemlösungen und Prüfverfahren für die Öl- und Gasindustrie sowie den Tiefseebergbau realisiert werden. Es wird angestrebt, dass mit neuen Diamant-Keramik- und Hartmetall-Werkstoffen sowie den dazugehörigen Herstelltechnologien Bauteileigenschaften erreicht werden, die einen wartungsfreien Betrieb in bis zu 6000 m Meerestiefe möglich machen.

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

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

Aufgabenspektrum

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

Leistungsangebot

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

Sprecher der Allianz

Dr. Michael Zins
michael.zins@ikts.fraunhofer.de
www.advancer.fraunhofer.de

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



1

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 bietet das Institut in diesem Showroom einen einmaligen Überblick zum Markt der Technischen Keramik. Hier sind die aktuellsten Forschungsthemen bis hin zur Systemprüfung zu sehen. Gleichzeitig kann der Kontakt zu potenziellen Lieferanten hergestellt werden. 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 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 Einblick in die aktuellen Schwerpunkte der Forschung und erfährt gleichzeitig, welcher Hersteller welche Produkte bereits heute kommerziell anbietet.

Themenschwerpunkte im Jahr 2018 waren unter anderem Anwendungen für die Öl- und Gas-Branche sowie Werkstoffentwicklungen für die Tiefsee. Die Ausstellung wurde zudem um extrem große Bauteile für den Maschinenbau erweitert, die von den Partnern zur Verfügung gestellt wurden. Ein neues Highlight bildet hier ein Mahlzylinder der Firma FCT Ingenieurkeramik GmbH mit einem Gewicht von fast 400 kg.

Der Treffpunkt war 2018 ein wesentlicher Bestandteil für die Arbeit des Fachgebiets 1: Chemie-/Maschinen- und Anlagenbau der DKG. Die Ausstellung dient der Präsentation der Ergebnisse aus den verschiedenen Förderprojekten.

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



VERBÜNDE, ALLIANZEN, NETZWERKE

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, stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer IKTS innehat. Die Arbeitsgruppe widmet sich Themen der Wasserbehandlung, Wasserreinigung und Wasseranalytik mit neuartigen, kombi-

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

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

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

Kontakt

Prof. Dr. Michael Stelter
Lehrstuhl für Technische Umweltchemie
michael.stelter@uni-jena.de
www.ceec.uni-jena.de



1 Bestandteile einer Knopfzelle
(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 2018 finden Sie auf der Webseite www.ikts.fraunhofer.de/de/daten2018



Erteilte Patente
Patentanmeldungen

Buch- und Zeitschriftenbeiträge
Vorträge und Poster

Lehrtätigkeiten
Mitarbeit in Gremien und Fachausschüssen

Dissertationen
Abschlussarbeiten

VERANSTALTUNGEN UND MESSEN IM JAHR 2019

Tagungen und Events

Juniordoktor

20. Februar und 15. Mai, Dresden, Maria-Reiche-Straße

Girls' Day

28. März, Hermsdorf, Michael-Faraday-Straße

Tag der offenen Tür

6. April, Hermsdorf, Michael-Faraday-Straße

Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften

14. Juni, Dresden, Winterbergstraße

Dresden Battery Days

23.–25. September, Dresden, Winterbergstraße

International Symposium on Piezocomposite Applications

9.–11. Oktober, Dresden, Winterbergstraße

Symposium »Anodisieren – a never-ending story«

28.–29. November, Dresden, Winterbergstraße

Workshop »Hybrid materials and additive manufacturing processes«

11.–12. Dezember, Dresden, Winterbergstraße

Weitere Informationen finden Sie unter

www.ikts.fraunhofer.de/de/veranstaltung

Seminare/Workshops

DGM-Fortbildungsseminar

Keramische Werkstoffe: Eigenschaften und industrielle Anwendungen

25.–26. Juni, Dresden, Winterbergstraße

DKG-Fortbildungsseminar

Foliengieß- und Schlitzdüsen-Verfahren sowie Aspekte der Folienweiterverarbeitung

5.–6. November, Hermsdorf, Michael-Faraday-Straße

Messebeteiligungen

nano tech

31. Januar–1. Februar, Tokio

Gemeinschaftsstand der Wirtschaftsförderung Sachsen

Clean India Show

20.–22. Februar, Mumbai

Gemeinschaftsstand der LEG Thüringen

BatteryJapan

27. Februar–1. März, Tokio

IDS

12.–16. März, Köln

Energy Storage

12.–14. März, Düsseldorf

Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz Energie
Gemeinschaftsstand mit Industrie

JEC World

12.–14. März, Paris

Gemeinschaftsstand der Wirtschaftsförderung Sachsen

ALD for Industry

19.–20. März, Berlin

Hannover Messe

1.–5. April, Hannover

Halle 3

Gemeinschaftsstand Energy Saxony e. V., Halle 27



POWTECH

9.–11. April, Nürnberg

Printed Electronics

10.–11. April, Berlin

agra

25.–28. April, Leipzig

SMTconnect

7.–9. Mai, Nürnberg

Gemeinschaftsstand EMS Park

Control

7.–10. Mai, Stuttgart

Gemeinschaftsstand Fraunhofer-Allianz Vision

Innovationstag Mittelstand

9. Mai, Berlin

4smarts

22.–23. Mai, Darmstadt

DGZfP-DACH-Jahrestagung

27.–29. Mai, Friedrichshafen

Global Petroleum Show

11.–13. Juni, Calgary

Gemeinschaftsstand des VDMA

DWA-Innovationsforum

19.–20. Juni, Leipzig

Sensor+Test

25.–27. Juni, Nürnberg

Rapid.Tech

25.–27. Juni, Erfurt

Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz

Generative Fertigung

Werkstoffwoche

18.–20. September, Dresden

Gemeinschaftsstand des Materialforschungsverbund Dresden

V2019 – Vakuum & Plasma

8.–10. Oktober, Dresden

EuroPM

13.–17. Oktober, Maastricht

Filtech

22.–24. Oktober, Köln

Productronica

12.–15. November, München

Compamed

18.–21. November, Düsseldorf

Formnext

19.–22. November, Frankfurt am Main

Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz

Generative Fertigung

Hagener Symposium

27.–29. November, Hagen

FAD-Konferenz

TBA, Dresden

Weitere Informationen finden Sie unter
www.ikts.fraunhofer.de/de/messen

ANFAHRT ZUM FRAUNHOFER IKTS



Weitere Informationen und Anfahrtsskizzen
finden Sie unter
www.ikts.fraunhofer.de/de/contact

So erreichen Sie uns in Dresden-Gruna

Straßenverbindung

- Autobahn A4: am Autobahndreieck Dresden West auf A17 wechseln in Richtung Prag
- Abfahrt an der Ausfahrt Dresden Prohlis/Nickern (Ausfahrt 4)
- Weiterfahrt ca. 2 km auf der Ausfallstraße in Richtung Zentrum
- Am Ende der Ausfallstraße über die Ampel geradeaus weiterfahren auf den Langen Weg in Richtung Prohlis (IHK)
- Nach ca. 1 km links abbiegen auf die 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 bis Dresden-Grenzstraße
- Entgegengesetzt zur Fahrtrichtung ca. 400 m zurückgehen
- Rechts in die Maria-Reiche-Straße gehen

Flugverbindung

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

So erreichen Sie uns in Hermsdorf

Straßenverbindung

- Autobahn A9: Ausfahrt Bad Klosterlausnitz/Hermsdorf (Ausfahrt 23)
- Weiterfahrt auf Naumberger 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

www.ikts.fraunhofer.de

Ansprechpartnerin

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Dipl.-Chem. Katrin Schwarz

Telefon +49 351 2553-7720

katrin.schwarz@ikts.fraunhofer.de

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

© Fraunhofer IKTS, Dresden 04/2019