



JAHRESBERICHT

2020

2021

JAHRESBERICHT 2020/2021

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



Liebe Freunde und Partner des IKTS,

was für ein seltsames Jahr! Viele Arbeitsabläufe mussten umgestellt werden und mobiles sowie digitales Arbeiten sind zum Standard geworden. Diese Umstellungen haben wir als IKTS-Team sehr gut gemeistert, so dass wir unseren Betrieb sehr effizient und auf hohem Niveau aufrechterhalten konnten. Geradezu erstaunlich ist, dass wir unsere FuE-Aktivitäten nicht nur auf Vorjahresniveau halten, sondern sogar noch deutlich steigern konnten. Unser Gesamthaushalt ist um sage und schreibe 11,5 Mio. € auf nun rund 76 Mio. € gestiegen. Bezogen auf unseren Betriebshaushalt von 64 Mio. € haben wir hierbei eine herausragende Gesamtertragsquote von über 86 % erzielt, d. h. wir haben unsere externen Erträge erheblich steigern können. Die öffentlichen Erträge sind hierbei überproportional gewachsen und haben den Ausfall bei unseren direkten Industrieerträgen überkompensiert. Mit einer Industrieertragsquote von ca. 33 % bleiben wir voll im von Fraunhofer angestrebtem Korridor und bestätigen erneut, dass wir unserer Mission, der auf Transfer ausgerichteten Forschung, auch weiterhin nachkommen. Natürlich stehen wir Ihnen als Partner auch weiterhin gerne zur Verfügung. Gerade in der jetzigen Situation kommt der partnerschaftlichen Forschung eine besondere Bedeutung zu und diese hat bei uns immer die erste Priorität.

Basierend auf unserem guten betriebswirtschaftlichen Ergebnis konnten wir uns Investitionen von deutlich über 10 Mio. € in

unsere technische Geräteausstattung leisten. Hierbei haben alle Standorte und Geschäftsfelder profitiert. Einen Schwerpunkt der Investitionen haben wir dieses Mal auf die Charakterisierungstechnologie gelegt. So sind an unserem neuen Standort in Forchheim über ein eingeworbenes EU-Projekt (ERC-Grant) über 3 Mio. € in die korrelative Mikroskopie geflossen. Auch in Dresden wurde ein neues Rasterelektronenmikroskop (Fib-SEM) angeschafft. Hiermit können wir die »Workflows« für unsere Probenuntersuchungen weiter verbessern und so eine schnellere Entwicklung gewährleisten. Des Weiteren haben wir unsere Formgebung ausgebaut und neue Räumlichkeiten geschaffen. Hervorzuheben ist ein neues Technikum in Dresden, in dem wir unsere Aktivitäten zur additiven Fertigung bündeln. In Hermsdorf haben wir in direkter Nachbarschaft zum Institut ein weiteres Gebäude angemietet, um unsere Forschung zum Thema Wassertechnologie weiter auszubauen. Dort ist auch unsere neue auf Wasser ausgerichtete Fraunhofer Attract-Gruppe unter der Leitung von Herrn Dr. Patrick Bräutigam angesiedelt, über die wir uns sehr freuen. Das Thema Wasser mit all seinen Facetten von der Kreislaufwirtschaft bis zur Unterwassertechnologie bildet damit einen wichtigen und standortübergreifenden Schwerpunkt des IKTS. Für die Kreislaufwirtschaft spielt auch das Thema Recycling eine große Rolle. Dieses Thema bauen wir an unserem neuen Forschungsstandort, dem Technologiezentrum Hochleistungs-



materialien (Fraunhofer THM) in Freiberg, weiter aus. Im Rahmen des Dachkonzepts »Forschungsfabrik Batterie« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) fokussieren wir dort speziell auf das Batterie-Recycling und ergänzen damit unsere Entwicklungen im Bereich der mobilen (Lithium-Ionen- und Festkörperbatterien) sowie stationären (Na/NiCl₂-) Batterien. Dem Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus SMWK und dem Freistaat Sachsen danken wir für die hervorragende Unterstützung dieses Vorhabens. Auch der Ausbau unserer fertigungsnahen Batterieaktivitäten geht mit der Gründung des Batterie-Innovations- und Technologie-Centers BITC in Arnstadt gut voran. Auf über 5300 qm entstehen hier neue Möglichkeiten zur Batterieforschung in enger Anbindung an die Industrie. Dem Land Thüringen und speziell dem Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und digitale Gesellschaft (TMWWDG) danken wir für die herausragende Unterstützung. Im BITC möchten wir neben der Batterieforschung auch unsere Wasserstoff-Kompetenzen ausbauen. Basierend auf unserer jahrzehntelangen Erfahrung zu Brennstoffzellen- und Elektrolysesystemen möchten wir am BITC Demonstrationsanlagen zur Erzeugung und Nutzung von grünem Wasserstoff aufbauen, die auch für die Keramikindustrie relevant sind. Diese Aktivitäten sollen auch eine Studie zum Thema »CO₂-neutrale Keramikproduktion« unterstützen, die wir zusammen mit der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V.

(DKG) und dem Bundesverband der keramischen Industrie (BVKI) durchführen. Basierend hierauf möchten wir die Bundesministerien auf die Förderbedarfe der Keramikindustrie hinweisen.

Weitere Highlights und Entwicklungstrends aus unseren Geschäftsfeldern haben wir im Bericht zusammengestellt. Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen beim Durchblättern und gute Projektideen. Für Gespräche stehen wir jederzeit gerne bereit, nutzen Sie gerne unsere ausgezeichnete Ausstattung. Das gesamte IKTS-Team freut sich auf die Zusammenarbeit.

Ihr

Alexander Michaelis

April 2021

INHALT

JAHRESBERICHT 2020/21

- 2 Vorwort
- 4 Inhalt

Das Fraunhofer IKTS im Profil

- 6 Kurzporträt
- 8 Organigramm
- 10 Das Fraunhofer IKTS in Zahlen
- 13 Kuratorium
- 14 Neue Standorte des Fraunhofer IKTS

19 Retrospektive

- 24 Corona-Forschung am Fraunhofer IKTS

26 Aus den Geschäftsfeldern des Fraunhofer IKTS

Werkstoffe und Verfahren

- 28 Neuartige Hartstoffe für Hartmetalle, MMC und für das thermische Spritzen
- 29 Synthesereaktor für oxidische Nanopulver
- 30 Verschleißmindernde aluminiumreiche CVD-TiAlN-Schichten
- 31 Freeform Injection Molding – Keramik-Spritzguss mit verlorenen Formen
- 32 Sialone – die besondere Keramik mit weniger Aufwand herstellen

Maschinenbau und Fahrzeugtechnik

- 33 Turbinen-Komponenten aus Siliciumnitrid
- 34 CompWatch – automatische Überwachung von Kompressoren
- 35 Vollautomatisierter Messstand zur Membrancharakterisierung

Elektronik und Mikrosysteme

- 36 Untersuchung von lokal verspannten Mikroelektronik-Bauteilen
- 37 Photostrukturierbare Pasten für Hochfrequenzanwendungen
- 38 Gedruckte und flexible Magnetfeldsensoren aus kostengünstigen Werkstoffen
- 39 Titanoxide – elektrische Alleskönner

Energie

- 40 Planare Na/NiCl₂-Batteriezellen – leistungsfähige stationäre Speicher
- 41 Energetische und ökonomische Bewertung von Power-to-X-Prozessen
- 42 Entwicklung von Prozessen für Sulfid-Elektrolyt-basierte Festkörperbatterien
- 43 Elektronen-emittierende Keramik für Satellitenantriebe
- 44 Prozessentwicklung für eine Serienfertigung von SOC-Zellen und -stacks
- 45 Energiewende auf hoher See – EU-Projekt HyMethShip
- 46 Nachhaltige Gasdiffusionselektroden für alkalische Energiewandler
- 47 Wasserstoffabtrennung aus Erdgas mit Kohlenstoffmembranen

Umwelt- und Verfahrenstechnik

- 48 Untersuchungen zum Mechanismus der Fischer-Tropsch-Synthese im Profilreaktor
- 49 Intelligentes Pumpensystem zur Durchmischung von Biogasreaktoren
- 50 Emissionsarme Ethanol-Kamine

Bio- und Medizintechnik

- 51 Osseointegratives Oberflächendesign für keramische Fingergelenkimplantate
- 52 Kalzifizierung von Herzklappen – In-vitro-Charakterisierung und Prävention
- 53 Evaluation von biologischen 3D-Druckprozessen mittels OCT

Wasser

- 54 Innovative Wasserreinigung mit Schall und Druck – Attract-Gruppe KAV-AQUA
- 55 Elektrochemische Herstellung von nanoporösen Aluminiumoxid-Membranen
- 56 Spurenstoffabtrennung mit keramischen Membranen – Projekt PharMem
- 57 Vergleich von Verfahren zur Herbizid-Elimination aus Trinkwasser im Pilotmaßstab
- 58 Thermisch gespritzte Erosionsschutzschichten für Wickeldrahtfilter

Material- und Prozessanalyse

- 59 Untersuchungen zur Osteoporose-Prävention: ERC Synergy Grant 4D+ nanoSCOPE
- 60 nanoGPS[®] als Basistechnologie für korrelative Nanoanalytik
- 61 Materialverwitterung unter realen Bedingungen in mariner Umgebung
- 62 Optimierung von Sinterprozessen

Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung

- 63 OCT für die Charakterisierung von 3D-gedruckten Keramikobjekten
- 64 Optische Inline-Überwachung der Fertigung von Hochleistungskeramiken
- 65 Ladezustandsmonitoring von Lithium-Ionen-Batterien mit geführten Wellen
- 66 Optimierung der Befüllung von Lithium-Ionen-Batteriezellen mit Inline-Methoden
- 67 Multidimensionale Dosimetrie zur Prozesskontrolle in der Elektronenbestrahlung

68 Kooperationsausbau in Verbänden, Allianzen und Netzwerken

73 Namen, Daten, Ereignisse

- 74 Veranstaltungen und Messen im Jahr 2021
- 76 Anfahrt zum Fraunhofer IKTS

DAS FRAUNHOFER IKTS IM PROFIL

KURZPORTRÄT

Das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS deckt das Feld der technischen Keramik von der grundlagenorientierten Vorlaufforschung bis zur Anwendung in seiner ganzen Breite ab. Hierzu stehen an den Standorten in Dresden, Hermsdorf (Thüringen) sowie in mehreren Außenstellen hervorragend ausgerüstete Labore 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 und Systemintegration.

Darüber hinaus hat das Fraunhofer IKTS jahrzehntelange Erfahrung in der zerstörungsfreien Prüfung von Komponenten und Anlagen. Mit neuesten Messtechnologien, Automatisierungskonzepten und Ansätzen zur Interpretation komplexer Datenmengen bieten wir Lösungen für die Qualitätskontrolle und Zustandsüberwachung an – vom Sensor bis zum für den Nutzer adaptierten Gesamtsystem.

Das Fraunhofer IKTS bildet einen Dreiklang aus Werkstoff-, Technologie- und Systemkompetenz, der durch eine umfangreiche Materialdiagnostik auf höchstem Niveau für Werkstoffe weit über die Keramik hinaus ergänzt wird. Forschende verschiedener Wissenschaftsbereiche, beispielsweise der Chemie, Werkstoff- und Ingenieurwissenschaften sowie Softwareentwicklung arbeiten im IKTS interdisziplinär zusammen und werden in ihrer Arbeit durch erfahrene Technikerinnen und Techniker begleitet.

Die Forschenden demonstrieren das Potenzial neuer Technologien und Komponenten in verschiedenen marktorientierten Geschäftsfeldern: Maschinenbau und Fahrzeugtechnik, Elektronik und Mikrosysteme, Energie, Wasser, Umwelt- und Verfahrenstechnik, Bio- und Medizintechnik sowie Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung. In den Querschnittsfeldern Werkstoffe und Verfahren sowie der Material- und Prozessanalyse

werden etablierte und neue Technologien als »Schrittmacher-Technologien« für alle anderen Felder kontinuierlich weiterentwickelt. Im Blick stehen dabei gesamtgesellschaftliche Herausforderungen im Bereich neuer Mobilitätsformen, innovativer Konzepte für die Kreislaufwirtschaft sowie einer effizienten digitalen Produktion.

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. In der Funktionskeramik besteht eine besondere Kernkompetenz in der Pasten- und Folientechnologie. Die gezielte Kombination unterschiedlicher Technologieplattformen, wie der Funktions- und Strukturkeramik, erlaubt multifunktionale Bauteile und Systeme, die geschickt verschiedene Eigenschaften der Keramik ausnutzen. Insbesondere in komplexen Produktionsprozessen wie der keramischen Fertigung ermöglicht das fundamentale Verständnis von Werkstoffen und keramischen Herstellungsprozessen in Verbindung mit dem Entwurf und der Integration komplexer Prüfsysteme unikale Lösungen bei entscheidenden Werkstofffragen in der Produktentwicklung, Produktion und Qualitätssicherung.

Multiskalenentwicklung

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



Qualitätsprozesse zu implementieren. Somit können Time-to-Market und Risiken deutlich minimiert werden.

Zerstörungsfreie Prüfung vom Prüfkonzept zum zertifizierten Prüfsystem

Das Fraunhofer IKTS bietet maßgeschneiderte Lösungen für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung – vom Prüfkonzept bis zum zertifizierten Prüfsystem. Dabei liegt der Schwerpunkt auf dem Umgang mit rauschbehafteten Signalen. Wir liefern eigens entwickelte Sensoren, die auf Geometrien, Materialien und an optische, akustische oder elektromagnetische Parameter optimal angepasst werden. Kundenspezifische Prüfsysteme werden mit einer modularen und sehr leistungsfähigen Elektronik sowie einer flexiblen Software bestückt. Wir begleiten bis zum CE-zertifizierten System und übernehmen bei Entwicklungen aus dem Bereich Ultraschall-, Wirbelstrom- und Schallemissionsprüfung die Validierung des Prüfprozesses.

Projektmanagement

Das Fraunhofer IKTS hat ausgewiesene Kompetenzen bei der Planung und Realisierung von Forschungsprojekten mit unterschiedlichem Umfang – von der kurzfristigen Unterstützung bis zum länderübergreifenden Großprojekt. In der Auftragsforschung mit kleinen und mittelständischen Unternehmen unterstützen wir flexibel und termingerecht mit passgenauen Dienstleistungen oder Entwicklungsprozessen. In komplexen Großprojekten mit verschiedenen Konsortialpartnern auf nationaler und internationaler Ebene begleiten wir von der Antragstellung über die Projektkoordination bis hin zur Kommunikation von Projektergebnissen und der Entwicklung von Verwertungsstrategien.

Standortübergreifendes Qualitätsmanagement

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

Netzwerkbildner

Das IKTS ist in zahlreichen regionalen, nationalen und internationalen Allianzen sowie Netzwerken aktiv. Durch den Aufbau und die aktive Arbeit innerhalb verschiedener Netzwerke kann das IKTS frühzeitig komplementäre Kompetenzen identifizieren, vermitteln und für eine erfolgreiche Produktentwicklung integrieren. So können gemeinsam Lösungen im Interesse unserer Partner gefunden werden.

ORGANIGRAMM

Institutsleiter

Prof. Dr. habil. Alexander Michaelis

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

Sintern und Charakterisierung / Zerstörungsfreie Prüftechnik

Dr. habil. Mathias Herrmann

- Thermische Analyse und Thermophysik*
- Wärmebehandlung
- Keramografie und Phasenanalyse
- Pulver- und Suspensionscharakterisierung**
- Labor für Qualität und Zuverlässigkeit**, Mechanisches Labor

Umwelt- und Verfahrenstechnik

Nanoporöse Membranen

Dr. Hannes Richter

- Zeolith- und Kohlenstoffmembranen
- Polymer- und Mixed-Matrix-Membranen
- Membranismen
- Funktionelle Trägersysteme und Schichten

Hochtemperaturseparation und Katalyse

Dr. Ralf Kriegel

- Hochtemperaturmembranen und -speicher
- Katalyse und Materialsynthese

Biomassetechnologien und Membranverfahrenstechnik

Dr. Burkhardt Faßauer

- Biomassekonversion und Nährstoffrecycling
- Systemtechnik Wasser und Abwasser
- Membranverfahrenstechnik und Modellierung
- Technische Elektrolyse und Geothermie
- Reaktionstechnik Wasser

Chemische Verfahrenstechnik

PD Dr. habil. Matthias Jahn

- Modellierung und Simulation
- Systemverfahrenstechnik

* zertifiziert nach DIN EN ISO 13485

** akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025

Standorte des Fraunhofer IKTS

- Hauptsitz Dresden-Gruna, Sachsen
- Standort Dresden-Klotzsche, Sachsen
- Standort Hermsdorf, Thüringen
- Standort Forchheim, Bayern
- Standort Rostock, Mecklenburg-Vorpommern
- Standort Cottbus, Brandenburg
- Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS, Braunschweig, Niedersachsen
- Batterie-Innovations- und Technologie-Center Arnstadt, Thüringen
- Fraunhofer-Technologiezentrum Hochleistungsmaterialien THM, Freiberg, Sachsen

Applikationszentren

- Bioenergie, Pöhl, Sachsen
- Bio-Nanotechnologie-Anwendungslabor BNAL, Leipzig, Sachsen
- Membrantechnik, Schmalkalden, Thüringen
- Foliengießzentrum, Hermsdorf, Thüringen

Technische Universität Dresden

ifWW – Institut für Anorganisch-Nichtmetallische Werkstoffe

Prof. Dr. habil. Alexander Michaelis

IAVT – Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik

Prof. Dr. Henning Heuer

IFE – Institut für Festkörperelektronik

Prof. Dr. habil. Thomas Härtling

DCN – Dresden Center for Nanoanalysis

Prof. Dr. habil. Ehrenfried Zschech

Stellvertretender Institutsleiter / Verwaltungsleiter
Stellvertretender Institutsleiter / Marketing und Strategie
Stellvertretender Institutsleiter
Stellvertretender Institutsleiter

Dr. Michael Zins
Prof. Dr. Michael Stelter
Prof. Dr. Ingolf Voigt
Dr. Christian Wunderlich

- Chemische und Strukturanalyse
- Hartmetalle und Cermets

Korrelative Mikroskopie und Materialdaten
Prof. Dr. Silke Christiansen
- Korrelative Mikroskopie und Materialdaten

Elektronik/Mikrosystem- und Biomedizintechnik

Intelligente Materialien und Systeme
Dr. Holger Neubert
- Multifunktionale Werkstoffe und Bauteile
- Angewandte Werkstoffmechanik und Festkörperwandler

Energiesysteme

Werkstoffe und Komponenten

Dr. Mihails Kusnezoff
- Fügetechnik und AVT
- Werkstoffe für gedruckte Systeme
- Keramische Energiewandler
- Hochtemperatur-Elektrochemie und funktionalisierte Oberflächen

Systemintegration und Technologietransfer

Dr. Roland Weidl
- Systemkonzepte
- Validierung
- Stationäre Energiespeicher
- Dünnschicht-Technologien
- Na-Batteriematerialien und Musterfertigung
- Industrielle Datenkonzepte
- Smartes Maschinen- und Produktionsdesign

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

Zustandsüberwachung und Prüfdienstleistungen

Dr. Lars Schubert
- Hardware und Software für Monitoringsysteme
- Methoden für Monitoringsysteme
- Modellbasierte Datenbewertung
- ZfP-Zentrum**

Bio- und Nanotechnologie

Dr. Jörg Opitz
- Biologische Materialanalytik
- Charakterisierungsverfahren
- Biodegradation und Nanofunktionalisierung
- Biologisierte Materialien und Strukturen

Friedrich-Schiller-Universität Jena
Institut für Technische Umweltchemie
Prof. Dr. Michael Stelter
Ernst-Abbe-Hochschule Jena
Fachbereich SciTec – Werkstofftechnik
Prof. Dr. Ingolf Voigt
Freie Universität Berlin
Institut für Experimentalphysik
Prof. Dr. Silke Christiansen

DAS FRAUNHOFER IKTS IN ZAHLEN



Haushalt und Erträge

Der Gesamthaushalt des Fraunhofer IKTS übersteigt mit einem Volumen von 75,8 Mio. € das Niveau des Vorjahres um 11,5 Mio. €. Das Investitionsvolumen hat sich mit 13,2 Mio. € mehr als verdoppelt. Insgesamt wurden 55,6 Mio. € an externen Erträgen eingeworben. Aufgrund der schwierigen, Corona-bedingten Situation der Industriepartner ist der Industrieertrag um 2,2 Mio. € auf 20,7 Mio. € gesunken. Sehr erfreulich ist, dass weiterhin etwa 50 % der Aufträge für kleine und mittlere Unternehmen ausgeführt werden. In den Freistaaten Sachsen und Thüringen konnte eine Steigerung um fast 300 000 € auf 3,9 Mio. € erreicht werden. Insgesamt führt die Pandemie dennoch zu einer deutlich reduzierten Projektnachfrage und zu Verschiebungen der Starttermine. Aufträge aus dem Ausland gingen um 30 % auf 4,5 Mio. € zurück. Insbesondere starke Partnerländer wie China und USA sind dabei mit einem Rückgang von 40 % besonders betroffen. Das Volumen verteilt sich wie im Vorjahr auf 30 Länder. Derzeit sind 8 % der Industrieauslandserträge aus Großbritannien. Die bisher diskutierten Handelseinschränkungen werden hier nur einen geringen Einfluss haben. Größere Auswirkungen werden allerdings ab 2021 bei den geplanten EU-Projekten wirksam.

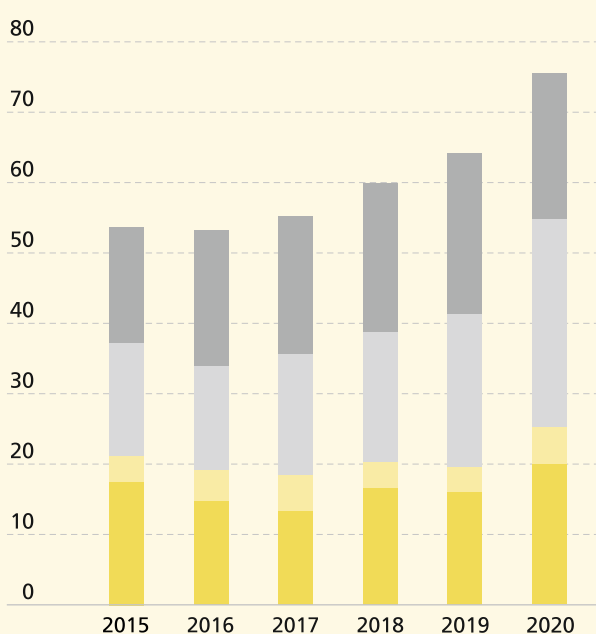
Erfreulicherweise ist die Finanzierung von Projekten mit Landesförderung sowohl in Thüringen (1,3 Mio. €) als auch in Sachsen (4,6 Mio. €) angestiegen. Insgesamt fördern die verschiedenen Bundesländer Projekte in einem Umfang von 7,3 Mio. €. Der Anteil des EU-Projektvolumens hat mit 2,5 Mio. € wieder deutlich an Bedeutung gewonnen. Besonders durch die Projekte am Standort Forchheim wird sich das Niveau in den nächsten Jahren steigern.

Speziell durch die langfristigen strategischen Ansätze hat sich das IKTS erheblich vergrößert und damit einen klaren Wachstumsauftrag übernommen, der durch die Auswirkungen der Pandemie erheblich erschwert wird.

Eine weitere bleibende Herausforderung ist die unterschiedliche Kostenrechnung der verschiedenen Fördermittelgeber.

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

Entwicklung des Gesamthaushalts des Fraunhofer IKTS (in Millionen Euro) in den Haushaltsjahren 2015 bis 2020

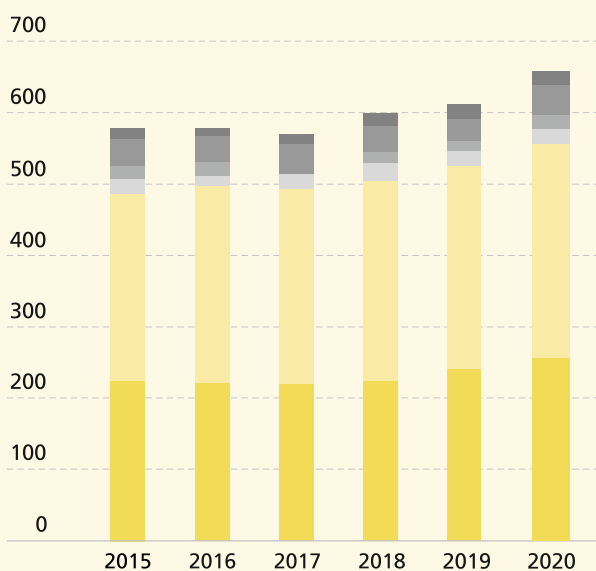


	2015	2016	2017	2018	2019	2020
■	16,3	19,6	19,6	21,2	22,9	20,7
■	16,4	14,8	17,3	18,4	21,8	29,8
■	3,6	4,4	5,1	3,8	3,5	5,2
■	17,8	14,8	13,5	16,6	16,1	20,1
=	54,1	53,6	55,5	60,0	64,3	75,8

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

Entwicklung des Personalbestands des Fraunhofer IKTS

Mitarbeiterzahl 2015 bis 2020, Vollstellenäquivalente Personalstruktur zum 31.12. des jeweiligen Jahres



	2015	2016	2017	2018	2019	2020
■	15	11	14	18	20	19
■	38	36	40	36	32	42
■	18	19	1	16	13	19
■	21	15	21	25	22	22
■	260	276	273	280	284	299
■	223	220	220	224	241	257
=	575	577	569	599	612	658

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

Hieraus entstehen Unsicherheiten bei der Bestimmung abrechenbarer Kosten und damit bei der Finanzplanung. Die Fraunhoferweite Einführung des ERP-Systems SAP soll hier mittelfristig helfen. Das IKTS ist gut positioniert, um die vorhandenen Anforderungen zu erfüllen und die neuen Tools mitzugestalten.

Personalentwicklung

Insgesamt werden an den IKTS-Standorten etwa 800 Mitarbeitende beschäftigt. Durch die familienfreundliche Ausrichtung werden die Wünsche vieler junger Mütter und Väter nach Teilzeitbeschäftigung erfüllt. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die verschiedenen Gruppen in der Graphik als Vollzeitäquivalente dargestellt. Die Zahl der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist um 16 Stellen auf 257 gestiegen. Ebenso ist die Anzahl der technischen Mitarbeitenden auf 299 angewachsen.

Weiterhin erfolgen die Dissertationen sowohl im Rahmen von schwerpunktmäßig ausgerichteten Doktoranden-Anstellungsverhältnissen als auch im Rahmen von projektbezogenen Tätigkeiten mit hoher Industrienähe. Erfreulicherweise ist die Anzahl der Studierenden um mehr als 12 auf 44 Vollstellen und damit um mehr als 40 Personen gewachsen. Alle Auszubildenden wurden nach ihrem Abschluss übernommen.

Der Arbeitgeber Fraunhofer IKTS ist im Markt bisher gut positioniert. Trotz Pandemie erreicht die Personalstelle durch Teilnahme an Onlineformaten viele Studierende und zukünftige Mitarbeitende.

Erweiterung der Infrastruktur

Die Erweiterung der Infrastruktur erfolgt im Rahmen der langfristigen Projekte und mit starker Unterstützung der Bundesländer Sachsen, Thüringen und Niedersachsen. Die neuen Standorte sind im Jahresbericht ausführlich dargestellt.

Aber auch in den bestehenden »Mutterhäusern« wurden erhebliche Erweiterungen geschaffen. So wurde das Pilotierungszentrum für Pulversynthese und Extrusion im November 2020 in Hermsdorf fertiggestellt und wird voraussichtlich im Sommer 2021 eröffnet. Am Standort Hermsdorf wurden außerdem das Labor für die optische Charakterisierung von Pulvern und Bauteilen sowie eine innovative Pulversyntheseanlage für ein Gesamtvolumen von mehr als 1,3 Mio. € aufgebaut.

KURATORIUM

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

Dr. A. Beck

Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus, Dresden
Leiterin des Referats 43
»Bund-Länder-Forschungseinrichtungen«

Dipl.-Ing. R. Fetter

Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft, Erfurt
Leiter der Referate 53
»Technologieförderung« und 54 »Institutionelle Forschung«

Dr. habil. M. Gude

Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz, Erfurt
Leiter der Abteilung 3
»Energie und Klima«

Dr. P. Heilmann

arxes-tolina GmbH, Berlin
Geschäftsführer

A. Heller

Landratsamt Saale-Holzland-Kreis, Eisenberg
Landrat

Prof. Dr. R. Klingner

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft, München
Direktor Forschungsmanagement und -governance

Dr. W. Köck

Plansee SE, Reutte
Geschäftsführender Direktor

A. Krey

Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen mbH, Erfurt
Sprecher der Geschäftsführung

Dr. R. Lenk

CeramTec GmbH, Plochingen
Director Innovation & Technology

Dr. C. Lesniak

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

Dr. H.-H. Matthias

TRIDELTA GmbH, Hermsdorf
Geschäftsführer

Dr. R. Metzler

Rauschert Heinersdorf-Pressig GmbH, Pressig
Geschäftsführer

Dipl.-Ing. P. G. Nothnagel

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

Dipl.-Ing. M. Philipps

Endress+Hauser SE+Co. KG, Maulburg
Strategic Expert Level+Pressure

Dr. O. Senkel

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft, München
Forschungskoordination Werkstoffe, Vorstandsstab Forschungsmanagement und -governance

Dr. D. Stenkamp

TÜV Nord AG, Hannover
Vorsitzender des Vorstands

MR C. Zimmer-Conrad

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Dresden
Leiter des Referats 36
»Industrie«

NEUE STANDORTE DES FRAUNHOFER IKTS



Standort Rostock

Smarte Unterwassertechnologien für eine nachhaltige Meeresnutzung

Die Ozeane sind eine entscheidende Quelle des Lebens und der biologischen Vielfalt auf der Erde. Gleichzeitig dienen sie der Erholung, als Transportweg, aber auch als Rohstoff- und Energielieferant und der Abfallentsorgung. Der Übergang zur ressourcenschonenden und nachhaltigen Nutzung maritimer Ressourcen ist von hoher Priorität und Schwerpunkt der UN-Dekade der Ozeanforschung für Nachhaltige Entwicklung (2021-2030). Daher entwickelt die interdisziplinäre Forschungsgruppe Smart Ocean Technologies (SOT) aus den Fraunhofer-Instituten IGD, IGP, IKTS und IOSB in Rostock zukunftsweisende Unterwassertechnologien. Dazu zählen robuste Sensorsysteme und Prüfmethode für permanente Zustandsüberwachung von Unterwasserstrukturen sowie verschleiß- und korrosionsbeständige keramische Schlüsselkomponenten, die einen wartungsfreien Betrieb von Unterwasseraggregaten gewährleisten. Darüber hinaus etablieren wir neuartige Analysemethoden, mit denen sich komplexe Alterungsprozesse von Mikroplastik im Meer charakterisieren lassen.

1

Für die Erprobung der Lösungsansätze steht uns in Zukunft ein Unterwassertestfeld in der Ostsee (Digital Ocean Lab) zur Verfügung. Das Testen in realer Umgebung stellt einen wichtigen Aspekt für den Erfolg der Entwicklungen dar. Das vielseitig einsetzbare Unterwassertestfeld in Küstennähe wird für unterschiedliche Anwendungsszenarien wie Offshore-Wind, Aquakultur oder Altmunitionsberäumung ausgerüstet sein. Es soll Forschung und Industrie dazu dienen, Materialien, Module und komplette Unterwassersysteme unter kontrollierten Bedingungen in einem realen Umfeld testen, bewerten und optimieren zu können.

Forschungsschwerpunkte

- Zustandsüberwachung von Unterwasserstrukturen
- Keramische Schlüsselkomponenten für Unterwassersysteme
- Analytik von Mikroplastik

Kontakt

Dr. Christian Wunderlich
Telefon +49 351 88815-501
christian.wunderlich@ikts.fraunhofer.de

Standort Forchheim Korrelative Mikroskopie für Bio- und Energimaterialien

Bei modernen Materialentwicklungen beispielsweise für die Medizin- oder Energietechnik handelt es sich immer häufiger um Komposite oder nanostrukturierte Werkstoffe mit neuartigen, vielfältigen Eigenschaften. Für deren detaillierte Charakterisierung stehen an unserem Standort in Forchheim modernste technische Ausstattung wie die Licht-, Elektronen-, Ionen- oder Röntgenmikroskopie sowie die zugehörigen spektroskopischen Messmethoden zur Verfügung.

2 Das Fraunhofer IKTS nutzt anspruchsvolle Methoden, mit denen sich Materialzusammensetzungen und die damit verbundenen physikalischen und chemischen Eigenschaften unter gezielt eingestellten Umwelteinflüssen analysieren lassen. Diese werden korrelativ erfasst und auf unterschiedlichen Größenskalen untersucht und beschrieben. Um die hierbei generierten Materialdaten und die Komplexität ihrer Kombinationen auswerten und interpretieren zu können, entwickeln wir zudem intelligente und adaptive Algorithmen.

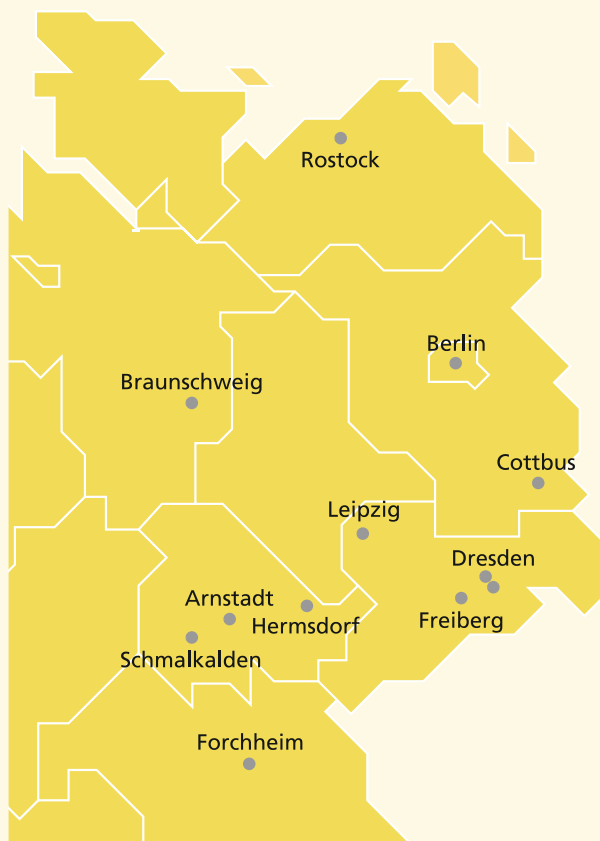
Forschungsschwerpunkte

- Skalenübergreifende korrelative Mikroskopie und Spektroskopie für Komposite aus metallischen, keramischen und polymeren Bio- und Energimaterialien
 - Material-, Komponenten- und Bauelementcharakterisierung von Batterien und Brennstoffzellen verschiedener Zellkonzepte und Technologiereifegrade
 - Charakterisierung von Implantatmaterialien
- Charakterisierung komplexer Materialkomposite für die Materialoptimierung oder Entwicklung effizienter, personalisierter Therapien, z. B. Knochenarchitektur bei Osteoporose
- Untersuchung von Mikro- und Nanoplastikrückständen in Wasser- und Gewässerproben sowie Studium der gesundheitlichen Auswirkungen, z. B. auf menschliches Nieren- und Lungengewebe
- Entwicklung adaptiver Algorithmen für die qualitative und quantitative Auswertung von korrelativ erfassten Daten
- Nutzung von Verfahren des maschinellen Lernens zur Auswertung von Bilddaten

Kontakt

Prof. Dr. Silke Christiansen
Telefon +49 179 6894182
silke.christiansen@ikts.fraunhofer.de

Standorte des Fraunhofer IKTS





Standort Arnstadt

1

Produktionsforschung für Energiespeicher

Mit Blick auf den Transformationsprozess in der Automobil- und Energiewirtschaft spielt eine vernetzte, digital unterstützte Produktion und Qualitätssicherung von Batteriezellen und -modulen zukünftig eine große Rolle. Die umfassende Digitalisierung der industriellen Produktion ist ein Schlüssel, um die gesamte Fertigungskette zu optimieren und somit die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen zu steigern. An unserem Standort in Arnstadt – dem Batterie-Innovations- und Technologie-Center BITC – erproben wir daher auf industrienahen Pilotlinien innovative datengetriebene Ansätze der Prozessüberwachung, -steuerung und Qualitätssicherung.

Bei der Fertigung von Batteriezellen und Batteriemodulen ist die Skalierung, das heißt die Produktion von Bauteilen in millionenfacher Anzahl bei gleichbleibender hoher Qualität, eine große Herausforderung. Um eine größtmögliche Qualität in der Batterieproduktion bei minimalem Ausschuss sicherzustellen, müssen Mängel bereits früh im Fertigungsprozess identifiziert werden. Mittels innovativer zerstörungsfreier Mess- und Prüftechnik sollen perspektivisch am BITC alle relevanten Prozessparameter erfasst werden. Für die dabei gewonnenen Datenmengen werden KI-basierte Konzepte zur intelligenten Aggregation, Strukturierung, Auswertung und Speicherung genutzt. Somit ist es möglich, Fehlermuster zu erkennen, Produktionsströme zu optimieren und ein ganzheitliches Produktionsdatenmanagement zu etablieren. Dies eröffnet neue Qualitätskriterien und Standards in der Batteriefertigung.

Neben spezifischen Fragestellungen der Batterieentwicklung arbeiten wir an grundlegenden Routinen für eine skalierbare Fertigung von komplexen Energiespeichern und -wandlern. Die Erfahrungen aus der Batterieforschung überführen wir zukünftig auch in digital unterstützte Produktionstechnologien in der Wasserstoffwirtschaft beispielsweise für Elektrolyseure.

Die große Stärke des BITC liegt in der entwicklungsbezogenen Zusammenarbeit mit Thüringer Unternehmen und Forschungseinrichtungen wie CATL, einem der größten Produzenten von Batteriezellen, sowie der Technischen Universität Ilmenau, den Hochschulen in Jena und Gera-Eisenach. So kann das Know-how direkt am Standort gebündelt werden. Diese Produktionsforschung hat eine enorme Bedeutung für den Ausbau neuer industrieller Kapazitäten in Thüringen. Darüber hinaus wird sich das BITC in der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften aus der Region engagieren und Industrie 4.0-Konzepte in der Batteriefertigung und anderen Industriezweigen vermitteln.

Forschungsschwerpunkte

- Industrielle Datenkonzepte
- Testverfahren für die Batterieproduktion
- Workflowmanagement
- Instrumentierung und Vernetzung von Prozessschritten
- Qualitätskontrolle und Evaluierung von digital unterstützten Produktionsprozessen

Kontakt

Dr. Roland Weidl
 Telefon +49 3628 58172-22
 roland.weidl@ikts.fraunhofer.de



2

Standort Freiberg

Recyclingkonzepte für die Batteriezellproduktion

Leistungsfähige Lithium-Ionen-Batterien sind eine Schlüsselkomponente für die Energiewende. Für die zukünftige Verbreitung von Lithium-Ionen-Batterien in der mobilen oder stationären Energiespeicherung sind deren ökologische Nachhaltigkeit sowie die kontinuierliche Reduzierung der Fertigungskosten notwendige Voraussetzungen. An unserem Standort in Freiberg entwickeln wir dafür effiziente Herstellverfahren, industrietaugliche Prüfverfahren und Recyclingkonzepte.

Um neue leistungsstarke Energiematerialien und kostengünstige Fertigungstechnologien für den Massenmarkt zu erproben, stehen uns und unseren Kunden unter Trockenraumbedingungen verschiedene Technikumsanlagen zur Mischung, Schlickeraufbereitung, Folienbeschichtung, Trocknung und Nachverdichtung von Elektrodenfolien zur Verfügung. Einen wichtigen Teil zur Kostenreduktion stellt die Senkung der Ausschussraten dar. Hierfür arbeiten wir an industrietauglichen Inline-Prüfverfahren, die während der Elektrodenherstellung zerstörungsfrei prüfen und Defekte oder funktionelle Änderungen in der Materialzusammensetzung oder dem Zellaufbau frühzeitig zuverlässig erkennen. Somit lässt sich die Qualität der Schlicker- und Folienherstellung kontinuierlich verbessern.

In den kommenden Jahren werden aber nicht nur sinkende Fertigungskosten wettbewerbsentscheidend sein, sondern auch Konzepte und Technologien, mit denen rückgewonnene Materialien und Rohstoffe in die Batteriezellproduktion zurückgeführt werden können. Das Fraunhofer IKTS verfolgt hierbei gleich mehrere Ansätze. Zum einen zielen wir darauf ab, vor allem die Ausbeute und Reinheit von wirtschaftsstrategischen Rohstoffen beim Recycling von Batteriespeichern zu erhöhen. Dies schließt sowohl hydrometallurgische und elektrochemische Aufbereitungsprozesse ein als auch die Rückgewinnung dieser Produkte aus Aufschlussmedien und Prozesswässern. Um das stoffliche Recycling zu automatisieren und Recyclingprozesse

2 effizienter und zielgerichteter auszulegen, setzen wir entsprechende Monitoringsysteme und Datenbanklösungen ein. Zum anderen untersuchen wir, unter welchen Bedingungen sich diese Recyclate für eine Resynthese verwenden lassen und welchen Einfluss sie auf die elektrochemische Performance der Batteriezellen haben. Im Hinblick auf die notwendige Material- und Stoffqualität – vor allem Reinheit – werden bestehende Recyclingverfahren auch gezielt für Resyntheseverfahren weiterentwickelt. Darüber hinaus entwickeln wir Gestaltungsrichtlinien für das kreislauforientierte Design und die recyclinggerechte Konstruktion von Lithium-Ionen-Zellen mit Flüssigelektrolyt und für Festkörperbatterien. So lassen sich die Kreislauffähigkeit von Batteriesystemen steigern und negative Umweltwirkungen von Batterien reduzieren.

Forschungsschwerpunkte

- Überführung von effizienten Herstellungsverfahren für Batterieelektroden in den industriellen Maßstab
- Industrietaugliche Inline-Prüfverfahren für die Elektrodenfertigung
- Kreislaufführung von Batteriekomponenten
- Stoffliches Recycling von Batteriematerialien

Kontakt

Dr. Mareike Wolter
 Telefon +49 351 2553-7971
 mareike.wolter@ikts.fraunhofer.de

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

DAS FRAUNHOFER IKTS IM PROFIL

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Sie ist Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz. Mit inspirierenden Ideen und nachhaltigen wissenschaftlich-technologischen Lösungen fördert die Fraunhofer-Gesellschaft Wissenschaft und Wirtschaft und wirkt mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft.

Interdisziplinäre Forschungsteams der Fraunhofer-Gesellschaft setzen gemeinsam mit Vertragspartnern aus Wirtschaft und öffentlicher Hand originäre Ideen in Innovationen um, koordinieren und realisieren systemrelevante, forschungspolitische Schlüsselprojekte und stärken mit wertorientierter Wertschöpfung die deutsche und europäische Wirtschaft. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Austausch mit den einflussreichsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 75 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 29 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,8 Mrd. €. Davon entfallen 2,4 Mrd. € auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

Die Wirkung der angewandten Forschung geht weit über den direkten Nutzen für die Auftraggeber hinaus: Fraunhofer-Institute stärken die Leistungsfähigkeit der Unternehmen, verbessern die

Akzeptanz moderner Technik in der Gesellschaft und sorgen für die Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Hochmotivierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf dem Stand der aktuellen Spitzenforschung stellen für uns als Wissenschaftsorganisation den wichtigsten Erfolgsfaktor dar. Fraunhofer bietet daher die Möglichkeit zum selbstständigen, gestaltenden und zugleich zielorientierten Arbeiten und somit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung, die zu anspruchsvollen Positionen in den Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft befähigt. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und des frühzeitigen Kontakts mit Auftraggebern hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

RETROSPEKTIVE



Aufgrund der weltweiten COVID-Pandemie wurden 2020 zahlreiche Messen und Veranstaltungen abgesagt. Das Fraunhofer IKTS präsentierte sich einer breiten wissenschaftlichen Öffentlichkeit im Rahmen von Onlinemessen, Digitalkonferenzen und eigenen virtuellen Veranstaltungsformaten.

22.–23. Januar | 12. Februar | 13. Mai 2020 1 Nachwuchsforschende am Fraunhofer IKTS

Auch 2020 waren die Angebote für den wissenschaftlichen Nachwuchs am Standort Dresden-Klotzsche sehr gefragt. Beim traditionell im Januar stattfindenden Vorschulkinderprogramm lernten Kinder der Kita Lisa und vom Evangelischen Kinderhaus Pirna spielerisch Verfahren kennen, die in der Zustandsüberwachung eingesetzt werden. Im Februar absolvierten Schüler des Dresdner Martin-Andersen-Nexö-Gymnasiums eine Projektwoche am IKTS. Unter Realbedingungen untersuchten sie Knochensatzstrukturen mittels Optischer Kohärenztomografie (OCT) und präsentierten ihre Ergebnisse anschließend erfolgreich vor größerem Publikum. Die angehenden Juniorschüler begeisterten im Februar und Mai abermals mit Neugier und Kreativität in Workshops zum Thema Ultraschall und errangen mühelos ihren Stempel auf dem Weg zum Juniorschülerhütchen.



24. Januar 2020 Prof. Michael Stelter leitet den Gemeinschaftsausschuss Hochleistungskeramik der DKG und DGM

Seit Januar 2020 hat Prof. Michael Stelter, stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer IKTS, den Vorsitz im Gemeinschaftsausschuss Hochleistungskeramik der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. (DKG) und der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM). Der Gemeinschaftsausschuss Hochleistungskeramik befasst sich mit der Herstellung, den Eigenschaften und Anwendungen von Hochleistungskeramiken sowie deren wissenschaftlichen Grundlagen. Weitere Ziele sind die Förderung von Kooperationen und Vernetzung, die Initiierung von neuen FuE-Feldern sowie Aus- und Weiterbildung.

18.–19. Februar 2020 2 Plastikfrei gärtnern – Franziska Saft gewinnt Ersten Preis des Fraunhofer-Symposium »Netzwerk« Ideenwettbewerb

In Deutschland werden jährlich drei Milliarden Pflanztöpfe aus Kunststoffen verwendet, vorwiegend als Einwegartikel. Diplom-Ingenieurin Franziska Saft beweist, wie gärtnern plastikfrei



RETROSPEKTIVE

funktionieren kann. Die IKTS-Forscherin wurde auf dem Fraunhofer-Symposium »Netzwerk« im Ideenwettbewerb »Für eine nachhaltige Wertschöpfung« für ihre Entwicklung vollständig biologisch abbaubarer Pflanztopfe aus 100 % Naturfasern mit einem der beiden Ersten Preise ausgezeichnet. Zusammen mit ihrem Team entwickelte sie eine Technologie, um Fasermaterial aus organischen Reststoffen aufzureinigen und für die stoffliche Produktion wieder verfügbar zu machen.

1. März 2020

Große Herausforderungen für die Messewirtschaft

2020 stellte mit Aufkommen der Corona-Pandemie im März Veranstalter wie Aussteller und Dienstleister international vor große Unsicherheiten. Zum Schutz der Mitarbeitenden bei gleichzeitig guten Möglichkeiten für Interessenten, mit den Forschenden in Kontakt zu treten, präsentierte das IKTS neben zahlreichen Konferenzbeiträgen Forschungs- und Produkt-highlights im Rahmen ausgewählter Ersatzformate digital: So zeigte z. B. Dr. Juliane Spohn auf der analytica virtual erstmals ClickKit-Well, ein revolutionäres Tool für die standardisierte und ressourceneffiziente Testung von Biomaterial. Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Leistungszentrum »Smart Production and Materials« stellte Dr. Peter Neumeister auf der SPS Connect Kooperationsmöglichkeiten und Weiterbildungsangebote für Akteure der Automatisierungsindustrie vor. Formgebungsexperte Uwe Scheithauer gab bei den Fraunhofer Solution Days Einblick in die am IKTS entwickelte additive Fertigungstechnologie Multi Material Jetting MMJ. Und das Team aus dem Bereich Umwelt und Verfahrenstechnik stand Teilnehmenden beim IFAT Partnering Event zur Verfügung. Weitere Online-Beteiligungen sind 2021 bei der Sensor+Test,ACHEMA Pulse und Hannover Messe vorgesehen. Im Herbst haben Besucher voraussichtlich wieder die Möglichkeit, das IKTS u. a. auf der Productronica oder der IDS live zu treffen.

3. Juni 2020

1

Sächsischer Workshop für den Aufbau einer schlagkräftigen Wasserstoff-Wirtschaft

Der Sächsische Wissenschaftsminister Sebastian Gemkow und der Sächsische Staatsminister für Regionalentwicklung Thomas Schmidt sowie weitere Vertreter der Sächsischen Staatsministerien für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft bzw. für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr trafen sich im IKTS zu einem Workshop, um Wasserstoffstrategien und den Aufbau einer Wasserstoff-Wirtschaft im Freistaat zu diskutieren. Sachsen besitzt bereits heute in allen Bestandteilen der Wasserstoff-Wertschöpfungskette und in allen Landesteilen Kompetenzen. Nun braucht es ein Konzept, wie daraus ein neuer Industriezweig für Sachsen erwachsen kann. Das erklärte Ziel ist der Aufbau eines Wasserstoff-Kompetenzzentrums, welches die Gewinnung von grünem Wasserstoff mittels Elektrolyse für die industrielle Produktion vorbereitet. Damit könnte der CO₂-Ausstoß bei industriellen Prozessen nachhaltig reduziert oder sogar ganz beseitigt und so der Grundstein für eine emissionsfreie Industrie gelegt werden.

10. Juli 2020 | 7. Oktober 2020

2

Eröffnung des Batterie-Innovations- und Technologie-Centers BITC in Arnstadt mit Scheckübergabe für das erste CATL-Projekt

Mit einer Förderung des Freistaats Thüringen über 13,5 Mio. € nahm das Batterie-Innovations- und Technologie-Center (BITC) am 10. Juli 2020 im Industriegebiet Erfurter Kreuz seine Arbeit auf. Die Eröffnung in Anwesenheit von Prof. Reimund Neugebauer, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, Marco Wanderwitz, Beauftragter der Bundesregierung für die neuen Länder, Thüringens Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee



und weiteren Gästen aus Politik, Wirtschaft und Presse markiert einen wichtigen Schritt für den Ausbau und die Vernetzung der Aktivitäten im Bereich der Batterie- und Energiespeichertechnik in Thüringen.

Bereits Anfang Oktober 2020 startete in der neuen IKTS-Außenstelle in Arnstadt das Initialprojekt »BattLife«. Gemeinsam mit dem chinesischen Batteriehersteller CATL wird am BITC ein digitalisiertes Test-Center für Batterien und Batteriekomponenten aufgebaut. Ziel ist es, die Lebensdauer von Batterien im Industriemaßstab zu analysieren und zu verlängern. Die Fördermittel in Höhe von 5 Mio. € überreichte Minister Tiefensee persönlich an Dr. Roland Weidl, Leiter des BITC, und an Jason Chen, Werksleiter bei CATT, der Thüringer Niederlassung von CATL.

16.–17. September 2020

3

AM ceramics meets ceramitec conference

Rund 500 internationale Teilnehmer verfolgten die erste virtuelle »AM Ceramics & ceramitec conference« live an ihren Bildschirmen. Auf Einladung der Lithoz GmbH, des Fraunhofer IKTS und der Messe München präsentierten Experten aus Forschung und Industrie an den zwei Tagen ihre Fortschritte beim 3D-Druck, neuartige Technologien der additiven Fertigung von Keramik und Innovationen in der keramischen Prozesskette. Eine virtuelle Führung gab praxisnahe Einblicke in das Know-how und die Infrastruktur des Fraunhofer IKTS – entlang von vier additiven Prozessketten vom Feedstock bis zum Bauteil. Gezeigt wurden die Verfahren Binder Jetting, Fused-Filament-Fabrication, Multi Material Jetting und Vat Photopolymerisation.

29. September 2020

Pressefrühstück | Early Morning Science

Die vier Dresdner Fraunhofer-Institute am Standort Winterbergstraße präsentieren regelmäßig aktuelle Forschungshighlights vor Ort und im Livestream. Der Einladung zum nunmehr sechsten Pressefrühstück »Early Morning Science« folgten wieder zahlreiche Journalisten der regionalen, überregionalen und Fachpresse. In ihren Vorträgen präsentierten die Fraunhofer-Forschenden u. a. neuartige Radarsensoren für Frontscheinerwerfer sowie interessante Werkstoffentwicklungen für leistungsfähigere Wasserstoff-Autos und eine effizientere Wasserstoffherstellung. Ein besonders großes Medienecho erlangte die Konzeptvorstellung von Dr. Matthias Jahn vom IKTS zur Reduktion von CO₂-Emissionen um bis zu 95 % bei der Produktion von Rohstahl.

10. Oktober 2020

4

20 Jahre DRESDEN-concept – Wissenschaftsausstellung eröffnet auf dem Vorplatz des Dresdner Kulturpalasts

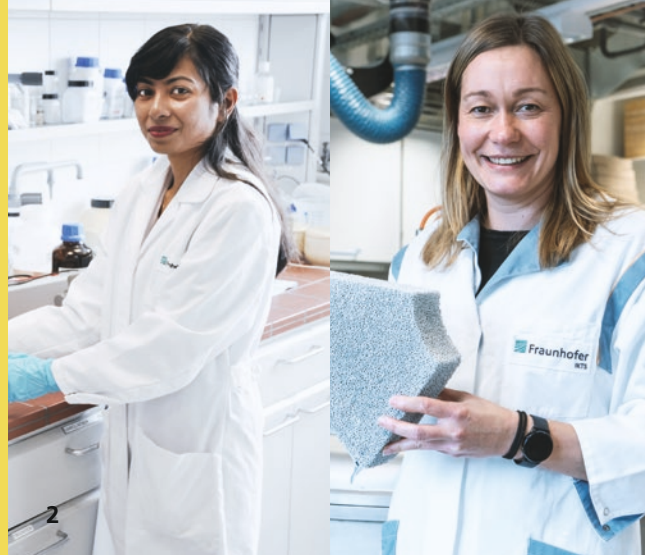
Wissenschaft für die Bevölkerung erlebbar zu machen und Ergebnisse in die Gesellschaft zu transferieren: Mit diesem Anliegen initiierte das regionale Forschungsnetzwerk DRESDEN-concept (DDc) eine interaktive Ausstellung für die gesamte Familie. Unter dem Titel »Wie werden wir in Zukunft leben? Die Forschung aus Dresden findet Antworten.« zeigt die Ausstellung aktuelle kooperative Projekte der DDc-Partner und adressierte Themen wie Klimawandel, ein gesundes Leben, die neuen Materialien der Zukunft und Künstliche Intelligenz. Das IKTS ist als langjähriger DDc-Partner mit vielfältigen Projektbeispielen und vor allem -ergebnissen beteiligt. Inzwischen kann die Ausstellung im Rathaus besichtigt werden.

Seminar series **NDT4** **INDUSTRY**

Recent developments in
advanced NDT

1

 **Fraunhofer**
IKTS



RETROSPEKTIVE

14. Oktober 2020

NDT4INDUSTRY – Neue Online-Seminarreihe stellt NDT-Entwicklungen vor

Inspiziert von der Idee, Industrie und Wissenschaft auch in Pandemiezeiten zu vernetzen und Entwicklungen zum Nutzen von Unternehmen in die Anwendung zu bringen, entwickelte das IKTS die Online-Seminarreihe NDT4INDUSTRY. Seit der Auftaktveranstaltung im Oktober 2020 können Anwender aus der Industrie und andere Interessenten Prüflösungen des IKTS-Standorts Dresden-Klotzsche kennenlernen. Die Themen, hauptsächlich aus dem Bereich der zerstörungsfreien Prüfverfahren, werden in Vorträgen und Laborrundgängen präsentiert und anschließend mit den Teilnehmern diskutiert. Die Online-Seminarreihe NDT4INDUSTRY findet in regelmäßigen Abständen statt. Die aktuellen Termine und Themen finden Sie auf www.ndt4industry.com.

16.–17. November 2020

Ehrung der besten Auszubildenden der Fraunhofer-Gesellschaft

Bei der jährlichen Auszeichnung der besten Auszubildenden der Fraunhofer-Gesellschaft war das IKTS 2020 zum wiederholten Mal stark vertreten. Geehrt wurden in diesem Jahr drei Physiklaboranten: Carsten Kruska und Christoph Lehmann (beide vom Standort Dresden-Klotzsche) sowie Franz Müller (inzwischen am BITC in Arnstadt). Zudem wurden Dr. Beatrice Bendjus und Dr. Norman Reger-Wagner für ihre herausragende Arbeit als Auszubildende gewürdigt. Aufgrund der Coronapandemie fand die Preisverleihung virtuell statt. Fraunhofer-Vorstandsmitglied Prof. Alexander Kurz überreichte die Auszeichnung an insgesamt 14 Preisträger. Erfreulich ist, dass alle drei IKTS-Preisträger auch nach ihrer Ausbildung weiter am IKTS beschäftigt bleiben.

1 24. November 2020

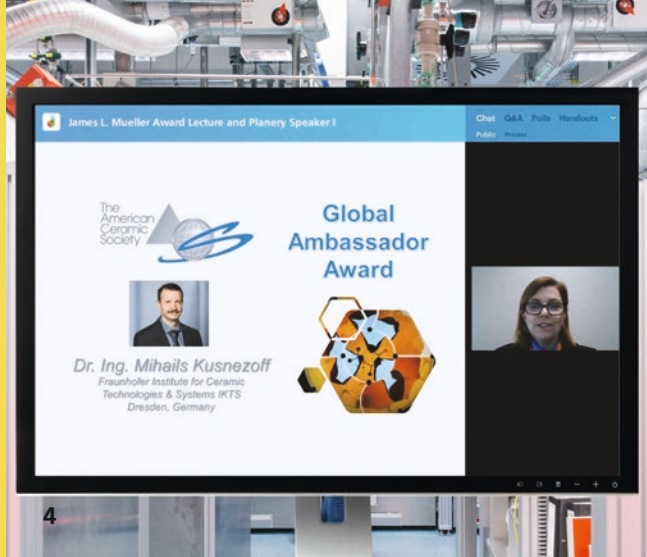
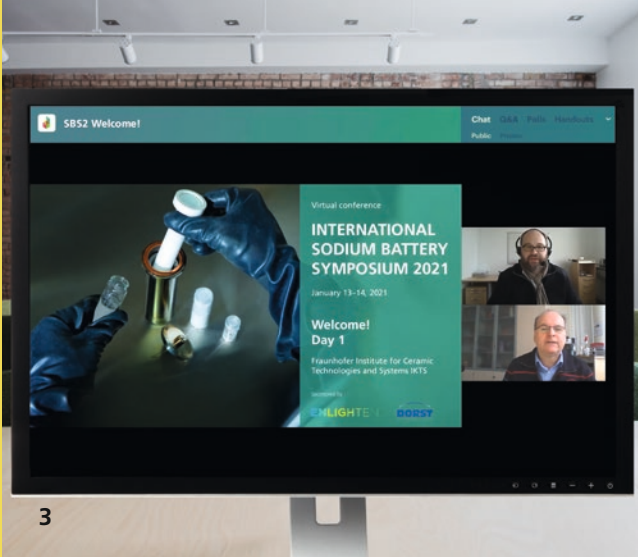
Kommunikationspreis für mobile Serie #diensttalk

Alljährlich prämiert die Fraunhofer-Gesellschaft gemeinsam mit einer Jury aus Industrie und Politik die besten Beispiele für gelungene Wissenschaftskommunikation. Den 2. Platz gewann das Konzept und die Umsetzung der Serie #diensttalk von Fanny Pohontsch, PR-Mitarbeiterin am IKTS. Seit 2019 geben hier sowohl wissenschaftliches und technisches Personal als auch die Gruppen-, Abteilungs- und Institutsleitung Einblick in ihre Arbeit und verraten, was sie dabei antreibt – mit einem kleinen Schwenk ins Private. Der #diensttalk ist, bestehend aus Videoclip und Blogartikel, für die Verbreitung via Social Media ausgelegt und diente bereits mehreren Interessengruppen zur direkten Kontaktabahnung mit dem IKTS.

10. Dezember 2020

Digitaler Vernetzungsworkshop »Thermoelektrische Anwendungen in der Industrie«

Mit der Entwicklung neuer Produkte und Komponenten für thermoelektrische Anwendungen, insbesondere in den Bereichen Sensorik, Prozesssicherheit, Temperaturregelung und Abwärmennutzung, sind dynamische und gleichzeitig attraktive Märkte mit hohem Zukunftspotenzial entstanden. Im Rahmen eines Vernetzungsworkshops haben Forschende des Fraunhofer IKTS und weiterer sächsischer Forschungsinstitute aussichtsreiche Projektkonzepte mit Industrievertretern diskutiert. Ziel war es, lokale Kompetenzen und Anwendungspotenziale auszuloten, Kooperationen anzubahnen sowie ein aktives sächsisches Kompetenznetzwerk Thermoelektrik auf den Weg zu bringen.



1. Januar 2021

2

Fraunhofer TALENTA Förderung für zwei IKTS-Wissenschaftlerinnen

»Fraunhofer TALENTA« ist ein Förder- und Entwicklungsprogramm zum Gewinnen und Entwickeln von Wissenschaftlerinnen. TALENTA bietet Wissenschaftlerinnen bei Fraunhofer seit 2013 durch die Teilfinanzierung ihrer Personalstelle, maßgeschneiderte Qualifizierung und karriereorientierte Vernetzung die Möglichkeit, ihre Karriere strategisch voranzutreiben. Mit Beginn des Jahres 2021 wurden zwei IKTS Wissenschaftlerinnen in das Programm aufgenommen: Dr. Daniela Haase möchte mit der TALENTA Förderung ihr Ziel einer Gruppenleitung im Bereich der zellulären Keramik verfolgen. Tashneem Ara Islam wird im Programm Unterstützung während ihres Promotionsvorhabens in der Gruppe »Funktionswerkstoffe für Hybride Mikrosysteme« erhalten.

13.–14. Januar 2021

3

SBS2 | International Sodium Battery Symposium

Natrium-Batterien sind eine vielversprechende und kostengünstige Alternative zu Lithium-Ionen-Zellen. Der Gedankenaustausch auf diesem Gebiet ist entscheidend für den gemeinsamen Fortschritt und die öffentliche Wahrnehmung. Das diesjährige zweite »International Sodium Battery Symposium« wurde erstmalig als digitale Veranstaltung durchgeführt. Mehr als 100 internationale Experten aus acht Nationen diskutierten aktuelle Forschungs- und Entwicklungstrends von Natriumbasierten Batterien, deren Marktanforderungen und Zukunftsperspektiven sowie Fragestellungen der Fertigung. Digitale Laborführungen gaben zudem vertiefende Einblicke in die umfangreiche Ausstattung und Leistungsfähigkeit des IKTS. 2022 treffen sich die Experten in Berlin.

8. Februar 2021

4

ACerS Global Ambassador Award für Mihails Kusnezoff

Die American Ceramic Society (ACerS) verlieh Dr. Mihails Kusnezoff, Abteilungsleiter »Werkstoffe und Bauteile« am Fraunhofer IKTS am 8. Februar 2021 im Rahmen der virtuellen 45th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites (ICACC) den ACerS Global Ambassador Award 2021. Mit dieser Auszeichnung werden jedes Jahr Persönlichkeiten geehrt, die sich durch ihre Führungsqualitäten und ihr Engagement im besonderen Maße für ACerS und die weltweite Keramik- und Glasgemeinschaft verdient gemacht haben.

19. März 2021

Prof. Alexander Michaelis Mitglied im Beirat Batterieforschung Deutschland

Der Institutsleiter des Fraunhofer IKTS, Prof. Alexander Michaelis, wurde als Mitglied des Beirats Batterieforschung Deutschland bestätigt. Der Beirat mit mehr als 40 hochrangigen Vertretern aus Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen berät das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in Fragen der strategischen Forschungsplanung zu elektrochemischen Energiespeichern, unabhängig von den Anwendungen. Aufgaben des Beirats sind u. a. die Formulierung von Empfehlungen zu Förderprogrammen und Themenclustern sowie die kritische Bewertung von Studienergebnissen.

CORONA-FORSCHUNG AM FRAUNHOFER IKTS

JAHRESBERICHT 2020/21

Keramische Lösungen zur Bekämpfung der Coronavirus-Pandemie

Die aktuellen Herausforderungen haben gezeigt, dass Forschung und Innovation der Schlüssel sind, um die Coronavirus-Pandemie und ihre Folgen einzudämmen. In diesem Zusammenhang bearbeiten wir mehrere Projekte, in denen wir das hervorragende Eigenschaftsportfolio von Hochleistungskeramiken im Bereich der biomedizinischen Analytik oder des Infektionsschutzes nutzen.

MEMBsS

Dezentrale Bereitstellung von Sauerstoff für Beatmungsgeräte

Um die Kapazität an Beatmungsplätzen für schwer erkrankte COVID-19-Patienten in Belastungsspitzen deutlich steigern zu können, arbeiten wir an Sauerstoffgeneratoren, mit denen sich dezentral reiner Sauerstoff erzeugen lässt und die damit an wechselnden Aufstellorten in Krankenhäusern oder provisorischen Einrichtungen betrieben werden können. Die Systeme trennen dabei Sauerstoff aus der Umgebungsluft ab. Dieser ist steril und frei von viruziden Komponenten. Der Trennprozess basiert auf mischleitenden keramischen Membranen, die bei hohen Temperaturen nur für Reinst-O₂ permeabel sind. Der Sauerstoffgenerator wird als Prototyp eines Seriengeräts aufgebaut, getestet und evaluiert und die Versorgung von ca. 15 Patienten (85 L O₂/min) ermöglichen.

CoClean-up

Hocheffiziente Raumlufedesinfektion zur Eindämmung des Coronavirus

Als Hauptübertragungsweg für SARS-CoV-2 gelten virushaltige Tröpfchen und Aerosole, die u. a. beim Atmen und Sprechen entstehen. In einem gemeinsamen Projekt entwickeln die Fraunhofer-Institute IKTS und ITEM ein System, mit dem die Luft in geschlossenen Räumen in Krankenhäusern, Schulen, Restaurants oder Fitnessstudios desinfiziert werden könnte. Das System arbeitet auf dem Verfahrensprinzip der elektrochemischen Totaloxidation, bei der organische Substanzen wie Viren vollständig zerstört werden. Dies garantiert, dass auch Endotoxine oder andere Produkte unvollständigen Schadstoffabbaus nicht in die Raumluft, insbesondere bei Klima- oder Lüftungsanlagen, gelangen. Wir verantworten im Projekt die Auslegung des Gesamtsystems sowie die Entwicklung von keramischen Diffusoren und des elektrochemischen Oxidationsmoduls.

Mikro-PCR

Präzise regelbare Thermocycler für einen schnellen Nachweis von SARS-CoV-2

Für den labordiagnostischen Nachweis einer Corona-Infektion werden PCR-Tests genutzt. Damit Testzeiten in Zukunft weiter verkürzt und Infektionsketten schneller unterbrochen werden können, entwickelt das IKTS neuartige Thermocycler. Diese helfen, das Probenmaterial schnell und gezielt aufzuheizen und abzukühlen, um das darin enthaltene Erbgut des Virus mithilfe der Polymerasekettenreaktion (PCR) zu vervielfältigen und so nachweisen zu können. Für den neuen Thermocycler kombinieren wir verschiedene keramische Technologien: Über additive Fertigungsverfahren wird das Gehäuse mit integrierten Heizleiterstrukturen gedruckt und diese mit keramischen Heizpasten funktionalisiert. So sind ein direkter Wärmeübergang und schnellere Aufheiz- und Abkühlraten möglich.

BioKomp

Quantitative Biokompatibilitätsprüfung für 3D-gedruckte Materialien

Mit 3D-gedruckten Medizinprodukten ist es möglich, Versorgungslücken während einer Pandemie schnell zu schließen und Lösungen für die Patientenversorgung (z. B. Notfall-Beatmungsgeräte, diagnostische Akut-Verbrauchsmaterialien) verfügbar zu machen. Um 3D-gedruckte Kunststoffbauteile im Zell/Gewebe-Direktkontakt testen zu können, arbeiten wir an einer neuartigen Biokompatibilitätsprüfung. Im Projekt wollen wir den Nachweis erbringen, dass es mit dem eigens entwickelten In-vitro-Testsystem »ClicKit-Well« möglich ist, die Zytotoxizität im direkten Zelltest zu quantifizieren. Damit werden Mediziner in die Lage versetzt, eine Risikoabschätzung und Entscheidung über den Einsatz der additiv gefertigten Produkte zu treffen. Zum Projektteam gehören die Universität Leipzig und das Forschungs- und Transferzentrum Leipzig e. V. (FTZ). Die Partner kooperieren mit Kliniken und der Stadt Leipzig.

TO-G

Plasmadesinfektion von medizinischer Schutzkleidung

Mit Hilfe von Plasmadesinfektionsanlagen kann Schutzkleidung im Falle von Lieferkettenengpässen desinfiziert und damit wiederverwendet werden. Die aktuell eingesetzten Plasmaelektroden aus Kunststoff und Metall verschleifen allerdings sehr schnell und begrenzen den Einsatz dieser ansonsten hoch attraktiven Desinfektionsmethode. Um diese Problematik zu lösen, setzen wir für diese funktionale Kernkomponente elektrisch leitfähige Keramiken basierend auf einer innovativen Sintertechnologie für Titanoxide ein. Diese halten zum einen den hohen elektrischen Spannungen, die zur Plasmaerzeugung notwendig sind, zuverlässig stand. Zum anderen lassen sich funktional unterschiedliche Elektrodenkomponenten in nur einem Prozessschritt kostengünstig verbinden.

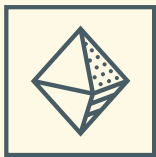
COPERIMOplus

Personalisierte Modelle zur Risikobewertung von COVID-19-Krankheitsverläufen

COVID-19 stellt Gesundheitssysteme insbesondere in der klinischen Behandlung der schweren Erkrankungen und ihrer Verläufe vor große Herausforderungen. Im Verbundprojekt werden KI-basierte, individualisierte Risikomodelle erstellt, die eine Prognose derartiger Krankheitsverläufe ermöglichen. Das Fraunhofer IKTS ist am Vorhaben mit einer Plattform zur statistischen und quantitativen Auswertung großer, heterogener Datensätze beteiligt. Dies schließt die Nutzung von Methoden des maschinellen Lernens ein und erlaubt eine synergetische Unterstützung aus anderen Anwendungsfeldern für die Datenakquisition und Risikomodelle. Darüber hinaus bringen wir weitere Querschnitts- und Schrittmachertechnologien wie die bildgebende Analytik und automatisierte Datenauswertung in die Datenmodelle ein.

AUS DEN GESCHÄFTSFELDERN DES FRAUNHOFER IKTS

JAHRESBERICHT 2020/21



**Werkstoffe und
Verfahren**



Energie

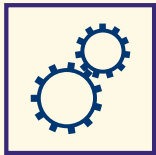


Wasser

Werkstoffe und Verfahren

Seite 28–32

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



**Maschinenbau und
Fahrzeugtechnik**



**Umwelt- und
Verfahrenstechnik**

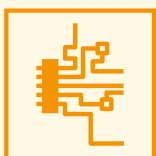


**Material- und
Prozessanalyse**

Maschinenbau und Fahrzeugtechnik

Seite 33–35

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 weiteren Schwerpunkt bilden Prüfsysteme für die Überwachung von Komponenten und Fertigungsanlagen auf Basis optischer, elasto-dynamischer und magnetischer Effekte.



**Elektronik und
Mikrosysteme**



**Bio- und
Medizintechnik**



**Zerstörungsfreie
Prüfung und
Überwachung**

Elektronik und Mikrosysteme

Seite 36–39

Das Geschäftsfeld bietet Herstellern und Anwendern einen einzigartigen Zugriff auf kostengünstige und zuverlässige Werkstoff- und Fertigungslösungen für robuste und hochleistungsfähige Komponenten in der Elektronik. Neben Sensoren und Sensorsystemen stehen leistungselektronische Bauteile und smarte multifunktionale Systeme im Mittelpunkt. In Verbindung mit innovativen Prüfverfahren und -systemen unterstützt das IKTS entlang der gesamten Wertschöpfungskette vom Werkstoff bis zur Integration komplexer Elektroniksysteme.

Energie

Seite 40–47

Für verbesserte und grundlegend neue Anwendungen in der Energietechnik entwickelt, baut und testet das IKTS Komponenten, Module und komplette Systeme. Diese sollen zu einer effizienten Energiewandlung, der Integration von regenerativen Energien sowie einer bedarfsgerechten Energiespeicherung beitragen. Ein Schwerpunkt sind keramische Festkörper-Ionenleiter. Anwendungen reichen von Batterien und Brennstoffzellen über Solarzellen und thermische Energiesysteme bis hin zu Lösungen für bioenergetische und chemische Energieträger.

Umwelt- und Verfahrenstechnik

Seite 48–50

Im Mittelpunkt des Geschäftsfeldes stehen Prozesse im Bereich konventioneller und Bioenergien, Strategien und Verfahren zur Wasser- und Luftreinigung sowie zur Rückgewinnung von werthaltigen Rohstoffen aus Reststoffen. Viele Ansätze zielen dabei auf geschlossene Stoffkreisläufe. Das Fraunhofer IKTS nutzt keramische Membranen, Filter, Adsorbentien und Katalysatoren, um komplexe verfahrenstechnische Systeme für energieeffiziente Trennverfahren, chemische Umsetzung und Wertstoffrückgewinnung zu realisieren.

Bio- und Medizintechnik

Seite 51–53

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

Wasser

Seite 54–58

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

Material- und Prozessanalyse

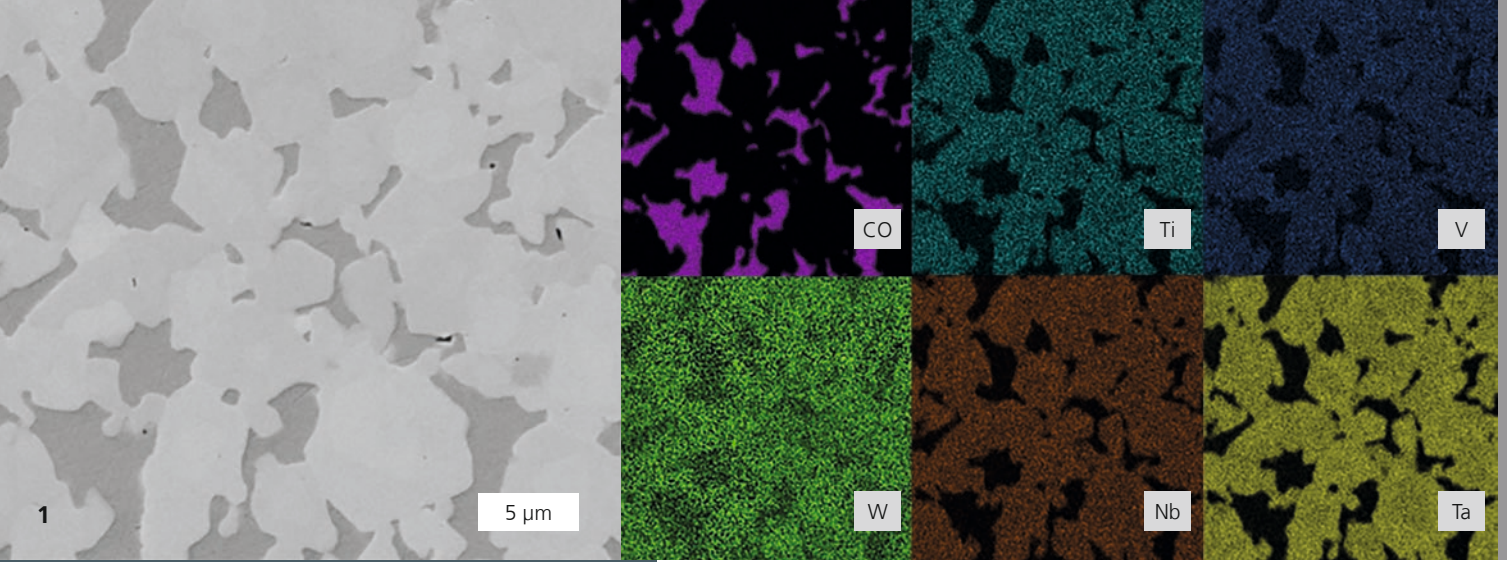
Seite 59–62

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 IKTS bei der Untersuchung werkstoffwissenschaftlicher Grundlagen, anwendungsspezifischer Fragestellungen sowie messtechnischer Entwicklungen. Kennwerte werden dabei nicht nur ermittelt, sondern auch in ihrem jeweiligen Anwendungskontext interpretiert, um Optimierungspotenziale aufzuzeigen.

Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung

Seite 63–67

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



NEUARTIGE HARTSTOFFE FÜR HARTMETALLE, MMC UND FÜR DAS THERMISCHE SPRITZEN

Dr. Johannes Pötschke

In verschiedensten Anwendungen, die sowohl besonders harte als auch zähe Werkstoffe erfordern, werden auf keramische Hartstoffkörner basierte Metallmatrix-Verbundwerkstoffe (MMC) eingesetzt. Dazu gehören zum einen Hartmetalle, wie man sie für das Bohren, Fräsen und Drehen sowie für diverse Formgebungswerkzeuge (Pressmatrizen, Extrusionsmundstücke etc.) kennt, aber auch thermisch gespritzte Hartmetallschichten oder mittels Metallschmelzeninfiltration hergestellte Verschleißschutzbauteile. In all diesen Anwendungen werden bisher nur Hartstoffe aus einem oder zwei hartstoffbildenden Elementen, wie z. B. Wolfram in Wolframcarbid, Titan in Titancarbid bzw. Titancarbonitrid oder auch Silicium in Siliciumcarbid verwendet.

Multi-Element-Hartstoffe

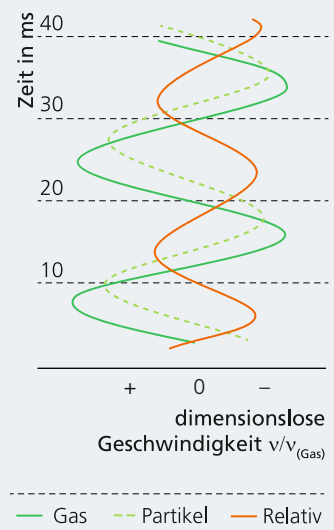
Die am Fraunhofer IKTS entwickelten Multi-Element-Hartstoffe, sogenannte Hoch-Entropie-Hartstoffe (Carbide, Nitride oder Carbonitride), bestehen aus mehreren carbidbildenden Metallatomen in ungefähr equiatomarer Zusammensetzung. Auf diese Weise können neuartige Hartstoffkörner mit teilweise höherer Härte und angepasster Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu den Einzelhartstoffen in verschiedenste Anwendungen eingesetzt werden.

Hoch-Entropie-Hartstoff-Verbundwerkstoffe

Durch die Mischung und Sinterung mit Metallen wie Cobalt, Nickel aber auch eisenbasierten Zusammensetzungen können diese Hartstoffe zu neuartigen Hoch-Entropie-Hartstoff-Verbundwerkstoffen (vom IKTS zum Patent angemeldet) verarbeitet werden. Aufgrund der hohen Stabilität der Hoch-Entropie-

Hartstoffe lösen sich die einzelnen carbidbildenden Elemente nicht in der Metallmatrix auf, sondern verbleiben als hoch hartes Hartstoffskelett. Die für Hoch-Entropie-Hartstoffe infrage kommenden Elemente sind aus der 4. bis 6. Nebengruppe des Periodensystems der Elemente: Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W. Die sich daraus ableitenden Hartstoffe – aus mindestens vier dieser Elemente plus Kohlenstoff als Carbidbildner bzw. Stickstoff als Nitridbildner – sind in ihrer Vielfalt sehr groß und erlauben zusammen mit den genannten Metallmatrixen die gezielte Einstellung von verschiedenen mechanischen als auch thermophysikalischen Eigenschaften wie Härte, Zähigkeit sowie der elektrischen und der Wärmeleitfähigkeit. Vorteile im Vergleich zu bisherigen Hartstoffen sind: Das bei Hartmetallwerkzeugen als kritischer Rohstoff (CRM) klassifizierte Wolframcarbid kann substituiert werden. Durch eine höhere Verbundhärte wird die Lebensdauer der Bauteile erhöht. Zudem lassen sich Ressourcenverbrauch und -abhängigkeit verringern. Bisher erreichte Zähigkeiten (bis $8,5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) und Härten (bis 1450 HV10) sind dabei mit Wolframcarbid-Cobalt-Werkstoffen und Cermets vergleichbar. Weiterentwicklungen können das in ersten Untersuchungen erreichte Eigenschaftsspektrum weiter ausweiten. Im Rahmen von öffentlich geförderten Projekten ist geplant, Eigenschaften dieser neuartigen Verbundwerkstoffe weiterzuentwickeln und in Anwendungstests zu validieren.

1 Gefüge und Elementverteilung der Metallatome eines Cobalt-gebundenen (Ti, V, W, Nb, Ta) C-Hoch-Entropie-Hartstoffs.



SYNTHESEREAKTOR FÜR OXIDISCHE NANOPULVER

Dr. Sabine Begand, M. Sc. Kerstin Simon, M. Eng. Andreas Frickel

Oxidische Hochleistungskeramiken für die Medizintechnik oder für Optikkomponenten erfordern hohe mechanische und optische Eigenschaften. Diese werden durch spezielle Pulvereigenschaften erzielt: Neben der Partikelgröße (< 100 nm) spielen ein hoher Reinheitsgrad, eine enge Korngrößenverteilung und die Kornform eine wesentliche Rolle. Am Fraunhofer IKTS wurde die weltweit erste Anlage zur Herstellung von maßgeschneiderten, oxidischen Nanopulvern im Kilogramm-Maßstab aufgebaut, die auf einem flammenlosen Konzept mit pulsierender Gasströmung beruht (ProAPP®, Glatt Ingenieurtechnik GmbH).

Das Syntheseprinzip basiert auf der Sprühyrolyse, wobei das Prozessgas mittels einer Pulsationseinheit in eine dynamische Druckschwingung versetzt wird. Die Frequenz und Amplitude kann von 0–400 Hz bzw. 0–60 mbar eingestellt werden. Nach einer Vorheizphase strömt das pulsierende Gas in ein vier Meter langes Rohr aus Al_2O_3 . Dabei kann es über elektrisch betriebene Heizer auf bis zu 1300 °C erhitzt werden. Der Rohstoff in Form von Pulvern, Lösungen, Suspensionen oder Emulsionen wird über eine Zweistoffdüse in den Reaktionsraum eingebracht. Das Besondere hierbei ist, dass die aufgeprägte Pulsation eine turbulente Strömung erzeugt, die den Wärme- und Stoffübergang im Vergleich zu einer laminaren Strömung um den Faktor 2–5 erhöht [1]. Dadurch können die thermoschockartige Zersetzung und die darauffolgende Kristallisation in kürzester Zeit stattfinden. Im Gegensatz zu einer laminaren Strömung, bei der die Strömungsgeschwindigkeit zum Querschnittsmittelpunkt zunimmt, erfahren die eingedüsten Rohstoffe bei einer turbulenten Strömung eine über den Querschnitt gleichbleibende Behandlungsintensität, so dass jeder Partikel dieselben Bedingungen erfährt. Dies hat eine geringere Streuung der

Pulvereigenschaften zur Folge. Je nach Produktwunsch kann das Prozessgas inert, reduzierend oder oxidierend gewählt werden. Der entscheidende Vorteil liegt in der kontrollierten Einstellungsmöglichkeit der Prozessparameter, um gezielt Phasenzustand, Morphologie, Korngröße- und Verteilung zu verändern. Nach der Reaktionszone wird, infolge einer schlagartigen Abkühlung mit Luft sichergestellt, dass keine weiteren Reaktionen ablaufen. Ergänzt wird der Synthesereaktor durch eine Glasapparatur zur Vorbereitung der Präkursoren.

Mit diesem Verfahren können ZrO_2/Al_2O_3 -Pulver für die Medizintechnik (z. B. Gelenkersatz) hergestellt werden, die aufgrund des feinen Gefüges eine erhöhte Festigkeit und Zuverlässigkeit aufweisen. Polykristalline Mg-Al-Spinellpulver können zu Linsen oder Scheiben verarbeitet werden und hohe Transmissionswerte bei gleichzeitig hohen mechanischen Eigenschaften gewährleisten. Außerdem bietet dieses Verfahren die Möglichkeit zur Synthese von Pulvern für YAG-Laser, Katalysatoren und Core-Shell-Partikeln.

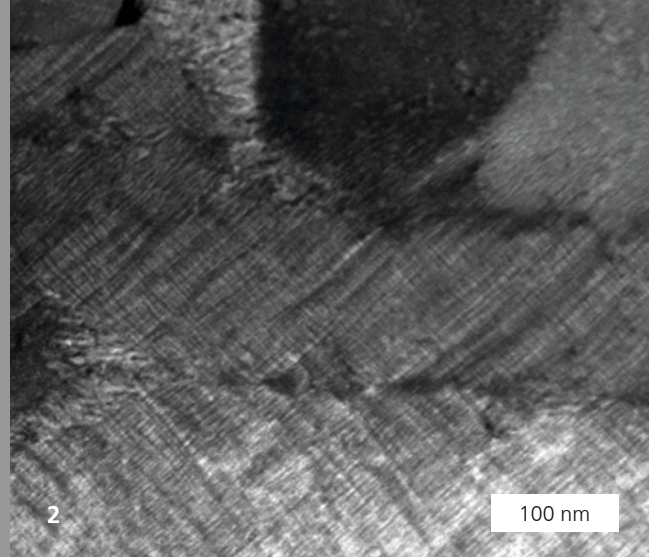
[1] Kudra, T.; Mujumdar, A.S. Advanced Drying Technologies, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2009.



- 1 ProAPP®-Anlage am IKTS.
- 2 Sprühmuster bei verschiedenen Frequenzen (Teiwes A., doi:10.3390/pr8070815).
- 3 Geschwindigkeitsverlauf von Partikeln im pulsierenden Gasstrom.



1



2

100 nm

VERSCHLEISSMINDERNDE ALUMINIUMREICHE CVD-TiAlN-SCHICHTEN

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

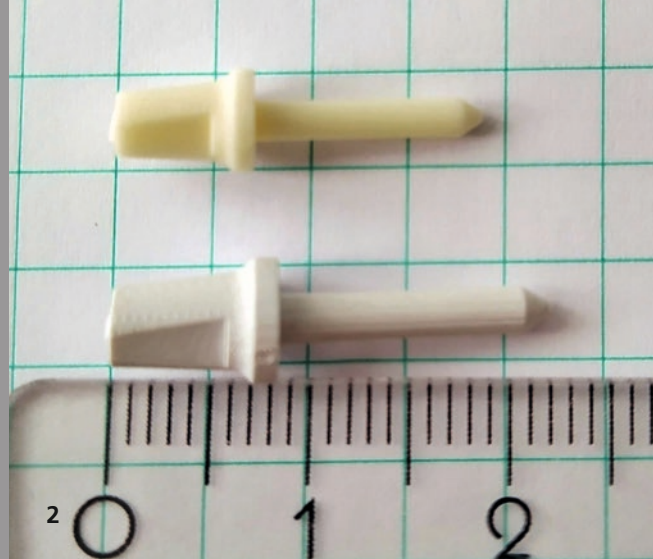
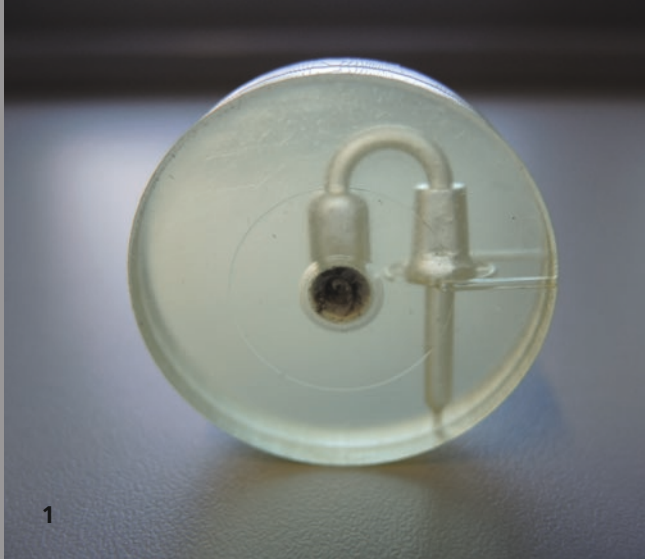
Antrieb für die Entwicklung neuer und immer leistungsfähigerer Verschleißschutzschichten sind die stetig steigenden Anforderungen an die Schneidwerkzeuge, die sich aus der Zunahme von Hochgeschwindigkeits- und Trockenbearbeitung sowie der Zerspanung hochfester und schwer spanbarer Materialien ergeben. An der Schneidkante und insbesondere auf der Spanfläche werden bei hohen Schnittgeschwindigkeiten Temperaturen von über 1000 °C erreicht. Neben einer hohen Härte müssen moderne Verschleißschutzschichten deshalb auch eine gute Oxidationsbeständigkeit aufweisen und chemisch inert gegenüber dem Werkstückmaterial sein. Im Laufe der letzten Jahre ist $Ti_{1-x}Al_xN$ mit kubischer Struktur eine wichtige Standardschicht für den Verschleißschutz geworden. Aluminiumreiche $Ti_{1-x}Al_xN$ -Schichten, die vorwiegend die harte kubische Phase enthalten, bieten eine wesentlich bessere Verschleißbeständigkeit im Vergleich zu $Ti_{1-x}Al_xN$ -Schichten mit geringeren Aluminiumgehalten. Mit konventionellen PVD-Verfahren, wie dem Magnetronputtern oder dem Arc-Verfahren, sind $Ti_{1-x}Al_xN$ -Schichten mit vorwiegend kubischer Struktur und hohen Aluminiumgehalten von $x > 0,65$ bisher nicht herstellbar. Mit thermischer CVD kann kubisches $Ti_{1-x}Al_xN$ mit $x > 0,65$ auf Hartmetallsubstraten abgeschieden werden. Die Ursachen für die Stabilisierung der kubischen Phase im CVD-Prozess bei sehr hohen Aluminium-Gehalten sind jedoch nicht geklärt. Daher wird am Fraunhofer IKTS das Ziel verfolgt, die Mechanismen der CVD-Abscheidung tiefer zu untersuchen und anhand dieser Ergebnisse die Struktur weiter zu verbessern. Die CVD-Abscheidung erfolgte in einem horizontalen Unterdruck-Heißwandreaktor mit getrennter Einleitung der reaktiven Gase. Als Ausgangsstoffe wurden für die $Ti_{1-x}Al_xN$ -Schichten die Reaktanten $TiCl_4$, $AlCl_3$ und NH_3 sowie Ar, H_2 und N_2 eingesetzt.

Variiert wurden die Abscheidungsparameter Temperatur (700–900 °C), Druck (5–60 mbar) und Gaszusammensetzung. Durch eine gezielte Einstellung des NH_3/H_2 -Verhältnisses konnte der Anteil an weichem, wurzitären AlN in den abgeschiedenen kubischen $Ti_{1-x}Al_xN$ -Schichten minimiert werden. Damit wurde eine Erhöhung der Eindruckhärte von 25 auf 32 GPa realisiert. Die Mikrostruktur zeigt die Bildung großer Al-reicher kubischer $Ti_{1-x}Al_xN$ -Säulenkristallite, die entlang der $\langle 110 \rangle$ -Richtung wachsen. Unter günstigen Abscheidungsbedingungen kann die Bildung von nanolamellaren Strukturen – so genannte Fischgrätenstruktur (Bild 2) – innerhalb der aluminiumreichen kubischen $Ti_{1-x}Al_xN$ -Kristalle gezielt eingestellt werden. Diese Säulenkristallite zeichnen sich durch periodisch angeordnete Al- und Ti-reiche kubische $Ti_{1-x}Al_xN$ -Domänen aus, die beim Scannen von TEM mit EDS und EELS beobachtet werden. Die entwickelten aluminiumreichen $Ti_{1-x}Al_xN$ CVD-Schichten besitzen eine hervorragende Verschleißfestigkeit, die aus ihrer hohen Härte, den intrinsischen Druckeigenspannungen und der guten Oxidationsbeständigkeit resultiert.

Danksagung: Die durchgeführten Arbeiten wurden im Rahmen des SAB-Projekts AlTiNtec (Fördernummer 100299546/3103) von der EU und dem Freistaat Sachsen finanziell gefördert.



- 1 CVD-TiAlN-beschichteter Fräser und Bohrer.
- 2 Fischgrätenartige Mikrostruktur einer $Ti_{0,15}Al_{0,81}N$ -Hartstoffschicht – abgeschieden mittels CVD (TEM-Aufnahme, Quelle: TU BA Freiberg).



FREEFORM INJECTION MOLDING – KERAMIK-SPRITZGUSS MIT VERLORENEN FORMEN

Dr. Axel Müller-Köhn, Dipl.-Ing. Eric Schwarzer, Dr. Tassilo Moritz

Auf dem Entwicklungsweg von ersten Bauteilentwürfen bis zum produktionsreifen Bauteil sind oftmals zahlreiche Iterationen notwendig, bei denen verschiedene Aspekte der Konstruktion und der Fertigung getestet werden. Im Falle des Keramikspritzgusses (CIM) ist das ein zeitaufwändiger Prozess, da allein der Werkzeugbau mehrere Wochen in Anspruch nehmen kann. Daher wurden von Bauteilherstellern zahlreiche Versuche unternommen, um diese Entwicklungsschritte zu verkürzen, wie z. B. durch eine Grünteilnachbearbeitung, die Additive Fertigung (AM) oder auch durch das sogenannte »Soft tooling« unter Nutzung von gegossenen Epoxid- oder additiv gefertigten Formen. Von diesen Ansätzen kann allerdings nur das »Soft tooling« Prototypen liefern, die die gleichen Ausgangsmaterialien und Prozesse nutzen wie die späteren Serienbauteile.

Freeform Injection Molding – »Verlorene« Spritzgussformen

Beim Freeform Injection Molding (FIM) wird ein lösliches, UV-härtbares Polymer für 3D-gedruckte Formen im Spritzguss eingesetzt. Der Formendruck erfolgt mittels einer Lithographie-basierten Fertigungsanlage (AFU5) der Firma AddiFab (Dänemark). Ein derartiges Formenmaterial beseitigt alle konventionellen Formenbaubedingungen wie Entformungsschrägen, Auswerferstifte und Formtrennung. Weiterhin wird ein Bauteildesign – vergleichbar zur Additiven Fertigung – ermöglicht, da es keine Einschränkungen hinsichtlich Hinterschnitten wie bei konventionellen, geteilten Formen gibt. Der bei Polymerformen auftretende Formenverschleiß ist ausgeschlossen, da die Formen aufgelöst und somit für einmalige Verwendung vorgesehen sind. Bei jeder Form ist es möglich, verschiedene Formeigen-

schaften oder Maße herzustellen. Dies erlaubt, Prototypen für verschiedene Entwicklungsstadien der Werkzeugkonstruktion, der Materialauswahl oder verschiedene Aufmaße zur Einstellung der gewünschten Sintermaße der Bauteile herzustellen. Es ist daher möglich, die Entwicklung zum finalen Bauteil in kürzerer Zeit bei reduzierten Kosten durchzuführen.

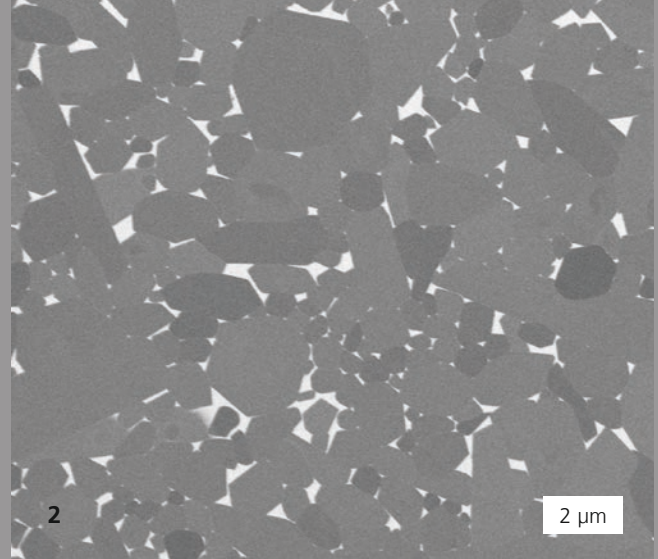
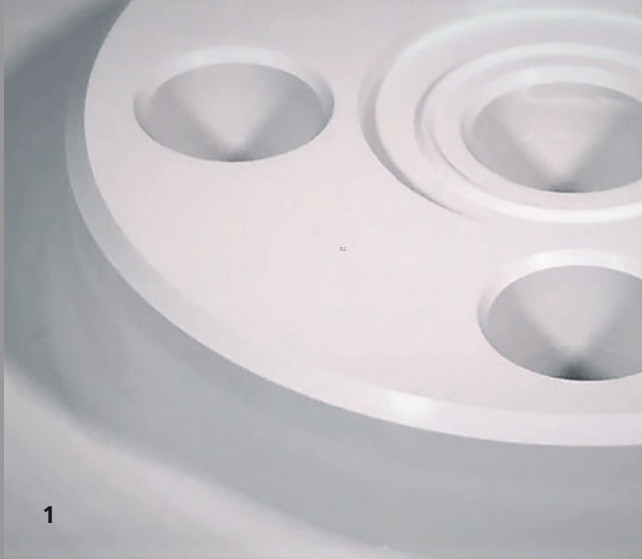
»Verlorene« Formen im Keramikspritzguss

Es konnten erfolgreich kommerzielle CIM-Feedstocks für Demonstratorbauteile aus dem FIM-Prozess eingesetzt werden. Die FIM-spezifischen Teilschritte, wie das Einspritzen in polymere Formen oder der Entformungsprozess zeigten keinen nachteiligen Einfluss auf das nachfolgende Entbindern und Sintern. Die gesinterten Musterbauteile zeigen im Vergleich zu konventionell gefertigten CIM-Bauteilen sehr gute Eigenschaften bei ähnlichem Schwindungsverhalten.

Kooperations- und Leistungsangebot

- Komponenten- und Materialentwicklung für Keramikspritzguss und Prototypenfertigung
- Fertigungsstudien für neue Materialien

- 1 Gedruckter Formeinsatz.
- 2 Herausgelöstes Grünbauteil und Sinterbauteil aus dem FIM-Prozess.



SIALONE – DIE BESONDERE KERAMIK MIT WENIGER AUFWAND HERSTELLEN

Dr. Eveline Zschippang, Fabian Loepthien, Dr. Anne-Katrin Wolfrum, Dr. Mathias Herrmann, Dr. Manfred Fries

α - und α/β -Sialon-Keramiken gehören zur Klasse der Siliciumnitridwerkstoffe. Sie sind jedoch chemisch beständiger und härter als Siliciumnitrid (Si_3N_4) bei annähernd gleicher Bruchzähigkeit. Dies macht sie nicht nur interessant als Schneidwerkstoff zur Hochgeschwindigkeitsbearbeitung von Hochtemperaturlegierungen (Motoren-, Turbinen-, Triebwerksbau), sondern auch als Werkstoff für den Chemie-, Maschinen- und Anlagenbau. Gleichzeitig rücken die mechanisch- und hochtemperaturstabilen Sialonwerkstoffe für Anwendungen in High-Power-LEDs in den Fokus, da ihre Leuchtdichte und Farbe nur wenig mit zunehmender Temperatur schwanken. Sialonwerkstoffe sind allerdings weit weniger etabliert als Siliciumnitrid, da ihre Herstellung bisher deutlich aufwändiger ist. Die Hydrolyseempfindlichkeit des zur Sialonherstellung notwendigen Aluminiumnitridpulvers (AlN) erschwert eine wässrige Prozessierung. In der Regel ist daher eine lösungsmittelbasierte Aufbereitung erforderlich, die jedoch besondere Anforderungen an Labore und Personal stellt. Das Fraunhofer IKTS hat nun eine kostengünstige, wässrige Aufbereitungsroute entwickelt, die die Hydrolyse von AlN während der Aufbereitung von Sialonwerkstoffen minimiert. Dadurch können reproduzierbar unterschiedliche Werkstoffzusammensetzungen hergestellt werden, die sowohl für Verschleißanwendungen als auch für optisch aktive Materialien genutzt werden können. Da in Sialonwerkstoffen die Sinterung und Strukturausbildung anders ist als in Si_3N_4 -Werkstoffen, können in dem Verfahren zudem kostengünstige Siliciumnitridpulver eingesetzt werden, ohne dass ein signifikanter Eigenschaftsunterschied im Vergleich zu High-End-Pulvern entsteht. Die im Labor entwickelten Herstellprozesse wurden kleintechnisch (10 bis 25 kg Pulverbasis) erfolgreich skaliert. Das entwickelte Granulat mit einem speziell angepassten Bindersystem zeigte

im instrumentierten Pressversuch ein sehr gutes Verdichtungsverhalten, was sich beim uniaxialen und kalisostatischen Pressen bestätigte. Die Grünteile ließen sich durch Fräsen, Drehen und Bohren sehr gut bearbeiten. Unterschiedliche Bohrungen, Fasen und Nuten konnten fehlerfrei eingebracht werden (Bild 1). Die Mikrostruktur (Bild 2) des dicht gesinterten Werkstoffs ist sehr homogen und führt zu exzellenten Eigenschaften: Für einen Sialonwerkstoff mit einem α/β -Sialonverhältnis von 80:20 wurde eine Härte (HV10) von 18,5 GP, eine Festigkeit (4-Punktbiegung) von $> 750 \text{ MPa}$ und eine Zähigkeit von $5 \text{ MPa m}^{1/2}$ (SEVNB) bestimmt. Durch Variation des α/β -Sialonverhältnisses und der oxidischen Korngrenzphase können die Werkstoffeigenschaften und die chemische Beständigkeit weiter angepasst werden.

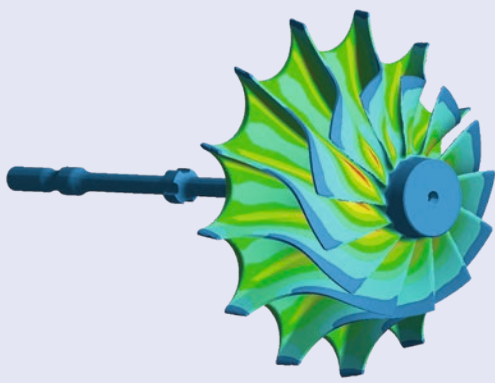
Leistungs- und Kooperationsangebot

- Anpassung der Werkstoffeigenschaften für Verschleiß- und Optikanwendungen
- Granulatentwicklung
- Charakterisierung und Bemusterung von Granulaten

Das IGF-Vorhaben 20076 N der Forschungsvereinigung Deutsche Keramische Gesellschaft wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom BMWi aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

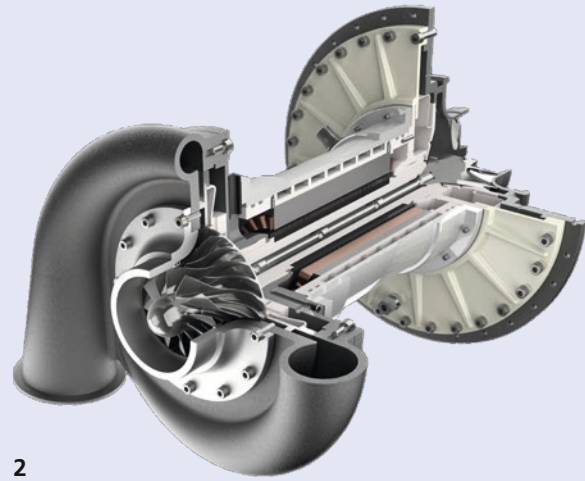


- 1 *Uniaxial gepresstes Bauteil mit Grünbearbeitung.*
- 2 *FESEM-Aufnahme der Mikrostruktur des dicht gesinterten Sialonwerkstoffs.*



1 -490 MPa 360 MPa

5 cm



2

TURBINEN-KOMPONENTEN AUS SILICIUMNITRID

Dr. Willy Kunz

Kleine Gasturbinen, sogenannte Mikrogasturbinen (MGT) stellen elektrische Energie im Leistungsbereich bis ca. 200 kW bereit. Ihre kompakte Bauart ermöglicht einen flexiblen und dezentralen Einsatz beispielsweise zur Energieversorgung von Gebäuden und größeren Anlagen. Im Zuge der E-Mobilität haben sich weitere Anwendungsfelder mit extrem hohem wirtschaftlichen Potenzial ergeben: So ermöglichen MGT als Reichweitenverlängerer in Bussen einen hocheffizienten Personentransport. Im Vergleich zu Kolbenmotoren ist dabei die Lärmbelastung deutlich geringer – ein Plus an Komfort für die Fahrgäste. Ein weiterer Vorteil ist die Kraftstoffflexibilität. Neben fossilen Brenngasen können perspektivisch auch erneuerbare Energieträger, wie Biogase und synthetische Flüssigbrennstoffe verwendet werden. Weitere innovative Konzepte zur Energiebereitstellung sind bereits Teil der aktuellen Forschung, zum Beispiel die symbiotische Kombination aus Hochtemperaturbrennstoffzelle und MGT.

Ohne das richtige Material dreht sich nichts

Trotz der zahlreichen Vorteile müssen noch einige Herausforderungen gelöst werden: Die Nutzung biogener Kraftstoffe führt zu erhöhter Korrosion. Darüber hinaus sind eine Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades sowie die Nutzbarkeit von Wasserstoff oder wasserstoffreichen Gasen gefordert. Jedoch stoßen die aktuellen Anlagenkonzepte mit metallischen Komponenten dabei an ihre Grenzen.

Hochleistungskeramik als Motor für die Turbine

Um die Belastbarkeit der Turbinenkomponenten zu erhöhen, forscht das Fraunhofer IKTS an geeigneten keramischen Hoch-

leistungswerkstoffen. Im BMWi-geförderten Projekt »BonoKeram« (FKZ: 03EE5032A) wird aktuell ein Rotor aus Siliciumnitrid für eine 60 kW_{el} Mikrogasturbine entwickelt und hinsichtlich der Langzeitstabilität getestet. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit den Fraunhofer-Instituten IPK und SCAI sowie Partnern aus der Industrie. Auf Basis der Erfahrungen vorangegangener Projekte wird der Siliciumnitrid-Werkstoff gezielt auf die Belastungssituation in der Turbine abgestimmt. Dabei muss der Werkstoff über eine sehr hohe Festigkeit, Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit sowie eine ausreichende Kriechbeständigkeit verfügen. Ziel ist es, einen langlebigen Werkstoff für Turbineneinlasstemperaturen von bis zu 1400 °C bereitzustellen. Perspektivisch werden damit neue Generationen von Mikrogasturbinen ermöglicht, welche biogene (Korrosion) oder wasserstoffreiche Kraftstoffe (extreme Temperaturen) bei erhöhtem Wirkungsgrad verbrennen können.

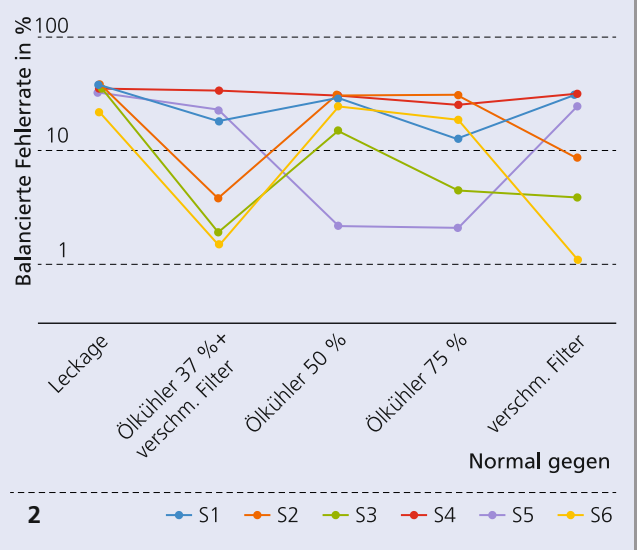
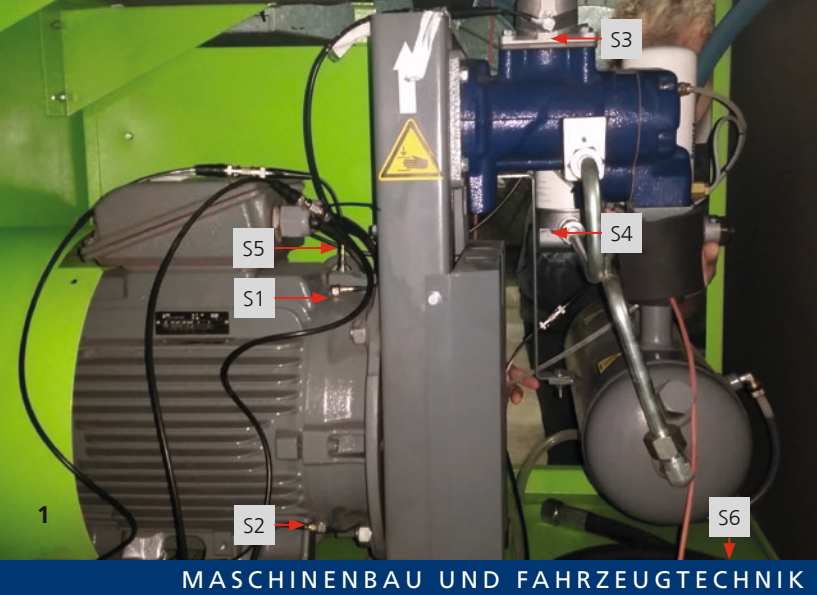
Leistungs- und Kooperationsangebot

- Materialentwicklung und -charakterisierung
- Auslegung und Optimierung sowie Fehleranalyse

1 Simulation der Spannungsverteilung im keramischen Rotor.

2 Kernstück der Mikrogasturbine.





CompWatch – AUTOMATISCHE ÜBERWACHUNG VON KOMPRESSOREN

M. Sc. Maximilian Mühle, Dr. Constanze Tschöpe, Dr. Frank Duckhorn

Viele Anlagen arbeiten auf Grundlage von Kompressoren. Deren stabiler Betrieb ist somit Voraussetzung für viele Abläufe in Industrie, Verkehr und anderen Gesellschaftsbereichen. Fällt ein Kompressor aus, führt das zu Stillstands- und Reparaturzeiten und damit zu einem beträchtlichen ökonomischen Schaden. Häufig werden Wartungsarbeiten in festen Intervallen durchgeführt und Prozessparameter stichprobenartig geprüft.

Ziel: Ereignisorientierte Wartung

Im Rahmen des Projekts CompWatch werden Verfahren entwickelt, die (statt fester) ereignisorientierte Wartungsintervalle ermöglichen. Dafür müssen eventuelle Fehler frühzeitig erkannt werden, um Ausfälle vorherzusagen. Das Projekt bedient damit aktuelle globale Trends wie Industrie 4.0 und vorausschauende Instandhaltung (predictive maintenance).

Fehlerdetektion anhand akustischer Signale

Akustische Signale und Vibrationsdaten enthalten Signaturen, die einen Rückschluss auf den Zustand des Kompressors und dessen Entwicklung ermöglichen. Diese Daten werden mit Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) und des maschinellen Lernens (ML) bewertet. Oft müssen dafür alle Fehler, die bei der Konstruktion der Modelle auftreten können, bekannt sein – nur so können sie später wiedererkannt werden.

Im zu entwickelnden Ansatz soll die Bestimmung und Vorhersage abnormaler Zustände (Anomalien) ohne ein solches Vorwissen möglich sein. Das ist Voraussetzung für eine schnelle und einfache Integration in neue Umgebungen und laufende

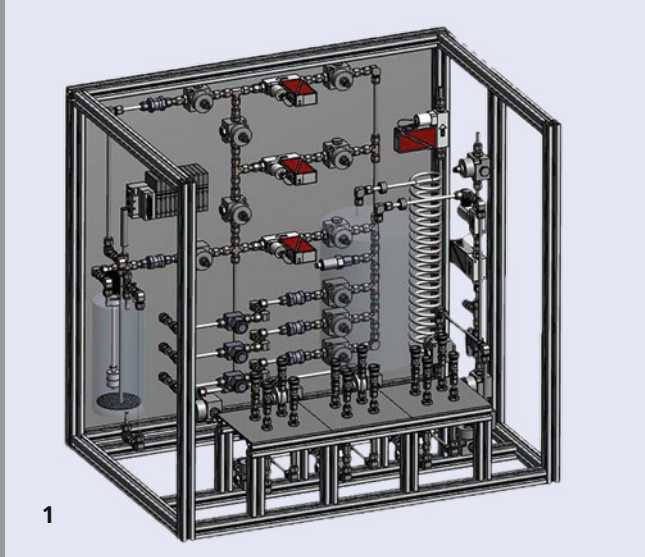
Systeme. Dafür bringen die Projektpartner verschiedenste Kompetenzen ein – SONOTEC GmbH: modernste Sensorik, Petko GmbH: Expertenwissen über Betrieb und Instandhaltung von Kompressoren sowie Fraunhofer IKTS: KI-basierte Algorithmen zur Fehlerdetektion.

In Experimenten kamen verschiedene Sensoren zur Anomalieerkennung zum Einsatz. Dabei wurden die Sensorpositionen (Bild 1) so gewählt, dass möglichst viele Bauteile überwacht werden. In Bild 2 sind die Erkennungsraten (logarithmisch skaliert) für die Unterscheidung zwischen jeweils einer Anomalie und dem Normalzustand für alle Sensoren unter Verwendung neuronaler Netze dargestellt. Je geringer die Erkennungsrate, desto seltener treten Fehlalarme auf und desto besser ist die Detektion von Defekten. Das Leck im Druckluftsystem und die Verschmutzung des Luftfilters konnten besonders gut mit einem Luftschallsensor (S6) gefunden werden. Die Abdeckung des Ölkühlers ließ sich mit dem Sensor S5 am besten detektieren. Die Einzelkomponenten werden derzeit in einen Demonstrator integriert und anschließend an Kompressoren evaluiert.

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Forschung und Bildung (BMBF) gefördert (FKZ: 02K18K012) und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.



- 1 Sensorpositionen zur akustischen Erkennung von Anomalien an verschiedenen Kompressor-Bauteilen.
- 2 Die besten Fehlerraten für jeden Sensor und Defekt.



VOLLAUTOMATISIERTER MESSSTAND ZUR MEMBRANCHARAKTERISIERUNG

Dr. Marcus Weyd, M. Sc. Matthias Bernhardt

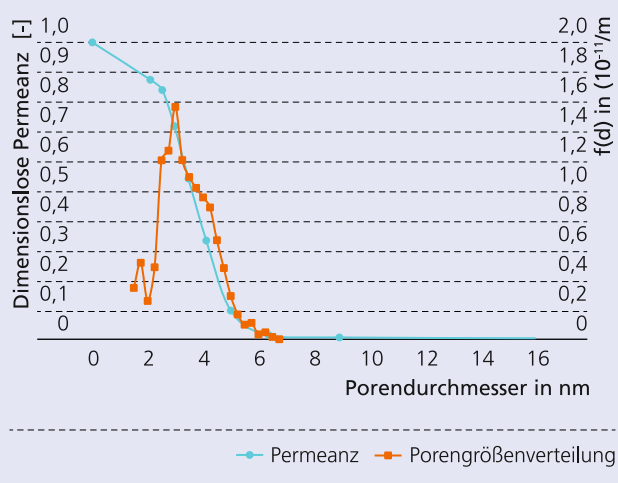
Bei der Entwicklung und Herstellung von porösen, keramischen Membranen ist die Kenntnis über die Porengrößenverteilung und die Defektfreiheit der trennaktiven Schicht von großem Interesse. Herkömmliche Analysemethoden (Quecksilberporosimetrie, Stickstoffsorption, REM, Trenngrenzenbestimmung u. ä.) erfordern entweder die Anfertigung einer speziellen Messprobe oder schädigen die Membran irreversibel. Mit der Permporosimetrie, einem relativ neuen Messverfahren, gelingt es, Defektporen und Porenverteilungen zerstörungsfrei in mesoporösen Membranen zu analysieren. Seit einigen Jahren wird am Fraunhofer IKTS erfolgreich ein selbst entwickelter und hauptsächlich manuell gesteuerter Permporosimetrie-Messstand zur Membrancharakterisierung eingesetzt.

Dieser wurde nun um einen vollautomatisierten Messstand ergänzt, welcher ebenfalls am IKTS entwickelt und gebaut wurde. Diese Anlage ermöglicht es, die bestehenden Messkapazitäten entscheidend zu vergrößern. So können bis zu drei Membranmodule gleichzeitig installiert werden. Drei Gase (Standard Stickstoff, Argon und Helium) können für die Messungen verwendet und während dieser auch automatisch gewechselt werden. Durch optimierte Leitungsquerschnitte und eine genaue Automatik-Druckregulierung sind die Messergebnisse deutlich präziser und stehen in kürzerer Zeit zur Verfügung. Unterschiedliche Befeuchtungsmittel (z. B. Wasser, Ethanol, n-Hexan) sind hierbei einsetzbar. Dosierung und Temperierung erfolgen automatisch – so ist eine hohe Temperaturkonstanz und eine präzise Einstellung der Feuchte gesichert. Durch die definierte Ablaufsteuerung und die Kontrolle und Konstanthaltung der Betriebspunkte bei den Messungen werden Membranen schneller und reproduzierbar charakterisiert.

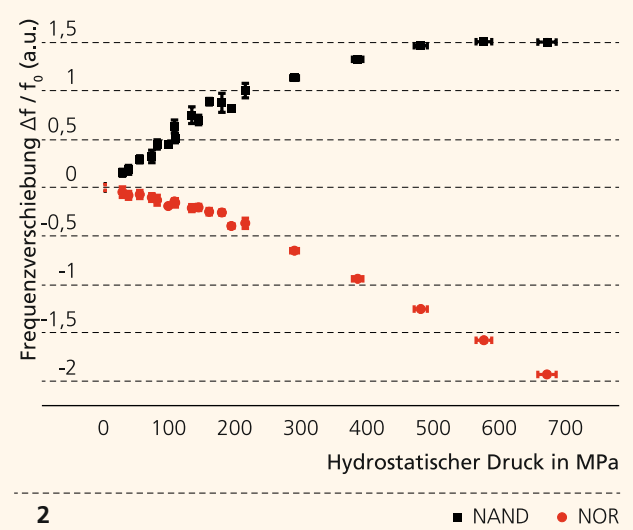
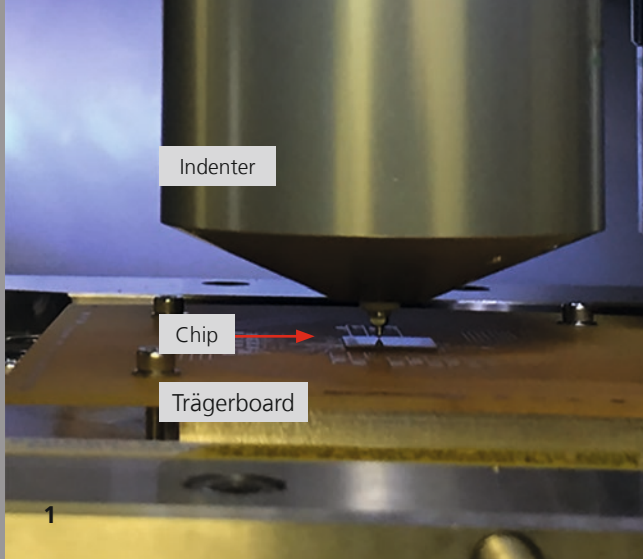
Es können rohrförmige Membranen mit meso- und mikroporösen trennaktiven Schichten unterschiedlicher Geometrien (innen- und außenbeschichtete Ein- und Mehrkanalrohre, Scheiben/Plattenmembranen usw.) analysiert werden.

Die Anlage ist ein wichtiges Werkzeug für die Membrancharakterisierung während der Membranentwicklung. Das Verfahren hat aber auch ein hohes Potenzial für den Einsatz in der Qualitätskontrolle bei der Membranfertigung, beispielsweise zur Ermittlung von charakteristischen Gasflüssen bei definierten Prüfbedingungen.

Permporosimetrie-Messdaten und daraus berechnete Porengrößenverteilung einer Ultrafiltrationsmembran



- 1 3D-Konstruktion der Anlage.
- 2 Permporosimetrie-System im Labor.



UNTERSUCHUNG VON LOKAL VERSPANNTEN MIKROELEKTRONIK-BAUTEILEN

M. Sc. Simon Schlipf, Dr. André Clausner, M. Sc. Simone Capecchi¹, Dipl.-Ing. Jens Paul¹, Prof. Ehrenfried Zschech¹ (GLOBALFOUNDRIES Dresden)

Spannungseffekte in Transistoren

In modernen Mikroelektronik-Technologien werden lokale Spannungen in das Silicium eingebracht, um deren Leistung und Effizienz zu optimieren. Der sogenannte piezoresistive Effekt sorgt dabei für eine Verbesserung der elektrischen Eigenschaften. Auf der anderen Seite können unkontrollierte mechanische Spannungen, wie sie z. B. in anspruchsvollen Umgebungen wie im Automobil auftreten, die Funktionalität und Zuverlässigkeit von Mikroelektronik-Bauteilen negativ beeinflussen. Eine etablierte Methode zur Abschätzung des Einflusses von mechanischen Spannungen ist die Vier-Punkt-Biegung. Damit lassen sich jedoch nur homogene globale Spannungen aufbringen. Um den lokalen Einfluss von Spannungen mit hoher Ortsauflösung zu bestimmen, wurde am Fraunhofer IKTS eine Technik zur punktuellen Einbringung von Spannungen mittels Indentation entwickelt und erfolgreich umgesetzt.

Zerstörungsfreie Indentation auf Test-Chips

Für die Untersuchungen werden Test-Chips mit integrierten spannungssensitiven Schaltkreisen (Ringoszillatoren) genutzt, die ihrerseits auf einem Trägerboard verlötet sind. Mit diesem Aufbau kann das Verhalten der elektrisch aktiven Schaltkreise inklusive deren Transistoren unter lokaler mechanischer Belastung analysiert werden. Dazu belastet ein Indenter mit kugelförmiger Spitze die Test-Chips auf der Siliciumseite zerstörungsfrei (Bild 1). Parallel werden die charakteristischen Signale der Schaltungen (Frequenz f) bei stetig erhöhter mechanischer Belastung kontinuierlich elektrisch ausgelesen (Bild 2).

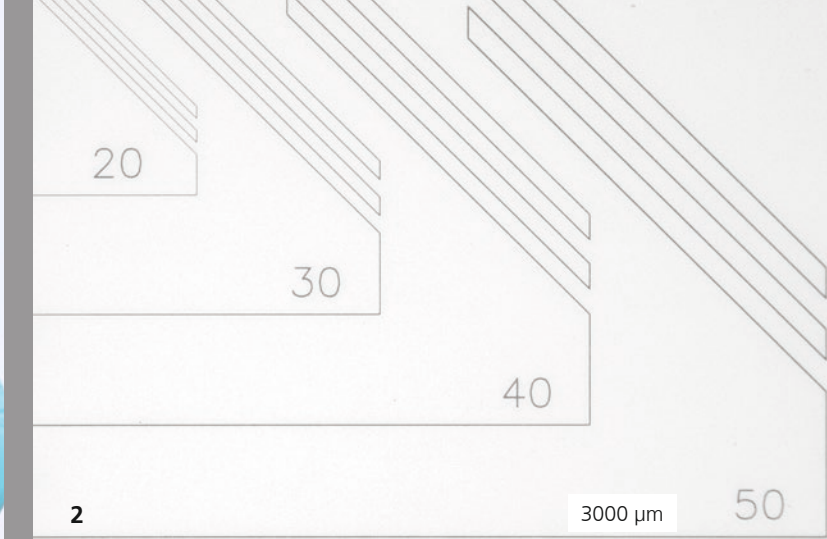
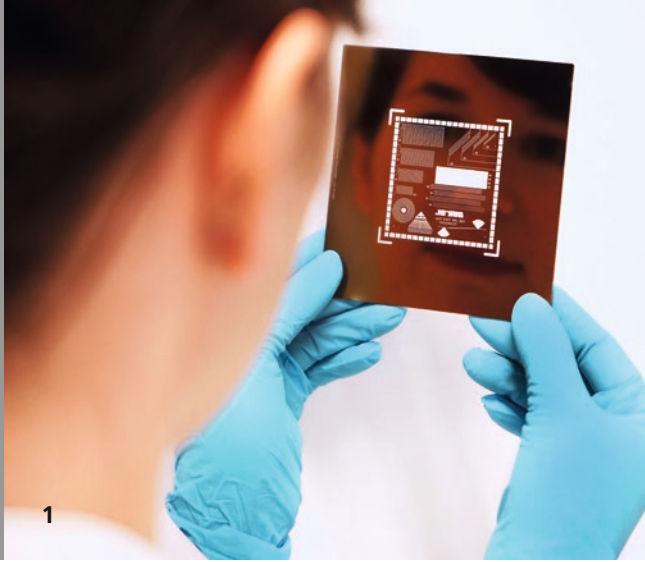
Über mechanische Simulationen (FEM) des Versuchsaufbaus werden aus den experimentell eingeleiteten Kraftwerten Spannungswerte in den Transistorkanälen der Schaltkreise bestimmt. Diese mechanischen Kenngrößen stellen die physikalische Ursache für die Parametervariation der Transistoren dar.

Es wurden zwei unterschiedliche Ringoszillator-Typen (NAND- und NOR-Schaltkreise) untersucht. Diese zeigten im Experiment deutlich unterschiedliche Reaktionen auf die eingeleiteten Spannungen, was sich auf deren spezifische Schaltkreis-Layouts zurückführen lässt. Im Weiteren wurden Genauigkeit, Auflösung sowie Einfluss relevanter Parameter untersucht und verbessert. Aufbauend auf diesen Ergebnissen konnte auch der richtungsabhängige Einfluss von Spannungen auf die Transistorfunktionalität mit Zylinder-Spitzen experimentell bestimmt werden. Eine Kombination der Ergebnisse aus Kugel- und Zylinderkontakt-Experimenten ermöglichte zudem die quantitative Bestimmung der Matrix der piezoresistiven Koeffizienten der Test-Chip-Technologie, was ein herausragendes Ergebnis für die industrielle Nutzung des Verfahrens darstellt. Mit Hilfe des entwickelten Verfahrens können nun lokale Einflüsse von verspanntem Silicium sowie unkontrollierte Spannungen auf die Bauteile abgeschätzt werden.

1 Experimenteller Aufbau mit Test-Chips unter lokaler Belastung.

2 Ringoszillator-Frequenzverschiebungen als Funktion der lokalen mechanischen Spannung.





PHOTOSTRUKTURIERBARE PASTEN FÜR HOCHFREQUENZANWENDUNGEN

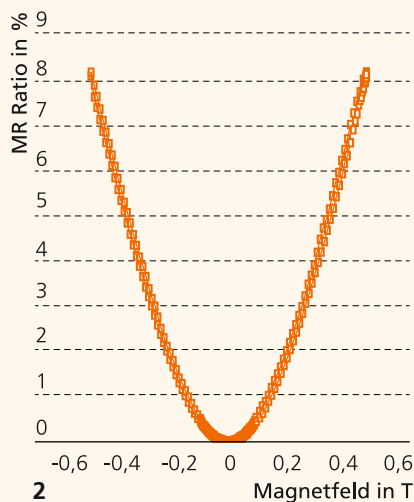
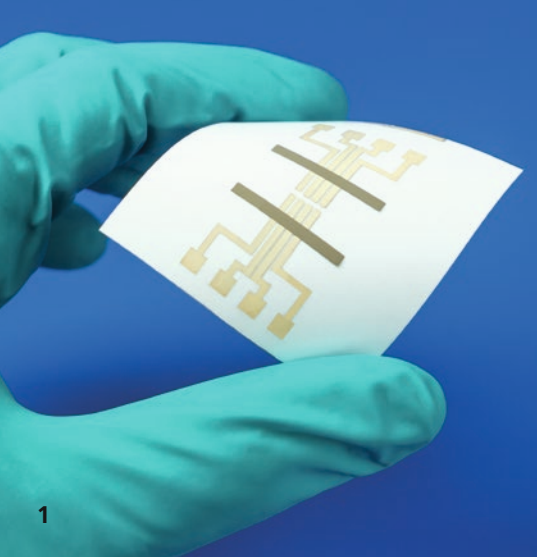
Dr. Kathrin Reinhardt, Dr. Stefan Körner, Dr. Uwe Partsch

Photostrukturierbare Dickschichtpasten – der neue Weg für ein schnelles Internet

Der nächste Standard des mobilen Internets und der Mobiltelefonie ist da: 5G, kurz für »fifth generation«. Diese Technologie benötigt für das Senden und Empfangen der Signale und die zugehörigen Antennen Elektronik mit deutlich feineren Strukturen als bisher. Diese soll in einem ersten Schritt bei 3,6 GHz, später bei noch höheren Frequenzen arbeiten. Die bisher zur Herstellung der Strukturen genutzte Dickschichttechnik hat in punkto Miniaturisierung jedoch ihre Grenze erreicht: Bei einer Auflösung von etwa 50 Mikrometern (μm) ist heutzutage Schluss – zumindest hinsichtlich der industriellen Umsetzung. Das bedeutet: Die einzelnen elektrischen Strukturen wie Leiterbahnen sind minimal 50 μm breit. Für 5G sind jedoch 20 μm oder noch feinere Strukturen notwendig. Eine Möglichkeit, solche Strukturabmessungen mittels Dickschichttechnologie industriell zu erzeugen, ist die sogenannte PI-Technologie (PI = Photo Imagable). Hierfür wurde am Fraunhofer IKTS eine neue Generation von Dickschichtpasten entwickelt, die eine fotolithografische Strukturierung ermöglichen. Mit den neuartigen PI-Pasten können extrem hochauflösende Dickschichtstrukturen mit 20 μm gesinterter Linienbreite und 20 μm Linienabstand hergestellt werden. Als Basis wird wie im Standard-Dickschichtprozess die Siebdrucktechnologie eingesetzt. Die PI-Technologie fügt diesem Prozess lediglich zwei einfache Schritte hinzu: Im ersten Schritt wird die gedruckte und getrocknete Paste unter Verwendung einer Fotomaske oder eines Lasers (Laser Direct Imaging, LD) UV-Licht ausgesetzt. Dabei werden die belichteten Pastenstrukturen ausgehärtet. Im zweiten Schritt werden die unbelichteten Strukturen entfernt.

Unmittelbar nach der wässrigen Entwicklung werden die Proben in einem Standard-Dickschichtregime gesintert, um die endgültigen Eigenschaften der funktionellen Schicht zu erzeugen. Die beiden zusätzlichen Schritte benötigen dabei jeweils nur zwischen 5 und 20 s und können problemlos in etablierte Produktionsprozesslinien integriert werden. Weiterhin kann in normaler Laborumgebung gearbeitet werden, ohne die bei fotolithografischen Prozessen sonst notwendigen UV-schützenden Maßnahmen. Für das Funktionieren der PI-Technologie sind maßgeschneiderte Dickschichtpasten erforderlich. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt hat das Fraunhofer IKTS PI-Pastensysteme auf Silber- und Goldbasis entwickelt, die sowohl für gesintertes Aluminiumoxid als auch für nicht gesintertes LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) verwendet werden können. Für Silber können dabei spezifische Widerstände von weniger als 3,5 mOhm/sq erzielt werden, für Gold weniger als 6 mOhm/sq. Die aktuelle Forschung umfasst die Anpassung von PI-Pastensystemen an eine Vielzahl von Keramik-Systemen sowie die Entwicklung anderer Pastenmaterialien, wie Platin-, Silber-Palladium-, Dielektrikum- und Widerstandspasten. Damit wird ein vielversprechendes Pastenportfolio angeboten, mit dem Komponenten hergestellt werden können, die bei höheren Frequenzen eine deutlich verbesserte HF-Leistung erzielen. Die Pasten können im Massen- und Industrieprozess mit geringen Investitionskosten und wenig höherer Produktionszeit direkt eingesetzt werden.

- 1 *Strukturierte Fotomaske zur Belichtung von PI-Pasten.*
- 2 *Mikroskopischer Vergleich unterschiedlicher Strukturen von 20 bis 50 Mikrometern.*



GEDRUCKTE UND FLEXIBLE MAGNETFELDSSENSOREN AUS KOSTENGÜNSTIGEN WERKSTOFFEN

C. Voigt, Dr. M. Vinnichenko, Dipl.-Ing. C. Baumgärtner, Dr. M. Fritsch, Dr. N. Trofimenko, Dr. S. Mosch, Dr. V. Sauchuk, Dr. M. Kusnezoff, M. Sc. E. S. Oliveros Mata¹, Dr. G. S. Canon Bermudez¹, Dr. Y. Zabala¹, Dr. D. Makarov¹ (HZDR)

Magnetfeldsensoren werden zur Detektion von Bewegungen aller Art eingesetzt und sind Hauptbestandteile von modernen elektronischen Kompassen und berührungslosen Schaltern. Die zurzeit verfügbaren Sensoren werden über Dünnschichttechnologien auf steifen Substraten abgeschieden. Sie sind daher weder flexibel und handlich noch besonders kostengünstig. Die Herstellung mittels preiswerter, serientauglicher Druckverfahren wie Siebdruck oder Inkjetdruck ist ein attraktiver Ansatz, um Magnetfeldsensoren auf dünne flexible Träger abzuscheiden, ihre Kosten zu reduzieren und ihre Integration in verschiedene Messsysteme zu erleichtern. Die einzigen bisher bekannten gedruckten Magnetfeldsensoren basieren auf der GMR-Technologie und werden mittels Pinseldruck aufgetragen. Diese Herstellungsmethode ist aufwendig, da die GMR-Schichten zuerst über Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) auf einem Opferträger abgeschieden, danach abgelöst und gemahlen und schlussendlich zu einer druckfähigen Paste verarbeitet werden.

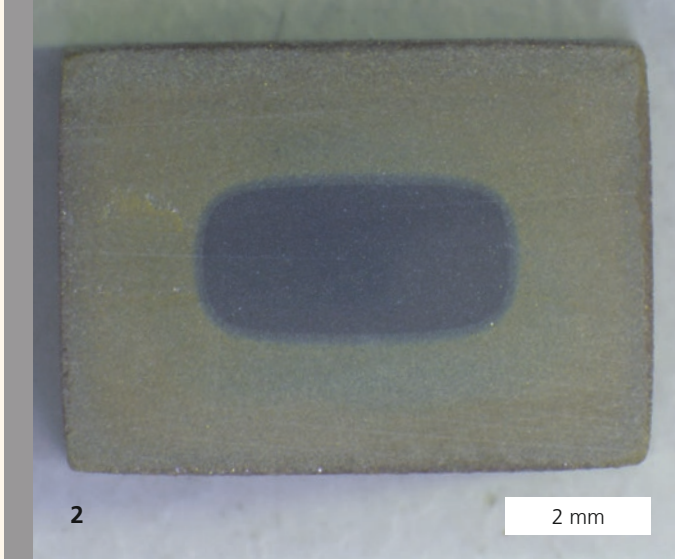
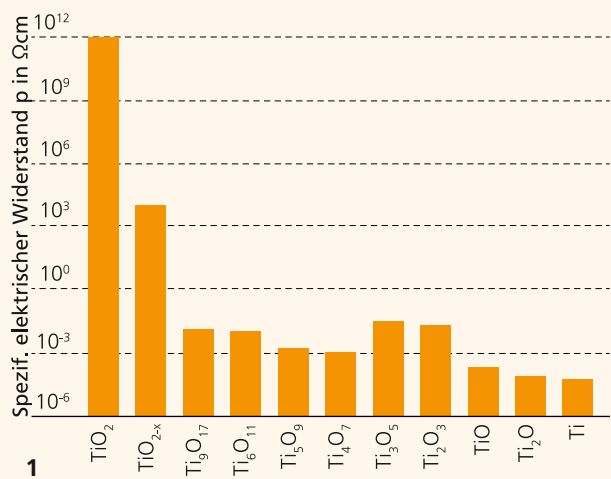
In enger Kooperation zwischen Fraunhofer IKTS und Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) wurde daher die Entwicklung von vollständig gedruckten Magnetfeldsensoren auf Basis verbreteter und kostengünstiger Werkstoffe mit hohem magnetoresistiven (MR) Effekt angestoßen. Ausgehend vom Pulver mit magnetoresistiven Eigenschaften wurden Pasten formuliert und die Sensorstrukturen mit Kontaktpads mittels Sieb-, Inkjet- und Dispenserdruck auf verschiedenen Substraten (Polymerfolien, Papier usw.) abgeschieden (Bild 1). Die Strukturen wurden mit mikrooptisch optimierten Diodenlaserarrays an Luft innerhalb von Millisekunden gesintert. Diese schnelle Sinterung ist entscheidend, um die Oxidation des Aktivmaterials an Luft zu

verhindern und Feldsensoren mit einem Magnetwiderstands-Verhältnis von bis zu 8 % bei 500 mT zu realisieren (Bild 2). Die Funktionstüchtigkeit des Sensors als gedruckter Schalter wurde anschließend nachgewiesen (Bild 3). Im Demonstrator nähert sich der Permanentmagnet dem Sensor. Das hierdurch stärker werdende Magnetfeld erhöht den elektrischen Widerstand des Sensors. Über eine analoge Logikschaltung wird die Widerstandsänderung in ein Ein-Aus-Signal umgewandelt. Die Lichtquelle wird so ein- bzw. ausgeschaltet.

Das ist die erste bekannte Demonstration eines vollständig gedruckten Magnetfeldsensors, der mit leicht skalierbaren Methoden und unter Verwendung kommerziell erhältlicher Materialien hergestellt wurde. Weil diese Sensoren in großen Quantitäten zu geringen Preisen hergestellt werden können, sind sie für kontaktlose Schaltanwendungen von besonderer Bedeutung. Aufgrund ihrer mechanischen Flexibilität haben sie das Potenzial, herkömmliche Reed-Sensoren in vielen Bereichen zu ersetzen, insbesondere bei Anwendungen für Mensch-Maschine-Interaktionen. Nach der Technologiedemonstration im Labormaßstab werden nun Industriepartner für gemeinsame Weiterentwicklungen, Technologietransfer und Hochskalierung gesucht.

- 1 Flexibler, gedruckter magnetoresistiver Sensor mit Kontakten.
- 2 MR-Ratio der Sensoren.
- 3 Demonstration des Funktionsprinzips des gedruckten Schalters (Quelle: HZDR).





TITANOXIDE – ELEKTRISCHE ALLESKÖNNER

Dr. Hans-Peter Martin

Am Fraunhofer IKTS werden Titanoxide für kundenspezifische Anwenderanforderungen angepasst, daraus Komponenten hergestellt und diese umfassend getestet. Titanoxide zeichnen sich durch eine außergewöhnliche Variabilität bei der Verbindung mit Sauerstoff aus. Neben dem in vielen Produkten wie Wandfarben, Kosmetika, Papier oder Katalysatorträgern genutztem Titandioxid (TiO₂), gibt es zahlreiche weitere Oxide des Titans. Deren variable Zusammensetzung reicht von Ti₂O bis zum TiO₂. Hinsichtlich der elektrischen Eigenschaften senken bereits ein kaum messbares Sauerstoffdefizit des TiO₂ oder minimale Dotierungen den Widerstand von 10¹² Ωcm auf Werte von 10⁵–10³ Ωcm. Der Wechsel zu strukturell anderen Titanoxiden wie Ti₄O₇ führt zu elektrischen Widerständen von 10²–10³ Ωcm. In Bild 1 wird der Rahmen von 15 Größenordnungen beim elektrischen Widerstand für die verschiedenen Titanoxide illustriert. Außerdem lassen sich mit Titanoxiden ebenso nichtlineare Verläufe beim Spannungs-Strom-Verlauf über Dotierungen einstellen. Die elektrische Permittivität ist frequenzabhängig und mit Werten von 60–800 herausragend hoch. Bereits bei Temperaturen über 500 °C kommt es zu einer signifikanten Sauerstoffionenleitung. Nicht zuletzt sind photokatalytische Effekte insbesondere mit der TiO₂-Modifikation Anatas technisch nutzbar.

Elektrotechnische Anwendungen

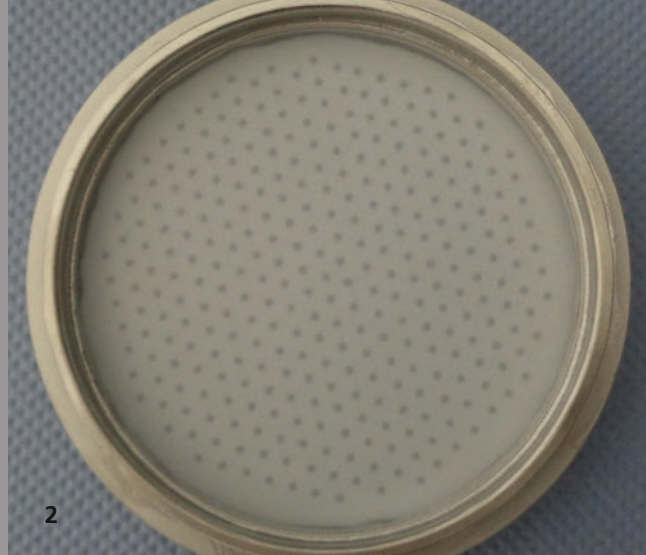
Dieses außergewöhnlich vielfältige Variantenspektrum bietet die Chance für zahlreiche technische Anwendungen: Zu nennen sind spezielle Elektrodenwerkstoffe, thermoelektrisch aktive Werkstoffe, Varistorenwerkstoffe, katalytisch aktive Substanzen, elektrische Leiter, Halbleiter, Isolatoren oder Sauerstoffsensoren.

Für die verschiedenen Anwendungen gibt es neben der elektrisch-funktionalen Eigenschaft sehr unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich Verdichtung, Festigkeit oder Oxidationsbeständigkeit. Durch gezielte Variation der Verfahrensparameter kann die Keramik als dichter, hochfester oder als poröser und gasdurchlässiger Werkstoff hergestellt werden. Die höchste Oxidationsstabilität erreicht TiO₂, dass bis ca. 1500 °C in Luft eingesetzt werden kann. Suboxide sind bis 400 °C oxidationsstabil. Zudem sind Titanoxide gegenüber nahezu allen anderen chemischen Verbindungen sehr beständig. Die elektrischen Eigenschaften können auf alle Anforderungen adaptiert werden. Beispielsweise lassen sich Verbunde aus Titandioxid und Suboxiden herstellen, die isolierende und leitende Bereiche in einem monolithischen Bauteil verbinden (Bild 2).

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Anpassung von Titanoxiden auf spezielle Anwenderanforderungen
- Herstellung von kundenspezifischen Titanoxidkomponenten
- Durchführung von werkstofflichen und anwendungsbezogenen Untersuchungen und Testung

- 1 Illustration der zahlreichen spezifisch elektrischen Widerstände von Titanoxiden bei Raumtemperatur.
- 2 Verbund aus TiO₂ (außen) und Ti₄O₇ (innen).



ENERGIE

PLANARE Na/NiCl₂-BATTERIEZELLEN – LEISTUNGSFÄHIGE STATIONÄRE SPEICHER

M. Sc. Martin Hofacker, Dr. Matthias Schulz, Dipl.-Chem. Beate Capraro, Dipl.-Ing. (FH) Dirk Schappel, Dr. Roland Weidl

Durch den Ausbau regenerativer Energien steigt der Bedarf an leistungsfähigen und sicheren Energiespeichern für stationäre Anwendungen. Eingesetzte Batterien müssen über eine Lebensdauer von 15 Jahren zyklenstabil und sicher sein. Na/NiCl₂-Batterien erfüllen diese Anforderung, sind ökologisch nachhaltig und basieren auf gut verfügbaren Rohstoffen, wie Kochsalz, Aluminiumoxid und Nickel. Durch einfaches Recycling können die metallischen Rohstoffe wiederverwendet werden.

Na/NiCl₂-Zellen werden kommerziell in tubulärer Form gefertigt und bei ca. 300 °C betrieben. Ein Natrium-Ionen-leitender Festelektrolyt (Natrium-β-Aluminat) trennt den Anoden- und Kathodenraum. Im geladenen Zustand ist die Anode mit flüssigem Natrium und die Kathode mit Metallen und Salzen gefüllt.

Um das Leistungspotenzial dieser Zelltechnologie noch weiter auszuschöpfen, wurde im Rahmen des »planBeta« Projekts eine planare Na/NiCl₂-Zelle entwickelt. Dieser Zelltyp ermöglicht im Vergleich zu den tubulären Zellen eine Vergrößerung des Zelldurchmessers und somit der Speicherkapazität, ohne die Leistungsfähigkeit negativ zu beeinflussen. Das am Fraunhofer IKTS entwickelte Zelldesign ist darauf ausgelegt, ein Stapeln der Zellen zu ermöglichen (Stack). Durch den Stack-Betrieb können eine Vielzahl von Zellen platzsparend in einem thermisch gut isolierten Batteriegehäuse verbaut werden. So wird auf geringem Platz eine hohe Energiedichte möglich.

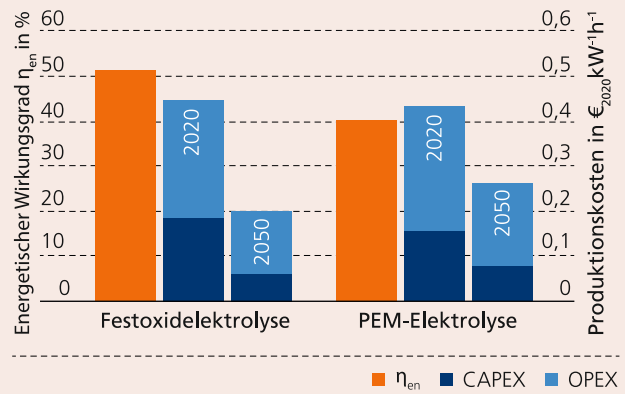
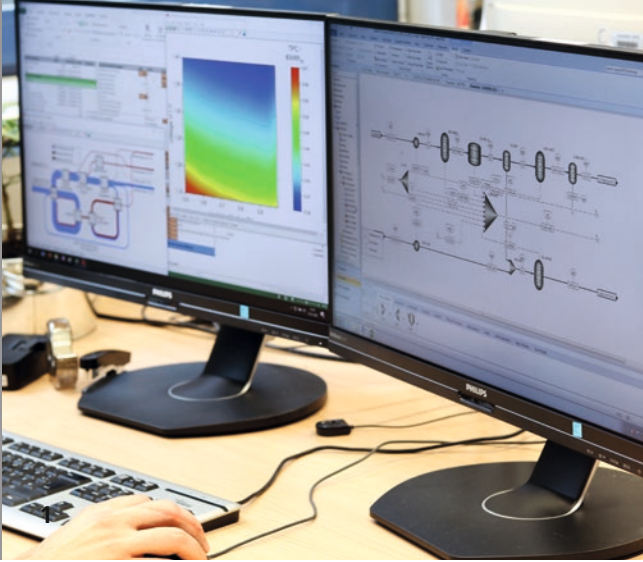
Üblicherweise wird die Kathode der tubulären Na/NiCl₂-Zellen mit einem im heißen Zustand flüssigen Sekundärelektrolyten unter Vakuum infiltriert. Auf dieses technologisch anspruchsvolle Verfahren kann bei der planBeta-Zelle verzichtet werden.

Möglich wird dies durch die Herstellung einer monolithisch gepressten Kathode bei Raumtemperatur. Um den Einfluss des Festelektrolyten auf den Zellwiderstand zu mindern, wird dieser per Foliengießen hergestellt. Im Vergleich zum uniaxialen Pressen kann so die Wandstärke erheblich verringert werden: Am IKTS konnten z. B. 500 µm dicke Festelektrolyte durch Foliengießen gefertigt werden (ionische Leitfähigkeit bei 300 °C bis zu 0,3 S/cm, β"-Phasenbestand ≥ 93,5 %). Diese können eben, mit Vertiefungen versehen oder auch tellerförmig sein. Die erhöhte Betriebstemperatur und die Volumenänderungen im Anoden- und Kathodenraum führen zu Druckunterschieden in der Zelle. Mit Hilfe eines eigens entwickelten Vakuumschweißverfahrens konnten dennoch defektfreie Zellen hergestellt werden. Durch FEM-Berechnungen erfolgte eine spannungsarme Auslegung des Metall-Keramik-Zellverschlusses. Es wurden 110 mm große, planare Na/NiCl₂-Zellen entwickelt und gefertigt, die den thermischen Belastungen beim Aufheizen und Abkühlen auf 300 °C standhalten. Mit einer Entladegeschwindigkeit von 1 h⁻¹ konnten Entladetiefen bis zu 80 % erzielt werden.

Wir danken dem BMWi für die Förderung des Projekts »planBeta« (Förderkennzeichen: 03ET6110C).



- 1 PlanBeta-Na/NiCl₂-Zelle.
- 2 PlanBeta-Zelle mit Na-β-Aluminat-Folie inkl. Vertiefungen.



2

ENERGETISCHE UND ÖKONOMISCHE BEWERTUNG VON POWER-TO-X-PROZESSEN

Dr. Erik Reichelt, Dipl.-Ing. Gregor Herz, PD Dr. Matthias Jahn

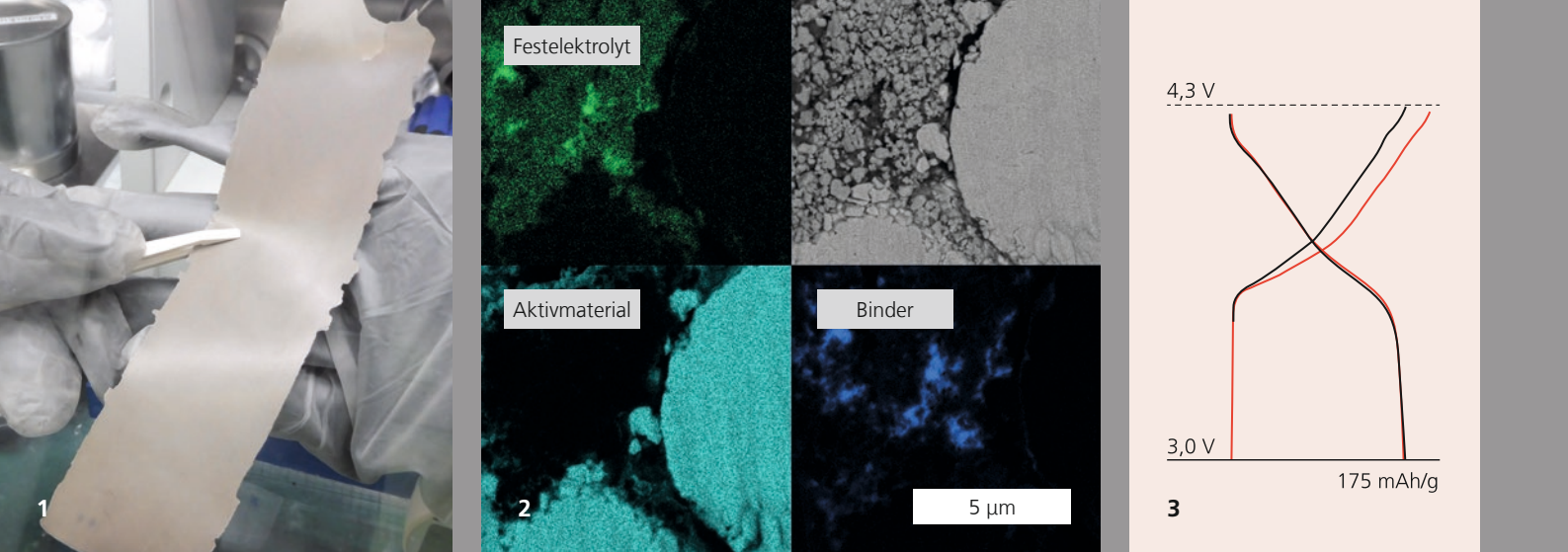
Bei der notwendigen Reduzierung industrieller CO₂-Emissionen sind sogenannte Power-to-X-Prozesse von entscheidender Bedeutung, da sie die Nutzung erneuerbarer Energien zur Herstellung verschiedener chemischer Produkte erlauben. Dies erfolgt durch die Kopplung einer Elektrolyse zur Bereitstellung von Wasserstoff mit einer Produktsynthesestufe. Auf diesem Weg können sowohl synthetische Kraftstoffe, u. a. für den Flugverkehrssektor, als auch wichtige chemische Grundprodukte hergestellt werden. Mögliche Zielprodukte sind kohlenstoffhaltige Rohprodukte für die chemische Industrie, die z. B. in Kunststoffprodukte und Kosmetika weiterverarbeitet werden können, aber auch Verbindungen wie Ammoniak – einem zentralen Grundstoff zur Herstellung von Düngemitteln. Durch die breite Umstellung des gesamten Energiesystems und dem damit verbundenen Nachfrageanstieg wird erneuerbare Elektrizität auch längerfristig eine limitierte Ressource sein. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit zur Anwendung möglichst hocheffizienter Prozesse. Gleichzeitig sollen bei der Umstellung auf ein erneuerbares Energiesystem auch die Kosten minimiert werden. Vor einer technischen Umsetzung sollten daher die effizientesten und wirtschaftlichsten Verfahrenswege zur Umsetzung von Power-to-X-Prozessen identifiziert werden.

Hierfür werden am Fraunhofer IKTS verschiedene Tools zur energetischen und ökonomischen Bewertung herangezogen. Mithilfe von Prozesssimulationen und experimentellen Daten aus Demonstrationsanlagen erfolgt eine technische Bewertung unterschiedlicher Prozessrouten. Neben der technischen Reife und Machbarkeit liegt ein besonderes Augenmerk auf der Effizienz. Mit einem am IKTS entwickelten Wirtschaftlichkeitsmodell können die Herstellkosten der erneuerbar erzeugten

Produkte für verschiedene Verfahrenswege und Szenarien berechnet werden. Eine der durchgeführten Studien bewertete die Erzeugung synthetischen Rohöls aus CO₂ und H₂O über eine Kopplung von Elektrolyse und Fischer-Tropsch-Synthese. Dabei wurde die bereits etabliertere Polymerelektrolytmembran (PEM)-Elektrolyse der am IKTS entwickelten keramischen Festoxidelektrolyse gegenübergestellt. Der Vergleich ist vor allem aufgrund des unterschiedlichen technologischen Entwicklungsstands interessant und ermöglicht so eine Potenzialbewertung anhand der erwarteten Weiterentwicklung der Technologien. Die Ergebnisse zeigen, dass der auf der Festoxidelektrolyse basierende Prozess ein höheres Potenzial zur Nutzung von intern anfallender und extern bereitgestellter Abwärme aufweist und somit einen höheren energetischen Wirkungsgrad als der Vergleichsprozess erreicht. Aufgrund des niedrigeren technologischen Reifegrads schlägt sich dieser Vorteil heute noch nicht in den Herstellkosten nieder. Mit Etablierung der Fertigung im industriellen Maßstab sind für Festoxidelektrolyseure zukünftig jedoch deutliche wirtschaftliche Vorteile zu erwarten.

Die entwickelten Tools können auch zur Bewertung verschiedener anderer verfahrenstechnischer Prozesse angewendet werden.

- 1 Modellbasierte Prozessbewertung.
- 2 Vergleich zweier Power-to-X-Prozesse auf Basis der Festoxidelektrolyse sowie der PEM-Elektrolyse.



ENERGIE

ENTWICKLUNG VON PROZESSEN FÜR SULFID-ELEKTROLYTBASIERTE FESTKÖRPERBATTERIEN

Dr. Henry Auer, M.Sc. Matthias Seidel, Dr. Christian Heubner, Dr. Kristian Nikolowski, Dr. Sebastian Reuber, Dr. Mareike Wolter

Die Entwicklung fortschrittlicher Festkörperbatterien und skalierbarer Fertigungsprozesse sind von wesentlicher Bedeutung, um neue Anwendungsfelder z. B. im Bereich der Elektromobilität zu erschließen. Anorganische Systeme, in denen Lithium-Schwefel-Phosphorverbindungen als feste Lithiumionenleiter in Kathode und Separator zum Einsatz kommen, gelten aktuell als aussichtsreichste Kandidaten. Sie verbinden vorteilhafte Eigenschaften, wie eine hohe ionische Leitfähigkeit, eine gute Verfügbarkeit und Verarbeitbarkeit. Entwicklungsbedarf gibt es hingegen noch aufgrund der Empfindlichkeit gegenüber Luftfeuchte, bei der Skalierbarkeit der Fertigungsverfahren sowie bei der elektrochemischen Stabilität im Zusammenspiel mit Hochenergie-Kathodenmaterialien und Lithium-Metall-Anoden.

Forschungs- und Entwicklungskonzept

Am Fraunhofer IKTS werden Festkörperbatterien mit sulfidbasierten Lithiumionenleitern entlang der gesamten Prozesskette vom Material bis zum Batteriesystem entwickelt. Zunächst werden Aktivmaterialien im Zusammenspiel mit den Festelektrolyten elektrochemisch bewertet und optimiert. Um das Problem der thermodynamischen Instabilität zwischen Aktivmaterialien und dem Elektrolyten zu lösen, werden Beschichtungsverfahren eingesetzt, die Grenzflächen stabilisieren und so den Ionen-transport verbessern. Aufbauend auf den Materialien werden Technologien zur Komponentenfertigung entwickelt. Die Elektrodenfertigung erfolgt mit verschiedenen Methoden wie Rakeln, Schlitzdüsenbeschichtung oder Extrusion. Schließlich werden die Komponenten zu Festkörperbatterien assembliert. Die umgesetzten Zellkonzepte werden dabei stetig weiterentwickelt.

Für eine vollintegrierte Komponenten- und Zellfertigung gibt es am IKTS in Dresden diverse Gloveboxsysteme. Die Komponenten- und Zellenentwicklung wird von umfangreichen elektrochemischen und morphologischen Untersuchungen begleitet. Dazu stehen mehr als 200 Kanäle zur Batteriezyklisierung in temperaturkontrollierten Kammern zur Verfügung – teilweise erweitert um Impedanzspektroskopie.

Am IKTS in Braunschweig werden die Arbeiten in den Pilotmaßstab skaliert. In Zukunft stehen dort Trockenräume mit einem angepassten Taupunkt bzw. Microenvironments zur Verfügung.

Fazit und Vision

Das Fraunhofer IKTS kann dank seiner langjährigen Erfahrungen mit keramischen Technologien skalierfähige Verfahren für sulfidische Festelektrolyte erfolgreich etablieren. Das Kompetenzfeld reicht dabei von der Materialentwicklung über die Entwicklung von Komponenten, wie Elektroden und Separatoren, bis zum Design, der Entwicklung und dem Test von Festkörperzellen.

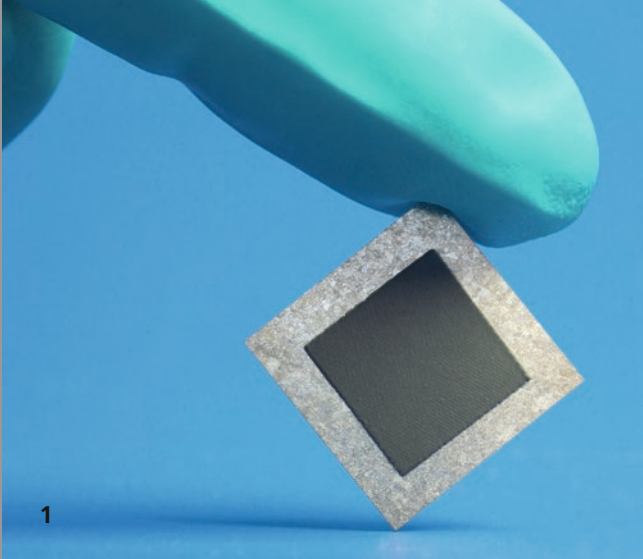


1 Freistehender Elektrolytseparator.

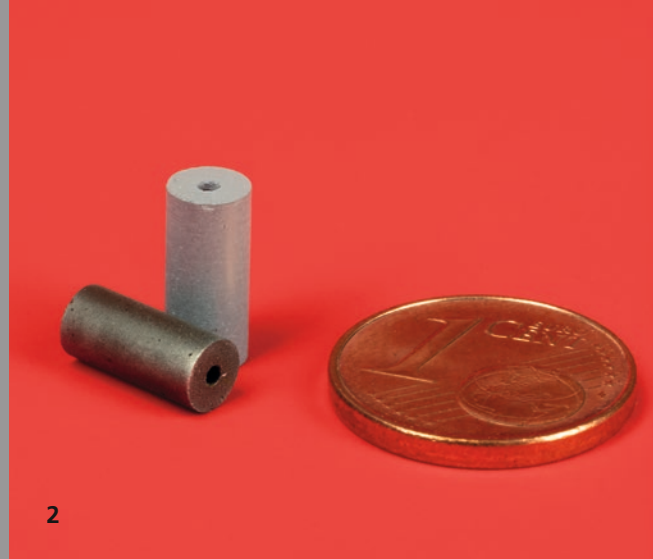


2 FESEM-Aufnahme einer sulfidischen Kompositkathode.

3 Lade-/Entladekurve einer sulfidischen Festkörperzelle.



1



2

ELEKTRONEN-EMITTIERENDE KERAMIK FÜR SATELLITENANTRIEBE

Dr. Katja Wätzig, Dr. Sindy Mosch, Dr. Axel Rost, Dr. Jochen Schilm

Elektrid-Materialien finden als Kathoden in Elektronen-emittierenden Baugruppen, wie z. B. Ionenantrieben von Satelliten oder in thermoionischen Konvertern Verwendung. Ihre besondere Eigenschaft sind eine niedrige Austrittsarbeit für Elektronen, wodurch in einem elektrischen Feld nennenswerte Elektronenströme erzeugt werden können. Etablierte Elektrid-Materialien wie LaB_6 und BaO:W emittieren aufgrund ihrer materialspezifischen Austrittsarbeit für Elektronen sowie der Richardson-Konstante erst bei Temperaturen über 1000 °C in nutzbringendem Maße Elektronen. Ziel der weltweiten Entwicklungen sind daher Elektrid-Materialien, die bereits bei Temperaturen deutlich unterhalb 1000 °C einen applikationsrelevanten Ausstoß von Elektronen ermöglichen. Das oxidkeramische Material C12A7 ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$) mit seiner speziellen, käfigartigen Gitterstruktur weist Defektzustände mit einer Konzentration von mobilen Elektronen größer als 10^{21} Elektronen pro cm^3 auf.

Am Fraunhofer IKTS kann dieses Material skaliert synthetisiert werden und findet als Sinterkörper oder gedruckte Schicht Anwendung. An gesinterten Hohlkathoden aus reinem C12A7 konnten Austrittsarbeiten von $2,37\text{ eV}$ und eine Richardson-Konstante von über $8\text{ Acm}^{-2}\text{ K}^{-2}$ gemessen werden. Dank dieser Eigenschaften eignet sich das Elektrid C12A7 zur Anwendung als Elektronenemitter bei Temperaturen unter 1000 °C . Hieraus ergeben sich erhebliche Vorteile für die konstruktive und elektrische Integration beispielsweise in Antriebseinheiten von Satelliten. Die wachsende Zahl von Kommunikations- und Beobachtungssatelliten im Erdorbit erhöht die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen und das Risiko von unkalkulierbaren Ausfällen und ihren Folgen. In dem von der Europäischen Union geförderten Projekt »E.T. PACK« werden elektrodynamische und treibstoff-

freie Antriebe (Deorbit-Kit) entwickelt, die ein kontrolliertes Entfernen ausgedienter Satelliten aus dem Orbit ermöglichen. Dafür wird das Elektrid C12A7 als Dickschicht auf ein metallisches Band kontaktiert (Bild 1) und als aufgespulte Rolle im Satelliten befestigt.

Am Ende seiner Lebensdauer wird dieses Band (engl. tether) abgerollt und bremst den Satelliten durch den elektrodynamischen Effekt, indem es in einem Segment Elektronen aus dem Plasma aufnimmt und diese an anderer Stelle durch thermionische Emissionen wieder abgibt. Der entstehende elektrische Strom verursacht in Verbindung mit dem Erdmagnetfeld und der Flugrichtung des Satelliten eine Lorentzkraft, welche den Satelliten konstant in Richtung Erde zieht. Im EU-Projekt »iFACT« werden Hohlkathoden aus C12A7 für neuartige, effektivere Ionenantriebe für Satelliten auf der Basis von Jod anstelle von Xenon entwickelt (Bild 2). Die Hohlkathoden sollen verdampftes Jod ionisieren und in einem elektrischen Feld so einen Ionenstrom erzeugen, der für die Lagesteuerung von Satelliten benutzt werden kann. C12A7 verspricht eine verbesserte Stabilität gegenüber den Jod-Ionen und soll so eine hohe Lebensdauer gewährleisten.



- 1 Pulverbasierte C12A7-Schicht auf metallischem Trägersubstrat.
- 2 Gesinterte Hohlkathoden aus C12A7 vor (weiß) und nach Aktivierung (schwarz).



1



2

ENERGIE

PROZESSENTWICKLUNG FÜR EINE SERIENFERTIGUNG VON SOC-ZELLEN UND -STACKS

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

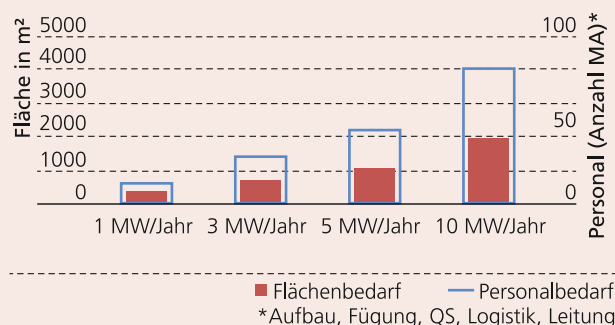
Seit 20 Jahren wird am Fraunhofer IKTS intensiv an Hochtemperaturbrennstoffzellen (SOFC) mit elektrolytgetragenen Zellen (SOC) geforscht. Zuletzt rückt deren Anwendung in Hochtemperatur-elektrolyseuren (SOEC) stärker in den Fokus. Deshalb wurden am IKTS bidirektional arbeitende SOC-Zellen und -Stacks entwickelt. Sie sind die Schlüsselkomponenten für die Wandlung von Überschussstrom in synthetische, flüssige und gasförmige Kraftstoffe und dessen effiziente Rückverstromung. Die auf einer Chrom-Basis-Legierung basierenden SOC-Stacks im MK35x-Design stehen kurz vor der Kommerzialisierung. Gemeinsam mit der mPower GmbH wird aktuell eine Prototypenfertigung von SOFC/SOEC-Stacks mit einer Zielkapazität von 1 MW/Jahr und der Erweiterungsmöglichkeit auf 10 MW/Jahr auf Basis der am IKTS etablierten Laborfertigung konzipiert. Für die geschwindigkeitsbestimmenden Schritte der Laborfertigung, wie Beschichtung, Stack-Assemblierung und Fügeprozess wurden automatisierte Lösungen entwickelt, um eine serientaugliche Prozesskette mit maximaler Ausbringungsquote und geringem Maschinen- und Personalbedarf aufzubauen. In der Zellfertigung wurde durch Implementierung einer kontinuierlichen Siebdruck- und Trocknungstechnologie sowie einer zerstörungsfreien Prüfung der keramischen Elektrolyte eine hohe Ausbeute erreicht. Mittels einer am IKTS entwickelten halbautomatischen Glasapplikationsmaschine (SANGAM) konnten nicht nur die Taktzeit zur Bestückung der Einzelkomponenten um 70 % gesenkt, sondern auch der darauffolgende Stapelprozess automatisiert werden. Der technische Durchbruch gelang durch eine Technologieänderung bei der Glasfolienapplikation. Im Fügeprozess wird das Glas aufgeschmolzen und dichtet die Brenngasseite von der Luftseite und der Umgebungsatmosphäre ab. Da dieser Prozess energieintensiv ist, wurde eine starke Verkürzung der Wärmebehandlung vorge-

nommen und experimentell validiert. Dazu passend wurden Füge-maschinen konzipiert, die bis zu 90 % weniger Energie als zu Beginn der Entwicklung benötigen. Die entwickelten Kernkomponenten und Prozessoptimierungen ermöglichen die Fertigung von 1 MW/Jahr (1000 Stacks inkl. Zellfertigung) auf einer Produktionsfläche von weniger als 500 m².

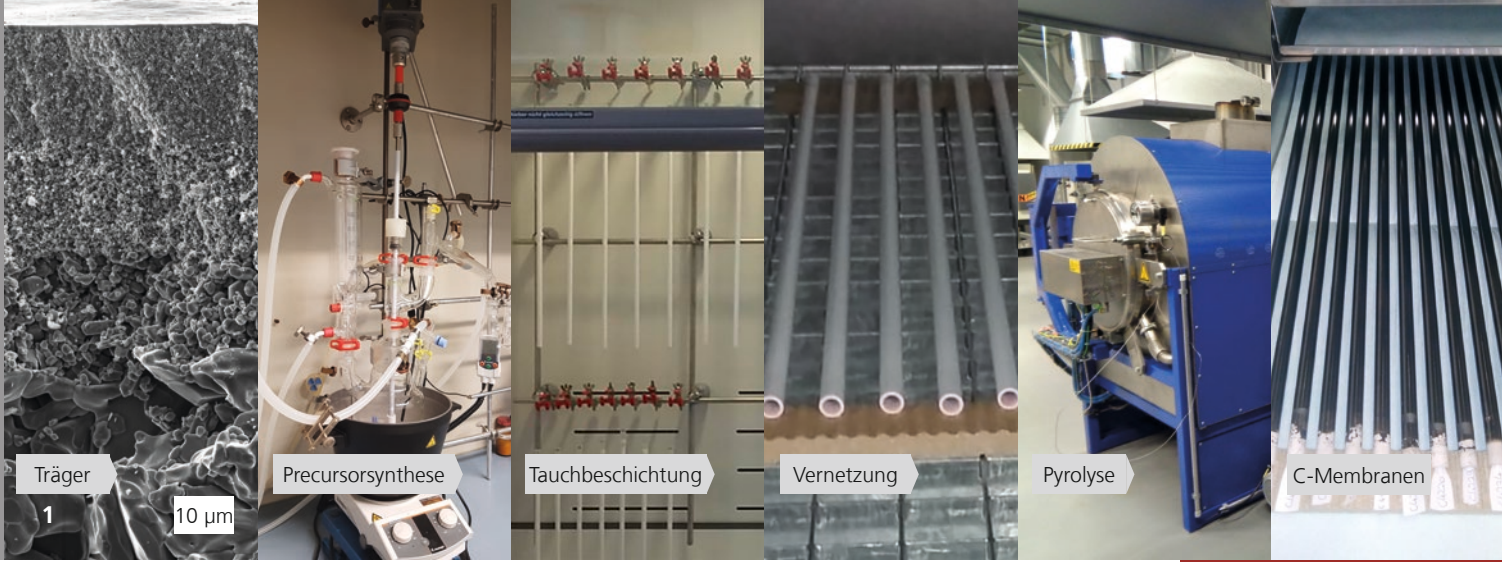
Leistungs- und Kooperationsangebot

- Prozessoptimierung bei Siebdruck und Assemblierung
- Test von Stackkomponenten unter realen Betriebsbedingungen
- Stack- und Stackmodulentwicklung für SOFC/SOEC-Systeme

Kapazitätsplanung SOC-Serienfertigung MK35x



- 1 Vollautomatische Siebdruck-anlage für SOC-Zellen.
- 2 Applikations- und Stapelmaschine für SOC-Stacks.

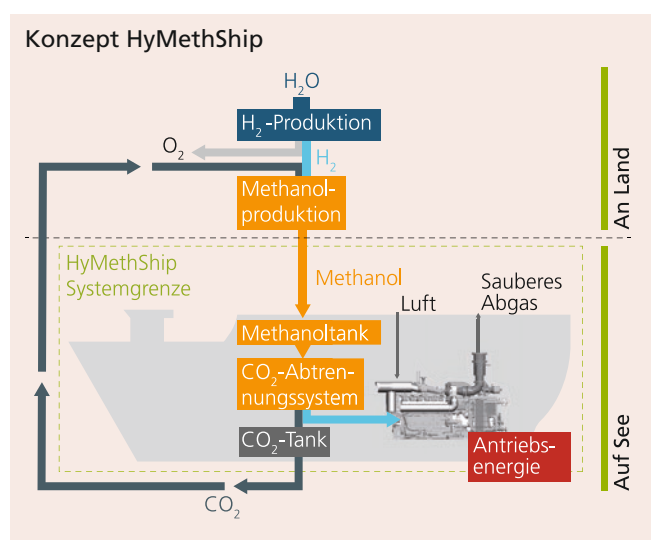


ENERGIEWENDE AUF HOHER SEE – EU-PROJEKT HyMethShip

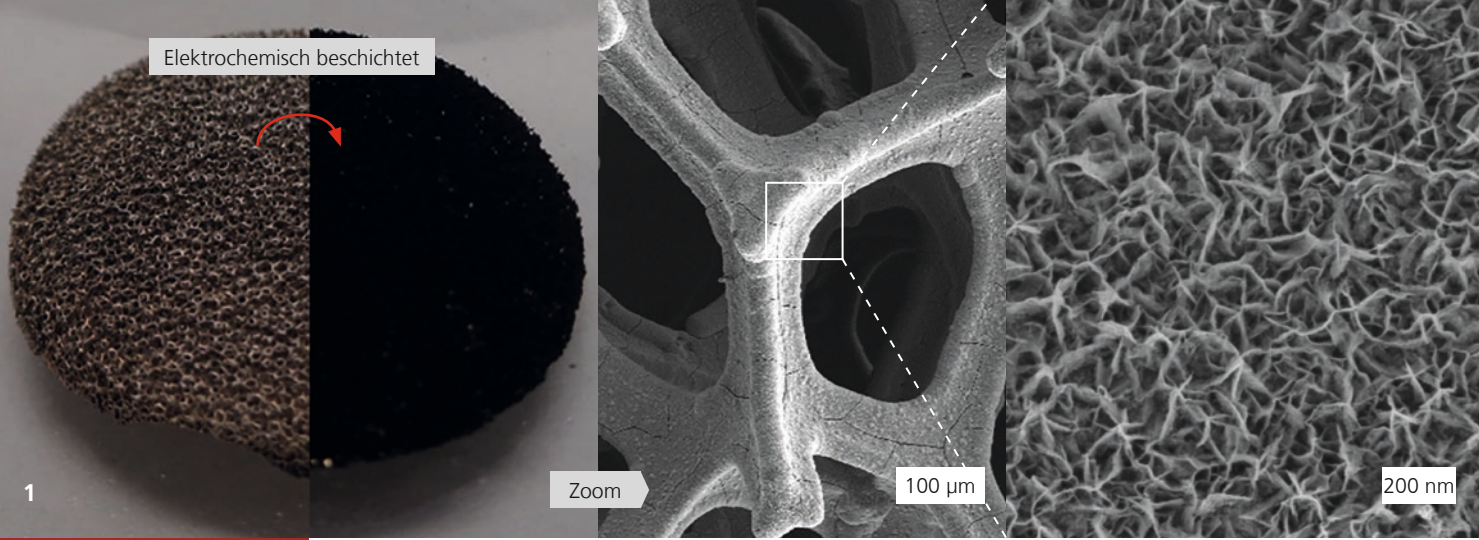
Dr. Jörg Richter, Dr. Benjamin Jäger, Dr. Norman Reger-Wagner, Dr. Adrian Simon, Janine Hercher, Stephanie Kaiser

Dem zukunftsweisenden, sicheren und umweltschonenden Antrieb von Schiffen widmen sich Forschende des Fraunhofer IKTS gemeinsam mit Partnern wie der Meyer Werft, dem Motorenhersteller INNIO, dem Schiffsbetreiber EXMAR sowie dem Zertifizierer Lloyd's Register im EU-Projekt HyMethShip (GA-Nr. 768945, Horizon 2020), das vom LEC Graz koordiniert wird. Ziel ist es, die Emissionen in der Schifffahrt um bis zu 97 % zu senken, indem Wasserstoff für den Antrieb genutzt wird. Dieser wird auf dem Schiff durch Reformierung aus Methanol bereitgestellt. Ein interessantes Konzept, denn Schiffe auf See setzen nach wie vor häufig auf Schweröl, bei dessen Verbrennung unter anderem schädliche Schwefelverbindungen entstehen. In Küstennähe wird Diesel verwendet, dabei werden wiederum Stickoxide und CO₂ ausgestoßen. Dies lässt sich mit dem neuen Antriebskonzept umgehen: Schwefelverbindungen treten nicht auf, Stickoxide werden weitestgehend minimiert und das entstehende CO₂ wird an Bord gespeichert, es gelangt somit nicht in die Umwelt. So funktioniert das neue Antriebskonzept: An Land tankt das Schiff Methanol, das sich im Gegensatz zu Wasserstoff problemlos lagern lässt und selbst dann kein Problem für die Umwelt darstellt, wenn sich der Tank im Havarie-Fall komplett entleeren würde. Das Methanol dient als flüssiger Wasserstoffträger. An Bord wird es mit Wasser durch Dampfreformierung umgesetzt. Bei diesem Prozess entsteht zum einen der benötigte Wasserstoff, der per Membran abgetrennt wird und durch direkte Verbrennung den Schiffsmotor antreibt. Dabei wird deutlich mehr Wasserstoff frei, als im Methanol selbst gespeichert ist, da entsprechend der Reaktion $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{H}_2 + \text{CO}_2$ auch das Wasser zusätzlichen Wasserstoff liefert. Zum anderen entsteht CO₂, das in Tanks eingelagert, an Land abgepumpt und erneut für die Methanol-

Herstellung genutzt wird. Die Wärme für den endothermen Prozess stammt aus dem Motor, was die Effizienz des Antriebs weiter erhöht. Das IKTS übernimmt in HyMethShip die komplette Prozess- und Reaktorauslegung sowie die Herstellung der benötigten Membranen im Technikumsmaßstab mit einer Membranfläche von mehr als 5 m². An der Technischen Universität Graz wird eine Demonstrationsanlage aufgebaut, die über 1,6 MW an Wasserstoffenergie umsetzen wird. Erste Versuche sind für Anfang 2021 geplant, der Testbetrieb folgt Mitte 2021. Zudem wird im Konsortium eine Studie für eine Fähre in Skandinavien erstellt, die mit dem neuartigen Antrieb 20 MW Leistung erreichen soll. Zum Vergleich: Ein Öltanker hat eine Leistung von 50 bis 80 MW.



1 Prozess zur Herstellung von Kohlenstoffmembranen.



ENERGIE

NACHHALTIGE GASDIFFUSIONSELEKTRODEN FÜR ALKALISCHE ENERGIEWANDLER

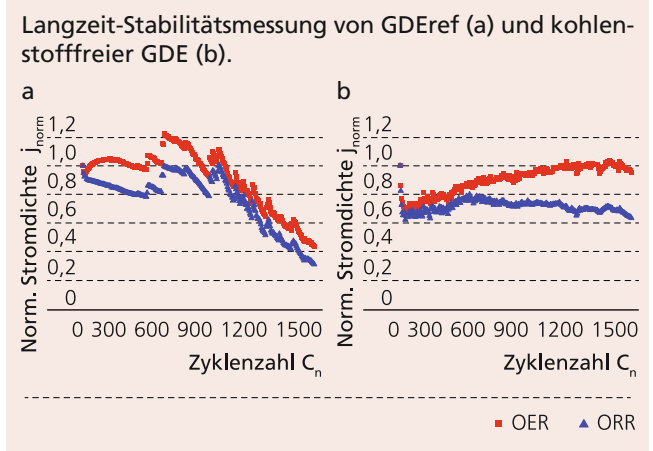
M.Sc. Artur Bekisch, Dr. Karl Skadell, Dr. Matthias Schulz, Dr. Roland Weidl, Prof. Michael Stelter

Sauerstoff-Gasdiffusionselektroden (GDE) spielen eine zentrale Rolle in alkalischen Energiewandlern wie Metall-Luft-Batterien (z. B. Zn/O₂) und Polymer-Membran-Elektrolyseuren (z. B. AEM-EL). Sie ermöglichen chemische Reaktionen, wie die Sauerstoff-Bildung (OER) oder -Reduzierung (ORR), dabei stellt die OER den eigentlichen »Flaschenhals« für energieeffiziente Batterie- und Elektrolyse-Technologien dar. Die GDE bestehen nach aktuellem Stand der Technik aus Kohlenstoff, Elektro-Katalysatoren und PTFE (hydrophober Binder), davon ist besonders der Kohlenstoff korrosionsanfällig. Dies führt zu einer verkürzten Lebenszeit der GDE und einem Ausfall der Batterie oder des Elektrolyseurs. Um dem entgegenzuwirken, wurde eine kohlenstofffreie und damit korrosionsstabile GDE entwickelt, die bifunktional agiert, also zu beiden Reaktionen (OER und ORR) in der Lage ist. Durch eine elektrochemische Abscheidung von Manganoxid auf Nickel-Schaum wurde eine kohlenstofffreie GDE hergestellt (Bild 1). Proben wurden charakterisiert und anhand elektrochemischer Messungen mit einer kommerziellen GDE (GDE_{ref}) verglichen. Gemessen und verglichen wurde jeweils die Sauerstoff-Bildung und -Reduzierung der kommerziellen und der kohlenstofffreien GDE. Ein Zyklus bildet jeweils eine abgeschlossene Sequenz von OER und ORR. Die Proben wurden bis zu 1500 Zyklen betrieben und auf ihre Langzeit-Stabilität hin untersucht (Graphik rechts). Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden GDE – mit deutlichen Vorteilen für die kohlenstofffreie GDE. Die Graphik zeigt deutlich die Kohlenstoffkorrosion der GDE_{ref} (a). Ab Zyklus 900 beginnt der Leistungsabfall, dieser setzt sich konstant fort bis zu einem Gesamtverlust von etwa 60 %. Die kohlenstofffreie GDE dagegen zeigt ein weitestgehend stabiles Verhalten für 1500 Zyklen. Nach einem kurzen Leistungsabfall in den ersten

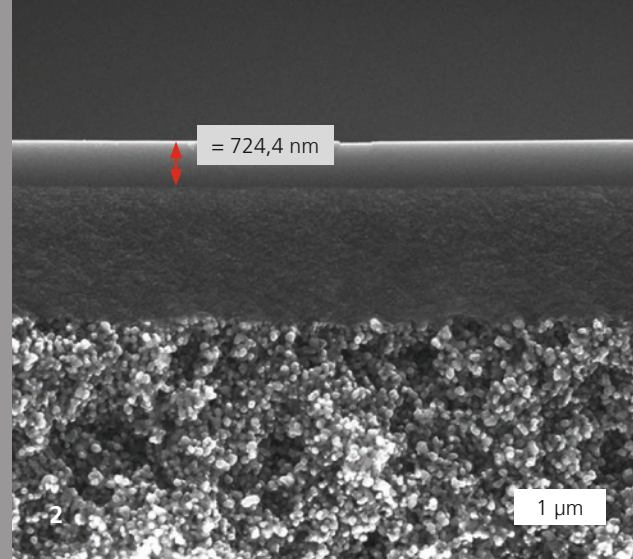
Zyklen von etwa 35 %, steigt die Leistungsfähigkeit zur OER (rot) und zur ORR (blau) wieder an. Anschließend bleibt die ORR auf konstantem Niveau, während die OER bis zum letzten Zyklus weiter ansteigt.

Die Ergebnisse verdeutlichen das Potenzial dieser kohlenstoff- und edelmetalfreien Gasdiffusionselektroden, welche Bifunktionalität sowie höhere Stromdichten und Spannungen in alkalischen Metall-Luft-Batterien und Polymer-Membran-Elektrolyseuren ermöglichen.

Diese Arbeit wurde im Rahmen eines Stipendiums der Reiner Lemoine Stiftung finanziert.



1 Nickel-Schaum mit Manganoxid: Beschichtung in 100 µm- und 200 nm-Darstellung.



ENERGIE

WASSERSTOFFABTRENNUNG AUS ERDGAS MIT KOHLENSTOFFMEMBRANEN

Dr. Adrian Simon, Dipl.-Ing. (FH) Susanne Kämnitz, Dr. Norman Reger-Wagner, Dr. Hannes Richter

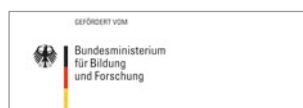
Kohlenstoffmembranen als Trenntechnologie für H₂/Erdgas-Gemische

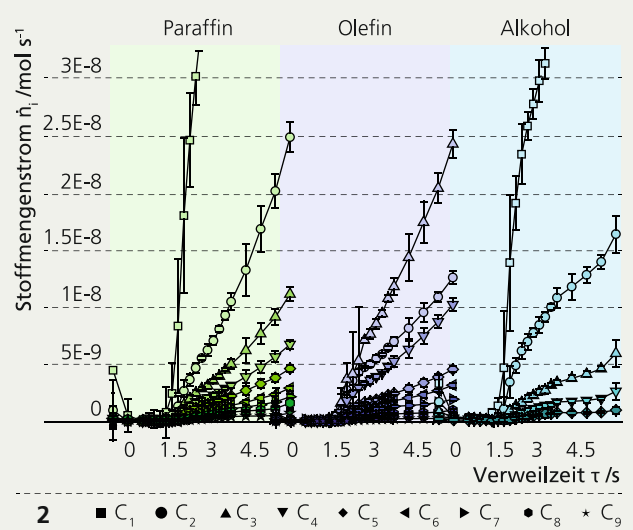
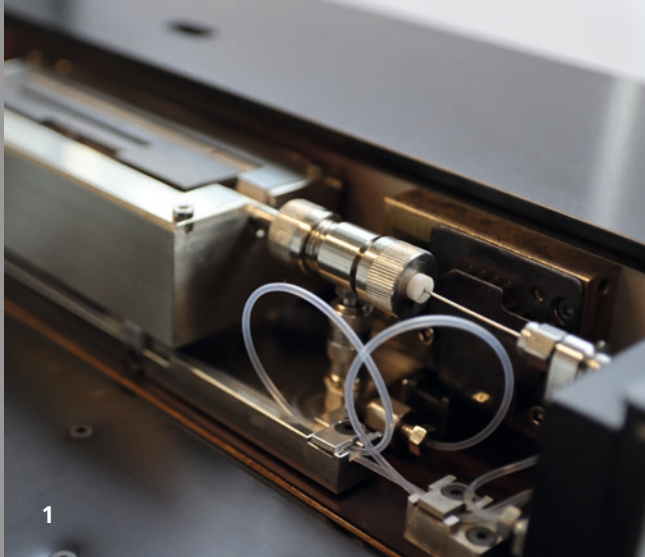
Ein Hauptproblem der Energiewende ist die zeitlich begrenzte und vom Wetter abhängige Verfügbarkeit des erneuerbaren Stroms. Diese Herausforderung hat zu zahlreichen Konzepten geführt, die auf die Stromwandlung durch Power-to-Gas setzen. Jedoch überschreitet keiner der innovativen, technologischen Ansätze bislang die Grenze zur Wirtschaftlichkeit. Ein Grund dafür ist ein fehlendes Verteilnetzwerk. Die Projektinitiative HYPOS (Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany) möchte das Chemiestoffstromnetz, das Erdgasnetz und die elektrischen Netze in Ostdeutschland modellhaft verbinden mit dem Ziel der wirtschaftlichen Bereitstellung von »grünem« Wasserstoff. Es herrscht allgemeiner Konsens darüber, dass in den nächsten Jahren keine separate Infrastruktur für die Speicherung und Verteilung von Wasserstoff in Deutschland etabliert wird. Aus diesem Grund wird man zur Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff auf die bestehende Erdgasinfrastruktur zugreifen müssen. Für bestimmte Anwendungen, zum Beispiel für die Nutzung als Treibstoff, darf jedoch die Konzentration von Wasserstoff im Erdgas einen gewissen Schwellwert nicht überschreiten. Um die Infrastruktur dennoch nutzen zu können, wäre eine Trennung der beiden Komponenten (Wasserstoff und Erdgas) vor der Ausspeisung eine Option – gemeinsame Speicherung, aber getrennte Nutzung. Diese Stofftrennung kann durch die vom Fraunhofer IKTS und dem Projektpartner DBI-GUT GmbH entwickelten Kohlenstoffmembranen sehr energieeffizient realisiert werden. Die Grundlage für die Synthese der Kohlenstoffmembranen bildet ein geeigneter Präkursor. Dieser wird auf einem asymmetrisch porösen, keramischen

Träger in Rundgeometrie aufgebracht. Durch eine sich anschließende thermische Behandlung wird der Präkursor zu Kohlenstoffspezies mit definierten Eigenschaften umgesetzt. Die Schichtdicken der Kohlenstoffmembranen variieren je nach Herstellungsprozess zwischen 250 nm und 1 μm und zeigen ein ausgezeichnetes Trennverhalten gegenüber H₂/CH₄ mit idealen Permselectivitäten von bis zu 300. Die besten Membranen waren in der Lage, 5 Vol.-% Wasserstoff im Feed auf ca. 80 Vol.-% im Permeat innerhalb einer Trennstufe aufzukonzentrieren. In einer zweiten Trennstufe konnte dieser Wert auf deutlich mehr als 90 Vol.-% Wasserstoff im Permeat gesteigert werden. Zudem wurde experimentell nachgewiesen, dass im Erdgas befindliche, geringe Mengen von Wasser und Schwefelwasserstoff keinen Einfluss auf die Trennleistung der Membran haben. Die Membransynthese wurde im Rahmen des Projekts industrierelevant hochskaliert und auf bis zu 600 mm lange 19 Kanalrohrelemente übertragen.

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF für die finanzielle Unterstützung (FKZ: 03ZZ0706A).

- 1 Kohlenstoffmembranen auf der Innenseite von 19 Kanalrohrelementen im Projektmodul des Partners DBI-GUT GmbH (Quelle: DBI-GUT GmbH).
- 2 REM-Aufnahme einer C-Membran im Bruch.





UNTERSUCHUNGEN ZUM MECHANISMUS DER FISCHER-TROPSCH-SYNTHESE IM PROFILREAKTOR

M. Sc. Florian Wolke, Dr. Erik Reichelt, Dr. Matthias Jahn

Die Fischer-Tropsch-Synthese ist eine zentrale Prozessstufe zahlreicher Power-to-X-Konzepte zur nachhaltigen Herstellung hochwertiger chemischer Produkte aus CO_2 und H_2O unter Nutzung erneuerbarer Energien. Wesentliche Merkmale der Produktsynthese an eisenbasierten Katalysatoren, z. B. zur Erzeugung höherer Alkohole, sind das Vorliegen zahlreicher katalytisch aktiver Phasen, ein großes Reaktionsnetzwerk sowie ein Produktgemisch aus Kohlenwasserstoffen verschiedener Stoffgruppen und Kettenlängen. Aufgrund dieser Komplexität ist der zugrundeliegende Reaktionsmechanismus bisher nur unzureichend verstanden – dies erschwert die Prozessoptimierung nach ökologischen und ökonomischen Kriterien. Der Einsatz von in-situ-Analyseverfahren bietet einen vielversprechenden Zugang zu bisher nicht zugänglichen Informationen.

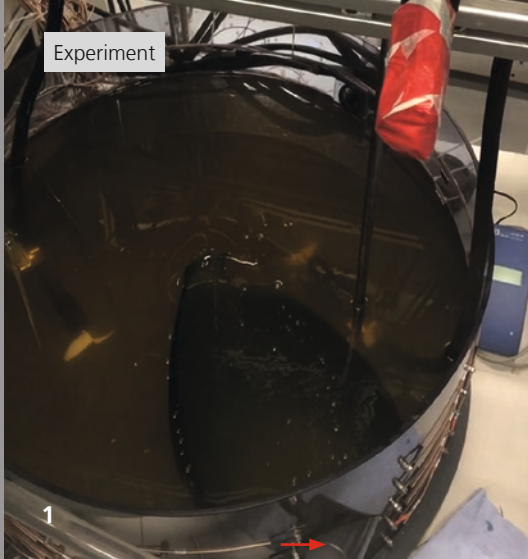
Das neuartige Reaktorkonzept des Profilreaktors erlaubt erstmals einen Blick ins Innere von Rohrreaktoren, so dass ablaufende Haupt-, Neben- und Parallelreaktionen direkt anhand der Produktverteilung beobachtbar sind. Zur Probennahme dient eine zentral im Katalysatorbett angeordnete Kapillare, welche relativ zur Katalysatorschüttung bewegt werden kann. Die hierüber entnommene Gasphase wird gaschromatographisch auf ihre Zusammensetzung untersucht. Das Ergebnis sind positionsaufgelöste Reaktionsprofile, die Rückschlüsse zulassen auf den Charakter des Kettenwachstums, auf kinetische Kenngrößen wie die Reaktionsrate, auf Readsorption sowie auf Sekundärreaktionen von Zwischenprodukten.

Durch Variation der Katalysatorzusammensetzung und der Betriebsbedingungen sind Aussagen zu den Struktur-Wirkungs-Beziehungen im Katalysator möglich. In den durchgeführten

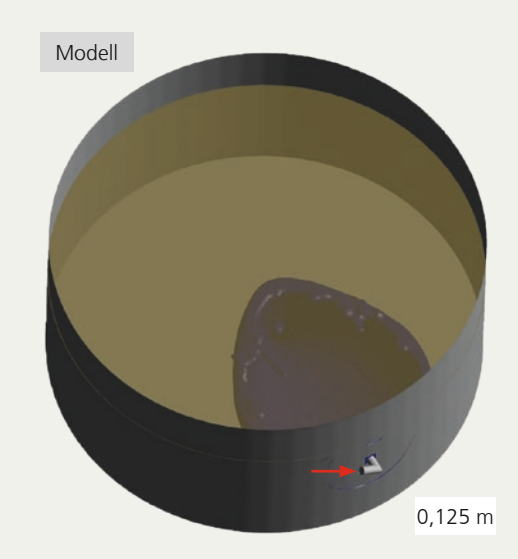
Untersuchungen konnten direkte Zusammenhänge zwischen dem Ausmaß der ablaufenden Sekundärreaktionen und den Reaktionsbedingungen aufgezeigt werden. Insbesondere Oxygenate wie höhere Alkohole – ein vielversprechendes Zielprodukt der Fischer-Tropsch-Synthese an Eisenkatalysatoren – tendieren aufgrund ihrer chemischen Struktur stark dazu, in Nebenreaktionen zu unerwünschten Sekundärprodukten umgesetzt zu werden. Für eine Optimierung der Ausbeute an höheren Alkoholen ist deshalb das Verständnis des Reaktionsmechanismus besonders wichtig. Konkret konnte gezeigt werden, dass es durch eine gezielte Einstellung von Betriebsbedingungen wie Temperatur, Katalysatorbelastung sowie Druck möglich ist, diese unerwünschten Reaktionen zu unterdrücken. Weiterhin kann durch Applikation sogenannter Promotoren wie Kalium, Kupfer oder Molybdän die Produktselektivität in Richtung der höheren Alkohole verschoben werden.

Die etablierte Methodik kann auch zur Untersuchung und Aufklärung von Reaktionsmechanismen anderer komplexer Reaktionen eingesetzt werden.

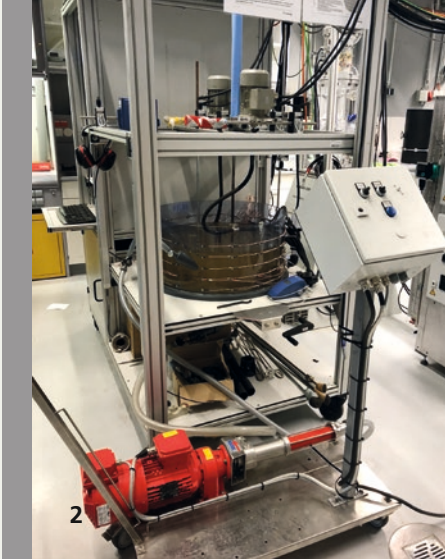
- 1 Profilreaktor.
- 2 Reaktionsprofile der C_1 - C_9 -Produkte an einem Eisenkatalysator bei 473K/21bar.



Experiment



Modell



2

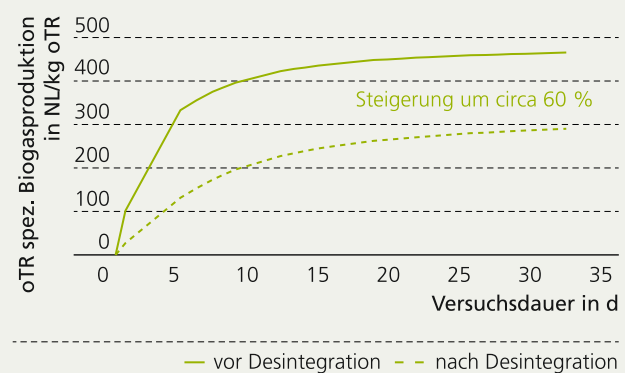
INTELLIGENTES PUMPENSYSTEM ZUR DURCHMISCHUNG VON BIOGASREAKTOREN

Dipl.-Ing. Anne Deutschmann, Dipl.-Ing. (FH) Gregor Ganzer

Die Substrateinbringung und eine ausreichende Fermenter-Durchmischung sind nach wie vor große Herausforderungen für den wirtschaftlichen Betrieb von Biogasanlagen – insbesondere dann, wenn strukturreiche biogene Reststoffe, wie Stroh und Festmist eingesetzt werden. Hier setzt das Verbundvorhaben FlexPump an. Gemeinsam mit den Projektpartnern Vogelsang GmbH & Co. KG und A&U Service- und Vertriebs GmbH entwickelt das Fraunhofer IKTS ein intelligentes Pumpensystem zur hydraulischen Durchmischung von Biogasreaktoren, welches unter Praxisbedingungen getestet wird. Die eingesetzte Pumpentechnik wird sowohl zur Beschickung als auch zur Reaktor-Durchmischung genutzt. Dabei werden die einzubringenden Feststoffe, also Stroh und Festmist, zunächst mit Gärsubstrat aus dem Fermenter suspendiert. Das Gemisch wird dann mit hoher hydraulischer Intensität wieder zurück in den Fermenter gegeben. Dieses Prinzip der außenliegenden Umwälzung ist von Anlagen zur Klärschlammfäulung bekannt. Voraussetzung für diese Vorgehensweise ist, dass das Fließverhalten der Suspensionen an die Pumpentechnik angepasst wird. Aus diesem Grund wurden Anlagen zur Substrat-Zerkleinerung mit in die Betrachtungen einbezogen. Im Verbundvorhaben konnte gezeigt werden, dass zerkleinerte Substrate eine deutlich geringere Viskosität aufwiesen. Batch-Gärtests wiesen diesen Substraten zudem eine verbesserte Desintegrationswirkung und damit deutlich höhere Biogaserträge nach (Grafik rechts). Das entwickelte Mischsystem wurde am IKTS im Technikumsmaßstab bewertet. Dafür wurden die großtechnischen Prozessbedingungen runterskaliert – bei konstanter Eintrittsgeschwindigkeit des gepumpten Mediums in den Reaktor. Mittels prozesstomographischer Untersuchungen (Bild 2) wurden die fluiddynamischen Prozessabläufe der Durchmischung in Abhängigkeit der Subs-

trateigenschaften bewertet und optimiert. Zusätzlich kamen numerische Strömungssimulationen zum Einsatz (Bild 1). Das entwickelte Mischsystem wird derzeit unter Praxisbedingungen auf einer Biogasanlage getestet und weiter verbessert.

Steigerung des Biogasertrags durch Desintegration



Leistungs- und Kooperationsangebot

- Skalierung und Bewertung von Misch- und Strömungsprozessen
- Mehrphasige numerische Strömungssimulation mit nicht-newtonschen Fluiden



- 1 Vergleich Experiment und Modell bei alleinigem Pumpenbetrieb.
- 2 Versuchsstand Tomographie.



EMISSIONSARME ETHANOL-KAMINE

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

Ethanol-befeuerte Kamine sind beliebt, da sie im häuslichen Bereich im Prinzip ohne Schornstein oder sonstige Abzugssysteme betrieben werden können. Zudem erfordern sie wenig Platz und sind recht kostengünstig. Da Ethanol-Kamine momentan kein integriertes Abgasreinigungssystem besitzen, sind Nutzer direkt den emittierten Schadstoffen wie Benzol, Formaldehyd, Kohlenmonoxid und Stickoxiden ausgesetzt. Dies kann potenziell zu Gesundheitsschäden führen. Im Rahmen des Projekts »Clean EtOH-fire« (Entwicklung eines emissionsminimierten Verbrennungssystems für [Bio-]Ethanol) wurde daher gemeinsam mit Industriepartnern an einem System zur schadstofffreien und bedienungssicheren Ethanolverbrennung gearbeitet. Dieses kann nicht nur im häuslichen oder gewerblichen Bereich (Gaststätten, Beherbergungs- und Eventbetriebe) eingesetzt werden, sondern perspektivisch auch als ergänzende CO₂-neutrale kamingeführte Beheizung in Niedrigenergiehäusern. Das Fraunhofer IKTS hat hierfür auf Grundlage seines umfangreichen Know-hows im Bereich der motorischen und industriellen Abgasreinigung ein Katalysatorkonzept entwickelt. Dieses ermöglicht einerseits eine Schadstoffreduktion bei sehr niedrigen Reaktionstemperaturen und andererseits eine optimale Strömungsverteilung der Reaktionsgase im Katalysatorträger. Darüber hinaus benötigt es keine zusätzliche Hilfsenergie und weist eine lange Lebensdauer auf.

Der Katalysatorträger basiert auf offenzelligen Schaumkeramiken, die im Gegensatz zu Katalysatorschüttungen nur niedrige Gegendrucke aufweisen. Gleichzeitig erlaubt die netzwerkartige Struktur hohe Verweilzeiten der Schadstoffe am Katalysator, was ein großer Vorteil gegenüber Katalysatorwaben ist.

Die Herstellung der Schaumkeramiken erfolgt durch Abformung von retikulierten Polymerschäumen nach dem sogenannten Schwarzwälder-Verfahren. Die Katalysatoren sind auf die speziellen Betriebsbedingungen von Ethanol-Brennern sowie den Katalysatorträger abgestimmt, um unter den gegebenen Temperatur- und Abgasbedingungen hohe Konvertierungsraten zu erreichen. Dies umfasst sowohl die Synthese und Funktionalisierung der Katalysatormaterialien als auch deren Verarbeitung zu Suspensionen, mit denen sich homogene und stabile Schichten auf den Katalysatorträgern realisieren lassen. Im Ergebnis können Kohlenwasserstoff- und CO-Emissionen beim Kontakt des Abgases mit dem Katalysator gleichzeitig abgebaut werden.

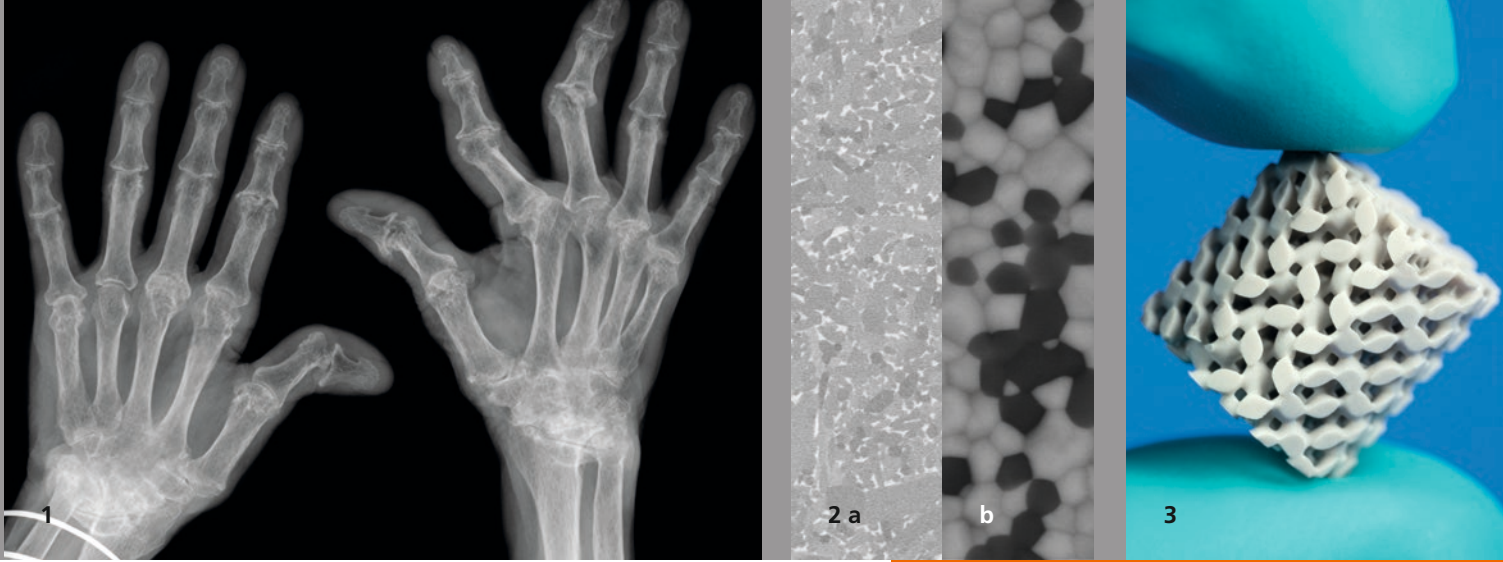
Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung geeigneter Katalysatorträger aus zellulären Keramiken
- Synthese von Katalysatoren und Verfahrensentwicklung zur katalytischen Beschichtung
- Durchführung von Labortests zu den Anwendungseigenschaften beschichteter Trägermaterialien und Bewertung des katalytischen Verhaltens und der Langzeitstabilität

1 *Ethanol-Kamin ohne Abgasreinigung* (© pixabay | Antoine Belverge).

2 *Katalysatorträger aus Cordierit-Schaumkeramik mit Katalysator-Washcoat-Beschichtung.*





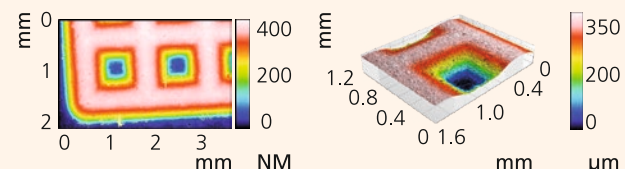
OSSEOINTEGRATIVES OBERFLÄCHENDESIGN FÜR KERAMISCHE FINGERGELENKIMPLANTATE

Dr. Sabine Begand, Dr. Eveline Zschippang, Dr. Annegret Potthoff, Dipl.-Ing. Eric Schwarzer-Fischer, Dipl.-Chem. Martina Johannes

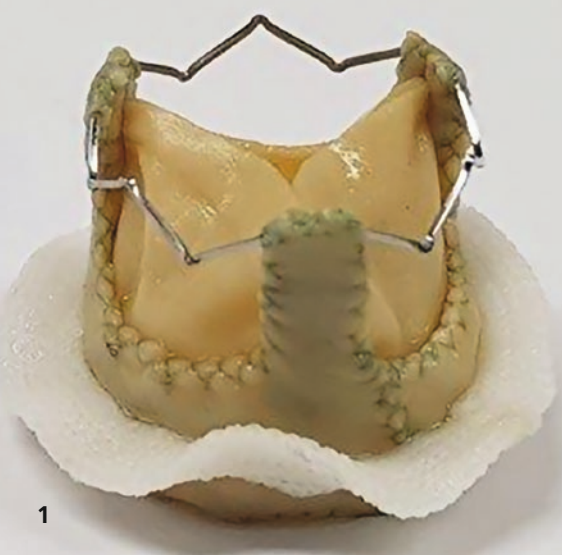
Patientenspezifische Implantate versprechen eine hohe Passgenauigkeit und damit eine bessere Funktionalität und Lebensdauer. Die Individualisierung ist darüber hinaus eine große Chance für die Bereiche, in denen die Möglichkeiten der Implantatversorgung und Remobilisierung noch unzureichend sind. Bisher besteht die Therapie von Kleingelenken, speziell im Bereich der Finger, überwiegend in der Versteifung der Gelenke, was die Mobilität einschränkt. Dies betrifft in Deutschland allein 5 Mio. Menschen, die an symptomatischer Arthrose und 1,5 Mio. Menschen, die an rheumatischen Erkrankungen leiden. Im Fraunhofer-internen Projekt »Remobilisierung von Fingergelenken durch KI-basierte Rekonstruktion und Generierung patientenindividueller Keramikimplantate – FingerKit« arbeiten die Fraunhofer-Institute IAPT, IKTS, ITEM, IWM und MEVIS zusammen, um erstmals eine durchgängige automatisierbare Prozesskette bei der Herstellung patientenindividueller Implantate vom Design über die Fertigung bis hin zur zertifizierungskonformen Prüfung zu ermöglichen. Das IKTS beschäftigt sich in FingerKit mit dem Material- und Oberflächendesign für keramische Implantatwerkstoffe. Durch individuelle Anpassung der mechanischen Festigkeit, der Osseointegration (Anwachsen der Knochenzellen an das Implantat) und des Implantat-Designs soll die Langzeitstabilität der Fingergelenkimplantate gegenüber dem aktuellen Standard deutlich erhöht werden. Das Schlickergussverfahren für die oxidkeramischen Materialien 3Y-TZP und Aluminiumoxid-verstärkte Zirkonoxid-Keramik (ATZ) ermöglicht eine direkte Formgebung über eine poröse, strukturierte Form. Dafür wurden komplex geformte Gießformen mit Struktur hergestellt, das Abformverhalten beim Gießprozess untersucht sowie entsprechende Werkstoffkenndaten ermittelt. Ziel ist die Herstellung der Fingergelenk-Prototypen mit einer Makro-/

Mikro-Oberflächenstrukturierung der Außenflächen in einem Prozessschritt, welche exemplarisch mittels Weißlichtinterferenzmikroskopie darstellbar ist. In einem parallelen Entwicklungsstrang wird Siliciumnitrid (Si_3N_4) als biokeramischer Werkstoff eingesetzt. Die Implantatfertigung wird hier mit dem CerAM VPP-Prozess (Lithoz LCM-Technologie), einem 3D-Druckverfahren, realisiert. So können beispielsweise sogenannte TPMS-Strukturen (triply periodic minimal surfaces, Bild 3) generiert werden, die von ihrer Struktur her mechanisch und osseointegrativ viele Vorteile mit sich bringen. Darüber hinaus wird die unikale Oberflächenchemie des Si_3N_4 modifiziert, um die Interaktion mit dem umgebenden Gewebe weiter zu optimieren. Mit diesen gezielten topografischen und chemischen Modifizierungen der Keramikoberflächen soll die Osseointegration von Implantatwerkstoffen maßgeblich verbessert werden.

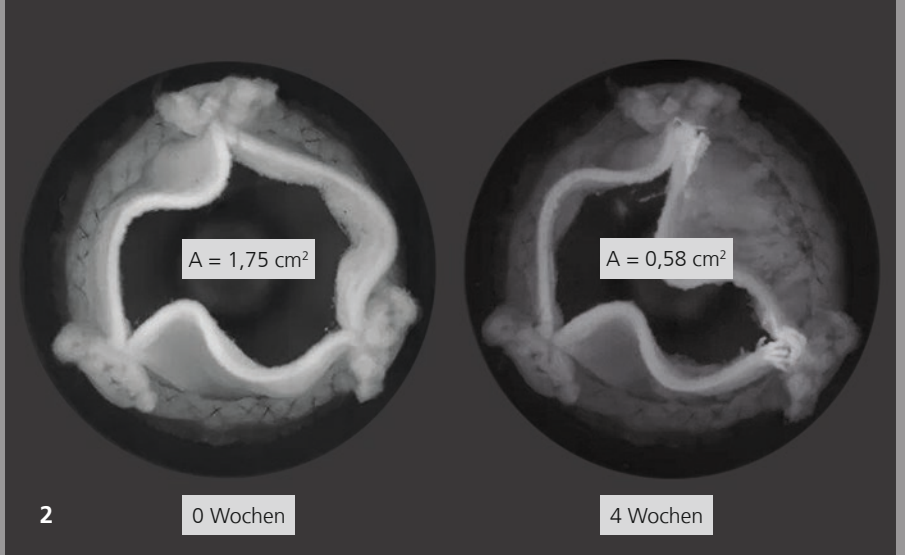
Topographie des Implantats mittels Weißlichtinterferenzmikroskopie



- 1 Röntgenbild: erkrankte Hand (Quelle: istock: WILLISIE).
- 2 Mikrostruktur von Si_3N_4 (a) und ATZ (b).
- 3 TPMS-Struktur aus Si_3N_4 .



1



2

0 Wochen

4 Wochen

BIO- UND MEDIZINTECHNIK

KALZIFIZIERUNG VON HERZKLAPPEN – IN-VITRO-CHARAKTERISIERUNG UND PRÄVENTION

Dr. Natalia Beshchasna, Agnieszka Maciejewska, Dr. Jörg Opitz

Die Aortenklappenstenose, also die Verengung des Abflusstrakts gehört neben der Mitralklappeninsuffizienz zu den häufigsten Herzklappen-Erkrankungen. Weltweit werden heute 300 000 bis 400 000 Operationen zum Ersatz der Herzklappen durchgeführt. Dabei wird zwischen mechanischen und biologischen Herzklappen-Prothesen unterschieden. Biologische Klappen bieten eine höhere Zehnjahres-Patientenüberlebensrate, kommen ohne die Antikoagulationstherapie aus und arbeiten geräuschlos. Nachteilig ist jedoch die beschränkte Lebensdauer (durchschnittlich 12 Jahre), weil Verkalkung und Materialermüdung die Funktionsfähigkeit der Klappensegel beeinträchtigen.

Chemische Vorbehandlung gegen Kalzifizierung

Im Rahmen einer Masterarbeit am Fraunhofer IKTS wurden neue chemische Vorbehandlungen untersucht, die die Kalzifizierung von porcinen Herzklappen-Bioprothesen verhindern sollen. Dafür wurde Perikard-Gewebe als Basismaterial ausgewählt und zur Stabilisierung mit Wirkstoff-Molekülen vernetzt. Im Gegensatz zur klassischen Vernetzung mit Glutaraldehyd kam Diepoxid zum Einsatz. Die Vernetzung erfolgte mit und ohne Immobilisierung von Bisphosphonaten.

Humane Herzklappen funktionieren in einer komplexen Interaktion von anatomisch-strukturellen Eigenschaften mit Umgebungsbedingungen, die durch die anatomische Lage der Klappe und die Pumpfunktion des Herzens bestimmt sind. Kalzifizierung entsteht, wenn sich kristallines Hydroxylapatit ablagert. Diese Langzeitkomplikation lässt sich nur unter erheblichem zeitlichen und experimentellen Aufwand im Labor untersuchen.

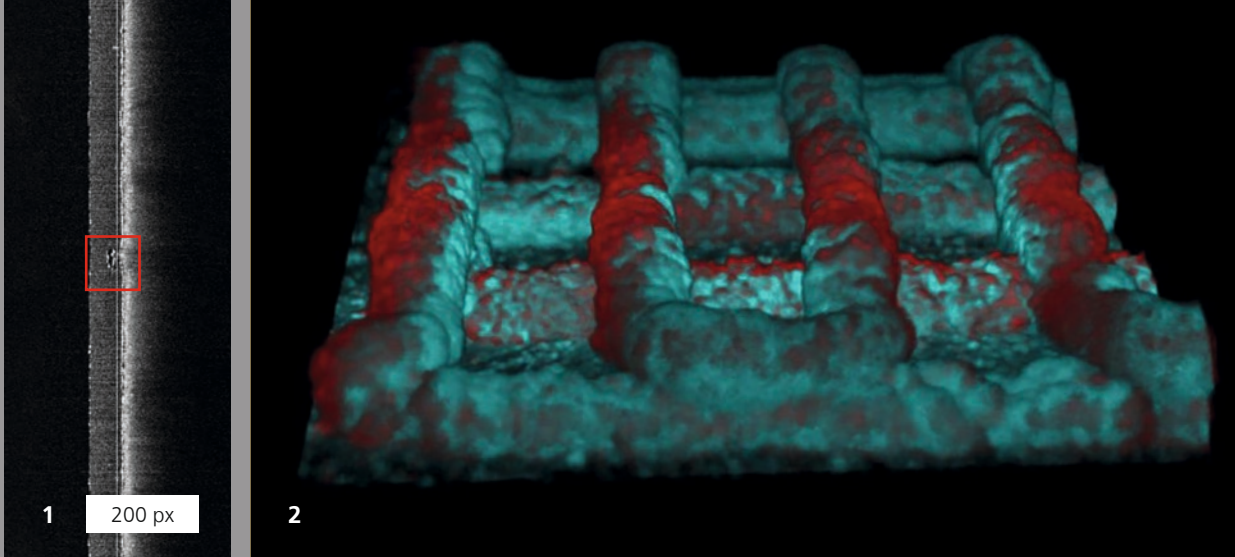
Für die Analyse der Proben wurden zwei beschleunigte fluid-dynamische In-vitro-Kalzifizierungstests genutzt. Als Beschleunigungsfaktoren dienen Kalzifizierungsfluids mit einer modifizierten Elektrolytkonzentration (erhöhte Calcium- und Phosphatkonzentration im Vergleich zum humanen Blutplasma) sowie eine hohe zyklische Belastung. Der pH-Wert der Lösung ist gepuffert und entspricht dem des humanen Blutplasmas.

Großes Potenzial für Bisphosphonate

Die kalzifizierten Herzklappen wurden nach sechs- bis achtwöchigem Dauerversuch mit klassischen Verfahren, wie Rasterelektronenmikroskopie (REM), Raman-Spektroskopie und Mikrocomputertomographie (μ CT) untersucht. Die Ergebnisse zeigen eine vielversprechende Wirkung von Bisphosphonaten gegen die Kalzifizierung von Herzklappenersatz. Diese Antikalzifizierungsvorbehandlung muss jedoch noch in weiteren In-vitro- und In-vivo-Tests sowie in klinischen Experimenten bestätigt werden.

Die Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Medizintechnik, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen und dem Meshalkin National Medical Research Center in Novosibirsk (Russland).

- 1 *Biologische Herzklappe aus Rinder-(Klappen) und Schweineperikard (Gerüst-Beschichtung).*
- 2 *Verschlechterung der Herzklappenfunktion durch Verkalkung als Ergebnis eines In-vitro-Kalzifizierungstests.*



EVALUATION VON BIOLOGISCHEN 3D-DRUCK-PROZESSEN MITTELS OCT

Dipl.-Ing. Luise Schreiber, Dipl.-Ing. Vincenz Porstmann, Thomas Schmalfuß, Dipl.-Ing. Andreas Lehmann, Dr. Malgorzata Kopycinska-Müller, Dr. Jörg Opitz

Die additive Fertigung (AM – Additive Manufacturing, 3D-Druck) bereichert viele industrielle Anwendungsfelder. Großes Potenzial erschließt sich in der Medizintechnik bei der künstlichen Herstellung von Gewebe, dem sogenannten Tissue Engineering. Dabei werden hoch-individualisierte und zum Teil mit lebenden Zellen versetzte Strukturen in geringer Losgröße hergestellt. Neben den 3D-Druckprozessen für biokompatible Implantate müssen dafür auch geeignete Biomaterialien entwickelt werden.

3D-Druck von Biomaterialien überwachen

Beim biologischen 3D-Druck, dem sogenannten Bioprinting, ist eine Qualitätskontrolle aufgrund der Fragilität der herzustellenden Gewebe sehr schwierig. Um direkt im Herstellungsprozess einsetzbar zu sein, müssen Technologien zur Überwachung schnell, berührungslos und strahlungsfrei sein. Die Optische Kohärenztomografie (OCT) erfüllt diese Bedingungen. Das auf der Weißlicht-Interferometrie basierende bildgebende Messverfahren ist seit vielen Jahren in der Ophthalmologie etabliert, wird aber zunehmend auch in der zerstörungsfreien Materialprüfung eingesetzt. Mittels OCT können für semi-transparente Probensysteme neben Topografieinformationen auch Informationen über innenliegende Strukturen gewonnen werden.

Integration der OCT in 3D-Drucker

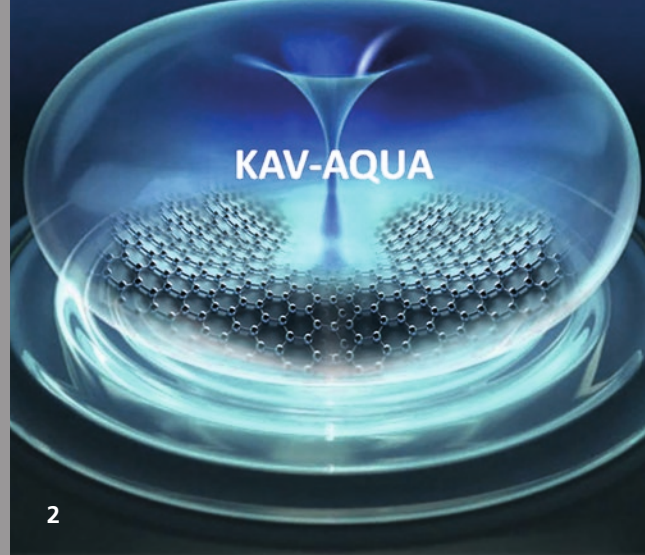
Um die Eignung der OCT für die Überwachung zu evaluieren, wurde ein OCT-Messmodul in einen 3D-Bio-Drucker der Firma RegenHU Ltd. integriert. Erste In-situ-Untersuchungen erfolgten während des Strangablageprozesses. Dabei konnten die

Auswirkungen verschiedener Prozessparameter (Strangablagehöhe und Verdüsungsdruck) und Materialien (Alginate und Xerogele) auf den abgelegten Strang untersucht werden. Die Querschnittsfläche des abgelegten Strangs erlaubt zudem Rückschlüsse auf die Druckqualität. Neben der Qualitätskontrolle bietet die Integration eines OCT-Moduls noch andere Vorteile: Da die gedruckte Struktur für weitere Untersuchungen nicht aus dem Drucker entnommen und präpariert werden muss, können Veränderungen, Beschädigungen oder die Zerstörung des Objekts ausgeschlossen werden. Wird direkt nach dem Druck ein 3D-Abbild der Struktur aufgenommen, kann ein digitaler Abgleich mit dem CAD-Modell erfolgen, um die Fertigungsgenauigkeit zu validieren. Zudem kann mit dem OCT-Modul das Trocknungsverhalten direkt nach dem Druckprozess dynamisch erfasst oder überwacht werden. Diese Untersuchungen zum Druckprozess sind Bestandteil der Materialforschung der eingesetzten Biomaterialien.

Die vorgestellten Untersuchungen wurden in Kooperation mit der Technischen Universität Dresden (Max Bergmann Zentrum für Biomaterialien Dresden) durchgeführt.

- 1 *Rekonstruktion eines auf einer Unterlage gedruckten Strangs. Ungewollte Einschlüsse im Strangmaterial sind gekennzeichnet.*
- 2 *Vergleich einer gedruckten gitterartigen Struktur vor und nach der Trocknung. Abweichende Bereiche sind rot dargestellt.*





WASSER

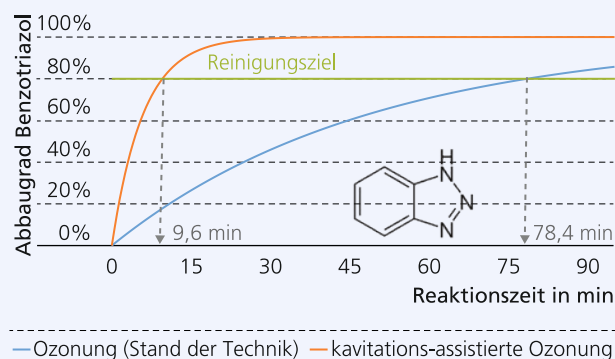
INNOVATIVE WASSERREINIGUNG MIT SCHALL UND DRUCK – ATTRACT-GRUPPE KAV-AQUA

Dr. Patrick Bräutigam

Mit der »Fraunhofer Attract«-Förderung können herausragende externe Wissenschaftler die Fraunhofer-Infrastruktur nutzen, um innovative Ideen anwendungsnah weiterzuentwickeln. Am Standort Hermsdorf des Fraunhofer IKTS beschäftigt sich die Attract-Gruppe KAV-AQUA unter der Leitung von Dr. Patrick Bräutigam seit November 2020 mit der Entwicklung innovativer Kavitations-assistierter Verfahren, Reaktoren und Sensoren für die Anwendung in der Wasserwirtschaft. Im Fokus stehen dabei die Entfernung von Mikroschadstoffen (z. B. Rückstände von Arzneimitteln und Industriechemikalien) und die kontinuierliche Erfassung von Summenparametern zur Bestimmung der Wasserqualität, die mit bestehenden Technologien bisher nicht erreicht werden kann. Ziel ist es, gegenüber dem Stand der Technik deutlich effektivere und energieeffizientere Ansätze der Wasserbehandlung zu entwickeln, welche möglichst alle organischen Mikroschadstoffe entfernen und nur die Hälfte der bisher verwendeten Energie benötigen. Um das zu erreichen, koppelt die Attract-Gruppe Verfahren der hydrodynamischen, akustischen und sub-/stabilen Kavitation sowie deren Kombinationen mit Advanced Oxidation Processes (AOP, z. B. Ozonung) und Sensorik. Dabei entstehen völlig neue Reaktoren und Verfahren, die über spezifische Wechselwirkungen Synergieeffekte freisetzen und zudem modulierbar, d. h. an unterschiedliche Schadstoffaufkommen und Volumenströme im Prozess anpassbar sind. Weiterhin werden mit Ansätzen des maschinellen Lernens prädiktive Modelle entwickelt. Dies löst ein zentrales Problem der Wassertechnologie: die Vorhersage der Geschwindigkeit und Vollständigkeit der Entfernung auch für unbekannte, nicht untersuchte Mikroschadstoffe sowie die Ermittlung entsprechender Auslegungskriterien für Reaktoren. Durch die Attract-Gruppe erhält das IKTS einen weiteren neuen

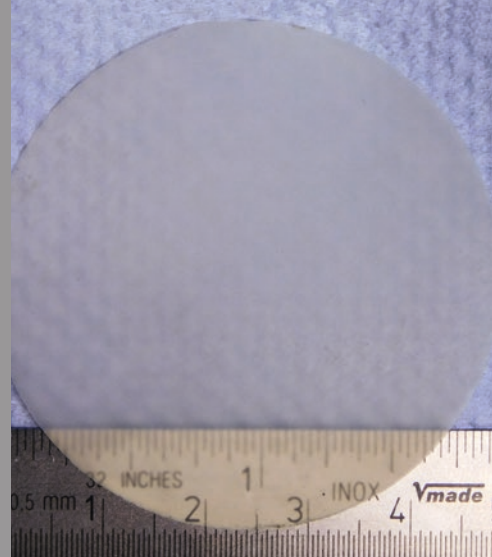
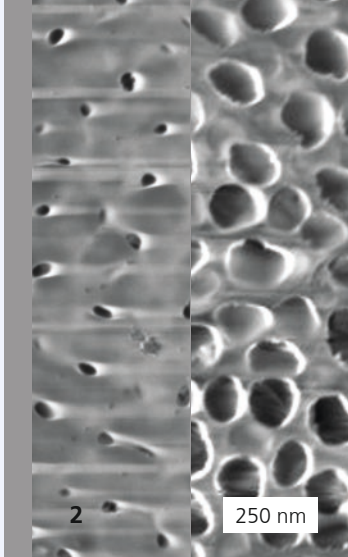
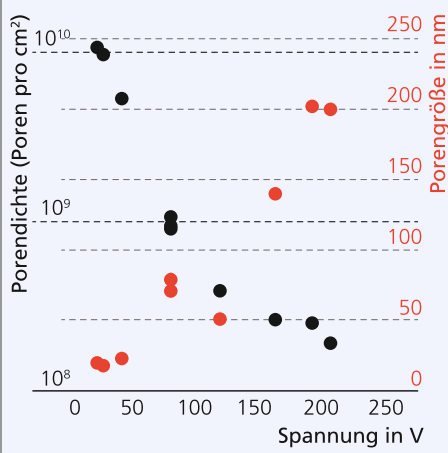
Zugang zur zielgerichteten Erschließung zukünftiger Anwendungsbereiche und Innovationen auf dem Gebiet der Wasser- und Umwelttechnologie. Darüber hinaus erlauben die neu entwickelten Methoden, Reaktoren, Verfahren und Sensoren eine langfristige Verwertung auch in anderen Anwendungsgebieten oder als Dienstleistung. Darunter zählen zum Beispiel die verfahrenstechnische Nutzung Kavitations-assistierter Verfahren in anderen Branchen (Chemie, Pulp & Paper, Lebensmittel, Kosmetik), die Nutzung von Reaktorprinzipien für andere Sensoranwendungen und analytische Methoden zur Prüfung von Kavitationseffekten z. B. in der Medizin. Dieser Umstand sichert die tiefgreifende und thematisch breite Verankerung der Attract-Gruppe KAV-AQUA am IKTS und die langfristige erfolgreiche Verwertung der Ergebnisse.

Kavitations-assistierte vs. konventionelle Ozonung



1 Die Attract-Gruppe KAV-AQUA unter der Leitung von Dr. Patrick Bräutigam.

2 Kavitationsblase mit Microjet.



WASSER

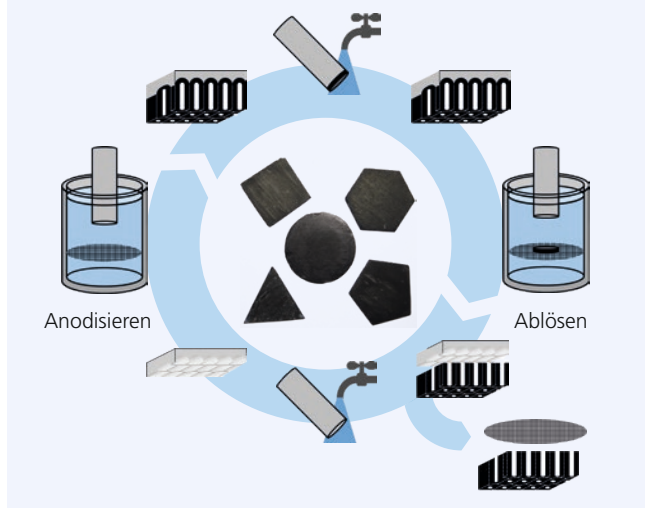
ELEKTROCHEMISCHE HERSTELLUNG VON NANOPORÖSEN ALUMINIUMOXID-MEMBRANEN

M. Sc. Karsten Voigt, Dr. Christoph Lämmel, Dr. Christian Heubner, Dr. Michael Schneider

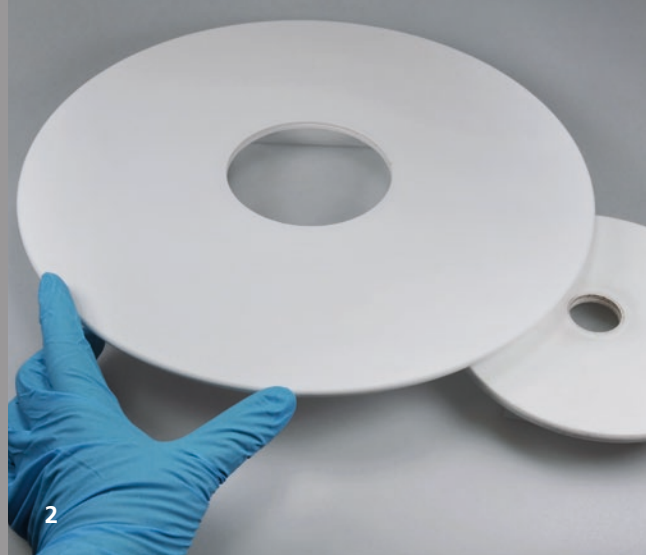
In den letzten Jahren ist die Verschmutzung der Meere mit Mikroplastik verstärkt in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Durch Faserabrieb bei der Textilwäsche oder den Gebrauch in Kosmetik- und Reinigungsprodukten gelangt Mikroplastik zudem in Abwässer und Böden. Um Mikroplastik im Zuge der Wasseraufbereitung kostengünstig und effizient zu entfernen, bedarf es geeigneter Filtermedien. Unter Verwendung elektrochemischer Verfahren werden am Fraunhofer IKTS kostengünstige und skalierbare Prozessrouten zur Herstellung maßgeschneiderter Aluminiumoxid-Membranen entwickelt. Neben der Anwendung in Sensorik, Katalyse, Energiespeicherung und Biomedizin können nanoporöse Aluminiumoxid-Membranen auch als Filtermedium zur Abtrennung von Mikroplastik verwendet werden. Mittels Anodisation wird ein Aluminiumsubstrat elektrochemisch oxidiert, wobei sich eine nanoporöse Oxidschicht ausbildet. Anschließend wird die Oxidschicht durch einen kathodischen Spannungspuls in wenigen Sekunden vom Substrat getrennt. Das genutzte Aluminiumsubstrat ist direkt wiederverwendbar, was eine semikontinuierliche Prozessführung ermöglicht (Graphik rechts). Die Porengröße (10 bis 400 nm), Porendichte (108 bis 1010 Poren/cm²) (Bild 1 und 2) und Membrandicke (0,1 bis 600 µm) lassen sich über die elektrochemischen Prozessbedingungen anwendungsspezifisch steuern. Durch gezielte Strom-Spannungsmodulationen kann die Morphologie von geordneten geraden Poren bis hin zu periodischen 3D-Strukturen variiert werden. Ebenso kann die Porengrößenverteilung auf spezifische Anforderungen zur Abtrennung von Mikroplastik eingestellt werden. Auf den Einsatz von stark giftigen oder umweltschädlichen Chemikalien wird während des gesamten Prozesses verzichtet. Die Membran kann je nach beabsichtigter Anwendung weiter modifiziert werden.

Beispielsweise lässt sich die Porengröße durch chemisches Ätzen steigern und die Stabilität der Membran durch Wärmebehandlung weiter erhöhen. Durch Einsatz eines geeigneten Aluminiumsubstrats lassen sich selbst endformnahe Membranen herstellen, was zusätzliche Nachbearbeitungsschritte erspart.

Schematische Darstellung einer halbkontinuierlichen Prozessroute



- 1 Porendichte und -größe in Abhängigkeit der Spannung.
- 2 Elektronenmikroskopie-Bild der Poren.
- 3 Membran mit 5 cm Durchmesser.



WASSER

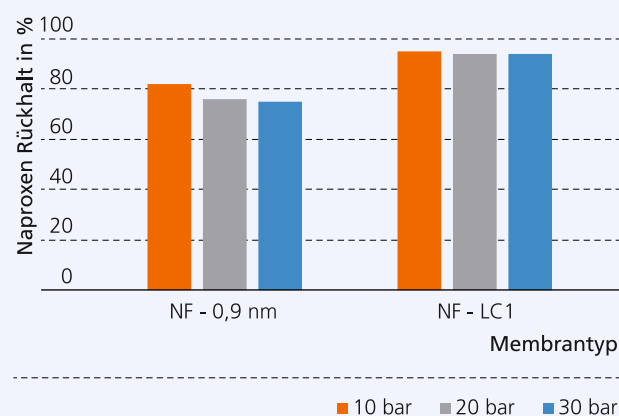
SPURENSTOFFABTRENNUNG MIT KERAMISCHEN MEMBRANEN – PROJEKT PharMem

Dr. Marcus Weyd, Dipl.-Ing. Christian Pflieger, Dipl.-Chem. Petra Puhlfürß

Die Belastung von Gewässern mit Mikroschadstoffen zu reduzieren ist eine wichtige Zielsetzung der Wasserwirtschaft und Bestandteil der Umweltpolitik. Im Verbundvorhaben »Entwicklung eines Verfahrens zur Elimination von Pharmazeutika und anderen organischen Spurenstoffen aus Abwasser mit einem kombinierten System bestehend aus funktionalisierten keramischen Nanofiltrationsmembranen und erweiterter Oxidation« (PharMem) wird ein neues Behandlungsverfahren zur Abtrennung von Pharmazeutika aus belasteten Abwässern entwickelt. Kooperationspartner sind neben dem Fraunhofer IKTS die E.S.C.H. GmbH, die Rauschert Kloster Veilsdorf GmbH und die Friedrich-Schiller-Universität Jena. Das Verfahren besteht aus einem Nanofiltrationsschritt, der zu einer weitgehenden Wasserreinigung führt und dem nachgeschalteten Abbau der verbleibenden Spurenstoffe durch ein oxidatives Verfahren. Grundlage für den Membrantrennschritt bilden keramische Nanofiltrationsmembranen mit einem weltweit einzigartigen Cut-Off im Bereich von 200 g/mol (NF-LC1) bzw. 450 D (NF-0,9 nm). Das heißt, Moleküle mit diesem oder höherem Molekulargewicht werden unter idealen Bedingungen von der Membran zurückgehalten. Viele pharmazeutische Wirkstoffe haben Molekulargewichte zwischen 200 g/mol und 500 g/mol und sind somit potenziell mit einer Nanofiltrationsmembran abtrennbar. Im Projekt PharMem wird die Membransynthese auf vergrößerte Mehrkanalrohre und auf Rotations scheibenfilter übertragen. Nanofiltrationsmembranschichten auf Rotations scheibenfiltern sind ein weltweites Novum. Membrananlagen mit Rotations scheibenfiltern können energetisch effizienter betrieben werden, da der Energiebedarf zur Rotation der Scheibenfilter geringer ist als die notwendige Pumpenergie zum Betrieb von Cross-Flow-Filtrationssystemen. Die membranbasierte Abtrennung und

das nachgeschaltete Oxidationsverfahren wurden in einer Filtrationsanlage kombiniert und unter realen Bedingungen getestet und evaluiert. Ein Rückhalt von bis zu 95 % für das Analgetikum Naproxen (Diagramm) und den Betablocker Propranolol wurde bereits durch den Nanofiltrationsschritt erreicht. Durch das Kombinationsverfahren ist somit eine nahezu vollständige Elimination der Spurenstoffe möglich.

Rückhalt von Naproxen durch keramische Nanofiltrationsmembranen bei verschiedenen Druckstufen



Die Autoren danken dem Freistaat Thüringen für die finanzielle Unterstützung des Verbundvorhabens PharMem (FKZ: 2018 VF 0014).



- 1 Pilotfiltrationsanlage des Fraunhofer IKTS.
- 2 Nanofiltrationsmembranen als Rotations scheibenfilter.

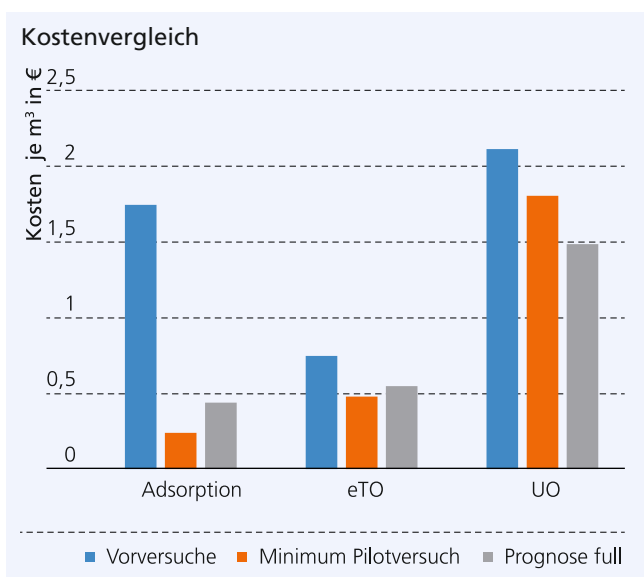


VERGLEICH VON VERFAHREN ZUR HERBIZID-ELIMINATION AUS TRINKWASSER IM PILOTMAßSTAB

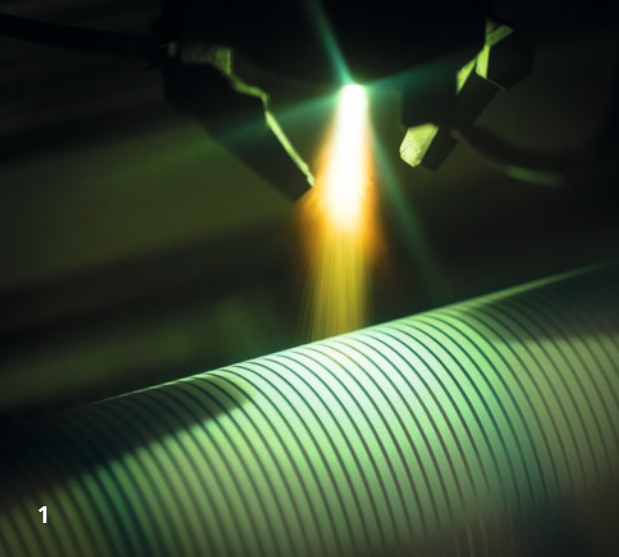
Dipl.-Chem. Hans-Jürgen Friedrich

Pflanzenschutz- und Arzneimittelrückstände im Grundwasser können die Trinkwasserbereitstellung erheblich beeinträchtigen und ggf. zu Einschränkungen in der Versorgung führen. Speziell in sandigen Böden werden solche Stoffe kaum zurückgehalten. Im Auftrag der mea Energieagentur Mecklenburg-Vorpommern GmbH untersuchten Forschende des Fraunhofer IKTS die Abtrennung des Herbizids Bentazon aus Brunnenwasser und erprobten dies im Pilotmaßstab. Der Schadstoff lag in einer Konzentration von ca. 400 ng/l im Tiefbrunnen eines Wasserwerks vor, sodass dieses Wasser nicht für die Wasserversorgung verwendet werden konnte. Vorversuche ergaben, dass die Verfahren elektrochemische Totaloxidation (eTO), Umkehrosmose (UO) und Adsorption an Aktivkohle zur Herbizid-Elimination am besten geeignet sind. Die eTO bietet dabei als einziges Verfahren die Möglichkeit, organische Schadstoffe direkt – d. h. ohne eine Vorbehandlung des Wassers – zu beseitigen, in dem sie zu CO₂ oxidiert werden. Die Umkehrosmose erforderte demgegenüber eine umfangreiche Vorkonditionierung des Wassers, was zu hohem Chemikalienverbrauch für Enteisung und Enthärtung sowie zu hohem Sekundärabfallaufkommen führt. Die Adsorption an Aktivkohle ist eine einfache, vielfach genutzte Technologie. Sie ist jedoch weitgehend unspezifisch und birgt das Risiko der Verkeimung und des Austrags hochbelasteter Partikel aus der Schüttung. Nachfolgend wurde im Wasserwerk eine modulare Pilotanlage in Containerbauweise errichtet und über mehr als 1000 h betrieben (Bild 1). Die Durchsätze lagen bei jeweils 30–60 l/h. Mit allen drei Verfahren konnte im Dauerbetrieb eine Verminderung der Schadstoffkonzentration auf den geforderten Zielwert < 100 ng/l erreicht werden. Die Graphik zeigt einen Preisvergleich auf Basis der Versuchsauswertung. In die Kostenbilanz gingen alle Kostenarten ein.

Demnach ist die Adsorption an Aktivkohle das preiswerteste Verfahren mit Kosten von 0,24–0,45 €/m³, jedoch mit vorge-nannten Einschränkungen. Zudem werden viele Spurenstoffe an Aktivkohle nur schlecht adsorbiert. Mittels eTO kann Bentazon zerstört werden zu nur geringfügig höheren Kosten. Durch Umkehrosmose kann der Schadstoff zwar auch entfernt werden – dies aber bei deutlich höheren Kosten von > 1,50 €/m³. Zudem liefert die UO kein Trinkwasser. Im Ergebnis der Untersuchungen haben eTO-Verfahren durchaus das Potenzial für einen breiteren Einsatz, da sie keineswegs per se mit hohen Kosten verbunden sind.

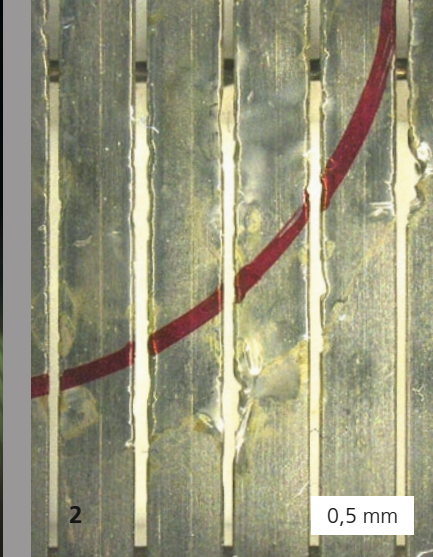


- 1 Anlage zur elektrochemischen Totaloxidation.
- 2 Umkehrosmose-Modul.



1

WASSER



2

0,5 mm



3

0,5 mm

THERMISCH GESPRITZTE EROSIONSSCHUTZSCHICHTEN FÜR WICKELDRAHTFILTER

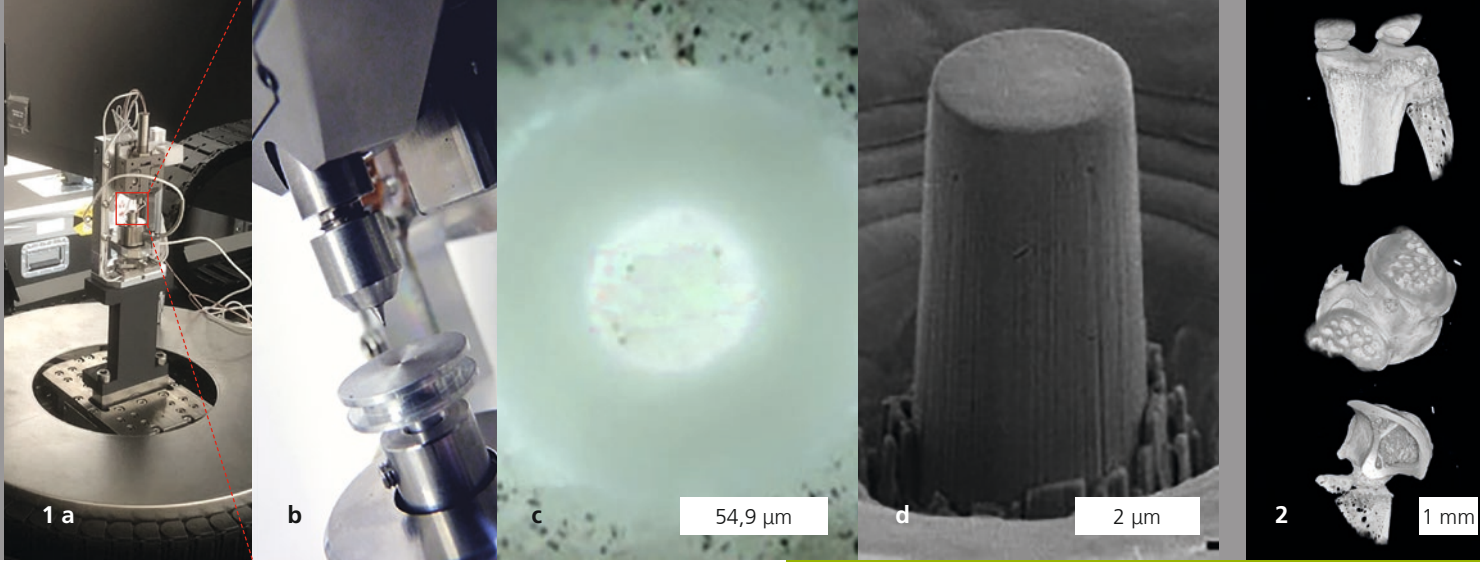
Dipl.-Ing. (FH) Bernd Gronde, Dipl.-Chem. Gundula Fischer

In der Geothermie, der Erdöl- und Erdgasförderung halten Wickeldraht-Sandfilter den Eintrag von mobilisierten Formationspartikeln in die Bohrlöcher zurück. Sie haben genau spezifizierte Öffnungen, um die Sandkontrolle zu gewährleisten. Bei Versagen des Filters kann es zum dauerhaften Eintrag von Feststoffen oder einer Abnahme der Produktion durch erhöhten Druckabfall im bohrlochnahen Bereich kommen. Während des Betriebs, der Installation und Workover-Maßnahmen können Erosion, Korrosion, Deformation und Verstopfungen zum Versagen des Filters führen. Besonders in der Anlaufphase kommt es zu starker Korrosion und zu Hot Spots, die den Filter zerstören können. Vor diesem Hintergrund beschäftigte sich das Fraunhofer IKTS im Rahmen eines ZIM-Kooperationsprojekts mit der Beschichtung von Wickeldrahtfiltern mit keramischen oder hartstoffbasierten Schutzschichten zur Optimierung der Strömungsbedingungen und zur Erhöhung der Lebensdauer der Filter. Unter Beibehaltung der definierten Spaltweite des Filters wurden Keramik- und Hartmetall-Schichtsysteme für Wickeldrahtfilter entwickelt, die diese an der Außenseite widerstandsfähiger gegen Erosion und Korrosion machen. Wickeldrahtfilter haben Durchmesser von ca. 40 bis 200 mm und bestehen aus Segmenten von 4 bis 6 m Länge. Anforderungen an die Beschichtungen sind neben hoher Verschleißfestigkeit eine hohe chemische Beständigkeit gegen organische Säuren und einem pH-Wert von 4 bis 8. Der Arbeitstemperaturbereich liegt zwischen -30 und +160 °C. Die Belastungen sind je nach Einsatzort und Förderrohstoff unterschiedlich. Die besonderen Herausforderungen waren das sehr genaue Spaltmaß und die spezielle Form des Profildrahts der Filter. Die Spaltweiten liegen im Bereich von 100 bis 500 µm ± 25 µm und müssen auch mit der Beschichtung garantiert werden.

Für die komplexe Beschichtung eines Wickeldrahtfilters waren mehrere Schritte notwendig. Zunächst wurde die Außenseite des Filters definiert vorbehandelt, um eine hohe mechanische Haftung der Schicht zu erreichen. Als Nächstes erfolgte das Auftragen einer sogenannten Haftschrift mittels thermischen Spritzens. Erst dann konnte die erosionsbeständige Funktionsschicht ebenfalls durch thermisches Spritzen aufgetragen werden. Im Projekt wurden 23 Beschichtungen auf Basis oxidkeramischer, nitridischer und karbidischer Materialien gespritzt und hinsichtlich Torsions- und Haftfestigkeit sowie Korrosion und Erosion untersucht und verglichen. Zur Erhöhung der Korrosionsresistenz wurde abschließend ein am IKTS entwickelter Siegler aufgetragen. Über die Auswahl des Sieglers lassen sich die Benetzungseigenschaften der Beschichtung beeinflussen. Die Entwicklung und Herstellung der Wickeldrahtfilter erfolgte durch den Industriepartner con-slot SCREENS GmbH. Beim Projektpartner TU Bergakademie Freiberg wurden die Proben in einem speziell dafür entwickelten Prüfstand unter anwendungsnahen Bedingungen hinsichtlich Korrosion und Erosion getestet und die chemische Beständigkeit untersucht. Nach erfolgreichem Abschluss der Untersuchungen befinden sich seit September 2020 erste Prototypen in einem Feldtest in einer Gasbohrung.

- 1 *Beschichtung eines Wickeldrahtfilters durch thermisches Spritzen.*
- 2 *Unbeschichteter Ausschnitt nach Erosionstest.*
- 3 *Beschichteter Ausschnitt nach Erosionstest, gleiche Testzeit wie Bild 2.*





MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

UNTERSUCHUNGEN ZUR OSTEOPOROSE-PRÄVENTION: ERC SYNERGY GRANT 4D+ nanoSCOPE

Prof. Silke Christiansen, Dipl.-Biol. Lasse Kling, Dr. George Sarau, Dr. Johannes Ast

Das Projekt »4D+ nanoSCOPE« soll unser Wissen über Osteoporose revolutionieren. Das auf sechs Jahre angelegte Verbundprojekt, welches von der Europäischen Union im Modul »Excellent Science – ERC-Synergy« gefördert wird, führt drei unterschiedliche Kompetenzen zusammen. Prof. Georg Schett, Leiter der Klinik 3 am Universitätsklinikum Erlangen, liefert die medizinische Fachkenntnis sowie das Probenmaterial. Prof. Andreas Maier, Lehrstuhl für Mustererkennung an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, bringt Methoden des maschinellen Lernens ein, um eine automatisierte und statistisch abgesicherte Interpretation von Messdaten zu ermöglichen. Prof. Silke Christiansen vom Fraunhofer IKTS am Standort Forchheim liefert eine umfassende Probenanalytik. Diese besteht aus skalensübergreifender Mikroskopie und Spektroskopie, um einen so nie dagewesenen analytischen Kontext zu erstellen. Das zeitabhängige Monitoring der Knochenumbildungsdynamik unter Belastung und Medikation stellt die vierte Dimension dar, die nur durch in-vivo Untersuchung (im Mausmodell) des Knochenumbaus erreicht werden kann. Hierfür ist eine Tomographie (Röntgenmikroskop XRM) mit höchster Auflösung und schneller Bildaufnahme nötig, die neue Hard- und Softwareentwicklungen am XRM erforderlich machen. Diese werden in enger Abstimmung mit der Firma Carl Zeiss durchgeführt. Knochen als skalensübergreifend komplexes und dynamisch sich veränderndes Material besitzen verschiedene Strukturelemente, wie z. B. die kompakte, äußere Knochenwand und eine weniger dichte Rahmentragwerksarchitektur im Knocheninnenraum. Beide Strukturen sind durchzogen von Poren- und Kanalnetzwerken, die für den Knochenumbau und die Versorgung zuständig sind, gleichzeitig aber auch die mechanische Festigkeit beeinflussen.

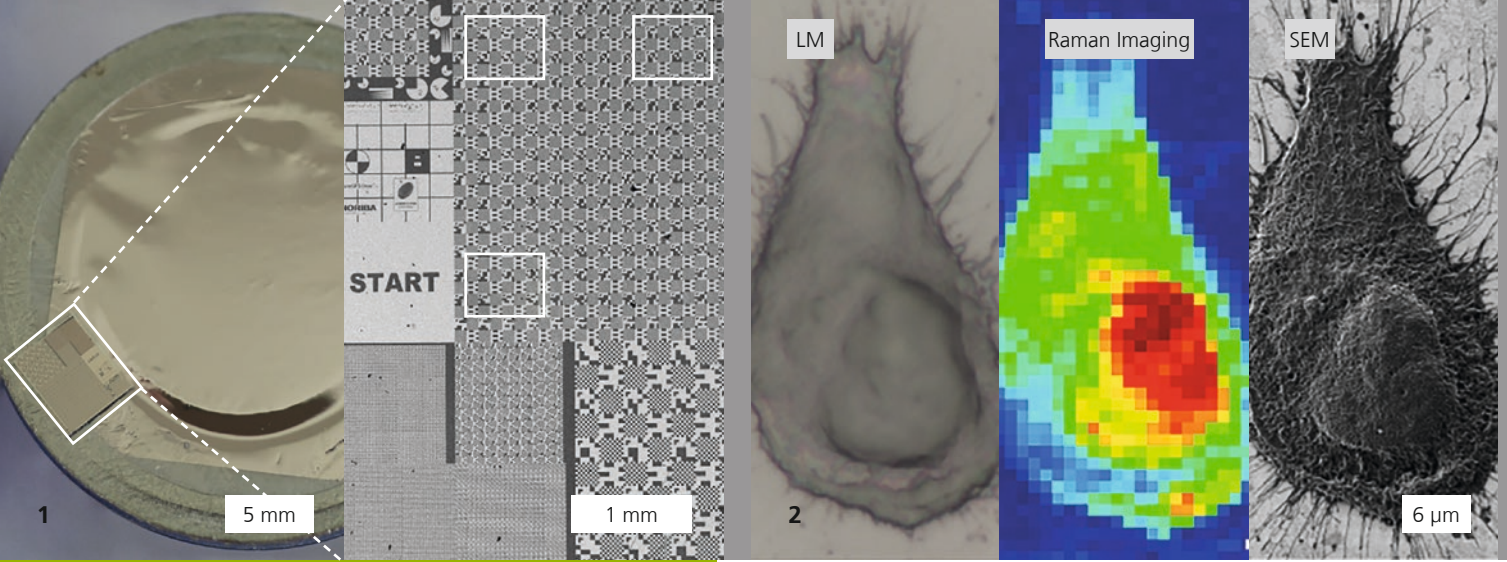
Biomechanische Testverfahren auf den entsprechenden Längenskalen (Nano- bis Mesoskala) bieten die Möglichkeit, deren mechanische Eigenschaften wie Zug- und Druckfestigkeit, Ermüdungsverhalten und Bruchzähigkeit präzise in den unterschiedlichen Evolutionsstufen der Osteoporose zu analysieren und mit der Knochenmikrostruktur zu verknüpfen. Gemeinsam mit wichtigen weiteren Analysen wie Mikro-Ramanspektrometrie, Laser Scanning Mikroskopie und Light Sheet Fluoreszenzmikroskopie werden die Ergebnisse in einen korrelativ-analytischen Kontext eingebettet. So können die Ergebnisse aus den einzelnen Verfahren wie Teile eines Puzzles zu einem großen Gesamtbild zusammengesetzt werden. Verfahren des maschinellen Lernens ermöglichen das computergestützte Auffinden von wiederkehrenden Mustern in Bilddaten. Diese können mit anderen diagnostischen Befunden korreliert werden und zudem ist eine automatisierte Bildauswertung mit hohem Durchsatz möglich.

Kooperations- und Leistungsangebot

- Kontextmikroskopie und Spektroskopie-Workflows
- Entwicklung anwendungsspezifischer Analytik

1 a–d *In-situ-Mechanik-Aufbau im XRM zur Untersuchung der Knochenstruktur.*
2 *3D-Tomographie-Bilder eines Mäusekniees.*





MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

nanoGPS[®] ALS BASIS-TECHNOLOGIE FÜR KORRELATIVE NANOANALYTIK

Prof. Silke Christiansen, Dr. George Sarau, Dipl.-Biol. Lasse Kling, Dr. Johannes Ast, Dr. Annegret Potthoff, Dr. Mathias Herrmann

Nano-Global Positioning System (nanoGPS) für korrelative Bildgebung und analytische Datenerfassung

Obwohl die Exposition gegenüber Mikro- und Nanokunststoffpartikeln (MNPs), die sich in der Nahrung und Luft befinden, allgegenwärtig ist, sind die möglichen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, insbesondere auf innere Organe, weitgehend unbekannt. Eine genaue Risikoabschätzung erfordert die Kenntnis der Konzentration und des Agglomerationszustands der MNPs in der Umwelt und in den physiologischen Medien sowie den Nachweis der MNPs mit Hilfe von Analysetechniken. Für erstere Fragestellung gibt es im IKTS langjährige Erfahrungen und Messmethoden, für die zweite bietet sich die neu entwickelte Relokalisierungstechnologie nanoGPS[®] (Horiba Scientific) an. Sie beruht auf einer Hardware/Software-Kombination und erleichtert den Einsatz eines korrelativen Mikroskopie- und Spektroskopie-Workflows zur Untersuchung von physikalischen und chemischen Eigenschaften an ein und demselben Objekt im Nanobereich. Der nanoGPS[®]-Tag dient als Positiongeber, der fest mit der zu untersuchenden Probe verbunden ist und mit dieser zwischen verschiedenen Analysegeräten hin- und herbewegt wird (Bild 1). Er enthält lithografische Muster, die mit unterschiedlichen Auflösungen abgebildet werden. Eine Software identifiziert diese Muster für eine bestimmte Vergrößerung, und erlaubt so die Bestimmung von Probenkoordinaten in den unterschiedlichen Geräten.

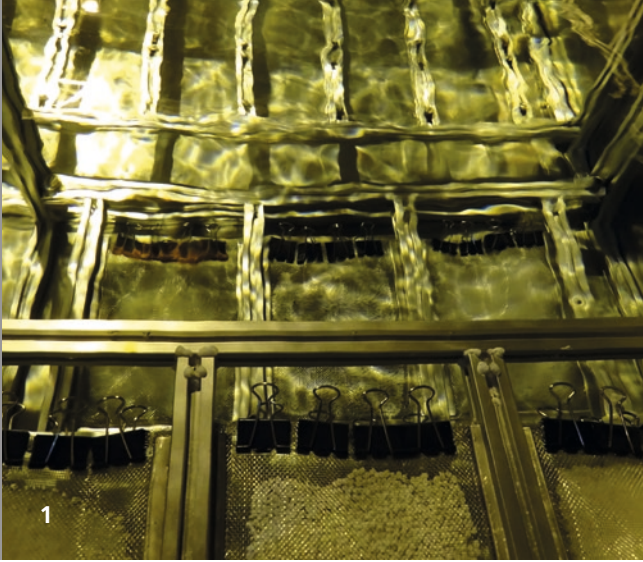
Die Nutzung der nanoGPS[®]-Technologie zur Kombination von Analyse- und Bildgebungsmodalitäten führt bei der Untersuchung von MNPs in Zellen (hier: Podozyten, die als Filterbarriere in der Niere wirken) und Geweben zu einem umfassenden

Verständnis der Vorgänge in den Zellen in Abhängigkeit der Kunststoffbelastung. Um die Akkumulation von MNPs über die Lebensdauer und die Verschlechterung der Gesundheit der Zellen zu demonstrieren, wurden menschliche Nierenzellen (Bild 2) ausgewählt. Die Mikro-Raman-Spektroskopie wird eingesetzt, um die verschiedenen Kunststoffarten zu charakterisieren. Der Zellschaden bei MNP-Exposition wird aus der Bildgebung mit Hilfe von Licht- und Elektronenmikroskopie abgeleitet. Durch die Überlappung dieser Daten ist es möglich, eine Überschätzung der Partikelgröße und eine Unterschätzung der Partikelanzahl für Cluster und einzelne MNPs zu vermeiden und Raman-Messsignale von MNPs zu erhalten. Nach der Inkubation von Podozyten mit vier verschiedenen MNP-Typen zeigten Zellviabilitätstests, die den Anteil lebender Zellen bestimmen, dass die Abnahme der Zellviabilität bei verschiedenen Polymertypen bei unterschiedlichen Konzentrationen einsetzt.

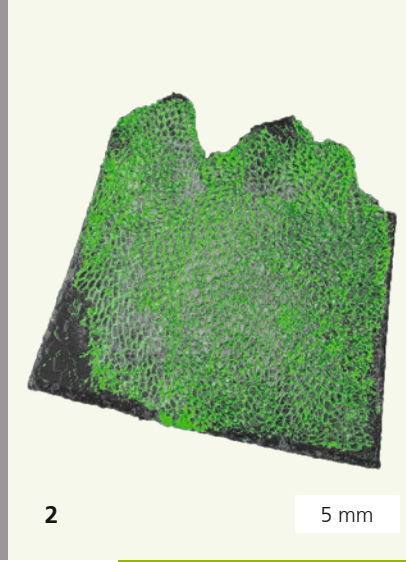
Kooperations und Leistungsangebot

- nanoGPS[®]-basierte korrelative Mikroskopie/Spektroskopie
- Entwicklung anwendungsspezifischer Kontext-Analytik
- Charakterisierung der MNPs in physiologischen Medien
- Verwitterung von MNPs unter marinen Bedingungen

- 1 Die nanoGPS[®]-Technologie ermöglicht korrelative Workflows in unterschiedlichen Instrumenten.
- 2 Korrelative Bildgebung desselben Kontroll-Podozyten.



1



2

5 mm



3

MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

MATERIALVERWITTERUNG UNTER REALEN BEDINGUNGEN IN MARINER UMGEBUNG

Dr. Annegret Potthoff, Dipl.-Ing. Johanna Sonnenberg

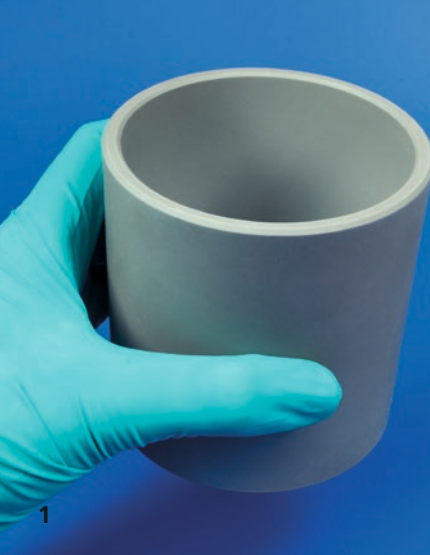
Keramische Komponenten

Antifouling-Beschichtungen, die in Offshore-Windkraftanlagen den Bewuchs durch marine Organismen reduzieren, Korrosionsschutzschichten für Schiffsrümpfe, transparente Keramiken für Sensoren im Meer – die Vorteile keramischer Komponenten kommen unter den harschen Bedingungen in mariner Umgebung besonders gut zum Tragen. Die Entwicklung solcher Materialien muss nicht nur von Funktionstests, sondern auch von Langlebigkeitsstudien unter Anwendungsbedingungen begleitet werden. Verfügbare Test-Setups im Labor, wie z. B. der Salzsprühtest bilden jedoch immer nur einen Teil der realen Exposition ab. In der Realität sind die Bedingungen ungleich komplexer: Im Wasser gelöst vorliegende Materialien bewirken eine chemische Interaktion, während abrasiv wirkende Partikel wie Sand einen mechanischen Abtrag verursachen. Nicht zuletzt können sich in mariner Umgebung vorhandene Organismen anlagern und Biofouling verursachen. Mit dem Ziel, zukünftig auch unter realen Bedingungen Tests durchführen zu können, beteiligt sich das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit drei weiteren Fraunhofer-Instituten am Aufbau der Forschergruppe »Smart Ocean Technologies« (SOT) in Rostock. Die Charakterisierung von Bauteilen unterschiedlichster Geometrie unter realen Bedingungen ist vom Labor über die Auslagerung in permanent durchströmten und überwachten Mesokosmen (Bild 1) bis zum Ausbringen in einem künstlichen Riff in der Ostsee (Bild 3) realisierbar. Die Komponenten und deren Beschichtung werden einer detaillierten Funktions- und Schadensfallanalyse unterzogen. Ebenso wird das Auslaugen/Leachen von Stoffen betrachtet und damit die Grundlage für eine ökotoxikologische Risikobewertung der Komponenten gelegt.

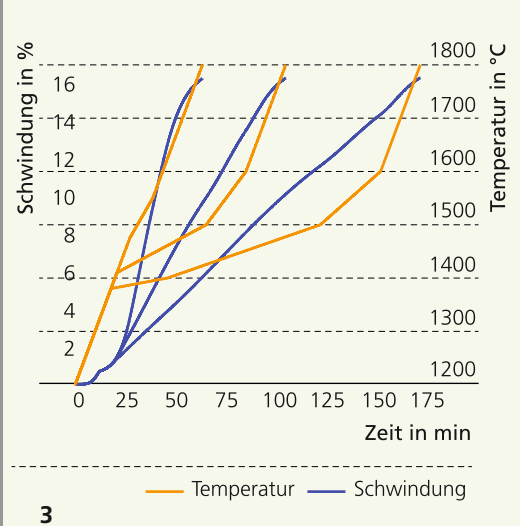
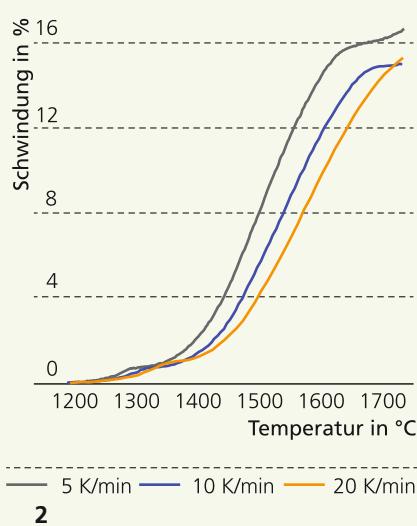
Vom Kunststoff zur Mikroplastik

Während keramische Materialien applikationsbezogen bewusst in die Umwelt eingebracht werden, gelangen Kunststoffe ungewollt ins Meer und können dort erhebliche Schäden verursachen. Verwitterungsprozesse und Fragmentierung führen zur Bildung von Mikroplastik; Additive können ausgetragen werden. Die Entwicklung neuer (auch biodegradierbarer) Kunststoffe sowie die Verwendung wirksamerer Additive erfordern vor dem Inverkehrbringen eine effiziente Testung im Hinblick auf umweltrelevante Nebenwirkungen bei unsachgemäßem Gebrauch. Die erforderliche Analytik wird im SOT testspezifisch angepasst und berücksichtigt sowohl die Oberflächeneigenschaften des Bauteils/Kunststoffs (Mikroskopie, chemische Zusammensetzung, funktionelle Gruppen, Ladung etc.) als auch die Eigenschaften des umgebenden Wassers (Ionenkonzentrationen, DOC etc.). Diese ganzheitliche Betrachtung bereits bei der Entwicklung neuer Materialien ist ein Mehrwert, der für die Anwender aus der Arbeit im SOT resultiert.

- 1 Mesokosmos mit flexibler Innenausstattung.
- 2 CT-Aufnahme von Biofilm auf Plastik.
- 3 Blick auf die Forschungsplattform im künstlichen Riff Nienhagen (Quelle: Thomas Mohr).



1



MATERIAL- UND PROZESSANALYSE

OPTIMIERUNG VON SINTERPROZESSEN

Dr. Tim Gestrich, Dr. Arno Kaiser, Dr. Eveline Zschippang, Dipl.-Ing. Jan Räthel, Dr. Mathias Hermann

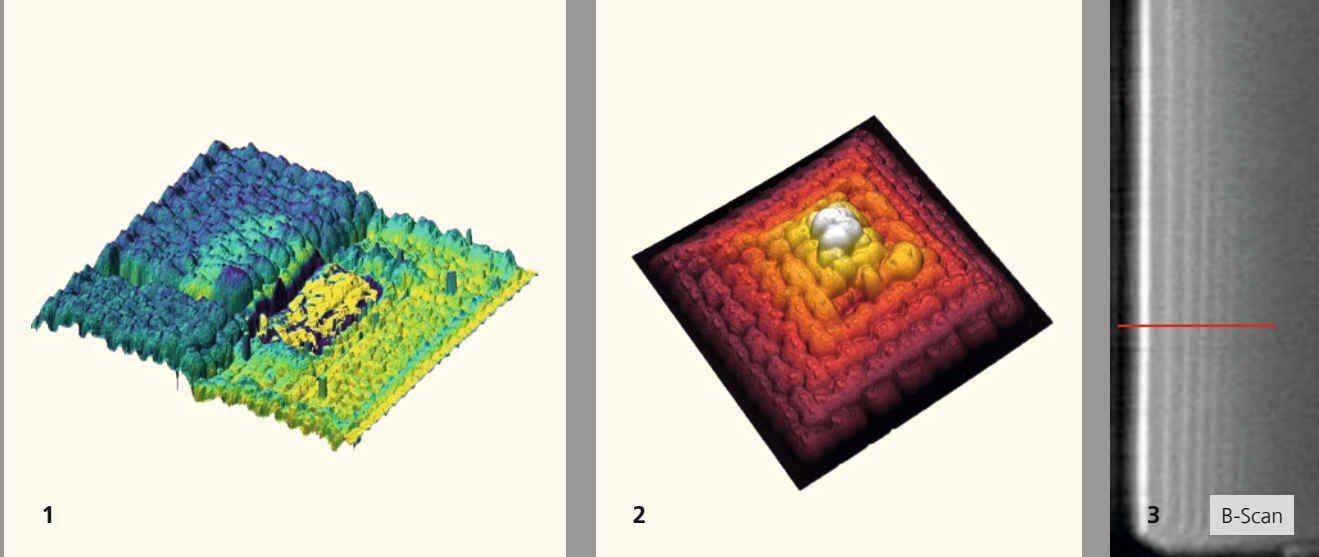
Das Fraunhofer IKTS nutzt zur Optimierung von Sinterprozessen eine Vielzahl instrumentierter Öfen im Technikumsmaßstab sowie thermoanalytische Methoden im Labormaßstab. Dafür werden Eigenschaftsänderungen der eingesetzten Materialien in Abhängigkeit von Temperatur, Zeit, Atmosphäre und anderen Prozessparametern (Bauteilgröße, Ofenbelegung, u. a.) analysiert sowie der Einfluss dieser Größen auf die Produkteigenschaften bestimmt. Insbesondere für die Schritte Entbindern, Ausgasen und Sintern ermöglichen diese Ergebnisse die Steuerung und Optimierung der technischen Prozesse im Produktionsmaßstab.

Bei der Herstellung von Keramik ist die genaue Kenntnis des Schwindungsverhaltens beim Sintern und damit auch die Dichteänderung von besonderem Interesse. Thermo-dilatometrische Untersuchungen im Technikums- und Labormaßstab liefern beispielsweise Informationen über den Beginn und das Ende des Sinterns – diese helfen den Energieverbrauch und die Kosten von Sinterprozessen zu optimieren. Andere Methoden werden genutzt, um die Kinetik des Sinterns zu beschreiben oder die Längenänderung für beliebige Temperatur-Zeit-Verläufe zu berechnen. Hierdurch lassen sich Temperatur-Zeit-Profile ohne aufwändige Experimente im Labor- wie auch im Technikumsmaßstab beurteilen. Exemplarisch wird dies an der Charakterisierung, Modellierung und Optimierung des Sinterverhaltens eines Siliciumnitrid Ready-to-Press Granulates (Si_3N_4 RTP) der Industriekeramik Hochrhein GmbH auf Basis des Si_3N_4 -Pulvers Silzot® HQ der AlzChem Trostberg GmbH demonstriert. Dazu wurde das Längenänderungsverhalten von entbinderten Grünkörpern im Prozessdilatometer eines Gasdrucksinterofens bei drei verschiedenen Aufheizraten bestimmt.

Das Dilatometer bestand aus mit Bornitrit (BN) beschichtetem Graphit. Bild 2 zeigt die Ergebnisse. Um die minimale Sinterzeit bis zum Erreichen geschlossener Porosität für verschiedene Produktionsszenarien (wie z. B. dünnwandige oder dickwandige Produkte, dichte oder lockere Ofenbelegung, etc.) zu ermitteln, wurden die Schwindungskurven mit verschiedenen Methoden ausgewertet (Master Sintering Curves und formale Thermokinetik). Die Modellierung wurde genutzt, um optimierte Sinterregime zu designen. Ein Ansatz hierfür ist die Berechnung von vereinfachten Temperatur-Zeit-Profilen für konstante Sintergeschwindigkeiten (RCS: Ratenkontrolliertes Sintern). Solche Profile (Bild 3) zeichnen sich durch eine zeitsparende Prozessführung aus. Risse und ähnliche Defekte treten seltener auf, da Spannungsspitzen im Bauteil aufgrund gleichmäßiger Sintergeschwindigkeiten vermieden werden.



- 1 Si_3N_4 -Mahlbecher.
- 2 Si_3N_4 -Schwindungskurven.
- 3 Berechnete Temperatur-Zeit-Profile und Schwindung für drei verschiedene annähernd konstante Sintergeschwindigkeiten.



OCT FÜR DIE CHARAKTERISIERUNG VON 3D-GEDRUCKTEN KERAMIKOBJEKTEN

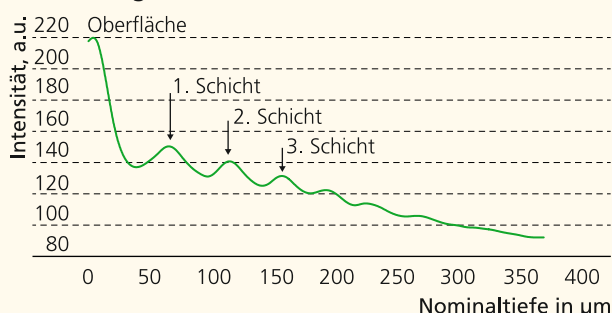
Dipl.-Ing. Luise Schreiber, M. Sc. Conner Phillips, Dipl.-Ing. Andreas Lehmann, Dr. Jörg Opitz, Dr. Malgorzata Kopycinska-Müller

Mit der additiven Fertigung (3D-Druck) von Komponenten aus Hochleistungskeramik lassen sich hochspezialisierte Strukturen erzeugen. Deren spezifische Geometrie und präzise abgestimmten mechanischen, thermischen sowie elektrischen Eigenschaften erfordern hohe Qualitätsstandards bereits während der Herstellung. Dies kann durch Inline-Überwachungsmethoden, wie die optische Kohärenztomographie (OCT) realisiert werden.

Bei der zerstörungsfreien OCT beleuchtet ein Laserstrahl einen kleinen Bereich der Probenoberfläche. Dabei wird ein Teil des Strahls reflektiert, während der andere Teil in die Probe eindringt und an Einschlüssen, Delaminationen, Poren und anderen Inhomogenitäten zurückgestreut wird. Diese lokalen Variationen verändern den Weg des Laserlichts. Das rückgestreute Licht interferiert mit einem Referenzlichtstrahl, wodurch Informationen über das Probenvolumen gewonnen werden. Dieses komplexe Beugungsmuster wird mit der Fast-Fourier-Transformation (FFT) analysiert, um Variationen der Lichtintensität in Abhängigkeit von der Probentiefe zu erhalten. Das wird als A-Bild bezeichnet und in einer Linie über die Probenoberfläche aufgenommen. Daraus wird ein Querschnitt (B-Bild) der optischen Eigenschaften der Probe errechnet. Werden aufeinanderfolgende B-Bilder aufgenommen, erzeugt dies ein Tomogramm mit volumenbezogenen Informationen.

fläche und Materialinhomogenitäten können so detektiert und der 3D-Druckprozess entsprechend optimiert werden. In Bild 2 ist die Oberflächenbeschaffenheit einer gedruckten Pyramide dargestellt. Die beiden abgebildeten Strukturen wurden mittels Multi Material Jetting erzeugt. Das B-Bild (Bild 3) zeigt mehrere Schichten einer ZrO_2 -Probe, die im Lithografieverfahren hergestellt wurde. An der markierten Stelle wurde ein A-Bild extrahiert (Graphik unten). Die Positionen der örtlichen Maxima identifizieren eindeutig die Schichtgrenzen. Somit können Variationen der Schichtdicke identifiziert werden – ein perfekter Indikator für die Stabilität des Druckprozesses. Diese Ergebnisse entstanden innerhalb des Innovations- und Transferzentrums »Smart Production and Materials« und wurden aus Fördermitteln des Landes Sachsen finanziert.

Auswertung der Schichtdicke – A-Scan

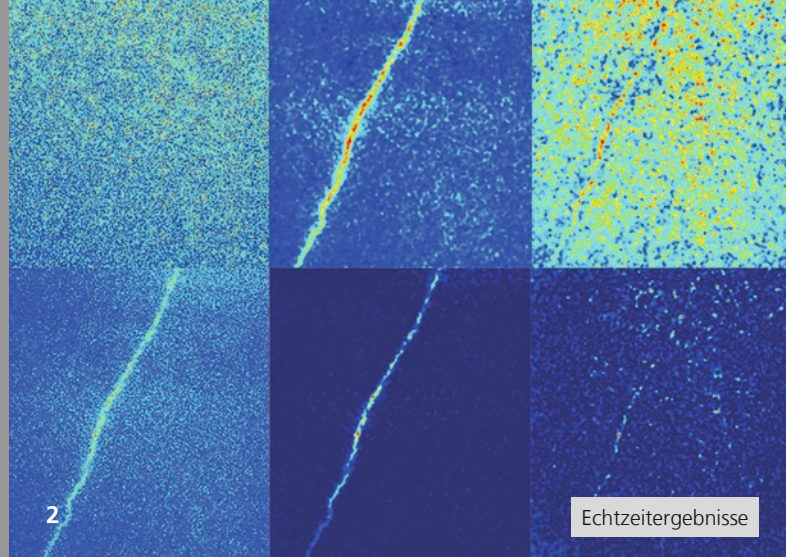
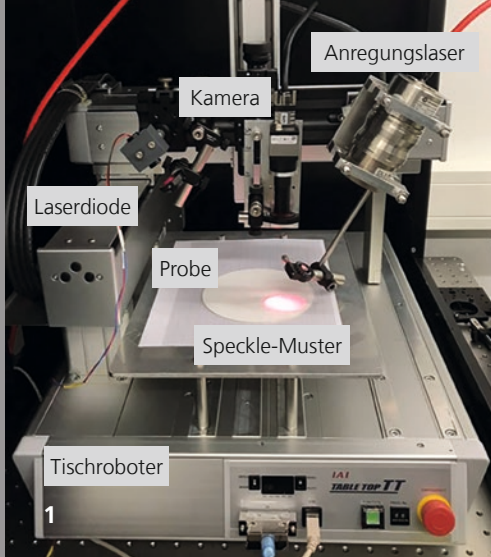


Defekte und Materialschwankungen im Objekt erkennen

Bild 1 zeigt Variationen von Geometrie- und Materialänderung, die aus einem Tomogramm einer Probe aus ZrO_2 /Stützmaterial extrahiert wurden. Die Abmaße der Struktur können mit den Druckparametern verglichen werden. Fehlstellen unter der Ober-



- 1 Topographie- und Materialvariationen in gedruckter Teststruktur.
- 2 Topographische Rekonstruktion einer gedruckten Pyramide.
- 3 B-Scan einer ZrO_2 -Probe.



ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG UND ÜBERWACHUNG

OPTISCHE INLINE-ÜBERWACHUNG DER FERTIGUNG VON HOCHLEISTUNGSKERAMIKEN

Dr. Beatrice Bendjus, Lili Chen, Dr. Ulana Cikalova, Dipl.-Chem. Gundula Fischer, Birgit Köhler

Für die Sicherstellung der Qualität von Hochleistungskeramiken ist deren Charakterisierung essenziell. Aufgrund der Komplexität der Herstellungsprozesse treten trotz optimierter Fertigungstechnologien noch viele Fehler auf. Die Erkennung und Beseitigung von Rissen, Ausbrüchen oder Einschlüssen ist sehr zeit- und kostenintensiv. Bei der häufig angewandten Sichtprüfung ist die Erkennbarkeit der Fehler subjektiv und größenabhängig. Andere etablierte zerstörungsfreie Prüfmethode sind meist aufwendig, da die Proben einzeln gescannt werden und die Prüfgeräte nur schlecht oder gar nicht als Inline-Monitoring in den Produktionsprozess implementierbar sind.

Schnelle, inlinfähige Keramikprüfung mit LSP

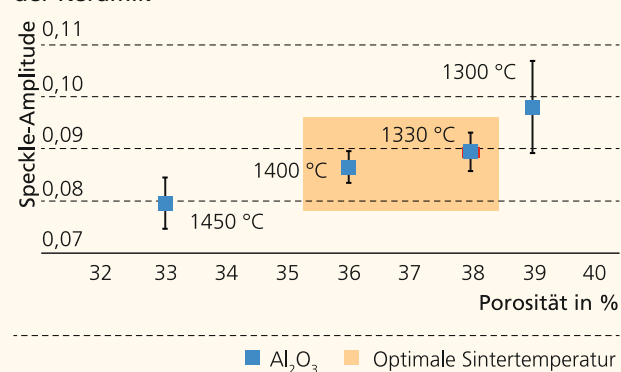
Die zeitaufgelöste Laser-Speckle-Photometrie (LSP) ist ein junges Verfahren, das sich für die optische Defektkontrolle eignet, da Porosität und Oberflächendefekte verschiedener Art und Größe inline ermittelt werden können. Im Vergleich zu konkurrierenden Messmethoden zeichnet sich die LSP durch einen einfachen, robusten Aufbau und geringe Kosten aus. Das Verfahren basiert auf der Auswertung der zeitlichen Veränderung von Speckle-Mustern. Dafür wird eine optisch raue Oberfläche mit einem Laserstrahl beleuchtet. Durch Reflexion an der Oberfläche entstehen Interferenzmuster – die Speckles. Eine kurze thermische Anregung führt zu Veränderungen der Speckle-Muster, die mit einer Kamera aufgenommen werden.

Demonstrator zeigt Eignung für Keramikprüfung

Im Rahmen des IGF-Vorhabens »OptiKer« wurde ein auf der LSP basierendes Konzept für die Qualitätsüberwachung von

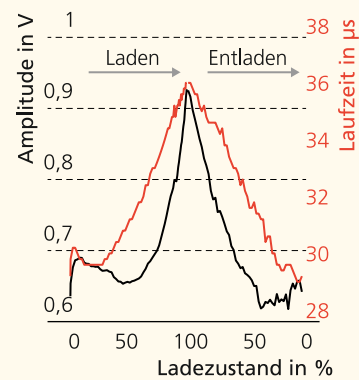
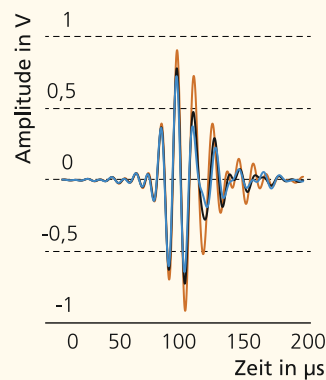
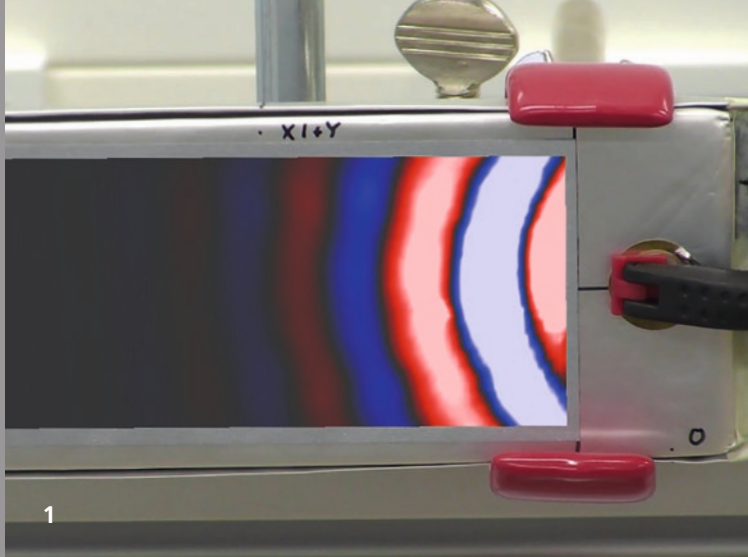
keramischen Werkstoffen entwickelt. In einem ersten Schritt wurden Proben in Form von dichten Al_2O_3 -Bauteilen (z. B. Natrium- β -Aluminat) sowie poröse oxidische, silikatische und nichtoxidische Keramiken hergestellt und charakterisiert. Parallel entstand ein robotergeführter Demonstrator. Dieser bestimmt die Porosität und detektiert Defekte von minimal 70 μm an ungesinterter und gesinterter Keramik. Durch die Änderung der Speckle-Amplitude können zudem Porositätsabweichungen in gesinterter Keramik nachgewiesen werden. Die Mess- und Auswertzeit für eine Flachprobe mit $\varnothing 30 mm$ beträgt vier Minuten und kann durch Nutzung leistungsstarker Rechen-technik noch deutlich verkürzt werden.

Abhängigkeit der Speckle-Amplitude von der Porosität der Keramik



- 1 LSP-Demonstrator zur Erkennung von Defekten und Porosität von Keramik.
- 2 Benutzeroberfläche des LSP-Demonstrators.





— SoC 50 % — SoC 80 %
— SoC 100 %

ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG UND ÜBERWACHUNG

LADEZUSTANDSMONITORING VON LITHIUM-IONEN-BATTERIEN MIT GEFÜHRTEN WELLEN

Dipl.-Ing. Tobias Gaul, Dr. Kilian Tschöke, M. Eng. Konrad Chwelatiuk, Dr. Lars Schubert

Lithium-Ionen-Batterien sind heute weit verbreitet. Ihre hohe verfügbare Leistung und Energiedichte machen sie neben Anwendungen in der Unterhaltungselektronik auch im rasch wachsenden Bereich der Elektromobilität interessant. Im Betrieb ist die Verfügbarkeit dieser Leistung über die gesamte Lebensdauer entscheidend. Aus dem komplexen physikalisch-chemischen Batterieaufbau resultiert eine Degradation der verwendeten Materialien. Ursache dafür sind verschiedene Prozesse, wie der Verlust von frei wandernden Lithium-Ionen und die Elektrodenalterung. Dies führt im Laufe der Zeit und über mehrere Ladezyklen hinweg zur Abnahme von Kapazität und Spitzenleistung und somit der Effizienz. Das verkürzt die Lebensdauer der Lithium-Ionen-Batterie erheblich.

Innovative Lösung für die Batterieprüfung

Derzeit erfolgt die Überwachung des gesamten Batteriesystems durch das integrierte Batterie-Management-System (BMS). Damit wird die Batterie über Messgrößen wie Temperatur, Spannung und Stromstärke auf Modulebene kontrolliert und gesteuert. Eine Überwachung von Batterien bis auf Zellebene erfolgt nur in Hochleistungsanwendungen mit der elektrochemischen Impedanzspektroskopie (EIS). Dabei erfordert die EIS zugängliche elektrische Kontaktpunkte, was sich an geschlossenen, betriebsfertigen Batteriesystemen nur bedingt umsetzen lässt.

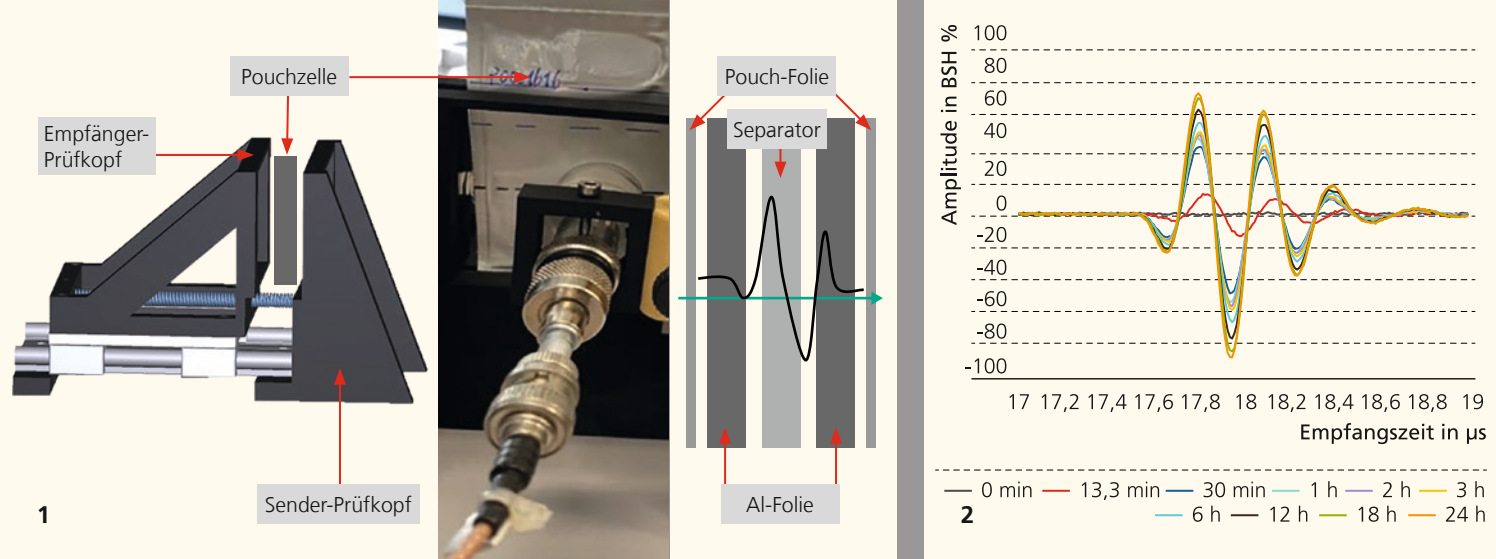
Mit dem Einsatz von geführten Ultraschallwellen ermöglicht das Fraunhofer IKTS eine Überwachung auf Zellebene, die nicht auf der Messung der elektrischen Größen der Batterie selbst beruht. Piezoelektrische Wandler regen geführte Wellen

auf der Oberfläche der Batterie an und können diese zugleich auch empfangen. Die Ultraschallwellen werden durch die Änderung des Elastizitätsmoduls und der Dichte beim Laden/Entladen beeinflusst – dies lässt sich messen. Dafür wurde das komplexe Ausbreitungsverhalten mit Laservibrometrie untersucht (Bild 1). Es konnte gezeigt werden, dass die Eigenschaften der Wellen (Amplitude, Phase) in einem direkten Zusammenhang mit dem Ladezustand (engl. state of charge, SOC) stehen (Bild 2). So ist eine Messung des Ladezustands möglich, die unabhängig von elektrischen Kenngrößen ist und keine Zugänglichkeit elektrischer Kontakte erfordert.

Nicht nur Ladezustandsüberwachung

Um den Austausch von Batterien besser planen zu können, ist neben dem Ladezustand auch die Restlebensdauer von Bedeutung. Ein Kapazitätsverlust wirkt sich direkt auf die gemessenen Signalparameter der angeregten Wellen aus. Damit wird die Degradation der Batterie mess- und vorhersagbar. So können Batteriesysteme zukünftig frühzeitig getauscht und die Weiternutzung in Second-Use-Anwendungen abhängig vom tatsächlichen Batteriezustand realisiert werden.

- 1 Mit einem Laservibrometer gemessene Wellenausbreitung auf der Oberfläche einer Batterie.
- 2 Verlauf von Signalparametern über einen Lade-/Entladezyklus einer Lithium-Ionen-Batterie.



ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG UND ÜBERWACHUNG

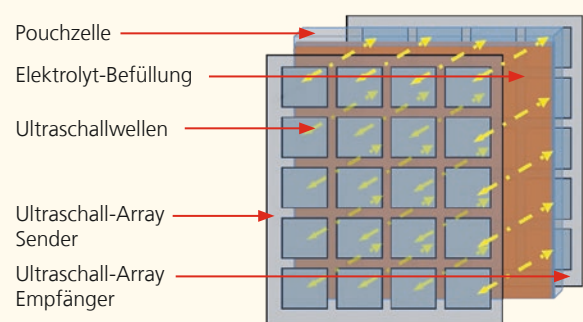
OPTIMIERUNG DER BEFÜLLUNG VON LITHIUM- IONEN-BATTERIEZELLEN MIT INLINE-METHODEN

Dipl.-Ing. Mingzhe Han, Dr. Sebastian Reuber, Dr. Thomas Herzog, Prof. Dr. Henning Heuer

Die Elektrolytbefüllung ist ein für die Produktqualität maßgeblicher Prozessschritt bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Batteriezellen (LIB), der die Lebensdauer und Performance der Zelle direkt beeinflusst. Da es bisher keine Inline-Messmethode gibt, werden in der Industrie derzeit empirische Untersuchungen an Zellen durchgeführt. Meistens kommen dabei destruktive Methoden in Verbindung mit Zellöffnungen zum Einsatz. Um die Herstellungskosten zu reduzieren, bedarf es einer zerstörungsfreien Methode, mit der der Befüll- und Benetzungsvorgang während der Zellfertigung in-situ visualisiert werden kann. Das am Fraunhofer IKTS entwickelte Ultraschallsystem (Bild 1) wird zur Überwachung des Benetzungsvorgangs von Lithium-Ionen-Batteriezellen eingesetzt. Die Prüfköpfe werden dafür an der Vorder- und Rückseite der Zelle fixiert. Die Messung erfolgt mittels Transmission des Ultraschalls durch die Zelle während der Befüllung mit Elektrolyt. Hier zeigt sich eine sichtbare Änderung der Empfangssignale (Bild 2) bei der Befüllung und Benetzung: Der Ausbreitungsweg und die Energie der Schallwellen werden durch das Durchtränken des Zellkörpers mit Elektrolyten im Porenvolumen stark beeinflusst. Dies lässt sich durch die Vergrößerung der Amplitude des Empfangssignals nachweisen. Die benetzte Zelle zeigt eine geringere Dämpfung der Schallwellen als eine trockene Zelle.

Lithium-Ionen-Batteriezelle kann somit mittels Ultraschall zerstörungsfrei ermittelt werden. Durch Integration von Sensor-Arrays soll diese inline-fähige Methode zu einem Messsystem weiterentwickelt werden. Dieses wird es ermöglichen, den Benetzungsvorgang räumlich aufzulösen und so die vollständige Benetzung der Batterieelektroden und des Separators sicherzustellen, mit dem Ziel, den in der Industrie etablierten Sicherheitszuschlag für die Befüllzeit zu verkürzen.

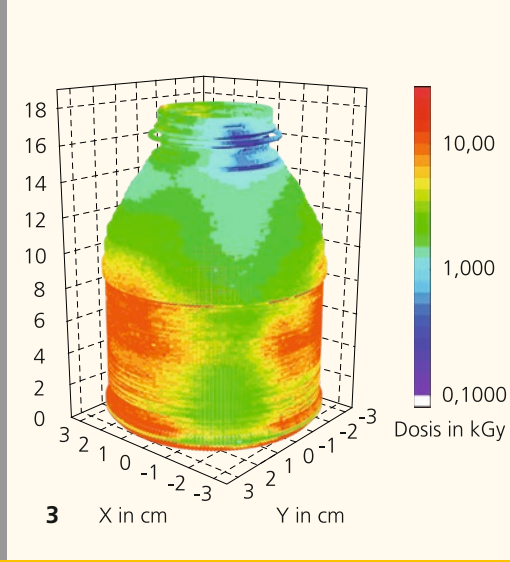
Konzept des adaptiven Sensor-Arrays zur Benetzungsprüfung



Aus dem Signalverlauf der Ultraschallempfänger können weitere Details über den Befüllprozess gewonnen werden. So verläuft die Änderung des Empfangssignals in zwei Phasen: Zunächst nimmt die Signalamplitude schnell zu – dies entspricht der makroskopischen Benetzung der Zelle. Die anschließende verlangsamte Signaländerung wird auf die mikroskopische Benetzung zurückgeführt. Das unterschiedliche Befüllverhalten einer



- 1 *Ultraschallsystem zur Überwachung des Befüllprozesses.*
- 2 *Empfangssignale aus der Ultraschallmessung während des Befüllprozesses.*



ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG UND ÜBERWACHUNG

MULTIDIMENSIONALE DOSIMETRIE ZUR PROZESSKONTROLLE IN DER ELEKTRONENBESTRAHLUNG

Dr. Christiane Schuster, Dr. Julia Katzmann

Die Elektronenbestrahlung wird in vielen gesundheits- und sicherheitsrelevanten Bereichen eingesetzt, z. B. bei der Sterilisation von Oberflächen, der Impfstoffherstellung oder der Definition von Materialeigenschaften in der Strahlungsverarbeitung. Mit der Dosimetrie, also der Messung der absorbierten Strahlungsdosis, kann der Bestrahlungsprozess kontrolliert und seine Qualität gesichert werden. Dosimeter basieren auf Polymerfolien oder Tabletten, die als Träger strahlungssensitiver Materialien dienen. Diese werden in Laborgeräten ausgewertet. Allerdings lässt sich so weder die Dosis auf komplexen Produktoberflächen (3D), noch punktuell (1D), noch für Dosistiefenprofile (2D) innerhalb eines Produkts erfassen. Zudem können solche Dosimeter nicht zur In-line-Prozesskontrolle eingesetzt werden.

Dosimetrie in 1D, 2D und 3D

Um diese Überwachungslücke zu schließen, wurde unter Leitung des Fraunhofer IKTS im Eurostars-Projekt »READ« ein multidimensional einsetzbares Dosimetriesystem auf Basis eines strahlungssensitiven keramischen Leuchtstoffs entwickelt. Dieser zeigt bei gepulster nahinfraroter Anregung eine Lumineszenz, deren Abklingzeit von der Dosis einer applizierten Elektronenbestrahlung abhängt. Die optische Abfrage dieser Lumineszenz-Abklingzeit ermöglicht so den Rückschluss auf die dort eingetragene Strahlungsdosis im Bereich von 0,1 bis 30 kGy.

Der keramische Leuchtstoff liegt als Pulver vor, was verschiedene Ein- und Auftragsverfahren zulässt: Die μm -großen Partikel können als ultradünnes Dosimeter aufgetragen oder in ein Material eingebettet werden und somit die Dosisinformation im Inneren eines Produkts, an jedem Ort eines Partikels, entlang

einer Linie (z. B. Dosistiefenprofil oder Oberflächendosis) oder in einer Querschnittsfläche zugänglich machen.

Neue Anwendungsfelder

Interessant ist die Herstellung dosimetrisch aktiver Produktzwillinge aus Polymeren (Bild 1). Unter Erhaltung des originalen Strahlungseindringungsvermögens wird so erstmals die Dosimetrie an Schüttgütern wie Saaten möglich. Die Leuchtstoffpartikel lassen sich auch an Fasern chemisch anbinden. Werden diese zu medizinischen Zellträgern verwoben, ist deren Sterilisation kontrollierbar. In Tinten oder Lacken formuliertes Leuchtstoffpulver kann verdruckt werden. Flächen, die vor der Bestrahlung beschichtet werden (Bild 2), erlauben nach der Elektronenbestrahlung die Erstellung von 2D- oder 3D-Dosiskarten (Bild 3).

Der Anwender erhält jeweils Testprodukte, die dem Original in Geometrie und Eigenschaften gleichen, aber dosimetrisch aktiv sind. Sie werden während der Installationsprüfung von Elektronenbestrahlungsanlagen, der Einrichtung neuer Bestrahlungsprozesse oder der Routine-Prozesskontrolle bestrahlt, automatisiert inline ausgelesen und liefern eine bisher unerreichte Dosis-Ortsauflösung.



- 1 *In eine Polymermandel (rechts) eingebettete Leuchtstoffpartikel (links).*
- 2 *Optische Abfrage einer leuchtstoffbeschichteten 3D-Oberfläche.*
- 3 *Resultierende 3D-Dosiskarte.*

KOOPERATIONSAUSBAU IN VERBÜNDEN, ALLIANZEN UND NETZWERKEN

VERBÜNDE, ALLIANZEN, NETZWERKE

Die Forschenden 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 industrieller Forschungseinrichtungen »Otto von Guericke« e. V.

Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschungsinstitutionen e. V. (AGEF)

Automotive Thüringen

BfR-Kommission für Risikoforschung und Risikowahrnehmung (RISKOM)

biosaxony e. V.

BTS Rail Saxony

Bundesverband Energiespeicher e. V. (BVES)

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

Carbon Composites e. V. (CCeV)

CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

CO₂ Value Europe AiSBL

COMPOSITES UNITED e. V.

Cool Silicon e. V.

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.

DeepSea Mining Alliance e. V.

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

Deutsche Gesellschaft für Kristallographie e. V. (DGK)

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 Plattform NanoBioMedizin

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-Normausschuss 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.

Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS)

Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V. (EFB)

European Powder Metallurgy Association (EPMA)

Expertenkreis Hochtemperatursensorik in der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V.

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

Fachverband Biogas e. V.

Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum e. V.	Gemeinschaftsausschuss Hochleistungskeramik der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. und der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V.	JenaVersum Netzwerk	Treffpunkt Keramik
Fördergesellschaft Erneuerbare Energien (FEE)		KMM-VIN (European Virtual Institute on Knowledge-based Multifunctional Materials AiSBL)	TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V.
Förderkreis Abgasnachbehandlungstechnologien für Dieselmotoren e. V. (FAD)	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)	Kompetenzzentrum Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen/Thüringen e. V. (LRT)	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA)
Forschungsgemeinschaft der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V.	Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung e. V. (GFE)	Kompetenzzentrum nanoeva®	VDMA Arbeitsgemeinschaft Medizintechnik
Forschungsnetzwerk Mittelstand AIF e. V.	Gesellschaft für Korrosionsschutz e. V. (GfKORR)	Materialforschungsverbund Dresden e. V. (MFD)	Verein für Regional- und Technikgeschichte e. V. Hermsdorf
Fraunhofer-Allianz Adaptronik	HYPOS Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e. V.	medways e. V.	Wachstums-kern smood® smart neighborhood
Fraunhofer-Allianz Batterien		Meeting of Refractory Experts Freiberg e. V. (MORE)	
Fraunhofer-Allianz Big Data	InDeKo Innovationszentrum Deutschland Korea		Wind Energy Network Rostock e. V.
Fraunhofer-Allianz Energie	InfectoGnostics Forschungscampus Jena e. V.		
Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung	INAM e. V. Innovations-Institut für Nanotechnologie und korrelative Mikroskopie e. V.	Nachhaltigkeitsabkommen Thüringen	
Fraunhofer-Allianz Leichtbau		OptoNet e. V.	
Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie	Initiative Erfurter Kreuz e. V.	Organic Electronics Saxony e. V.	
Fraunhofer-Allianz Numerische Simulation von Produkten, Prozessen	Innovationszentrum Bahntechnik Europa e. V.	Ostthüringer Ausbildungsverbund e. V. Jena	
Fraunhofer-Allianz SysWasser	Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA)	ProcessNet – eine Initiative von DECHEMA und VDI-GVC	
Fraunhofer-Allianz Textil	Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gGmbH	Silicon Saxony e. V.	
Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS		smart³ e. V.	
Gemeinschaft Thermisches Spritzen e. V. (GTS)	International Microelectronics and Packaging Society, IMAPS Deutschland e. V.	SmartTex-Netzwerk	
	International Zeolite Association	Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk e. V. (ThEEN)	
		Trägerverein Institut für Holztechnologie Dresden e. V.	



VERBÜNDE, ALLIANZEN, NETZWERKE

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 auch hybride Materialien und Verbundwerkstoffe. Die Forschenden setzen ihre Expertise in den Geschäftsfeldern Mobilität, Gesundheit, Maschinen-/Anlagenbau, Bauen/Wohnen, Mikrosystemtechnik, Sicherheit sowie Energie und Umwelt ein. Die Digitalisierung von Werkstoffen entlang ihrer Wertschöpfungskette ist eine wesentliche Voraussetzung für den nachhaltigen Erfolg von Industrie 4.0. Mit der 2015 gegründeten Initiative Materials Data Space® (MDS) unterstützt der Verbund diese Entwicklung. Besonderes Engagement gilt auch der Entwicklung angepasster Materialien für die Additive Fertigung bis hin zu Multimaterialsystemen. Ein weiterer Schwerpunkt ist der hybride Systemleichtbau. Klimawandel, Ressourcenknappheit und ein steigender Bedarf an Mobilität fordern ein Umdenken in der Produktentwicklung: mehr Ressourceneffizienz bei gewichts- und funktionsoptimierter Bauteilauslegung. Leichtbau als ganzheitliche Herausforderung erfordert nachhaltige, kreislauffähige Materialien, intelligentes Hybridstrukturdesign und durchgängige Material- und Bauteilbewertungen. Erneuerbare Energien gewinnen im Zuge der Energiewende eine dominante Bedeutung. Um sie zu gewinnen, zu speichern, zu transportieren und zu wandeln kommt eine Vielzahl von Materialien in deutlich höherem Umfang als für klassische Energieversorgungssysteme

zum Einsatz, von Kupfer, Stahl und Beton bis hin zu Seltenen Erden. Der Verbund bearbeitet diesen Fragenkomplex insbesondere mit Blick auf Ressourcenverfügbarkeit und geschlossene 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
- Ganzheitliche Leichtbaulösungen für mehr Nachhaltigkeit
- Erhöhte Integrationsdichte, verbesserte Gebrauchseigenschaften von Bauteilen der Mikroelektronik/Mikrosystemtechnik
- Verbesserte Nutzung von Rohstoffen und Qualitätsverbesserung der daraus hergestellten Produkte, Recyclingkonzepte
- Mehr Sicherheit und Komfort und reduzierter Ressourcenverbrauch in Verkehr, Maschinen-/Anlagenbau, Bauen/Wohnen
- Effizienzsteigerung der Energieerzeugung, Energiewandlung, Energiespeicherung und -verteilung
- Verbesserte Biokompatibilität und Funktion von medizin- bzw. biotechnisch eingesetzten Materialien, verbesserte Materialsysteme für medizinische Diagnose, Prävention und Therapie
- Verbesserter Schutz von Menschen, Gebäuden, Infrastruktur durch leistungsfähige Werkstoffe in Schutzkonzepten

Verbundvorsitzender

Prof. Dr. Peter Gumbsch, Fraunhofer IWM
www.materials.fraunhofer.de



VERBÜNDE, ALLIANZEN, NETZWERKE

TREFFPUNKT KERAMIK – CERAMIC APPLICATIONS

Der Treffpunkt Keramik ist fester Bestandteil der Öffentlichkeitsarbeit des Instituts. Aufgrund von Umbaumaßnahmen wurde die Ausstellung in den Bereich der Technika verlegt. Durch diese Änderung ist es möglich, die geschlossene Fertigungskette vom Pulver bis zum Bauteil sehr effektiv in jeden Besucher-rundgang zu integrieren. Neben dem Einblick in die Forschungsinfrastruktur erhalten die Besucher so einen Marktüberblick aus dem Angebot von mehr als 50 Partnerfirmen mit realen Bauteilen von wenigen Milligramm bis zu mehr als 100 Kilogramm.

Die Besucher erhalten einen Eindruck über die aktuellen Themenschwerpunkte der Forschung und können gleichzeitig erfahren, welche Hersteller welche Produkte heute bereits kommerziell anbieten. Mit entsprechenden Beispielen zum Anfassen wird das Vertrauen in die wirtschaftliche Realisierbarkeit neuer Ideen verstärkt und die Initiierung zukunftsweisender Projekte erleichtert.

Die Kooperation mit den mehr als 50 Partnern und Mitgliedern erfolgt unter dem Label »Ceramic Applications« des Göller Verlags.

In den Seminarveranstaltungen und Schulungen des Fraunhofer IKTS 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 Teilnehmenden gewünschte Praxisnähe realisiert. Das Fraunhofer IKTS sichert hierdurch weiterhin für kleine und mittlere Unternehmen ein Projektforum, das die Kontakte zu Projektträgern und Forschungseinrichtungen vereinfacht.

1 Treffpunkt Keramik im
Fraunhofer IKTS in Dresden-
Gruna.

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 (FSU) 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, darunter auch die Fraunhofer ATTRACT-Gruppe »CAV-AQUA« unter der Leitung von Dr. Patrick Bräutigam. Neben dem Institutsneubau in Jena, der seit 2015 genutzt wird, sind auch Labore und Technika zur Batterieherstellung und Membrantechnik am IKTS-Standort Hermsdorf Teil des Zentrums.

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

Einen Schwerpunkt der Zusammenarbeit bildet dabei der Lehrstuhl »Technische Umweltchemie«, den Prof. Michael Stelter innehat. Die Arbeitsgruppe widmet sich Themen der Wasser-

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

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

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

Kontakt

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



1 *Hydrodynamische und akustische Kavitationsphänomene und Visualisierung von Kavitationsfeldern in Reaktoren*
(Quelle: P. Bräutigam, CEEC).

NAMEN, DATEN, EREIGNISSE

Eine Übersicht über Publikationen, Patente und das wissenschaftliche Engagement von IKTS-Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Jahr 2020 finden Sie auf der Webseite www.ikts.fraunhofer.de/de/daten2020



Erteilte Patente
Patentanmeldungen

Buch- und Zeitschriftenbeiträge
Vorträge und Poster

Lehrtätigkeiten
Mitarbeit in Gremien und Fachausschüssen

Dissertationen
Abschlussarbeiten

VERANSTALTUNGEN UND MESSEN IM JAHR 2021

JAHRESBERICHT 2020/21

Aufgrund der Pandemielage kann es zu Verschiebungen bei den geplanten Terminen kommen. Aktuelle Termine finden Sie auf unseren Webseiten.

Tagungen und Events

International Sodium Battery Symposium (virtual SBS2)
13.–14. Januar, Onlinekonferenz

NDT4INDUSTRY – A novel in-situ 4-point-bend system for stress impact analysis
3. Februar, Onlineseminar

Girls' Day
22. April, Online

NDT4INDUSTRY – Numerical EFIT simulations for ultrasonic NDE applications
28. April, Onlineseminar

NDT4INDUSTRY – Series-capable hybrid component structures – new possibilities in manufacturing and quality assurance
26. Mai, Onlineseminar

2. abonocare® Konferenz »Technologieentwicklungen für ein nachhaltiges Nährstoffrecycling aus organischen Reststoffen«
6. Juli, Onlinekonferenz

NDT4INDUSTRY – Optical coherence tomography
29. September, Onlineseminar

Dresden Battery Days
5. Oktober, Onlinekonferenz

NDT4INDUSTRY – Cryo ultrasonics
24. November, Onlineseminar

Fortbildungsseminare und Workshops

DGM-Fortbildungsseminar: Keramische Werkstoffe: Eigenschaften und industrielle Anwendungen
16.–17. Juni, Onlineseminar

Weitere Informationen finden Sie unter
www.ikts.fraunhofer.de/de/kommunikation/veranstaltungen



Messebeteiligungen

Hannover Messe

12.–16. April, Online

Sensor+Test

4.–6. Mai, Online

Woche der Umwelt

11.–12. Juni, Berlin

ACHEMA Pulse

15.–16. Juni, Online

EAST

21.–22. Juni, Erfurt

RapidTech

22.–23. Juni, Online

Karrierestart

2.–4. Juli, Dresden

FAD-Konferenz

15.–16. September, Dresden

IDS

22.–25. September, Köln

Formnext

16.–19. November, Düsseldorf

Productronica

16.–19. November, München

Hagener Symposium

25.–26. November, Hagen

Weitere Informationen finden Sie unter

www.ikts.fraunhofer.de/de/kommunikation/messen

ANFAHRT ZUM FRAUNHOFER IKTS



JAHRESBERICHT 2020/21

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

So erreichen Sie uns in Dresden-Gruna

Straßenverbindung

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

Nahverkehr

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

Flugverbindung

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



So erreichen Sie uns in Dresden-Klotzsche

Straßenverbindung

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

Nahverkehr

- Ab Dresden Zentrum mit Straßenbahnlinie 7 (Richtung Weixdorf) bis Arkonastraße
- In Fahrtrichtung schräg nach links durch das Wohngebiet, dann links in Grenzstraße gehen
- Maria-Reiche-Straße erreichen Sie nach etwa zehn Minuten Fußweg auf der linken Seite
- S-Bahn Linie 2 (Richtung Flughafen) bis Dresden-Grenzstraße
- Die Grenzstraße ca. 400 m zurückgehen
- Rechts in die Maria-Reiche-Straße abbiegen

Flugverbindung

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

So erreichen Sie uns in Hermsdorf

Straßenverbindung

- Autobahn A9: Ausfahrt Bad Klosterlausnitz/Hermsdorf (Ausfahrt 23)
- Weiterfahrt auf Naumburger Straße in Richtung Hermsdorf
- Im Stadtzentrum (Kreisverkehr) rechts abbiegen in Robert-Friese-Straße
- Straßenverlauf in das Industrie- und Gewerbegebiet folgen, dann rechts in Michael-Faraday-Straße abbiegen
- Nach ca. 20 m erreichen Sie links das Gelände des Fraunhofer IKTS
- Autobahn A4: Ausfahrt Hermsdorf-Ost (Ausfahrt 56b)
- Weiterfahrt auf Geraer Straße in Richtung Hermsdorf
- Dann links in Regensburger Straße einbiegen und dem Verlauf der Hauptstraße folgen
- Am Kreisverkehr rechts abbiegen und der Straße Am Globus folgen, die in die Robert-Friese-Straße mündet
- Dann links in die Michael-Faraday-Straße abbiegen
- Nach ca. 20 m erreichen Sie links das Gelände des Fraunhofer IKTS

Nahverkehr

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

Redaktion/Layout

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit/Marketing

Druck

ELBTAL Druckerei & Kartonagen Kahle GmbH

Bilder

Fotograf Jürgen Lösel, Dresden
Fraunhofer IKTS

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 04/2021

Titelbild

*Applikations- und Stapelmaschine für eine
Serienfertigung von SOC-Stacks.*