



Jahresbericht 2024/25

- Hauptstandorte
- Standorte und Kompetenzzentren



Standorte des Fraunhofer IKTS.

Titelbild:

Ein Kernstück der zahlreichen Anlagen im FuE-Zentrum für Transparentkeramik am Standort Hermsdorf ist die Heiß-Isostatische Presse (HIP). Hier werden die keramischen Bauteile bei bis zu 2000 °C und 2000 bar thermisch nachverdichtet – ein wichtiger Schritt bei der Erzeugung der Transparenz.

Jahresbericht 2024/25

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Winterbergstraße 28, 01277 Dresden-Gruna
Telefon +49 351 2553-7700

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

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

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



www.linkedin.com/company/fraunhoferikts
www.instagram.com/fraunhoferikts
www.youtube.com/fraunhoferikts



Vorwort

Prof. Alexander Michaelis



Liebe Freunde und Partner des IKTS,

im vorliegenden Jahresbericht blicken wir wieder auf ein erfolg- und ereignisreiches Jahr zurück. Unser Gesamthaushalt ist im Vergleich zum Vorjahr um 5,9 Mio. € auf den Rekordwert von jetzt 96,7 Mio. € gestiegen. Das beinhaltet erhebliche Investitionen in unsere Infrastruktur unter Einsatz eines Teils unserer technischen Institutsreserve. Diese Ausstattung und vor allem unser hervorragendes IKTS-Experten-Team stehen Ihnen gerne für gemeinsame Projekte zur Verfügung. Unsere Kompetenzen umfassen weiterhin die gesamte Wertschöpfungskette der technischen Keramik bis in den Up-Scaling-Bereich für Materialien, Komponenten und komplette Systeme. Diese Kompetenzen werden durch Charakterisierungs- und auf Kundenwünsche optimierte zerstörungsfreie Prüftechnologien abgerundet.

Ein Schwerpunkt unserer aktuellen Investitionen dient dem Aufbau einer Pilotlinie zur Serienfertigung von Hochtemperatur-Elektrolyse- und Brennstoffzellen-Stacks (SOEC/SOFC) an unserem Standort in Arnstadt. Hiermit haben wir die Grundlage für ein industrielles Großprojekt und eine strategische Partnerschaft mit thyssenkrupp nucera gelegt. Die anspruchsvolle Gesamtkoordination dieses Großprojekts verantwortet Dr. Roland Weidl mit seinen Teams. Zusammen werden wir die

Großserienproduktion von SOFC/SOEC-Modulen bis in den GW-Bereich realisieren und damit vor allem den Markt für die Erzeugung von kostengünstigem grünen Wasserstoff adressieren. Thyssenkrupp nucera ist bereits jetzt Weltmarktführer auf diesem Gebiet mit industriellen Anlagen der alkalischen Elektrolyse. In unserer strategischen Partnerschaft wird sich das Unternehmen nun in die Hochtemperaturelektrolyse SOE diversifizieren und kann damit seine Technologie- und Marktführerschaft weiter ausbauen. Die SOE bietet Effizienzvorteile durch die Möglichkeit der Abwärmenutzung, wodurch der Strombedarf für die Wasserstoffherzeugung um mehr als 30 % reduziert werden kann. Ein weiterer essenzieller Vorteil der SOE ist die Co-Elektrolysefähigkeit. Damit kann neben Wasserstoff auch grünes Synthesegas ($H_2 + CO$) generiert werden. Hierzu wird CO_2 aus der Umgebung (z. B. aus Abgasen von Zementwerken) entnommen und in die Elektrolyse eingekoppelt. Das Synthesegas kann dann z. B. mit dem Fischer-Tropsch-Prozess gekoppelt werden, um e-fuels wie SAF (sustainable aviation fuel) zu erzeugen. Als weitere Beispiele zur Ankopplung der SOE an chemische Verfahren können der Haber-Bosch-Prozess zur Erzeugung von Ammoniak (NH_3) und die Erzeugung von grünem Stahl genannt werden. Hierzu laufen am Fraunhofer IKTS bereits zahlreiche Projekte in den Abteilungen von Dr. Mihails Kusnezoff und Dr. Matthias Jahn und wir nehmen hier eine weltweit führende Position ein.

Als weiteres Beispiel für ökologisch und ökonomisch vorteilhafte Systementwicklungen soll das in der Abteilung von Jörg Adler entwickelte »ReCoSiC«-Verfahren herausgestellt werden. Im Vergleich zum konventionellen Acheson-Prozess wird hiermit nicht nur die Ausbeute von hochreinem SiC drastisch erhöht (von < 40 % auf fast 100 %), sondern es werden auch die CO₂-Emissionen um über 75 % reduziert. Dieses Verfahren wird nun von unserem Industriepartner ESK-SiC GmbH, die kürzlich von der Schunk-Gruppe übernommen wurden, industriell umgesetzt. Das Thema des hochreinen SiC werden wir bis in die Einkristallherstellung für die Hochleistungselektronik weitertreiben. Wir leisten damit auch einen Beitrag zur Versorgungssicherheit Deutschlands auf diesem Gebiet. Über das Land Sachsen haben wir hierzu Projektmittel eingeworben.

Das Management solcher Großprojekte ist für uns eine erhebliche Herausforderung, der wir uns gerne stellen. Hierdurch können wir unsere Systemrelevanz als Innovationstreiber für Deutschland besonders unter Beweis stellen und zeigen, dass wir bei Fraunhofer unserer Mission der technologischen Umsetzung unserer Entwicklungen in die Industrie erfolgreich nachkommen. Ohne die Unterstützung der Bundesländer und des Bundes wären solche Erfolge nicht möglich. Umgekehrt profitieren die Bundesländer unserer Standorte auch erheblich von uns. So haben wir neben dem genannten Projekt mit thyssenkrupp nucera, das vor allem in Arnstadt durchgeführt wird, erheblich dazu beigetragen, dass sich die Batteriefirmen CATL in Thüringen (Arnstadt) und die Altech GmbH in Sachsen (Schwarze Pumpe) angesiedelt haben. In diesem Zusammenhang möchte ich auch ein »kleines Jubiläum« erwähnen, das wir in Thüringen begehen:

Vor 15 Jahren haben wir uns mit dem Hermsdorfer-Institut für technische Keramik HITK zusammengeschlossen und es vollständig in das Fraunhofer IKTS integriert. Ich möchte gerne Prof. Ingolf Voigt zitieren, der diese Erfolgsgeschichte prägnant zusammengefasst hat:

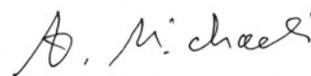
- Die Liegenschaft in Hermsdorf ist um das Technikum 3, Technikum 4 und Technikum 5 gewachsen.
- Ein neuer Standort in Arnstadt ist dazugekommen, der als Industrialisierungs- und Digitalisierungsstandort für das gesamte Fraunhofer IKTS wirkt.
- Die Belegschaft in Hermsdorf ist von 120 auf 200 Mitarbeitende gewachsen.
- Der Gesamthaushalt in Hermsdorf hat sich mehr als verdoppelt.
- Es gibt stabile universitäre Anbindungen an die Friedrich-Schiller-Universität Jena und die Ernst-Abbe-Hochschule Jena.
- Die Foliengießtechnik ist zum Foliengießzentrum des IKTS ausgebaut.

- Die stationären Energiespeicher sind neben der Oxidkeramik, der Funktionskeramik und den keramischen Membranen der vierte starke Materialschwerpunkt im IKTS Hermsdorf.
- Das FuE-Zentrum für Transparentkeramik ist in Hermsdorf in Betrieb.
- Die keramischen Membranen für die Gastrennung stehen kurz vor der Kommerzialisierung (Ausgründung POXOS GmbH).
- Die Membranverfahrenstechnik wird durch die Gruppe Reaktionstechnik Wasser und einen neuen Laborbereich ergänzt.
- Die chemische Analytik der ESA Eidam & Seiferling Analytik GmbH ist ins Fraunhofer IKTS integriert und arbeitet im Auftrag für die Keramikunternehmen und die Schwesterstandorte des IKTS.
- Mit dem Tridelta Campus Hermsdorf e. V. haben wir ein starkes Netzwerk mit Keramik- und Technologieunternehmen in der Region gebildet.

Eine ähnliche Erfolgsliste lässt sich auch für unsere anderen mittlerweile 14 Standorte erstellen. Ich möchte den Umfang des Vorworts nicht sprengen, aber wenigstens unseren allerneuesten Standort in Halle erwähnen. Hier haben wir eine Abteilung des ehemaligen Fraunhofer IMW samt Standort übernommen. Das Team um die Abteilungsleiterin Dr. Daniela Pufky-Heinrich ergänzt uns perfekt in unserer Wertschöpfungskette mit dem Thema der sozioökonomischen Technologiebewertung. Damit sind wir jetzt auch in Sachsen-Anhalt vertreten und haben uns zu einem mitteldeutschen Institut entwickelt.

Im Bericht finden Sie weitere Highlights und Entwicklungstrends aus unseren Geschäftsfeldern. Im Namen des gesamten IKTS-Teams wünsche ich Ihnen wieder viel Vergnügen beim Durchblättern des Berichts und gute Projektideen. Wir freuen uns auf die Zusammenarbeit.

Ihr,



Alexander Michaelis

Juni 2025

Inhalt

Vorwort	2
Inhalt	4
Das Fraunhofer IKTS im Profil	6
Kurzportrait	6
Organigramm	8
Das Fraunhofer IKTS in Zahlen	10
Kuratorium	12
Die Fraunhofer-Gesellschaft	13
Retrospektive	14
Die Geschäftsfelder des Fraunhofer IKTS	19
Im Interview	20
Fraunhofer IKTS verstärkt Aktivitäten in Sachsen-Anhalt	20
Weitere Intensivierung der deutsch-koreanischen Forschungskooperation	22
Werkstoffe und Verfahren	24
Titanoxide als Innovationsbasis für Elektroden, Varistoren und Heizleiter	24
Qualitätsstabile Pilotproduktion von Polymerkeramik-Spritzgießgranulaten	25
Mikro-Kanalporen in Keramik für innovative Filteranwendungen	26
Brenntiegel aus recyceltem keramischen Pulver	27
Umformen thermoplastischer Keramikfolien	28
Wasser	29
Photokatalytische Aufbereitung von Problemwässern mit TiO ₂ -Komponenten	29
Elektrochemische Zerstörung von PFAS	30
Recycling von Wäschereiabwasser mittels keramischer Nanofiltration (ReWaMem)	31
Technische Niere – bioinspirierte Membranen für die Wasseraufbereitung	32
Elektronik und Mikrosysteme	33
PTC-Werkstoffe für Hochvoltheizer-Systeme in Elektrofahrzeugen	33
Integrierter Überspannungsschutz für erhöhte Zuverlässigkeit von LTCC-Mikrosystemen	34
Bleifreie Piezokeramik mit verbesserter Temperaturstabilität für präzise Aktoren	35

■ Energie	36
Inline-Qualitätssicherung bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Elektroden	36
Sichern einer kritischen Materialbasis in Europa durch Kreislaufschließung: DiLiRec	37
Forschungsgruppe »ThüNaBsE«: Die Thüringer Wald-Batterie	38
SOE-Technologie auf dem Weg zur Industrialisierung	39
Elektrodenprozesse der alkalischen und AEM-Wasserelektrolyse	40
Ultradünne keramische Elektrolytsubstrate für Natrium-Festkörperbatterien	41
■ Bio- und Medizintechnik	42
STOP-Projekt: Übertragung von Krankheitserregern verhindern	42
Biokeramik mit eingebetteten Leiterbahnen durch Kaltsintern	43
Elektrochemische Detektion von kardialen Biomarkern in Point-of-Care-Diagnostik	44
Bewertung funktioneller Beschichtungen auf keramischen Zahnkronen	45
■ Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung	46
Mikroakustik für das Zustandsmonitoring von Bäumen	46
Qualitätsprüfung von Batteriesuspensionen	47
KI-basierte Auswertung von technischen, biologischen und Sprachdaten	48
■ Umwelt- und Verfahrenstechnik	49
Keramikfilter und Katalysatoren für die Emissionsminderung bei der Holzverbrennung ..	49
Kontinuierliche Gastrocknung mittels Membrantechnologie	50
Präventiver Brandschutz neu gedacht: Flexible Folienlamine auf Silikatbasis	51
Neue Wertschöpfungsketten für die Produktion von grünem Stahl	52
Bioethanol-Kraftstoff aus Abwässern und Reststoffen von Brauereien	53
■ Material- und Prozessanalyse	54
Homogenitätsbestimmung an keramischen Gefügen	54
Qualitätssteigerung für Sprühgranulate durch Design of Experiment	55
Roh- und Werkstoffcharakterisierung mit Elementanalyse bis in den ppm-Bereich	56
Elektrische Eigenschaften von isolierenden thermisch gespritzten Schichten automatisiert messen	57
■ Kooperationsausbau durch Mitgliedschaften	58
Namen, Daten, Ereignisse	65
Veranstaltungen und Messen im Jahr 2025	66
Kontakt	69

Das Fraunhofer IKTS im Profil



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

Kurzporträt

Seit mehr als 30 Jahren entwickelt das Fraunhofer IKTS keramische Werkstoffe für eine stetig wachsende Breite von Anwendungsgebieten. Aus den Bedarfen der neun marktorientierten Geschäftsfelder leiten sich unsere Entwicklungsarbeiten ab – ergänzt durch eine strategische Vorlaufforschung auf höchstem wissenschaftlichen Niveau.

Unser Antrieb ist es, ganzheitliche Systemlösungen und Dienstleistungen zu entwickeln, aber auch spezifische Herausforderungen unserer Partner aus Industrie und Wissenschaft zu lösen.

Durch unsere Expertise in der Charakterisierung und Analyse von Werkstoffen, Bauteilen und Systemen entlang ihres Lebenszyklus verfügen wir über einen einzigartigen Datenpool, um Neuentwicklungen effizienter und schneller durchführen zu können.

Wir bieten modernste Ausstattung auf mehr als 40 000 m², kompetente Mitarbeitende sowie ein ergebnisorientiertes Forschungsmanagement. Damit sind wir Anlaufpunkt für Unternehmen und Forschungspartner, um die unikalenen Eigenschaften

ten keramischer Werkstoffe für neue und verbesserte Anwendungen zu erschließen. Als besondere Kompetenzen bringen wir hierbei ein:

Werkstoffe

Wir qualifizieren Keramiken, Hartmetalle, Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde für spezifische Einsatzszenarien und beherrschen alle dafür notwendigen Fertigungsverfahren. Neue Anwendungsfelder erschließen wir durch die gezielte Kombination der strukturellen und funktionellen Werkstoffeigenschaften. Dabei können wir Entwicklungen vom Labor- in den Technikumsmaßstab übertragen und die für den Markteinstieg erforderlichen Prototypen und Vorserien realisieren, industrielle Fertigungsprozesse etablieren und Qualitätsprozesse implementieren.

Verfahrenstechnik

Auf dem Gebiet der komplexen keramikbasierten Systeme für energieeffiziente Trennverfahren, chemische Stoffumsetzung oder Wertstoffrückgewinnung gehören wir zu den weltweit führenden Forschungseinrichtungen. Unsere Ansätze basieren dabei auf der nachhaltigen Nutzung von Ressourcen und geschlossenen Stoffkreisläufen. In modernsten Labor- und Pilotanlagen können wir relevante Kenngrößen für diese Prozesse ermitteln, validieren und optimieren. Mit unserer ausgezeichneten Infrastruktur sind wir in der Lage, Projekte verschiedenster Umfänge und Skalen zu realisieren.

Datengestützte Analytik und Monitoring

Zur Erhöhung der Marktakzeptanz neuer Werkstoffe ist eine leistungsfähige Analytik und Qualitätskontrolle erforderlich – von der Rohstoffbewertung über den Einsatz bis zum Recycling. Bei der Entwicklung neuer Werkstoffe und Produkte, der Klärung komplexer Versagensmechanismen oder der Sicherung qualitativer Standards greifen wir auf neue Sensorkonzepte, robotergestützte Messungen sowie Möglichkeiten einer cloud-basierten Datenerfassung und KI-unterstützten Datenauswertung zurück. Darüber hinaus bieten wir Lösungen für die Prozess- und Zustandsüberwachung von Fertigungsanlagen an und sorgen damit für optimale Produktqualitäten, niedrige Kosten und geringere Wartungsaufwände.

Systemdemonstration

Für energie- und verfahrenstechnische Anlagen sind wir in der Lage, eine zielgerichtete Systemdemonstration auf Grundlage der Markt- und Kundenanforderungen einerseits und der ver-

fügbaren technologischen Optionen andererseits umzusetzen. Material- oder Technologiefragen werden auf den einzelnen Stufen der Wertschöpfungskette bearbeitet, Prototypen auf Basis einer umfangreichen Validierung und Soll-Ist-Analyse der Marktreife bewertet sowie serientaugliche Fertigungs- und Qualitätsprozesse erarbeitet. Damit qualifizieren wir uns als Komplett-Dienstleister für den gesamten Prozess der Technologieentwicklung und den schrittweisen Wissenstransfer in die Produktion des Kunden.

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 uns zu den wichtigsten Instrumenten, um Partnern und Kunden valide und reproduzierbare Forschungsergebnisse bereitstellen zu können. Wir verfügen 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 der EN ISO 13485:2016, und regelmäßig verschiedenen industriellen Audits unterzogen.

Netzwerkbildner

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

Organigramm

Institutsleitung

Institutsleiter

Prof. Dr. habil. Alexander Michaelis

Werkstoffe

Nichtoxidkeramik

Dipl.-Krist. Jörg Adler

- Elektrisch funktionelle Strukturkeramik
- Carbidkeramik und zelluläre Keramik
- Nitridkeramik und Faserkomposite
- Schutzkeramik
- Filterkeramik und Abgasnachbehandlung

Oxidkeramik

Dr. Sabine Begand

- Pilotfertigung hochreine Keramik
- Oxid- und polymerkeramische Komponenten*
- Transparentkeramik

Verfahren und Bauteile

Dr. Tassilo Moritz

- Pulvertechnologie
- Formgebung
- Bauteilentwicklung und Fertigung
- Additive und Hybride Fertigung

Technologieökonomik und Nachhaltigkeitsanalyse

Dr. Daniela Pufky-Heinrich

- Technologie- und Prozessmanagement
- Ökonomische Analyse und Nachhaltigkeit

Werkstoff- und Prozesscharakterisierung

Sintern und Charakterisierung

Dr. Annegret Potthoff / Dr. Johannes Pötschke

- Thermische Analyse und Thermophysik**
- Wärmebehandlung
- Keramografie und Phasenanalyse
- Pulver- und Suspensionscharakterisierung**
- Labor für Qualität und Zuverlässigkeit**, Mechanisches Labor
- Chemische und Strukturanalyse
- Hartmetalle und Cermets
- Dünnschicht-Technologien

Energiesysteme

Werkstoffe und Komponenten

PD Dr. habil. Mihails Kusnezoff

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

Stationäre Energiespeicher

Dr. Matthias Schulz

- Keramische Elektrolyte und Elektroden
- Zellkonzepte und Prototypen

Mobile Energiespeicher und Elektrochemie

Dr. Mareike Partsch

- Zellentwicklung und Test
- Prozessentwicklung und Prozessüberwachung

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

Freie Universität Berlin

- Institut für Experimentalphysik

Prof. Dr. Silke Christiansen

Friedrich-Schiller-Universität Jena

- Institut für Technische Umweltchemie

Prof. Dr. Michael Stelter

Ernst-Abbe-Hochschule Jena

- Fachbereich SciTec – Werkstofftechnik

Prof. Dr. Ingolf Voigt

Technische Universität Bergakademie Freiberg

- Technische Chemie

Prof. Dr. habil. Martin Bertau

- Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen

Prof. Dr. Martin Gräbner

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

- Kognitive Materialdiagnostik

Prof. Dr. Constanze Tschöpe

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

- Regenerative und nachhaltige Energiesysteme

Prof. Dr. Laura Nusch

Universitas Gadjah Mada (Indonesien)

- Faculty of Dentistry

Adj. Prof. Dr. Natalia Beshchasna

Stellvertretende Institutsleiter

Verwaltungsdirektor Dr. Michael Zins
 Marketing und Strategie Prof. Dr. Michael Stelter

Standortleiter Hermsdorf Prof. Dr. Ingolf Voigt
 Standortleiter Dresden-Klotzsche Dr. Christian Wunderlich
 Standortleiter Arnstadt Dr. Roland Weidl

Geschäftsentwicklung
 Prof. Dr. habil. Thomas Härtling

Korrelative Mikroskopie und Materialdaten

Prof. Dr. Silke Christiansen

- Korrelative Mikroskopie
- Korrelative Spektroskopie

Digitalgestützte Systeme und Services

Dipl.-Math. Michael Brand

- Industrielle Datentechnologien
- Chemometrie und Testdesign
- Maschinen- und Produktionsdesign
- Software für Prüfsysteme

Umwelt- und Verfahrenstechnik**Nanoporöse Membranen**

Dr. Hannes Richter

- Zeolith- und Kohlenstoffmembranen
- Polymer- und Mixed-Matrix-Membranen
- Membranamuster

Hochtemperaturseparation und Katalyse

Dr. Jörg Richter

- Hochtemperaturmembranen und -speicher
- Katalyse und Materialsynthese

Kreislauftechnologien und Wasser

Dr. Burkhardt Faßbauer / Dr. Marcus Weyd

- Biomassekonversion und Nährstoffrecycling
- Systemtechnik Wasser und Abwasser
- Elektrochemie
- Hydrometallurgisches Recycling und Rohstoffchemie
- Membrancharakterisierung und Modellierung
- Technische Elektrolyse und Geothermie
- Reaktionstechnik Wasser
- Angewandte Membrantechnik

Energie- und Verfahrenstechnik

PD Dr. habil. Matthias Jahn / Prof. Dr. Martin Gräbner

- Modellierung und Simulation
- Systemverfahrenstechnik
- Kohlenstoff-Kreislauf-Technologien
- Systemintegration
- Energiesystemkonzepte

Elektronik, Mikrosystem- und Biomedizintechnik**Intelligente Materialien und Systeme**

Dr. Holger Neubert

- Multifunktionale Werkstoffe und Bauteile
- Angewandte Werkstoffmechanik und Festkörperwandler

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
- Wirbelstromverfahren
- Ultraschallsensoren und -verfahren
- Maschinelles Lernen und Datenanalyse
- Projektgruppe Kognitive Materialdiagnostik Cottbus

Mikroelektronik-Materialien und Nanoanalytik

Dr. André Clausner

- 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

* zertifiziert nach DIN EN ISO 13485

** akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025

Das Fraunhofer IKTS in Zahlen

Haushalt und Erträge

Das Institut blickt auf ein sehr erfolgreiches Jahr 2024 zurück. Schwerpunkte der Projektarbeit sind weiterhin die Energie- und Umwelttechnik. Aber auch die Entwicklung der Strukturkeramik und der Charakterisierungstechnologien sind in der Industrie sehr gefragt. Der Gesamthaushalt ist auf einen Rekordwert von 96,7 Mio. € gewachsen. Erneut wurden Investitionen in Höhe von 12 Mio. € getätigt. Die Sachkosten stiegen auf 10 Mio. € an. Weitere Beschaffungen im Wert von mehr als 10 Mio. € werden erst 2025 kostenwirksam, da sich Liefertermine verschoben haben. Die teilweise stark gestiegenen Kosten für Energie, Personal und Verbrauchsmaterial konnten im Hinblick auf die Gemeinkostenstruktur weitgehend ausgeglichen werden. Die geänderte Kostenstruktur konnte durch das erreichte Wachstum in den geplanten Grenzen stabilisiert werden. Alle Finanzziele wurden erreicht.

Das Volumen der Industrieprojekte war mit 30,2 Mio. € erneut auf sehr hohem Niveau. Die sächsischen Standorte steuerten hier 21,6 Mio. € bei. Die thüringer Standorte konnten ihren Wirtschaftsertrag sehr erfolgreich um 1 Mio. € auf 8,5 Mio. € steigern. Die Basis für ein weiteres Wachstum wurde durch die Investitionsmaßnahmen gelegt. Die öffentlichen Erträge aus den Ländern und dem Bund gingen auf 30,3 Mio. € zurück. Da die öffentlichen Projekte wegen der langen Laufzeiten eine wesentliche Grundlage für die Gestaltung der Personalverträge sind, ist dieser Rückgang kritisch und muss kompensiert werden. Ansatzweise gelingt das aufgrund der internationalen Vernetzung durch eine Steigerung auf 7,4 Mio. € im Bereich der EU-Projekte und sonstigen Erträge. Aus der institutionellen Förderung stammten 28,8 Mio. € zum Ausgleich des Haushalts. Insgesamt wurden hiervon mehr als 10 Mio. € strategisch in die Infrastruktur investiert, um den neuen Anforderungen durch sinkende öffentliche Erträge in der Zukunft begegnen zu können. Zu diesem Zweck wurden beispielsweise die Pilotfertigungskapazitäten in den Bereichen Transparentkeramik, Energiesysteme und Recycling ausgebaut. Bei vielen öffentlichen Projekten bereiten reduzierte Förderquoten zunehmend Probleme. Grundfinanzierung darf nicht zum Ausgleich der Deckungslücken verwendet werden und die Institute müssen diese fehlenden Mittel im Industriebereich erwirtschaften. Die unklare Finanzierungsstrategie bei Bund, Ländern und EU bereitet enorme Herausforderungen. Die nachträgliche Infragestellung der bewährten, zertifizierten Abrechnungsmodelle ist eine der Herausforderungen der nächsten Jahre. Das Volumen der öffentlichen Projekte bleibt zum

Entwicklung des Gesamthaushalts des Fraunhofer IKTS (in Millionen Euro) in den Haushaltsjahren 2020 bis 2024



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

Jahreswechsel unsicher. Die internationalen Kooperationen gewinnen damit weiter an Bedeutung.

Personalentwicklung

Insgesamt werden an den IKTS-Standorten 813 Mitarbeitende mit einem Vollzeitäquivalent von 700 Stellen beschäftigt. Gegenüber dem Vorjahr sind es zum Stichtag 31.12.2024 weniger Personen. Es bleibt eine Aufgabe, wieder mehr Studierende und Promovierende für eine Arbeit am Institut zu gewinnen. Mit dem Ausbau der Forschungsinfrastruktur haben die Standorte in Thüringen hier bereits einen wichtigen Schritt unternommen und konnten die Anzahl der Promovierenden von 12 auf 19 steigern. Die Anbindung an die lokalen Universitäten ist sehr erfolgreich. Neue administrative Vorgaben erschweren die Einstellung von studentischen Mitarbeitenden aus dem Bereich Betriebs-

Entwicklung des Personalbestands des Fraunhofer IKTS – Beschäftigtenzahl 2020 bis 2024, Vollstellenäquivalente Personalstruktur



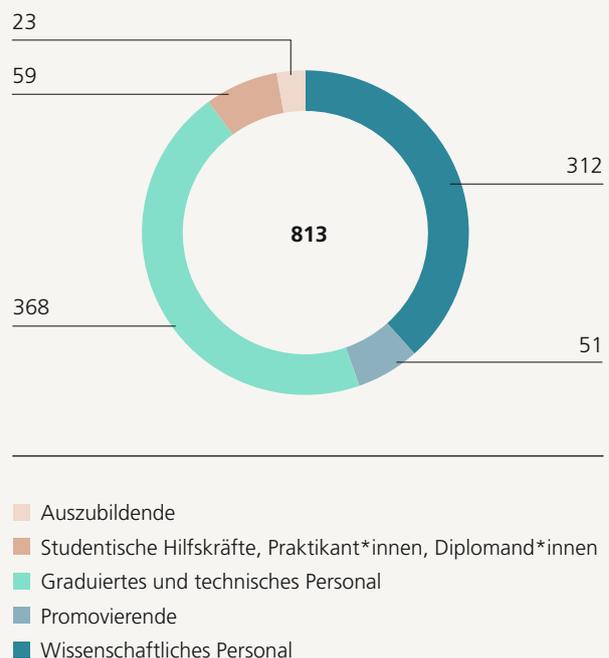
wirtschaft erheblich. Mit mehr als 51 betreuten Promotionen leistet das Institut einen wichtigen Beitrag zur Ausbildung der zukünftigen Führungskräfte. Vereinbarungen für den Ablauf der Promotion mit konkreten Zielen und Zeitplänen dienen dazu, die Promotion bei Fraunhofer attraktiv zu gestalten. Die Forschungsinfrastruktur am Fraunhofer IKTS belegt auch im internationalen Vergleich einen Spitzenplatz. Zunehmend erfolgen aber auch Ausbildungen in Lehrberufen. Mit der gezielten Förderung versucht das Fraunhofer IKTS seinen eigenen Nachwuchs auszubilden und zu binden. Zum Januar 2025 stieg die Mitarbeitendenzahl durch die Integration des Center for Economics and Management of Technologies CEM, ehemals Fraunhofer IWM, an. Ein weiterer Ausbau der Geschäftsfelder ist geplant.

Die Relevanz der Forschungsthemen in Verbindung mit modernen Arbeitsbedingungen lockt zur Arbeit am Fraunhofer IKTS. Strategisch werden unsere Standorte auch 2025 weiter durch Anmietungen gestärkt. Unsere Bereitschaft, Verträge nach individuellen Bedürfnissen anzupassen, ist ein entscheidender Grund für den Start am Fraunhofer IKTS. Der Arbeitgeber Fraunhofer IKTS ist im Markt weiterhin gut positioniert. Trotzdem bleibt die Akquise von Mitarbeitenden im wissenschaftlichen und zunehmend auch im administrativen Bereich eine der großen Herausforderungen.

Change Management

Das Fraunhofer IKTS ist in den letzten 20 Jahren auf die 10-fache Größe gewachsen. Die Zusammenführung verschiedener Institutsteile hat eine sehr erfolgreiche Einheit geformt. Die Herausforderungen der Zukunft bestehen auch in effizienten Strukturen für die Zusammenarbeit. Eine enorme Herausforderung ist weiterhin die Optimierung der Geschäftsprozesse in SAP. Die Belastung in allen Bereichen soll durch eine umfassende Strukturanpassung reduziert werden. Umfangreiche Changeprozesse werden 2025 vorbereitet. Ab dem 1.1.2026 wird das gesamte Fraunhofer IKTS in einer Kostenstelle zusammengefasst. Hierdurch werden die länderübergreifende Nutzung der Infrastrukturen erleichtert und administrative Prozesse vereinfacht. Die Vorteile ergeben sich sowohl bei der Bearbeitung von industriellen Großprojekten als auch bei den öffentlich geförderten Aktivitäten.

Beschäftigte des Fraunhofer IKTS in 2024, Anzahl Personen



Kuratorium



Kuratoriumssitzung 2025.

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

Prof. Dr. habil. Christina Dornack
TU Dresden, Dresden
Direktorin des Instituts für Abfall- und Kreislaufwirtschaft

Jana Podbuweit
Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur,
Leiterin des Referat 53
»Institutionelle Forschung«

Dr. Peter Heilmann
arxes-engineering GmbH,
Eberswalde
Geschäftsführer

Dr. Sabine Kolodinski
Ferroelectric Memory GmbH,
Dresden
Director of Governmental Relations

Andreas Krey
Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen mbH, Erfurt
Geschäftsführer

Dr. Reinhard Lenk
Rauschert Heinersdorf-Pressig GmbH, Pressig
Leiter Rauschert TechCenter Dresden

Dr. Christoph Lesniak
3M Technical Ceramics,
Zweigniederlassung der 3M Deutschland GmbH, Kempten
Global Laboratory Manager

Dr. Hans-Heinrich Matthias
TRIDELTA GmbH, Hermsdorf
Geschäftsführer

Dr. Richard Metzler
Rauschert Heinersdorf-Pressig GmbH, Pressig
Geschäftsführer

Dipl.-Ing. Peter G. Nothnagel
Ministerialrat a.D.
Nothnagel – Beratende Ingenieure, Dresden
Selbstständig

Dr. Patrick Pertsch
PI Ceramic GmbH, Lederhose,
Geschäftsführer

Dipl.-Ing. Michael Philipps
Endress+Hauser SE+Co. KG,
Maulburg
Bereichsleiter Sensorik

Dr. Niko Reuß
Freudenberg Technology Innovation SE & Co. KG,
Weinheim
Geschäftsführer

Dr. Ann-Kathrin Schatz
Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus, Dresden
Leiterin des Referats 43
»Bund-Länder-Forschungseinrichtungen« (mdWdGb)

Thomas Schmidt
Sächsischer Landtag, Dresden
Landtagsabgeordnete

Anna Sembach
Sembach GmbH & Co. KG,
Lauf an der Pegnitz,
Geschäftsführerin

Dr. Dirk Stenkamp
TÜV Nord AG, Hannover
Vorsitzender des Vorstands

Johann Waschnewski
Landratsamt Saale-Holzland-Kreis, Eisenberg
Landrat

MR Christoph Zimmer-Conrad
Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit, Energie und Klimaschutz, Dresden
Leiter des Referats 36
»Industrie«

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Seit ihrer Gründung als gemeinnütziger Verein im Jahr 1949 nimmt sie eine einzigartige Position im Wissenschafts- und Innovationssystem ein. Mit knapp 32 000 Mitarbeitenden betreibt Fraunhofer 75 Institute und selbstständige Forschungseinrichtungen in Deutschland. Im Innovationsprozess spielt Fraunhofer eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft.

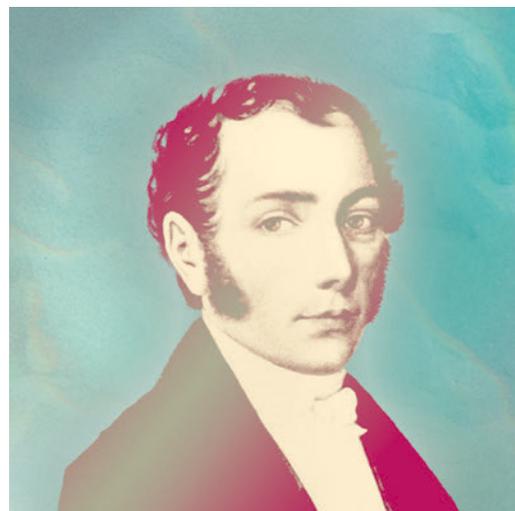
Die zentrale Kundengruppe stellen große und mittelständische Unternehmen dar. Sie nutzen die Expertise von Fraunhofer, um mit neuen Technologien ihre Wettbewerbsfähigkeit auszubauen. Seit Jahren zählt Fraunhofer zu den aktivsten Patentanmeldern in Deutschland und Europa. Ein internationales Patentportfolio bildet die Grundlage für den Technologietransfer durch Forschungsprojekte, Ausgründungen und Lizenzierung. Darüber hinaus adressiert Fraunhofer gesamtgesellschaftliche Ziele in wichtigen Technologiebereichen durch interdisziplinäre und internationale Kooperationen im konkreten Marktumfeld. Beispiele sind Entwicklungen für die Sektoren Mikroelektronik, KI und Quanten, Gesundheit, Kreislaufwirtschaft und neue Materialien sowie für Energie, die Sicherheit kritischer Infrastrukturen und den Verteidigungssektor.

Im Bereich öffentlich geförderte Konsortialvorhaben mit Industriepartnern ist Fraunhofer ein attraktiver und etablierter Akteur. Darüber hinaus trägt die Fraunhofer-Gesellschaft maßgeblich zur Stärkung und Zukunftsfähigkeit des Innovations- und Wirtschaftsstandorts Deutschland bei. Durch ihre Aktivitäten entstehen Arbeitsplätze in Deutschland, Investitionseffekte in der Wirtschaft erhöhen sich, Unternehmen erlangen Wettbewerbsvorteile und es steigt die gesellschaftliche Akzeptanz moderner Technik. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Austausch mit den einflussreichsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Das jährliche Finanzvolumen der Fraunhofer-Gesellschaft beträgt 3,6 Mrd. €. Davon entfallen 3,1 Mrd. € auf das zentrale Geschäftsmodell von Fraunhofer, die Vertragsforschung. Im Vergleich zu anderen öffentlichen Forschungseinrichtungen bildet die Grundfinanzierung durch Bund und Länder lediglich das Fundament des jährlichen Forschungshaushalts. Sie ist die Basis für

wegweisende Vorlaufforschung, die in den kommenden Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft bedeutend wird. Das entscheidende Alleinstellungsmerkmal ist der hohe Anteil an Wirtschaftserträgen, der Garant ist für die enge Zusammenarbeit mit Wirtschaft und Industrie und die stetige Marktorientierung der Fraunhofer-Forschung: 2024 beliefen sich die Wirtschaftserträge auf 867 Mio. € des laufenden Haushalts. Ergänzt wird das Forschungsportfolio durch im Wettbewerb eingeworbene öffentliche Projektmittel, wobei eine ausgewogene Balance zwischen öffentlichen und wirtschaftlichen Erträgen angestrebt wird.

Hoch motivierte Mitarbeitende sind der wichtigste Erfolgsfaktor für Fraunhofer. Daher öffnet die Wissenschaftsorganisation Freiräume für eigenverantwortliches, gestaltendes und zielorientiertes Arbeiten. Durch gezielte Förderung der fachlichen und persönlichen Entwicklung unterstützt Fraunhofer Karrierechancen in der Wissenschaft wie auch in der Wirtschaft.



Joseph von Fraunhofer.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich. Sein Erbe prägt den Innovationsgeist der Organisation bis heute.

Retrospektive

Das Fraunhofer IKTS präsentierte 2024 sein Forschungsportfolio auf vielen Messen im In- und Ausland, als Veranstalter wissenschaftlicher Kongresse sowie auf verschiedenen Events für die breite Öffentlichkeit.

6. Februar 2024

Instandhaltung von Schienenfahrzeugen und Schieneninfrastruktur

Gemeinsam mit der Set4Future Research Factory des Bahn-technikclusters Rail.S e. V. veranstaltete das Fraunhofer IKTS in Dresden-Klotzsche einen Workshop, bei dem zuverlässige Elektronik für die sichere und effiziente Funktion von Zügen und Bahnsystemen im Fokus stand. In Vorträgen und einer Institutsführung informierten sich die Teilnehmenden über Lösungen für Prognostic Health Management, Kreislaufwirtschaft und Augmented Reality.

8.–9. März 2024

Wissenschaftsfestival SPIN2030

In den Technischen Sammlungen Dresden gaben mehr als 50 Wissenschaftseinrichtungen aus allen Regionen Sachsens interessierten Besuchern einen Einblick in ihre spannende Arbeit. Das Fraunhofer IKTS präsentierte dabei in der Exponate-Welt, wie man mit Ultraschall die genaue Position eines Schadensereignisses lokalisieren kann. Damit lassen sich schwer zugängliche Bauwerke, wie große Windkraftanlagen oder Rohrleitungen unter der Erde überwachen. Im Rahmen der Science Night stellten unsere Forschenden ihre Projekte unterhaltsam beim Science-Slam der Dresdner Fraunhofer-Institute vor.

12. März 2024

Lithographische Additive Fertigung in der Praxis

Lithographische Additive Fertigungsmethoden haben sich mittlerweile sowohl für keramische als auch für metallische Bauteile als perspektivreiche Fertigungsmethoden etabliert. Das Fraunhofer IKTS und das Fraunhofer IFAM veranstalteten daher einen gemeinsamen Workshop, in dem Bauteil- und Anlagenhersteller über ihre Erfahrungen in der Nutzung lithographischer AM-Verfahren für verschiedenste Anwendungen u. a. in Industrie, Medizin, Raumfahrt und für Luxusgüter berichteten.



13. März 2024

thyssenkrupp nucera und Fraunhofer IKTS vereinbaren Partnerschaft in der SOE-Technologie

(Bild oben)

Im Rahmen einer festlichen Veranstaltung wurde am IKTS-Standort Arnstadt die neue Partnerschaft mit dem Elektrolyse-Anbieter thyssenkrupp nucera öffentlich gemacht. Mit der Industrialisierung der Hochtemperatur-Elektrolyse des Fraunhofer IKTS stärkt das Unternehmen sein Technologie-Portfolio rund um die Erzeugung grünen Wasserstoffs. Im ersten Quartal 2025 nahm eine durch das Fraunhofer IKTS geplante und errichtete Pilotanlage ihren Betrieb für die Herstellung der Hochtemperatur-Elektrolyse-Stacks mit den SOE-Zellen – den Kernelementen der SOE-Stacks – auf. Die strategische Partnerschaft umfasst auch eine Lizenz zur Fertigung und Nutzung von CFY-Stacks auf Basis der SOE-Technologie des Fraunhofer IKTS durch thyssenkrupp nucera. Für die Akquise dieses Großprojekts wurde das Fraunhofer IKTS von der Fraunhofer-Gesellschaft mit der Auszeichnung »Akquise des Jahres« geehrt.

14. März/25. + 27. April/25. Mai 2024

Nachwuchsförderung am IKTS

Unsere Angebote für den Forschungsnachwuchs wurden rege genutzt: Die Ausbildung zum/zur Physiklaborant*in stand im Fokus des **Schau rein!**-Programms. Interessierte Schüler*innen aus ganz Sachsen hörten Vorträge, übernahmen in verschiedenen Abteilungen des Instituts typische Aufgaben und unterhielten sich angeregt mit unseren Auszubildenden. Zum **Girls' Day** kamen MINT-begeisterte Mädchen zu uns und tauschten sich mit IKTS-Mitarbeiterinnen zu Karrierewegen aus. Highlight waren die Mitmachangebote, wie Laborversuche zur Nanotechnologie, eine Führung durch das Folientechnikum, Arbeiten mit 3D-Druck und Schlickerguss sowie ein Keramik-Quiz. Mit Ultraschall begaben sich zum **Juniordoktor** kleine Detektive auf Fehlersuche. Nach einer theoretischen Einführung untersuchten die Schüler*innen der 3. bis 5. Klasse verschiedene Werkstoffe. Sie konnten Materialien bestimmen und Schäden lokalisieren.

27. März 2024

Machbarkeitsstudie bestätigt Potenzial von CERENERGY®

Altech Batteries GmbH, ein Joint Venture des Fraunhofer IKTS und der ALTECH Group, hat mit der Veröffentlichung der Machbarkeitsstudie für das gemeinsame CERENERGY®-Projekt einen wichtigen Meilenstein erreicht. Die Studie unterstreicht das große wirtschaftliche Potenzial der Technologie, die mit Natrium-Festkörperbatterien eine nachhaltige Energiespeicherlösung, insbesondere für Netzbetreiber, bietet. Geplant ist eine Batteriefabrik in Schwarze Pumpe (Sachsen) mit einer jährlichen Kapazität von 120 Batterie-Containern mit einer Leistung von jeweils 1 MWh, den sogenannten »GridPacks«. Die Analyse sagt dem Projekt einen jährlichen Gewinn von 51 Millionen € sowie eine durchschnittliche jährliche Rendite von 19 % aus dem Betrieb der Batteriefabrik voraus.

17. April/28. September 2024

Online-Seminare der NDT4Industry-Reihe

Um die Weiterentwicklung biologisierter Materialien ging es im NDT4INDUSTRY-Seminar, zu dem Dr. Malgorzata Kopycinska-Müller und Mohammad Tadayon im April einluden. Sie präsentierten darin, wie Materialien, die biologische Komponenten integrieren oder imitieren, mittels optischer Kohärenztomographie (OCT) und nanomechanischen in-situ-SEM/TEM-Bewertungen charakterisiert werden können. »Von der Faser zum Bauteil – Aktuelle Prüf- und Überwachungsverfahren für CFK« war der Titel des Herbstseminars, das im Rahmen des Webseminars *Wednesday* von Composites United e. V. stattfand. Dr. Kilian Tschöke und Martin Schulze stellten darin automatisierte Prüf- und Überwachungstechnologien auf Basis von Ultraschall und Wirbelstrom vor, die am Fraunhofer IKTS entwickelt werden.

24. April 2024

Messen: Expert*innen und Technologien live

(Bild oben)

Insgesamt 31 Auftritte im In- und Ausland spiegelten die Vielfalt des Instituts und der Einsatzgebiete keramischer Komponenten, Systeme und zerstörungsfreier Prüftechnologien. Auf der **HANNOVER MESSE** und der **ACHEMA** in Frankfurt demonstrierte das Institut Lösungen für die Bioökonomie. Der Fokus lag dabei auf Indoor Farming bzw. Controlled Environment Agriculture (CEA) als innovativer Methode zur Pflanzenkultivierung, die in geschlossenen Systemen unter kontrollierten Bedingungen stattfindet. Das IKTS zeigte dabei seine Expertise in der Wasseraufbereitung, im Monitoring und Nährstoffein-satz sowie bei der Belichtung, Klimatisierung und der Entwicklung von Steuerkonzepten. Wasseraufbereitungstechnologien sowie Luftfiltration und Gastrennung mittels Membranen



wurden auf der **IFAT** und **FILTECH** vorgestellt. Lösungen für die Energiewende – vom Material bis zum System – standen auf der **European Hydrogen Week** in Brüssel im Fokus. Auch auf der **CERAMITEC**, der Leitmesse für die Keramikindustrie, waren IKTS-Forschende vertreten. Leitthemen für das Institut waren die Dekarbonisierung industrieller Prozesse, die Kreislaufwirtschaft für Neben- und Abfallprodukte sowie die Rolle der Keramikindustrie bei der Energieerzeugung und -speicherung als Anwender und Anbieter mit dem Schwerpunkt Wasserstofftechnologie. Innovative Systeme für die Zustandsüberwachung und zerstörungsfreies Prüfen lernten Besucher*innen auf den Messeständen auf der **JEC World** in Paris und auf der **WCNDT** in Südkorea kennen. Der Fokus lag hier auf der zerstörungsfreien Qualitätssicherung für CFK-Leichtbauteile und Batterieslurries sowie der Augmented Reality (AR)-unterstützten Ultraschallprüfung. Prüfsysteme für die Bahntechnik und -infrastruktur wurden auf der **Innotrans** vorgestellt. Neuartige Entwicklungen zu elektrokalischen Kühlelementen und zur Leistungselektronik präsentierte das IKTS auf der **Chillventa** und **Electronica**. Eine Vorschau auf die kommenden Messen finden Sie auf Seite 67.

24. April 2024

Eröffnung der Koordinierungsstelle für Forschungsk Kooperationen mit Korea

In Berlin eröffneten das Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) und Fraunhofer im Beisein von Vertretern des koreanischen Ministeriums für Handel, Industrie und Energie (MOTIE) eine Koordinationsstelle zur Stärkung internationaler Forschungsk Kooperationen. Über das sogenannte »K-FAST – Korea Fraunhofer Office of Science and Technology«, eine von sechs Koordinierungsstellen weltweit, will sich die koreanische Wirtschaft enger mit Exzellenzpartnern vernetzen. In Deutschland ist neben KIAT die Fraunhofer-Gesellschaft mit acht Instituten – unter Federführung des Fraunhofer IKTS – an der Initiative beteiligt.



25. Mai/14. Juni 2024

Wissenschaftsnächte in Freiberg und Dresden

(Bild oben links)

Zur Freiburger Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft im Mai gaben die Freiburger IKTS-Standorte Einblicke in ihre Forschung zu Batterien und Batterierecycling sowie zum chemischen Recycling von Kunststoffen. Mit Mitmachexperimenten, Laborführungen, Vorträgen und spannenden Exponaten präsentierte das Dresdner IKTS-Team zur **Dresdner Langen Nacht der Wissenschaften** im Juni seine Forschung der Bevölkerung. Kinder konnten 5-Cent Stücke elektrochemisch »vergoldet«, mit einer HoloLens in das Innere von Objekten blicken, Ultraschall darts ausprobieren und ihr Wissen im Kinder-Quiz testen. Die großen Gäste erfuhren, wie man mit Ultraschall Risse in Bauteilen aufspürt und Abwasser mithilfe von Elektrolytzellen reinigt. Auch ein Blick in unsere 3D-Drucklabore war möglich.

12. Juni 2024

IKTS nimmt an REWE Team Challenge teil

24 motivierte IKTS-Mitarbeitende traten in sechs Teams, mit kreativen Namen wie Rennstoffzellen, CerAMigos oder Höchstleistungskeramiker, zur REWE Team Challenge Dresden an, um das Institut möglichst weit vorn zu platzieren. Die Laufveranstaltung zählt zu den größten Firmenläufen Deutschlands. An der 15. Auflage nahmen 28 500 Läuferinnen und Läufer teil – Rekord! Auch 2025 ist das IKTS-Team wieder am Start.

22. Juni 2024

IKTS-Doktorand erhält Manfred Hirschvogel-Preis

IKTS-Forscher Dr. Gregor Herz erhielt für seine Dissertation zur »Technoökonomischen Analyse wasserstoffbasierter Ansätze zur Emissionsminderung in der Stahlindustrie« den mit 5000 € dotierten Manfred Hirschvogel-Preis der TU Dresden. Mit dem Preis wird jährlich die beste Dissertation im Bereich Maschinenbau ausgezeichnet.

22. August 2024

Gesundheitstag am Fraunhofer-Institutszentrum

Raus aus dem Labor bzw. Büro und Turnschuhe an, hieß es im Sommer für die Mitarbeitenden im Fraunhofer-Institutszentrum Dresden. Mit einem bunten Sportprogramm von Yoga bis Human Soccer, individuellen Check-ups und Infovorträgen lud der Gesundheitstag auf dem Campus ein, sich zu Gesundheitsthemen zu informieren und sportlich aktiv zu sein. Aufgrund der positiven Resonanz wird das Konzept fortgesetzt.



29. August 2024

Europaweit einzigartiges FuE-Zentrum für Transparentkeramik

(Bild mitte)

Im Beisein des Thüringer Wirtschafts- und Wissenschaftsministers Wolfgang Tiefensee wurde am IKTS-Standort Hermsdorf ein neues Forschungs- und Entwicklungszentrum für Transparentkeramik eröffnet. Das Zentrum ist europaweit einzigartig und bildet die komplette Prozesskette zur Herstellung von Transparentkeramikbauteilen vom Labor- bis in den Pilot- und Serienmaßstab ab. Zur neuen Infrastruktur gehören Geräte und Anlagen zur Konditionierung hochreiner Pulver, Formgebung, Wärmebehandlung, Laser- sowie Ultra-Präzisionsbearbeitung. In Zukunft soll hier gemeinsam mit interessierten Partnern aus der Industrie eine Vielfalt an neuartigen, wirtschaftlichen Anwendungen entwickelt werden.

1. September 2024

Verstärkung für die BTU: Constanze Tschöpe zur Professorin ernannt

(Bild Seite 17 oben links)

Dr.-Ing. Constanze Tschöpe erhielt einen Ruf an die Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU), wo sie nun die Professur für Kognitive Materialanalytik an der Fakultät MINT – Mathematik, Informatik, Physik, Elektro- und Informationstechnik inne hat. Sie arbeitet seit 1996 am Fraunhofer IKTS in Dresden, ist aktuell als Gruppenleiterin »Maschi-



nelles Lernen und Datenanalyse« sowie als Leiterin der Fraunhofer-Projektgruppe »Kognitive Materialdiagnostik« tätig.

7. September 2024

Tag der offenen Tür am Standort Hermsdorf

Einmal hinter die Kulissen eines Forschungsinstituts schauen – diese Gelegenheit nutzten mehrere Hundert Menschen und besuchten das Fraunhofer IKTS zum Tag der offenen Tür am Standort Hermsdorf. Offene Labore in fünf Institutsgebäuden, Führungen durch die Technika, Vorträge des stellvertretenden Institutsleiters Prof. Ingolf Voigt, selbst experimentieren mit Nicht-Newtonscher Flüssigkeit oder cleveren Mini-Robotern – ein spannendes Programm bot sich den zahlreichen Gästen.

11. September 2024

Technologietag »Elektronik der Zukunft«

In Kooperation von Fraunhofer IKTS, Fraunhofer IZM und CONTAG AG fand der erste Technologietag »TechVision« statt. Im Fokus standen unter dem Motto »Elektronik der Zukunft – PCBs and beyond« der fachliche Austausch sowie das Networking zu innovativen Lösungen für Leiterplatten, keramischen Schaltungsträgern, deren Aufbau- und Verbindungstechnologien (AVT), RF & Smart Sensor Systeme sowie 3D-Elektronik.

17. September 2024

Herausragende IKTS-Persönlichkeiten gewürdigt

(Bild oben rechts)

Kolleg*innen, Weggefährten und Gäste würdigten auf Einladung von Fraunhofer IKTS und H.C. Starck die beiden Verstorbenen Dr. Gerhard Gille und Prof. Waldemar Hermel im Beisein der Familien. Dr. Gerhard Gille leistete einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung von Hartstoffen und damit aufgebauten Hartmetallen zunächst am ZFW Dresden, später am Fraunhofer IKTS

und der H.C. Starck Tungsten GmbH. Prof. Waldemar Hermel arbeitete am ZFW an effektiven Sinterprozessen von Metallpulvern und trug wesentlich zur Entwicklung technischer Keramiken bei. Als Gründungsdirektor des Fraunhofer IKTS hat er maßgeblich die Etablierung des Instituts gefördert.

24. September 2024

Förderung intelligenter Instandhaltung von Zügen

Im Rahmen der Innotrans 2024 übergab Dr. Volker Wissing, Bundesminister für Digitales und Verkehr, zwei Förderbescheide zu den Projekten D4M und DEFLECTOR, an dem die Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, die Deutsche Bahn, das Fraunhofer IKTS sowie weitere lokale Unternehmen beteiligt sind. Ziel der Projekte ist es, mit künstlicher Intelligenz (KI) und Sensorik die Instandhaltung von Zügen künftig noch präziser, wirtschaftlicher und nachhaltiger zu realisieren.

8.–9. Oktober 2024

Jahrestagung Ceramic Applications

Der »Treffpunkt Keramik« am Fraunhofer IKTS in Dresden präsentiert seit 20 Jahren nicht nur eigene Forschungshighlights, sondern auch Exponate von mehr als 90 Industriepartnern. 2024 waren die Partner des Ceramic Applications Industriennetzwerks, darunter Keramikfirmen und Anwenderunternehmen, im Rahmen der Jahrestagung des Netzwerks zu Gast am IKTS.

4.–5. November 2024

ESYMS – European School for Young Materials Scientists

Zur jährlich stattfindenden ESYMS trafen sich 2024 ca. 50 junge Materialwissenschaftler*innen aus Europa am Fraunhofer IKTS in Dresden, um sich in den Bereichen Materialwissenschaft, Nanotechnologie, nanoskalige Materialien, Nanoana-

lyse, mehrskalige Materialcharakterisierung sowie Mikroskopie auszutauschen. Die Konferenz umfasste zwei Vorträge von leitenden Wissenschaftlern und natürlich großartige Beiträge der Doktorand*innen. Die besten vier Vorträge und Poster wurden mit einem Award ausgezeichnet.

6.–7. November 2024

CMC – Correlative Materials Characterization Workshop

Der CMC-Workshop in Dresden zog mehr als 100 Teilnehmende aus zehn Ländern an. Sie nutzten die Gelegenheit, um alle relevanten Techniken für die korrelative Materialcharakterisierung zu diskutieren. In spannenden Vorträgen stellten die Referent*innen neue Entwicklungen in den Bereichen Lichtmikroskopie, Elektronenmikroskopie, Röntgenmikroskopie und Rasterkraftmikroskopie vor.

6.–8. November 2024

ISPA 2024

Zum 10. Mal trafen sich internationale Expert*innen zum International Symposium on Piezocomposite Applications ISPA in Dresden, um sich über neue Entwicklungen, Anwendungen und Marktanforderungen von Piezocompositen auszutauschen. In diesem Jahr standen Anwendungen in den Bereichen hochintensiver fokussierter Ultraschall (HIFU), Sonartechnik und Energy Harvesting im Fokus. Eröffnet wurde die Veranstaltung mit einem Industrie-Workshop. Die nächste ISPA ist 2026 geplant.

13. November 2024

HTW-Professur für Laura Nusch

(Bild unten links)

Dr.-Ing. Laura Nusch wurde zur Professorin für Regenerative und nachhaltige Energiesysteme an die HTW Dresden berufen. Die studierte Maschinenbau-Ingenieurin forscht seit 2011 am Fraunhofer IKTS an Hochtemperatur-Brennstoffzellensystemen. Aktuelle Projekte fokussieren u. a. auf alternative Brennstoffe wie Ammoniak. In ihrer neuen Position beschäftigt sie sich mit der Nutzung von erneuerbaren Energien in Gebäuden und Quartieren. Dabei spielt der Nachhaltigkeitsaspekt im Sinne des Life Cycle Assessments eine wichtige Rolle.

22. November 2024

Lange Nacht der Wissenschaften Jena

Gemeinsam mit dem Thüringer Wasser-Innovationsclusters ThWIC und dem Hermsdorfer Schülerlabor Sensor Space beteiligte sich das Fraunhofer IKTS mit einem interaktiven Angebot

zur Wasserforschung an der Langen Nacht der Wissenschaften in Jena. Besucher*innen konnten zum Beispiel eigene Wasserproben testen, Versuche zur Wasserreinigung durchführen oder per VR-Brille virtuell in ein Wasserwerk eintauchen.

1. Januar 2025

Fraunhofer IKTS verstärkt Aktivitäten in Sachsen-Anhalt

Seit Januar 2025 ist das Center for Economics and Management of Technologies (CEM) mit Sitz in Halle (Saale) Teil des Fraunhofer IKTS. Das CEM erweitert das Forschungsportfolio um technoökonomische Analysen, die Modellierung von Prozess- und Wertschöpfungsketten sowie die Technologie- und Regulierungsfolgenabschätzung. Dieses Know-how soll Unternehmen und Organisationen unterstützen, Transformationsprozesse zu bewältigen, Innovationsprozesse zu verbessern und erfolgreich in neuen Technologiefeldern tätig zu werden. Im Fokus stehen hier u. a. der Technologietransfer in die Chemie- und Prozessindustrie sowie die Bewertung regionaler und standortbezogener Transformationskonzepte. Mehr dazu im Interview auf Seite 20.

5. Februar 2025

Natalia Beshchasna wird Adjunct Professorin an indonesischer Universität

(Bild unten rechts)

Seit 2020 leitet Dr.-Ing. Natalia Beshchasna die IKTS-Arbeitsgruppe »Biodegradation und Nanofunktionalisierung« am Standort Dresden-Klotzsche und erforscht dort Materialveränderungen und Alterungsprozesse von Implantaten, um Wechselwirkungen zwischen funktionalisierten Implantatmaterialien und menschlichem Gewebe zu verstehen. Nun wurde sie als Adjunct Professorin an die Universitas Gadjah Mada, eine der größten und renommiertesten Universitäten Indonesiens, berufen. Schwerpunkte ihrer Arbeit dort sind polymerbasierte Strukturen und Nanomaterialien im Dentalbereich sowie Mikrofluidik-basierte Organ-on-Chip-Systeme.



Die Geschäftsfelder des Fraunhofer IKTS



Werkstoffe und
Verfahren



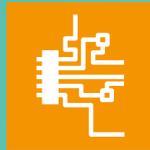
Energie



Wasser



Umwelt- und
Verfahrenstechnik



Elektronik und
Mikrosysteme



Zerstörungsfreie
Prüfung und
Überwachung



Maschinenbau und
Fahrzeugtechnik



Bio- und
Medizintechnik



Material- und
Prozessanalyse

Das Fraunhofer IKTS arbeitet in neun marktorientierten Geschäftsfeldern, um keramische Komponenten und Technologien für neue Branchen, neue Produktideen und neue Märkte jenseits der klassischen Einsatzgebiete zu demonstrieren und zu qualifizieren. Dazu gehören: Werkstoffe und Verfahren, Material- und Prozessanalyse, Energie, Wasser, Umwelt- und Verfahrenstechnik, Elektronik und Mikrosysteme, Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung, Maschinenbau und Fahrzeugtechnik sowie Bio- und Medizintechnik.

In den Querschnittsbereichen Werkstoffe und Verfahren sowie Material- und Prozessanalyse werden etablierte und neue Technologien als »Enabling Technologies« für alle anderen Bereiche kontinuierlich weiterentwickelt.

Innerhalb unserer Geschäftsfelder entwickeln wir über Fachdisziplinen und Standorte hinweg bedarfsgerechte und nachhaltige Lösungen. Durch unikale Anlagen und Testfelder transferieren wir Forschungs- und Entwicklungsergebnisse schnell in die Anwendung – zum Nutzen von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt.

Fraunhofer IKTS verstärkt Aktivitäten in Sachsen-Anhalt

Interview mit Dr. Daniela Pufky-Heinrich und Prof. Michael Stelter

Seit diesem Jahr ist das Center for Economics and Management of Technologies (CEM) mit Sitz in Halle (Saale) als neue Struktureinheit am Fraunhofer IKTS integriert. Im Interview geben die Leiterin Dr. Daniela Pufky-Heinrich und der stellvertretende Institutsleiter des Fraunhofer IKTS Prof. Dr. Michael Stelter einen Einblick in die zukünftige Zusammenarbeit.

Frau Dr. Pufky-Heinrich, Sie befassen sich am CEM mit Ökonomischer Modellierung und Geschäftsmodellentwicklung. Beim Fraunhofer IKTS denken viele zuerst an keramische Komponenten und Systeme. Wo liegen die Berührungspunkte in dieser ungewöhnlichen Kombination von CEM und Fraunhofer IKTS?

D. Pufky-Heinrich: Wenn man genau hinschaut, ist diese Zusammenarbeit gar nicht so ungewöhnlich. Sie hat sich in den letzten Jahren bereits in mehreren Projekten des CEM mit dem IKTS bewährt. Das CEM schließt eine Lücke zwischen dem technologischen Ansatz des Fraunhofer IKTS und der (techno-)ökonomischen Perspektive. Durch unser interdisziplinäres Team aus Volks- und Betriebswirten und Ingenieurinnen ermitteln wir, welche Technologien ökonomisch relevant und ökologisch nachhaltig sind.

»Wir bieten also fundierte Entscheidungsoptionen über mögliche Entwicklungsszenarien für Unternehmen, Industrieparks oder auch Kommunen und Investoren.«

Das IKTS kann dann zielgerichtet solche technologischen Lösungen in die Industrie transferieren, die vor diesem Hintergrund benötigt werden.

M. Stelter: Schlussendlich ist es der gleiche Spirit, der uns zusammenbringt. Auch wir sind in Projekten mit einer zunehmenden Komplexität konfrontiert und benötigen Modelle und Simulationen, um über Sektorgrenzen hinweg Lösungen zu entwickeln. Es gibt also eine vorhandene Affinität zu mathematischen Lösungen in der Simulation und Verfahrensauslegung. Wollen wir diese dann mit den Kunden bis zum semi-industriellen Anlagenniveau vorantreiben, müssen wir natürlich auch wissen, welche Geschäfts-, Betreiber- und Verwertungsmodelle realistisch sind.

Das klingt nach einem passenden Match. Welche Branchen und Unternehmen stehen dabei im Fokus?

M. Stelter: Aufgrund von Regulatorik und Kostendruck gibt es natürlich eine hohe Nachfrage nach Lösungen in der Energie- und Wasserwirtschaft. Gleichzeitig entwickeln sich gerade wichtige Fragestellungen im gesamten Bereich der Bioökonomie. Nicht umsonst spricht man hier von einem Water – Energy – Food Nexus.

Landwirte werden zu Energiewirten und zukünftig vielleicht auch zu Chemielieferanten. Wasserversorger »erzeugen« eigene Energie und bieten vielleicht bald datenbasierte Services mit den Informationen aus dem Abwasser. Wir stehen hier bereit, diese Möglichkeiten zu bewerten und weiterzudenken.

D. Pufky-Heinrich: Jedes Unternehmen hat da ganz spezifische Herausforderungen, aber wir sehen wiederkehrende Muster: Wie können vorhandene Energie- und Stoffströme effizienter genutzt werden? Gibt es neue Verwertungswege für bisher ungenutzte Reststoffe? Welche Möglichkeiten bieten neue Technologien im Bereich Erneuerbare Energien, Wasserstoff oder des Recyclings? Das sind Fragen, die Unternehmen von KMU bis zu internationalen Konzernen aktuell beschäftigen.

Sei es die Chemieindustrie in Sachsen-Anhalt, die Halbleiterindustrie in Sachsen oder die Pharma- und Lebensmittelindustrie in Thüringen – wir möchten hier unsere vorhandenen Netzwerke in Mitteldeutschland aktiv ausbauen und mit Referenzprojekten zeigen, dass wir die Unternehmen mit konkreten Antworten begleiten können.

Herr Prof. Stelter, Sie sprachen gerade von Bioökonomie. Können Sie uns das kurz etwas näher erklären?

M. Stelter: Sehr gern. De facto erleben wir gerade eine Art Paradigmenwechsel, wie natürliche Ressourcen bei uns betrachtet werden. Vor dem Hintergrund geopolitischer Unsicherheiten und einer stabilen Versorgung mit Nahrung, Energie oder Wasser schauen wir sehr genau hin, welche Potenziale wir noch heben können. Dies beginnt bei der Produktion in der Landwirtschaft oder in kontrollierten Umgebungen – Stichwort Vertical Farming – bis hin zur Nutzung von Reststoffen in der



Dr. Daniela Pufky-Heinrich und Prof. Dr. Michael Stelter im Gespräch.

Verarbeitung von Holz, Lebensmitteln und anderen Produkten. Gleichzeitig erkennen wir bereits jetzt Verwendungskonflikte bei der Nutzung von Ackerflächen für Nahrungsmittel oder Energieträger oder bei Wasserressourcen für die Landwirtschaft oder die Produktion. Ebenso betrachten wir Biomassen zunehmend auch als Kohlenstoffquellen für die chemische Industrie. Hier müssen wir immer alle Ströme im Gesamtbild betrachten und bewerten – wo wir wieder bei den komplexen Modellen des CEM als wesentlichem Beitrag sind.

Worin sehen Sie hier das besondere Alleinstellungsmerkmal des Fraunhofer IKTS?

M. Stelter: Ich denke, es ist nicht übertrieben, dass wir als IKTS mit keramischen Schlüsselkomponenten wirklich innovative Technologien entwickeln können. Aber dafür müssen wir diese Komponenten im Gesamtsystem und der Produktionsumgebung verstehen. Nur so können wir beweisen, dass unsere Komponente besser ist.

»Der Anlagenbau nimmt hier eine zunehmend wichtigere Rolle ein, da wir unseren Partnern so unsere Lösungen in Ihrer Umgebung demonstrieren können.«

Für Systeme im Bereich Power-to-X oder Wasserstoff tun wir das bereits – in weiteren Feldern wie der Wasserversorgung oder der Bioökonomie möchten wir dies zukünftig auch tun. Mit dem CEM können wir nun die Bilanzgrenze deutlich ausweiten und auf einer Ebene arbeiten, die zuvor kaum machbar war.

D. Pufky-Heinrich: Ich komme ja aus der chemischen Industrie und kenne daher deren Anforderungen. Stellen Sie sich vor, Sie wollen eine CO₂-Abscheideanlage in Ihren vorhande-

nen Industriepark integrieren – da wollen Sie nicht nur wissen, wann der wirtschaftliche Break-Even erreicht ist, sondern auch, wie Ihre bestehenden Prozesse davon beeinträchtigt werden.

Gemeinsam können wir innovative Anlagenkonzepte zunächst modellieren und dann von der Analyse der spezifischen Ausgangsstoffe bis zur Integration eines Systems in den Gesamtprozess vor Ort begleiten – das können dann auch schon einmal bis zu 20-Fuß große Container sein. Für ein Forschungsinstitut ist das eher ungewöhnlich. Aber nur so können Unternehmen fundiert größere Investitionsentscheidungen treffen.

Welche Rolle spielt dabei die Offenheit für Innovationen – also die Akzeptanz der verschiedenen Akteure?

D. Pufky-Heinrich: Das ist eine gute und wichtige Frage. Die Akzeptanz für Technologien wird sowohl bei Produzenten als auch bei Konsumenten entscheidend davon bestimmt, mit welcher Kommunikation Innovationen begleitet werden. Hier sind übergeordnete Informationskampagnen zum wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Mehrwert ebenso wichtig wie die Einbindung der lokalen Bevölkerung.

M. Stelter: Als IKTS müssen wir zunehmend darauf achten, dass wir mit unserer technologischen Brille nicht wichtige Aspekte übersehen. Viele unserer Technologien sind wirtschaftlich und ökologisch sinnvolle Transformationstechnologien – aber das erfordert auch ein Umdenken bei den Nutzern. Und dies behindert manchmal die Umsetzung. In unserem »Thüringer Wasser- und Innovationscluster ThWIC« haben wir bereits gelernt, wie nutzbringend die Einbindung soziologischer Kompetenz sein kann. Mit dem CEM bringen wir diese Fähigkeiten und Kooperationen nun konsequent in die gesamte Breite des Fraunhofer IKTS.

Ich danke Ihnen vielmals. Nun abschließend noch eine Frage. Frau Dr. Pufky-Heinrich, was wünschen Sie sich für die kommenden Jahre?

D. Pufky-Heinrich: Zunächst möchte ich mich bedanken, wie offen die Kolleginnen und Kollegen am IKTS uns aufgenommen haben. Wenn die Zusammenarbeit weiter so verläuft, dann sehe ich hier eine riesige Chance, die innovativen Technologien des Fraunhofer IKTS gleich mit einem neuen Geschäftsmodell in die Welt zu bringen. So können wir in Zukunft gemeinsam wachsen.

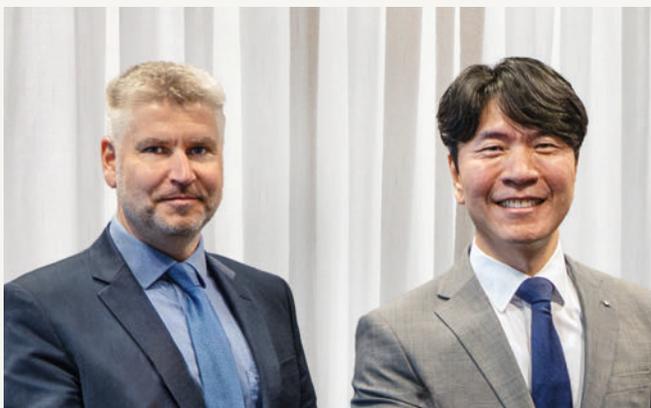
Herr Stelter, was ist Ihr Wunsch für das IKTS mit seinem neuen Familienmitglied?

M. Stelter: Ich mache es kurz. Wir wollen mit all unseren Partnern einen mitteldeutschen Forschungsraum für Transformationstechnologien schaffen, der die Herausforderungen unserer Zeit angeht – pragmatisch und zukunftsorientiert.

Weitere Intensivierung der deutsch-koreanischen Forschungsk Kooperation

Interview mit Dr. Tae-Young (Rick) Han und Prof. Dr. Thomas Härtling

Innerhalb der internationalen Forschungsk Kooperationen des Fraunhofer IKTS spielt die Zusammenarbeit mit Partnern aus Südkorea eine besonders wichtige Rolle. Vor diesem Hintergrund wurden die Korea-Aktivitäten im letzten Jahr kontinuierlich verstärkt und strategisch ausgebaut. Das Team um Dr. Tae-Young (Rick) Han stellt ein Bindeglied zwischen den Forschenden des IKTS und der koreanischen Industrie, Wissenschaft und Politik dar, indem es die Anbahnung konkreter binationaler Forschungsprojekte unterstützt. In 2024 ist es darüber hinaus erstmals gelungen, ganze FuE-Programme gemeinsam mit koreanischen Projektträgern zu gestalten. Dies hebt die Kooperation mit der Republik Korea auf ein neues Niveau und ist für die gesamte Fraunhofer-Gesellschaft wirksam.



Prof. Dr. Thomas Härtling und Dr. Tae-Young (Rick) Han.

Wie entstand die Zusammenarbeit mit den koreanischen Projektträgern?

R. Han: Die bereits beachtliche Aktivität des südkoreanischen Staates in der Förderung der Zusammenarbeit mit ausländischen Partnern wurde in den vergangenen zwei Jahren noch einmal weiter verstärkt. Zu nennen sind hier zunächst die beiden Projektträger KEIT und KIAT, welche beide im Wirtschaftsministerium Südkoreas angesiedelt sind.

KEIT (Korea Evaluation Institute of Industrial Technology) hat in diesem Zusammenhang das Programm »Germany-Korea Technology Cooperation for Global Value Chain« eingerichtet. Thematisch adressiert werden hier u. a. globale Herausforderungen in den Bereichen Energiewende, Ressourcenknappheit und Umwelttechnologien sowie Digitalisierung. KIAT (Korea Institute for Advancement of Technology) hat parallel dazu das Programm »Global Industrial Technology Cooperation Center« (GITCC) aufgelegt mit Schwerpunkten in den Feldern Künstliche Intelligenz, Robotik, Halbleiter, Batterien, Mobilität und Biotechnologie.

T. Härtling: Beide Initiativen haben gemeinsam, dass nicht nur länderübergreifende Forschungsprojekte beantragt und finanziert werden können. Vielmehr betreiben das Fraunhofer IKTS und der jeweilige Projektträger ein gemeinsames Büro in Dresden. Diese können von Mitarbeitenden der Projektträger, von wissenschaftlichen Kooperationspartnern sowie von Industriekunden für Forschungs- und Arbeitsaufenthalte genutzt werden. Das stellt eine deutliche Intensivierung der Zusammenarbeit dar und erleichtert die Formulierung gemeinsamer Forschungsideen und -konzepte.

»Das Fraunhofer IKTS ist der direkte Kooperationspartner für die Projektträger KIAT und KEIT – die Programme sind jedoch offen für die gesamte Fraunhofer-Gesellschaft.«

Der Zuschlag an das IKTS geht zum einen auf dessen vitales Netzwerk in Korea zurück sowie auf den visionären K-FAST-Projektantrag für das GITCC-Programm, den das IKTS und weitere Fraunhofer-Institute verfasst haben. Darüber hinaus wurde die Anbahnung des Vorhabens vom Sächsischen Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr auf der koreanischen Seite beworben und unterstützt.

Neben den genannten Projektträgern ist das Fraunhofer IKTS aktuell auch mit weiteren Organisationen im Gespräch, etwa KASTI (Korean Research Alliance in Support for Technological Innovation) und TIPA (Korea Technology and Information Promotion Agency). Hier laufen bereits Vorbereitungen für den Ausbau der Zusammenarbeit. Erste Testprojekte wurden gestartet.

Was ist K-FAST und wie wird es international wahrgenommen?

R. Han: Unter den genannten Aktivitäten ist K-FAST das größte und bisher wichtigste Vorhaben für die gesamte Fraunhofer-Gesellschaft. Das Akronym steht für »Korea-Fraunhofer Cooperation Hub for Science and Technology«. Das Projekt bildet den organisatorischen Rahmen für die Zusammenarbeit zwischen Fraunhofer und KIAT im GITCC-Programm. Inhalte sind beispielsweise Matchmaking-Veranstaltungen zwischen deutschen und koreanischen Partnern aus Wissenschaft und Industrie, die Unterstützung gemeinsamer Projektanträge sowie der erwähnte gemeinsame Betrieb eines Büros in Dresden. K-FAST wurde von acht Fraunhofer-Instituten zunächst gemeinsam initiiert und ist nun im Rahmen eines Mitgliedschaftsmodells für die gesamte Fraunhofer-Gesellschaft wirksam.

Die Vergabe des Hubs an die Fraunhofer-Gesellschaft hat international für große Aufmerksamkeit gesorgt. Weltweit gab es 33 Anträge für die Einrichtung einer solchen Kooperationsstelle, nur sechs davon wurden von der südkoreanischen Regierung bewilligt. Die anderen fünf Hubs gingen übrigens an das Massachusetts Institute of Technology (MIT), Yale University, Johns Hopkins University, GeorgiaTech und Purdue University.

Welchen Nutzen stiften die deutsch-koreanischen Kooperationen für die deutsche Wissenschaft und Wirtschaft?

T. Härtling: Deutsch-koreanische Kooperationen stellen mittlerweile einen wesentlichen Motor für Wissenschaft, Technologie, Wirtschaft und Innovation in beiden Ländern dar. Natürlich tragen sie auch zur Stärkung der bilateralen Beziehungen bei.

Als deutsche Forschungseinrichtung profitiert das Fraunhofer IKTS zunächst von Koreas Fortschritten in Bereichen wie Informationstechnologie und Energietechnik. Gleichzeitig bringen wir unser Know-how aus Materialwissenschaft, Verfahrenstechnik und Umwelttechnologie ein.

»Dieser Austausch ist in aller Regel komplementär, fördert Innovationen und stärkt die wissenschaftliche Exzellenz in beiden Ländern.«

Wir sehen ein mittlerweile wirklich gut funktionierendes FuE-Ökosystem zwischen beiden Ländern, welches es Forschenden ermöglicht, eng zusammenzuarbeiten, neue Ideen zu generieren und innovative Lösungen für gemeinsame Herausforderungen zu finden. Dieses Ökosystem und der Personalaustausch führen als Nebeneffekt dazu, deutsche Standorte für koreanische Unternehmen bekannt und attraktiv zu machen. Insgesamt ist dies eine gute Voraussetzung für eine zunehmende Investitionstätigkeit südkoreanischer Firmen in Deutschland – am Beispiel von Dresden etwa die südkoreanische Zulieferindustrie im Halbleitersektor. Dies gilt natürlich auch umgekehrt für deutsche Unternehmen in Korea.

In der Wirtschaft ermöglicht die Zusammenarbeit folglich den Zugang zu neuen Märkten und Geschäftschancen. Deutsche Unternehmen profitieren von Koreas dynamischer Wirtschaft und technologischer Expertise. Gleichzeitig haben koreanische Unternehmen Zugang zu Deutschlands industriellem Sektor und dem großen Markt in der Europäischen Union. Diese Synergien stärken das Wirtschaftswachstum, schaffen Arbeitsplätze und tragen zur globalen Wettbewerbsfähigkeit bei.

Titanoxide als Innovationsbasis für Elektroden, Varistoren und Heizleiter

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

Titanoxide sind in ihrer chemischen Zusammensetzung sehr variabel. Damit verbunden ist die Variabilität der elektrischen Eigenschaften in einem weiten Bereich, so dass elektrische Komponenten mit vielfältigen elektrischen Funktionen hergestellt werden können. Am Fraunhofer IKTS werden Titanoxide kundenspezifisch für Anwendungen in der Energietechnik, Medizintechnik, Elektronik, Elektrotechnik oder Kernfusion entwickelt.

Titanoxide bringen zusätzlich keramiktypische Eigenschaften wie Abrasionsfestigkeit, Härte, Steifigkeit und mechanische Belastbarkeit mit und bieten somit die Chance für neue multi-funktionale Komponenten und Bauteile. Das vollständig oxidierte Titandioxid (TiO_2) kann über Dotierungen vom elektrischen Isolator zum elektrischen Leiter verändert werden (Tab. 1). Titandioxid ist unter oxidierender Atmosphäre bis über 1500 °C chemisch stabil und somit bis in den Hochtemperaturbereich einsetzbar. Unter reduzierenden Bedingungen bildet Titandioxid Sauerstoff-Fehlstellen, die auch ohne Dotierung zu einer elektrischen Leitfähigkeit führen. Die Titanoxid-Magnéli-Phasen der Formel $\text{T}_{i_n}\text{O}_{2n-1}$ besitzen deutliche Sauerstoffdefizite und sehr niedrige elektrische Widerstände (Tab. 1).

Tab. 1: Größenordnung elektrischer Widerstände verschiedener Titanoxidtypen (Raumtemperatur)

TiO_2	TiO_2 , dotiert	$\text{T}_{i_n}\text{O}_{2n-1}$ (Magnéli-Phase)
$10^{12} \Omega\text{cm}$	$10^0 \Omega\text{cm}$	$10^{-3} \Omega\text{cm}$

Technisch weniger bedeutend sind metallähnliche Oxide wie TiO und $\text{TiO}_{0,5}$, die sich elektrisch wie Metalle verhalten. Titanoxide mit Sauerstoffdefizit sind gegenüber TiO_2 allerdings bei Temperaturen über 400 °C oxidationsempfindlich und deshalb nur bei moderaten Temperaturen betriebsstabil. Titandioxid erreicht für ein Einzeloxid einen außergewöhnlich hohen elektrischen Permittivitätswert (ϵ_r) von 100. Abhängig von der Frequenz können die Permittivitätswerte sogar Werte bis fast 1000 erreichen (Abb. 1). Auch die elektrische Permittivität ist adaptierbar. Im Verbund mit ZrO_2 oder CeO_2 kann ein TiO_2 -Komposit einen fast frequenzunabhängigen ϵ_r -Wert zwischen 30–50 erreichen.

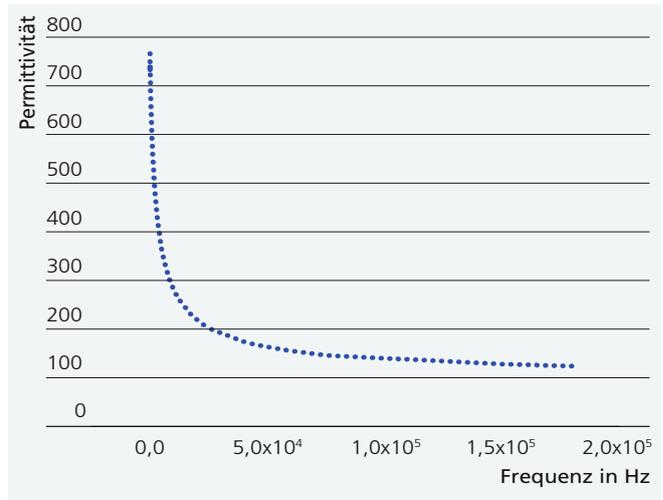


Abb. 1: Frequenzabhängige Permittivität von TiO_2 .

Eine Kombination von dotierten Titandioxidkörnern mit Korngrenzbereichen, die elektronische Barrieren zwischen den TiO_2 -Körnern aufbauen (Abb. 2), führt zu Niederspannungsvaristoren (Wechsel vom Isolator zum elektrischen Leiter bei einer definierten Schaltspannung). Diese schalten im Unterschied zu kommerziellen Varistoren bereits bei einer elektrischen Feldstärke im Bereich 10–100 V/mm von elektrischer Isolation auf elektrische Leitung. Auch die Kombination von elektrisch isolierenden Bereichen mit elektrisch leitenden Bereichen in monolithischer Fertigung ist fertigungstechnisch mit Titanoxid umsetzbar (Abb. 3). Insbesondere für Elektroden in der Plasmatechnik oder für hochtemperaturstabile elektrische Komponenten wurde hiermit eine Innovationsbasis erschlossen.

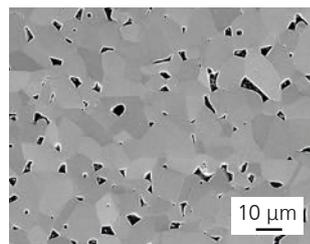


Abb. 2: Gefüge eines TiO_2 -Varistors.



Abb. 3: Isolierendes und leitfähiges Titanoxid.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Anpassung von Titanoxidwerkstoffen auf Anwenderaufgaben
- Testfertigung von Komponenten zur Testung des Betriebsverhaltens beim Anwender
- Messen von elektrischen Parametern für Werkstoffe bei Raumtemperatur und bis zu 1400 °C
- Konzepte und Technologien zur Herstellung und Integration für den Einsatz von Titanoxid- und anderen Keramikkomponenten

Qualitätsstabile Pilotproduktion von Polymerkeramik-Spritzgießgranulaten

Dipl.-Chem. Ralph Schubert, Dr. Olaf Kieseewetter¹
(¹ UST Umweltsensortechnik GmbH)

Polymerkeramische Werkstoffe werden dann eingesetzt, wenn plastische Formgebung für komplizierte Formen gefordert ist, aber die thermische Stabilität von Kunststoffen nicht ausreicht. Die am Fraunhofer IKTS entwickelten Polymerkeramiken bestehen aus keramischen Füllstoffen und siliciumorganischen Polymeren, wobei sich die Polymere durch thermische Behandlung in keramikähnliche Strukturen umwandeln lassen. Polymerkeramiken können durch verschiedene plastische Formgebungsmethoden (z. B. Spritzguss) verarbeitet werden und sie zeichnen sich durch eine hohe thermische Stabilität (Einsatztemperaturen bis über 600 °C), geringe Schwindung und hohe Formstabilität aus. Relevante Materialeigenschaften (z. B. elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, dielektrische Eigenschaften) und Verarbeitungsparameter können durch die Auswahl geeigneter funktioneller Füllstoffe und Bindersysteme anwendungsspezifisch angepasst werden.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet besteht in der hermetischen und korrosionsbeständigen Hausung von Temperatursensoren für die Überwachung und Steuerung von Maschinen und Antrieben (Einsatzbereich 200 bis 800 °C). Dafür werden durch Spritzgussverarbeitung von Polymerkeramik-Granulaten (Abb. 1) komplex geformte Gehäuse erzeugt, welche zusätzlich konstruktive und mechanische Funktionen übernehmen (Abb. 2). Entsprechende Anwendungen, z. B. für die Automobilindustrie, wurden vor allem mit dem Industriepartner UST Umweltsensortechnik GmbH in Geschwenda entwickelt und von diesem im Industriemaßstab umgesetzt.

Um die Produktion beim Industriepartner zu gewährleisten, müssen industriennahe Verfahren zur Herstellung von polymerkeramischen Spritzgussgranulaten verfügbar sein. Diese wurden am Fraunhofer IKTS auf Basis einer Scherwalzenkompaktierung mit einem Produktionsausstoß von bis zu 60 kg/h entwickelt. Für eine industrielle Verwertung ist außerdem ein auf den Herstellungsprozess zugeschnittenes Qualitätsmanagementsystem erforderlich. Dafür wird z. B. chargenbezogen die Fließfähigkeit über eine Messknetung zur Bestimmung des Drehmoments bei Verarbeitungstemperatur (Abb. 3) und die Biege- und Zugfestigkeit an spritzgegossenen Prüfkörpern ermittelt und dem Anwender in Form eines Werkzeugeignisses zur Verfügung

gestellt. Im Rahmen von Pilotfertigungsvereinbarungen beliefert das Fraunhofer IKTS industrielle Partner bereits seit über 25 Jahren mit polymerkeramischen Spritzgießgranulaten in stabiler Qualität.



Abb. 1: Polymerkeramik-Spritzgießgranulat.



Abb. 2: Polymerkeramisch gehauster Pt1000-Temperatursensor bis 350 °C
(Quelle: UST Umweltsensortechnik GmbH).

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Pilotproduktion von Spritzgießgranulat
- Spritzgießfähiges, hochtemperaturstabilisiertes Hausungsmaterial für Elektronik- und Sensorkomponenten
- Qualitätsmanagement
- Kundenzentrierte Applikationsentwicklung

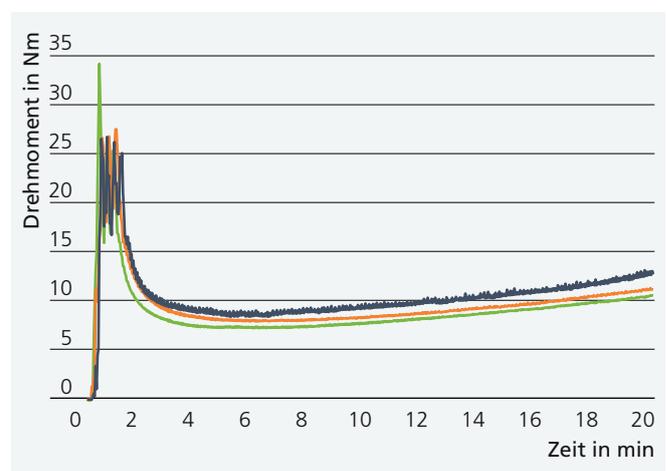


Abb. 3: Bestimmung des Drehmoments in Messknetungen zur Charakterisierung der Fließfähigkeit verschiedener Chargen polymerkeramischer Spritzgießgranulate.

Mikro-Kanalporen in Keramik für innovative Filteranwendungen

Dipl.-Ing. Katrin Schönfeld

Mikro-Kanalporen lassen sich durch verschiedene Fertigungsverfahren herstellen, z. B. durch mechanische Bearbeitung (Laserbohren), Gefrierformgebung (Freeze Casting) oder Abformverfahren. Bei der Abformung durch Ausbrennen von Stoffen, auch bekannt als »Verlorene-Form-Verfahren« oder »Opferform-Verfahren«, wird ein Modell aus einem ausbrennbaren Material hergestellt. Nach der Formgebung wird das Modell verbrannt und eine Hohlform entsteht. Durch die Auswahl der Ausbrennstoffe können Materialien mit gezielt eingebrachten Hohlräumen oder definierten Poren erzeugt werden. Diese finden als innovative Werkstoffe in der Medizintechnik, der Filtertechnik oder bei der Herstellung von leichten, aber dennoch stabilen Strukturen Anwendung. Sie zeichnen sich durch eine besonders scharfe Trenngrenze sowie geringe Gegendrucke aus.

Tab. 1: Ausbrennbare Fasern und ihre Durchmesser

Fasermaterial	Typ	Faserdurchmesser [µm]
Polyesterfasern	PET	10 – 25
Polyamid	Nylon	10 – 30
Aramid	Kevlar	12 – 15
Flachs	Naturfaser	10 – 100
Carbon	HM / HS	5 – 10

Auf diese Weise wurden am Fraunhofer IKTS Materialien mit einheitlicher Porengröße in Form durchgängiger Kanäle erzeugt, indem Endlosfasern als Ausbrennstoffe verwendet wurden. Je nach Anwendungsfall können Poren im Bereich zwischen 4 und 100 µm generiert werden. Zur Herstellung einer besonders feinen Mikro-Kanalstruktur wurden beispielhaft die dünnsten am Markt verfügbaren Carbonfasern vom Typ Toho Tenax UMS45 verwendet. Diese Fasern mit einem Durchmesser von 4,7 µm wurden in Form gebracht und mit einer Al₂O₃-Suspension infiltriert. Die eigens entwickelte Suspension mit Partikeln im Submikrometerbereich ermöglicht die vollständige Ummantelung und Vereinzelung der Fasern. Nach dem Trocknen wurden die Bauteile gesintert und dabei die Fasern an Luft ausgebrannt. Die erhaltenen Gefüge zeichnen sich durch eine gute mechanische Festigkeit aus und enthalten durchgän-



Abb. 1: Formteile mit Mikrokanalstruktur (Schlickerguss).



Abb. 2: Gewickelte Form mit Mikrokanalstruktur.

gige Kanäle mit Durchmessern im Größenbereich der verwendeten Fasern (Abb. 1 und 2).

Diese Arbeiten zeigen, dass sich bei Verwendung von Faserbündeln mit einer definierten Anzahl an Fasern und gleichmäßigem Faserdurchmesser eine gezielte Porenkanalstruktur mit einheitlichem Porendurchmesser und definierter Porenfläche herstellen lässt (Abb. 3 und 4).

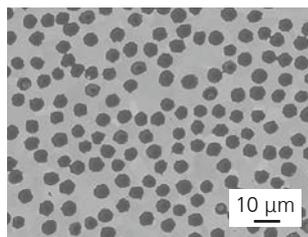


Abb. 3: Gerichtete Mikrokanalstruktur im Querschliff.

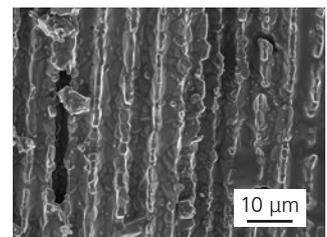


Abb. 4: Gerichtete Mikrokanalstruktur im Längsschnitt.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung von Materialien mit definierter Porenstruktur
- Verfahrensentwicklung für verschiedene Werkstoffsysteme
- Charakterisierung von Porenstrukturen (Porenstruktur, Gegendruck)

Brenntiegel aus recyceltem keramischen Pulver

Dr. Alexander Füssel, Johannes Rösler¹, Peter Spitzer²
(¹Rösler CeramInno GmbH, ²Spitzer Rohstoffhandels-
gesellschaft mbH)

Keramische Abfälle aus Produktionsbruch, verschlissenen Brennhilfsmitteln und Tiegeln fallen in der Keramikproduktion in großen Mengen an. Sie beinhalten wertvolle Materialien, beispielsweise SiC und Al₂O₃. Wie diese gesammelt, sortiert, aufbereitet und zu Brenntiegeln recycelt werden können, wurde im Rahmen des BMBF-geförderten KMU-innovativ Projekts »SiAluPor« (FKZ: 033RK070) untersucht.

Eine Rückgewinnung und Weiterverarbeitung von SiC und Al₂O₃ ist von großer Bedeutung, da für die Herstellung einer Tonne neuwertigen SiC ca. 7 bis 8 MWh elektrische Energie benötigt und ca. 6,6 t CO₂ erzeugt werden. Auch die Herstellung technisch relevanter Al₂O₃-Pulverqualitäten ist sehr energieaufwändig.

Der Projektpartner Spitzer Rohstoffhandelsgesellschaft mbH hat europaweit keramische Abfallprodukte mit hohen Anteilen an SiC und Al₂O₃ zusammengetragen. Aus den gesammelten, sortierten und aufbereiteten Abprodukten können reproduzierbar Pulverbatches aus recyceltem SiC bzw. Al₂O₃ hergestellt werden. Durch ihre enge Kornverteilung eignen sie sich für die Verarbeitung über gängige keramische Formgebungsverfahren, wie den Druckschlickerguss (Abb. 1).

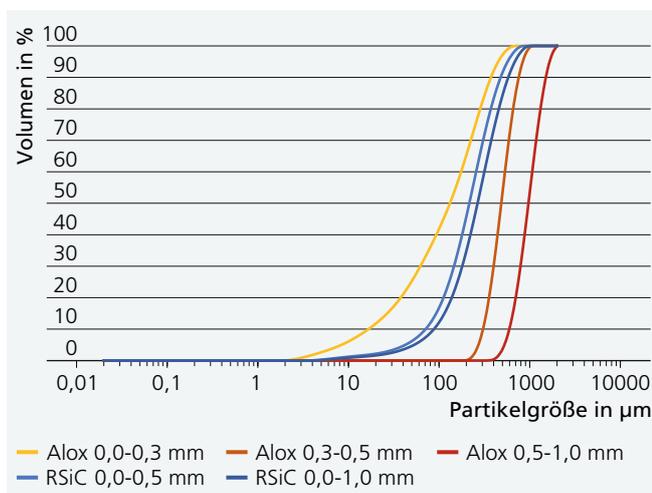


Abb. 1: Partikelgrößenverteilung von recycelten SiC- und Al₂O₃-Pulvern.

Neben der Entfernung metallischer Verunreinigungen, die durch den Mahlprozess eingebracht werden, wurden in enger Kooperation mit Rösler CeramInno Rezepturen für Druckschlickergussmassen auf Basis der recycelten Pulverfraktionen erarbeitet. Diese zeichnen sich durch einen möglichst hohen Anteil recycelten Materials mit grober Körnung von 1 bis 2 mm und eine stabile keramische Bindung aus. Sowohl für tongebundenes SiC als auch für tongebundenes Al₂O₃ konnten passende Zusammensetzungen und Verarbeitungsparameter realisiert werden. Damit ließen sich Brenntiegel herstellen, die beispielsweise für das Kalzinieren keramischer Pulver eingesetzt werden.



Abb. 2: Testtiegel, gefüllt mit Aluminiumhydroxid.



Abb. 3: Testbrand im Durchlaufofen bei 1180 °C.

In Dauerversuchen (Abb. 2 und 3) zeigte sich, dass die recycelten SiC-Tiegel bei Temperaturen von 1180 °C innerhalb des Versuchszeitraums keine Degradationsmerkmale aufwiesen. Erst bei höherer Temperatur trat eine Reaktion mit dem Brenngut auf, die bei einigen Tiegeln zur Rissbildung führte. Ähnliche Ergebnisse lieferten die Tiegel auf Al₂O₃-Basis.

Im Rahmen des Projekts wurde somit erfolgreich nachgewiesen, dass sich gezielt einstellbare Pulverfraktionen aus SiC- und Al₂O₃-Abprodukten reproduzierbar aufbereiten lassen. Durch eine geeignete Reinigung weisen diese nur geringfügig erhöhte Gehalte an Mahleisen auf. Diese Recyclingpulver eignen sich aufgrund ihrer sehr guten Verarbeitungseigenschaften für die Herstellung oxidgebundener SiC- und Al₂O₃-Brenntiegel.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Suspensionsentwicklung auf Basis diverser keramischer Rohstoffe für verschiedene Formgebungsverfahren
- Charakterisierung von Brennhilfsmitteln und Brenntiegeln mit optischen und mechanischen Prüfmethode
- Unterstützung bei Auswahl und Charakterisierung von Rohstoffen für die Herstellung von Brennhilfsmitteln
- FuE-Arbeiten zum Recycling technischer Keramik



Umformen thermoplastischer Keramikfolien

Dipl.-Ing. Anne Mannschatz, Dr. Axel Müller-Köhn,
Dr. Tassilo Moritz

Branchenübergreifend wächst der Bedarf an hoch beanspruchten Komponenten für die Hochleistungselektronik und Mobilitätselektrifizierung. Immer wichtiger werden in diesem Bereich funktionalisierbare und temperaturbeständige Komponenten, wie Schaltungsträger oder Gehäuse. Hierfür eignen sich insbesondere Bauteile aus Keramik. Bei der Herstellung dünnwandiger Keramikteile über das Pressen von Halbzeugen mit anschließender Grünbearbeitung entsteht mit dem Abtrag jedoch ein hoher Materialverlust. Alternativ können über Multilayer-technologie Folien gestapelt und laminiert werden – doch auch hier ist durch den aufwändigen Konfektionierungsprozess der Materialausnutzungsgrad gering.

Wirkmedienbasiertes Umformen

Gemeinsam mit dem Fraunhofer IWU hat das Fraunhofer IKTS ein Verfahren zur Herstellung dreidimensional geformter, dünnwandiger Keramikbauteile entwickelt. Es nutzt die temperaturabhängige reversible Erweichung und Erstarrung von Thermoplasten, um in der Umformung bis zu 80 % Material einzusparen. Das keramische Pulver wird dafür mit einem thermoplastischen Bindersystem gemischt und über Extrusion zu Endlosbändern verarbeitet (Abb. 1). Anschließend wird die flexible Grünfolie in einem beheizten Werkzeug platziert und mit dem Wirkmedium Stickstoff beaufschlagt, dies wird Hydroforming genannt (Abb. 2). Die Folie wird in die Matrize des Werkzeugs gedrückt, formt sie ab und kann nach dem Abkühlen entnommen werden. Der Binder wird entfernt und das Keramikteil über Sintern fertiggestellt.

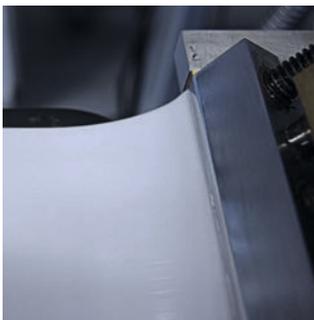


Abb. 1: Extrusion einer thermoplastischen keramischen Folie.



Abb. 2: Umgeformte Keramikbauteile.

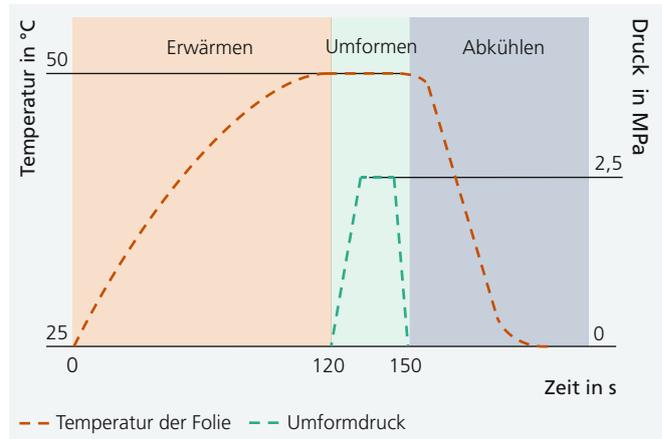


Abb. 3: Prozessablauf beim wirkmedienbasierten Umformen.

Im Prozess bestimmen das thermomechanische Verhalten des Binders und der Feststoffgehalt die Umformbarkeit der Folie. Diese müssen so eingestellt werden, dass bei Verarbeitungstemperatur eine hohe Dehnung erreicht wird, ohne Mikrodefekte zu erzeugen. Bei einer präzisen Temperaturführung ist es gelungen, defektfreie Bauteile zu fertigen (Abb. 3). Das thermoplastische Verhalten der keramischen Grünfolien erlaubt auch eine Übertragung von anderen Formgebungsverfahren, z. B. das Thermoformen von Kunststoffen.



Abb. 4: Aufbau Werkzeug.

Vorteile des Verfahrens

- Herstellung dünnwandiger, 3D-geformter Keramikteile
- Einbringen von Strukturdetails während des Umformprozesses möglich
- 80 % Materialeinsparung gegenüber spanender Bearbeitung

Die Entwicklung wurde in Kooperation mit dem Fraunhofer IWU Chemnitz im Projekt KefoliUm, gefördert im Rahmen des Fraunhofer-Förderprogramms SME, durchgeführt.

Photokatalytische Aufbereitung von Problemwässern mit TiO₂-Komponenten

Dipl.-Ing. Franziska Saft, Dipl.-Ing. Christian Berger,
Dr. Uwe Scheithauer

Der Zugang zu sauberem Wasser ist weltweit ein wichtiges Thema. Nach Angaben der Vereinten Nationen (UN) haben mehr als zwei Milliarden Menschen keinen direkten Zugang zu sicherem Trinkwasser. Das »Nachhaltige Entwicklungsziel für sauberes Wasser und sanitäre Einrichtungen« der UN (SDG 6) soll dieses Problem angehen. Die durch Wasserverschmutzung entstehenden Probleme sind in den entwickelten Industrieländern meist nur indirekt spürbar, vor allem dann, wenn sie über ausreichende Wasserreserven verfügen. Doch trotz hoher Standards der wasser- und abwasserwirtschaftlichen Infrastrukturen gelangen persistente Spurenstoffe (bspw. Pharmaka, Pestizide, Farbstoffe) in den Wasserkreislauf und reichern sich dort an. Viele am Markt verfügbare Verfahren sind mit spezifischen technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Nachteilen versehen, so dass eine neue Generation nachhaltiger und variabel einsetzbarer, energie- und materialeffizienter Technologien und Verfahren erforderlich ist. Die Voraussetzung hierfür sind leistungsfähige Materialien und Systeme sowie das zugehörige Prozessdesign.

3D-gedruckte TiO₂-Komponenten

Vor diesem Hintergrund entwickelt das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit den Kooperationspartnern Tiger Coatings GmbH & Co.KG und Hochschule Mittweida im Rahmen des M-Era.Net-Projekts »CeramSLS« kompakte, geometrisch funktionalisierte 3D-gedruckte TiO₂-Komponenten für die Problemwasserbehandlung mittels Photokatalyse. Dabei werden organische und anorganische Verunreinigungen in Abwässern durch die Erzeugung von hochreaktiven Radikalen, die unter Lichtanregung entstehen, entfernt. Besonderes Augenmerk liegt daher auf der Erzeugung einer hohen geometrischen Reaktionsoberfläche. Zudem werden eine gezielte Flüssigkeitsführung zur Erhöhung der Verweilzeit im System sowie eine Minimierung des Gesamtvolumens der Anlage angestrebt. Additive Fertigungsverfahren, wie der 3D-Druck, bieten aufgrund ihres hohen Freiheitsgrads hinsichtlich der geometrischen Komplexität sowie der hohen Flexibilität in der Fertigung enormes Potenzial für die geometrische Funktionalisierung und Miniaturisierung der Bauteile sowie für schnelle Iterationen in der Bauteilentwicklung.

Zum Funktionsnachweis wurde die Eliminierung von Farbstoffen aus Prozesswasser erprobt. Das entwickelte Aufbereitungssystem kann verschiedene organische Schadstoffe wie Rhodamin B, Carbamazepin und Diclofenac rückstandsfrei entfernen und damit einen signifikanten Beitrag zum nachhaltigen Wassermanagement leisten.



Abb. 1: TiO₂-Komponente vor dem Entbindern (links) und nach dem Niedertemperatursintern bei 1000 °C (rechts).

Leistungs und Kooperationsangebot

- Bauteilentwicklung (Design und Fertigung) auf der Basis verschiedener AM-Verfahren und Werkstoffe
- Entwicklung und Charakterisierung von keramischen Funktionskomponenten
- Anwendungsspezifisches Prozessdesign und Prototypenentwicklung
- Verfahrenserprobung unter Realbedingungen, Prozessbewertung.



Abb. 2: Wasseraufbereitungsmodul zur Integration von Funktionskomponenten.



Abb. 3: Funktionskomponente, Typ: Gräte.

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung durch die Sächsische Aufbaubank im Rahmen des M-Era.Net-Programms (SAB 100633121).



Elektrochemische Zerstörung von PFAS

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

Die Stoffgruppe der PFAS (**P**er- und **p**oly**f**luorierte **A**lky**S**ubstanzen) umfasst etwa 8000 bis 10 000 Einzelverbindungen, die chemisch außerordentlich beständig sind. Dies ist Fluch und Segen zugleich, da sie in vielen Anwendungsbereichen sehr wertvolle Dienste leisten und dort teilweise als unverzichtbar gelten. Zu nennen sind hier ihr Einsatz als Trenn- und Imprägniermittel, als Tenside, als Hochleistungsfeuerlöschmittel oder als Synthesebaustein. So können sie uns in allen Lebensbereichen begegnen, z. B. in Funktionsbekleidung und in Medizinprodukten. Andererseits führt ihre Persistenz zur Verschleppung und Anreicherung in Klärschlamm, Böden, Gewässern und in Organismen. Dort entfalten sie ihre schädliche Wirkung und greifen in den Zellstoffwechsel ein. Mit derzeit bekannten Reinigungsverfahren für Böden und Wässer lassen sich PFAS nicht wirklich beseitigen – deshalb hat die EU ein Verbotsverfahren für diese Stoffklasse angestrengt. Als besonders schädlich gelten die kurzkettigen PFAS.

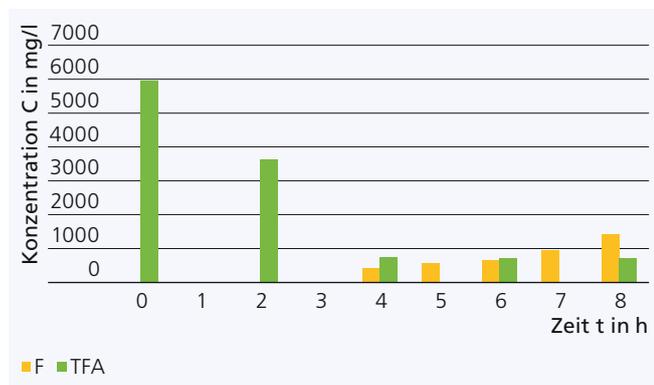


Abb. 1: Verringerung der TFA-Konzentration im kontinuierlichen Elektrolyseversuch.

Abbau kurzkettiger PFAS durch Totaloxidation

Hier setzt das ZIM-Projekt PFCex an. Am Fraunhofer IKTS konnte gezeigt werden, dass die kurzkettigste aller PFAS – die Trifluoressigsäure (CF_3COOH – »TFA«) – unter bestimmten Bedingungen quantitativ elektrochemisch zerstört werden kann. Übrig bleiben dabei lediglich CO_2 und Fluoridionen als relativ harmlose Spezies. Der Prozess nennt sich elektrochemische Mineralisation oder Totaloxidation. Auf dieser Basis konnte bereits die Zerstörung einer Vielzahl organischer Verbindungen

nachgewiesen werden. Abb. 1 zeigt die Verringerung der TFA-Konzentration in einer industriellen Abproduktlösung im kontinuierlichen Elektrolyseversuch. Der dazugehörige Versuchsstand ist in Abb. 2 dargestellt. Die Ausgangskonzentration lag bei 5960 mg/l. Es zeigte sich, dass die Elektrolyse stabil > 90 % des TFA zerstört, wobei die Konzentration der beim Abbau freigesetzten Fluoridionen im Ablauf parallel ansteigt. In Batch-Versuchen ließen sich so > 99,9 % Abbau erreichen.

Im Projekt wurde das Untersuchungsspektrum schrittweise auf andere kurzkettige PFAS ausgedehnt. Es zeigte sich, dass auch Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorbutansulfonsäure (PFBSA) elektrochemisch zerstört werden können (Abb. 3). Dabei erwies sich die Stromdichte an der Anode als ein entscheidender Faktor.



Abb. 2: Laborversuchsstand Totaloxidation.

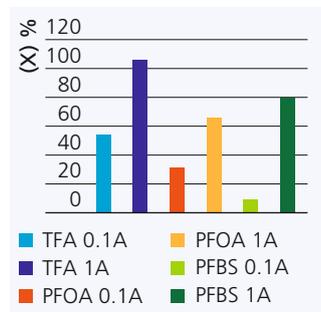


Abb. 3: Abbau von PFOA und PFBSA.

Ausblick

Zukünftig soll das Verfahren für die Behandlung von Deponiesickerwässern und von Löschmittelrückständen unter praxisnahen Bedingungen erprobt werden. Neben den verfahrenstechnischen Herausforderungen besteht eine weitere in der Etablierung einer entsprechenden routinemäßig anwendbaren Analytik für den Ultraspurenbereich. Die gesetzlichen Grenzwerte liegen für diese Stoffe im Bereich ng/l. Hierbei werden zwei Ansätze verfolgt: Die Bestimmung des elektrochemisch freigesetzten Fluorids nach Voranreicherung und die Bestimmung von stofflichen Markern (typischen Einzelverbindungen) mittels sog. LC-MS-Technik (**L**iquid **C**hromatography – **M**ass **S**pektrometry) nach entsprechender Probenvorbehandlung.

Das Fraunhofer IKTS bietet Unterstützung bei der Lösung von PFAS-Problemen inkl. deren Zerstörung für viele Bereiche, wie die Elektronikbranche.

Recycling von Wäscherei-abwasser mittels keramischer Nanofiltration (ReWaMem)

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

In Deutschland gibt es ca. 3600 Betriebe im Textilreinigungsverband.¹ Aufgrund der unterschiedlichen anfallenden Waschgüter, wie Krankenhaus-, Pflege- und Altenheimwäsche, Hotel- und Gastronomiewäsche sowie Arbeits- und Berufsbekleidung ergeben sich starke Schwankungen im Verbrauch bei Strom, Wasser und Wärmebedarf.² Je nach Waschgut werden unterschiedliche Wasserausgangsgüten für die Reinigung benötigt und unterschiedlich stark verschmutzte Abwässer erzeugt. Die spezifischen Wasserverbräuche liegen in einem Bereich von 5,0 bis 13,7 Liter pro Kilogramm Textil.²

Ziel des Projekts ReWaMem war die Senkung des Frischwasserbedarfs in Textilwäschereien durch systematische Abwasser- aufbereitung innerhalb einer individuellen Verfahrenskette. Beispielhaft wurde eine neue Teilbehandlungsstrecke für das Recycling von Matten- und Handtuchabwässern umgesetzt.

Ein erster Schritt war die Entwicklung neuer keramischer Membranträger (Mehrkanalrohre und Rotationsscheiben [RS]) und Membranschichten sowie die Konzeption von auf Advanced Oxidation Processes (AOP) basierenden Behandlungsmethoden für die anfallenden Abwässer und Konzentrate aus der Membranfiltration. Im Bereich der tubularen Elemente konnten, ausgehend von ca. 1,3 m² Membranfläche (A_M) pro Element, verschiedene Träger bis ca. 6 m² entwickelt werden. Auf diesen wurden aktive Schichten im Bereich der Mikro-, Ultra- und Nanofiltration (NF) synthetisiert. Qualitativ gleichwertige NF-Membranen waren bis zu einer A_M von ca. 2,9 m² realisierbar. Diese Prototypen können bereits kurzfristig die spezifischen Membrankosten (€/m² A_M) reduzieren. Im Bereich der Rotationsscheiben konnten zusammen mit den Projektpartnern Elemente mit einem Außendurchmesser (D_A) bis 374 mm entwickelt werden. Es wurden verschiedene aktive Schichten synthetisiert. Schwerpunkt der Membransynthese waren Scheiben mit einem D_A von 152 mm bzw. 312 mm. Letztere konnten sicher bis zur Nanofiltration beschichtet werden. Die RS zeigen neben den guten Rückhalten auch sehr gute mechanische Eigenschaften: Im 3-Punkte-Biegetest wurde eine Bruchfestigkeit von über 40 N/mm² nachgewiesen. Rotationsscheiben mit Nanofiltrationsbeschichtung waren bisher am Markt nicht verfügbar. Sie können im Vergleich zu tubularen Membranen bei höheren

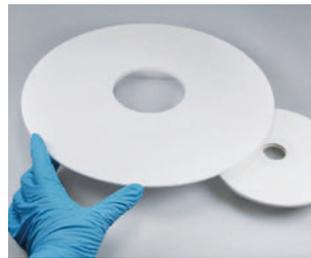


Abb.1: Rotationsscheiben.

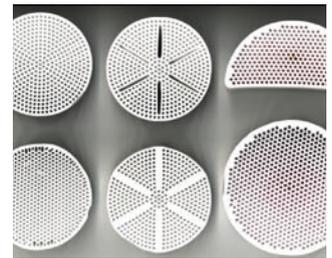


Abb. 2: Neuartige Mehrkanal- elemente. (Quelle: Rauschert).

Feststoffgehalten betrieben werden, auch benötigen solche Systeme ggf. einen geringeren Platzbedarf bei niedrigeren Energieverbräuchen. In Versuchsreihen im Labor konnten Rückhalte bezogen auf den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) der Feedlösung von bis zu 94 % erzielt werden. Der CSB beurteilt den Schadstoffgehalt der Feedstocklösung. Die Betriebsweise und das einzustellende Entnahmeverhältnis (Volume Concentration Faktor, VCF) sind jedoch entscheidend. Die Pilotanlage in einer Wäscherei erreichte bei eingestelltem VCF von 5 (d. h. 80 % des Ausgangsvolumens wird als sauberes Wasser recycelt) einen Rückhalt bezogen auf den CSB des Ausgangsfeeds von 68 %. Aktuell kann dadurch das recycelte Handtuchabwasser zur Vorwäsche von Matten verwendet werden. Dabei wird eine Einsparung von 1,52 €/m³ behandeltem Mattenabwasser bzw. 3,23 €/m³ bei Behandlung und Wiederverwendung von Handtuchabwasser realisiert. Die ökonomische Bewertung ist noch nicht abgeschlossen.

Für Kunden bietet das Fraunhofer IKTS die anwendungsspezifische Entwicklung und Auslegung von Membrananlagen sowohl mit tubularen Elementen als auch mit Rotationsscheiben.

Das Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF im Rahmen der Fördermaßnahme Wave »Wassertechnologien: Wiederverwendung« finanziell gefördert (FKZ: O2WV1568A-G).

Literatur

[1] <https://www.dtv-deutschland.org/zahlen-und-fakten.html>, Download 09.09.2024.

[2] Ganzheitliche Betrachtung von Wäschereien hinsichtlich Wäschelogsik, Maschinenteknik und Aufbereitungsverfahren zur prozessintegrierten Steigerung der Energieeffizienz von Wäschereien (2. Phase), Abschlussbericht, Deutscher Textilreinigungs-Verband, 2016; DBU (FKZ: 28612/02).



Technische Niere – bioinspirierte Membranen für die Wasseraufbereitung

**Prof. Ingolf Voigt, Dr. Hannes Richter,
Dipl.-Ing. Michael Stahn, Dipl.-Chem. Petra Puhlfürß,
Dipl.-Ing. Jan-Thomas Kühnert**

Membranen sind in der lebenden Natur als mikroskopische Zellwand in Organen eine wesentliche Voraussetzung für effiziente Stoffwechselfunktionen, die den Stofftransport nicht nur ermöglichen, sondern häufig selbstlernend regeln. Im Projekt »Technische Niere« wollen Fraunhofer IKTS, die Ernst-Abbe-Hochschule Jena (EAH Jena) und das Universitätsklinikum Jena erstmalig diese Prinzipien der Natur nutzen, um neuartige technische Membranen und Membranmodule zu entwickeln, die bezüglich ihres Durchflusses und ihrer Selektivität, ihres Energieverbrauchs und ihrer volumenspezifischen Membranfläche erheblich besser sind als bereits existierende technische Membranen.

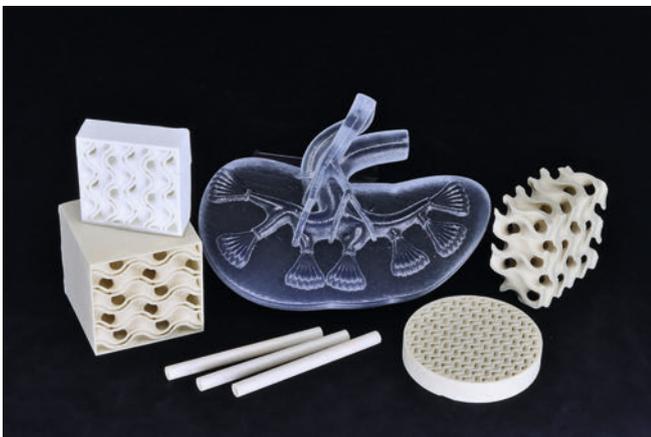


Abb. 1: Modell einer Niere und poröse keramische Probekörper, hergestellt mittels additiver Fertigung (Quelle: Ernst-Abbe-Hochschule Jena).

Als Vorbild dient die menschliche Niere, die mit einem Energieaufwand von 0,8 kWh/m³ und einer volumenspezifischen Membranfläche von 20 000 m²/m³ Blut zunächst filtert, um anschließend Moleküle und Ionen selektiv zurück zu resorbieren. Zum Vergleich: Beste Umkehrosmose-Anlagen benötigen eine Energiemenge von 2,0 kWh/m³ bei 1000 m²/m³. Zusätzlich sollen Strömung und Mischung optimiert, Wärmetauscher integriert und mehrere Trennverfahren und Stoffströme in einem Modul kombiniert werden.

Die neuartigen, bioinspirierten, komplexen Membranstrukturen werden mittels additiver Fertigung hergestellt, beschichtet und bezüglich ihrer Trenneigenschaften getestet.

Auf Basis der Membranerfahrungen am Fraunhofer IKTS und dem Know-how der additiven Fertigung an der EAH Jena wurden erste komplexe Membranstrukturen in Form von Gyroiden gewählt, deren CAD-Modelle erstellt und für die Fertigung vorbereitet (Abb.1). Für die Erprobung Lithographie-basierter (LCM) und thermoplastischer (FLM) additiver Verfahren wurden geeignete Suspensionen aus Al₂O₃-Pulvern und photosensitiven Harzen hergestellt sowie Filamente entwickelt. Bis zu einem Anteil von 65 Ma.-% Al₂O₃ in der Suspension konnten bereits Bauteile realisiert werden. Auch mittels FLM-Verfahren geformte komplexe keramische Trägerstrukturen (Abb. 2) weisen eine gleichmäßige, feine Porenverteilung nach den Sinter- und Beschichtungsprozessen auf (Abb. 3). Größere Bauteile zeigten bisher häufig Risse. Hier bedarf es einer Erhöhung der Gründichte und Optimierung des Sinterprozesses.

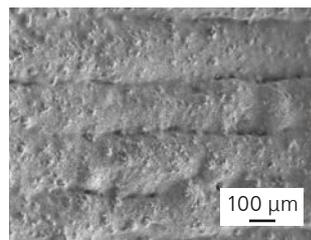


Abb. 2: Keramische Trägerstrukturen, hergestellt mit FLM.

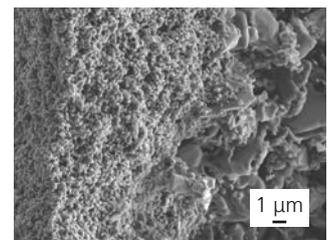


Abb. 3: Bruch einer Membran auf porösem Träger.

Ziel im weiteren Projektverlauf sind Membranbeschichtungen, die bezüglich ihrer Porengröße der Mikro-, Ultra- oder Nanofiltration zuzuordnen sind. Ein weiteres Vorhaben ist die Modifizierung der Oberflächen, sodass Wechselwirkungen der Oberfläche mit den Wasserinhaltsstoffen eine selektive Trennung ermöglichen. So können Wertstoffe und Schadstoffe gezielt abgetrennt und einer weiteren Nutzung bzw. einem chemischen Abbau zugeführt werden.

Das Projekt wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF im Rahmen des Thüringer Wasser-Innovationsclusters ThWIC.

PTC-Werkstoffe für Hochvoltheizer-Systeme in Elektrofahrzeugen

Dr. Christian Molin, Florian Hortmann, Dr. Sebastian Stark, Ludwig Georg Kretschmann, Dr. Manfred Fries, Dr. Sylvia Gebhardt

Keramische Kaltleiter (Thermistor- oder PTC-Werkstoffe; PTC engl.: positive temperature coefficient) zeigen mit steigender Temperatur einen sprunghaften Anstieg des elektrischen Widerstands. Sie kommen als Überstromschutz, Temperatursensoren oder in PTC-Heizern zum Einsatz. In batterieelektrischen Fahrzeugen können PTC-Komponenten sowohl als Luftheizer als auch zur Temperierung von Batterien genutzt werden. Somit können neben der Klimatisierung des Innenraums auch die Lebensdauer der Batterie und die Reichweite des Fahrzeugs verbessert werden. Für Anwendungen in schweren Nutzfahrzeugen wird eine Erhöhung der Bordnetzspannung von 800 V bis hin zu Hochspannung angestrebt, da hier in der Regel höhere Leistungen erforderlich sind. Daraus ergeben sich neue Anforderungen an die PTC-Bauteile, insbesondere an ihre Durchbruchspannung.

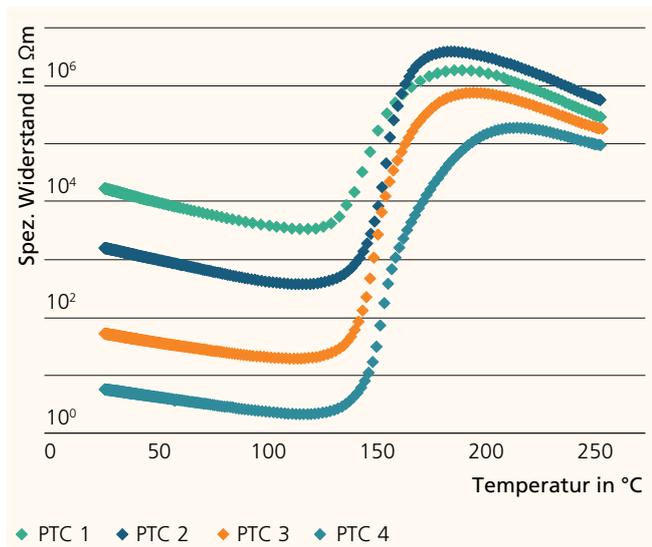


Abb. 1: Temperaturabhängiger Verlauf des spezifischen Widerstands für verschiedene PTC-Werkstoffe.

Passend zu diesen Anforderungen betreibt das Fraunhofer IKTS die werkstoffphysikalische Erforschung von Bariumtitanat (BaTiO₃)-basierten Werkstoffen sowie die Pulver- und Technologieentwicklung zur Herstellung von Bauteil-Prototypen aus

PTC-Keramik. Über gezielte Modifikation des Werkstoffs lassen sich beispielsweise die Anwendungs- oder Sprungtemperatur sowie die Steilheit und die Höhe des Widerstandssprungs einstellen (Abb. 1). Auch die Grundleitfähigkeit kann gezielt verändert werden, um Leistungsdichte und Eigenerwärmung zu begrenzen. Die Einstellung der Werkstoffeigenschaften erfolgt über eine Anpassung der chemischen Zusammensetzung sowie über eine Variation verschiedener Prozessgrößen bei der Pulveraufbereitung oder der Wärmebehandlung zur Steuerung der Korngröße im Bauteil.

Erhöhung der Durchbruchspannung

Die Durchbruchspannung von PTC-Komponenten bezeichnet die elektrische Spannung, bei der der elektrische Widerstand abrupt abnimmt, was zu einem starken Anstieg des Stroms und damit zum Überhitzen und Versagen der Komponente führt. Für höhere Bordnetzspannungen muss daher auch die Durchbruchspannung der PTC-Komponente erhöht werden. Dies kann beispielsweise durch eine Erhöhung der Komponentendicke erreicht werden, was aber eine Verschlechterung der Wärmeabgabe und ein höheres Gewicht zur Folge hat. Durch eine Veränderung der Werkstoffzusammensetzung sowie eine gezielte Anpassung des Herstellungsprozesses konnte die Durchbruchfeldstärke deutlich von 560 V/mm auf 1100 V/mm erhöht werden. Dies bedeutet, dass entweder die Betriebsspannung bei konstanter Komponentendicke verdoppelt oder die Komponentendicke bei konstanter Betriebsspannung halbiert werden kann. Aktuelle Entwicklungen am Fraunhofer IKTS zielen auf PTC-Bauteildicken von 2 mm ab.

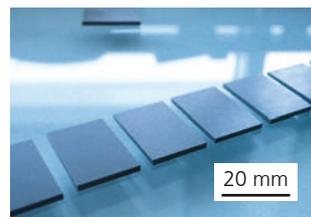


Abb. 2: PTC-Komponenten.

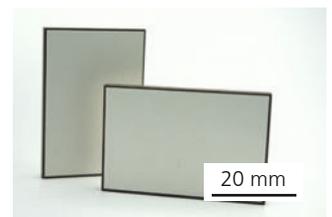


Abb. 3: PTC-Komponenten mit Metallisierung.

Danksagung

Das in diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 01MV22002A gefördert.



Integrierter Überspannungsschutz für erhöhte Zuverlässigkeit von LTCC-Mikrosystemen

Dr. Hannes Engelhardt, Dr. Arno L. Görne,
Dr. Qaisar K. Muhammad¹, Dr. Uwe Krieger¹
(¹VIA electronic GmbH)

Die LTCC-Technologie (Low Temperature Co-fired Ceramics) bietet in der Elektronik viele Vorteile wie Miniaturisierung durch Mehrlagen-Schaltungen auf kleinstem Raum, thermische Stabilität, Robustheit in harschen Einsatzbedingungen oder die hohe Integrationsdichte verschiedener aktiver und passiver Komponenten.

Der Schutz der Komponenten vor auftretenden Spannungsspitzen ist für die Zuverlässigkeit der in keramische Mehrlagen-substrate eingebetteten Schaltungen sehr wichtig. Bislang kann solch ein Überspannungsschutz nicht in die Mehrlagen-Schaltungen integriert werden. Sogenannte Varistoren (Variable Resistor) werden deshalb nur außerhalb der monolithischen Schaltung durch Aufbau- und Verbindungstechniken integriert. Sie gewährleisten bei Überschreiten einer kritischen Spannung das Ableiten des Stroms, ohne empfindliche Funktionselemente zu schädigen. Diese besondere Schaltfunktion wird durch Korngrenzeffekte in dotiertem Zinkoxid ermöglicht.

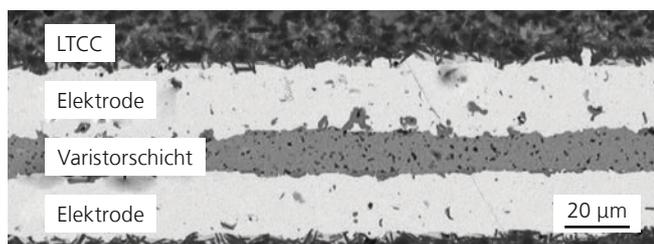


Abb. 1: LTCC-Integration eines siebgedruckten Varistors.

Am Fraunhofer IKTS ist es in Zusammenarbeit mit der VIA electronic GmbH gelungen, diese Funktionalität auch nach der Integration im Cofiring aufrecht zu erhalten. Der Varistor wird also vor dem Brennen auf das LTCC-Substrat aufgedruckt und mit der Schalteinheit gesintert. Die Herausforderung besteht dabei in den vielfältigen Wechselwirkungen zwischen glaskeramischem LTCC-Substrat und den Bestandteilen des Varistorelements, die während des gemeinsamen Brennprozesses flüssige Anteile haben. Besonders die Bi_2O_3 - und Sb_2O_3 -haltige Flüssig-

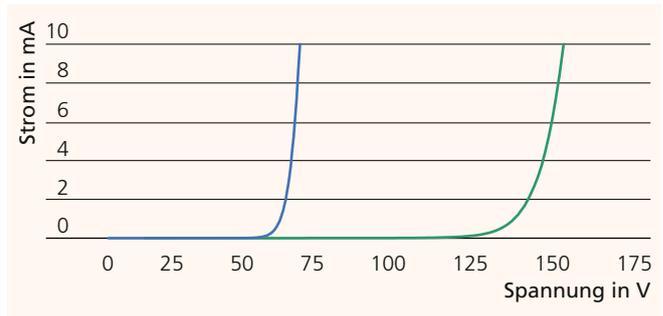


Abb. 2: Strom-Spannungs-Kennlinien integrierter Varistoren mit optimierter Zusammensetzung.

phase zwischen den halbleitenden Zinkoxidkörnern des Varistors reagiert bereits unterhalb der Brenntemperatur mit Phasen des LTCC-Substrats. Diese Bismut- und Antimon-haltige Schmelzphase steht für die Ausbildung von Potentialbarrieren an den Korngrenzen dann nicht mehr zur Verfügung und somit besteht kein Überspannungsschutz. Durch Optimierung der Varistorzusammensetzung und die Auswahl geeigneter Metalisierungen sind LTCC-Aufbauten entstanden, deren integrierte Varistorelemente das Cofiring ohne Funktionsverlust überstehen. Im Gefüge des Varistors zeigt sich, dass auch nach dem gemeinsamen Brennprozess die entscheidenden Korngrenzphasen erhalten sind (hell im Massekontrast Abb.3).

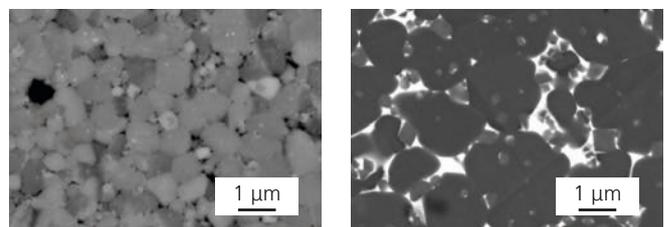


Abb. 3: Varistorgefüge ohne Optimierung (links) und optimales Zielgefüge (rechts). Helle Bereiche zwischen den ZnO -Körnern (rechts) sind entscheidend für den Überspannungsschutz.

Auf dieser vielversprechenden Basis werden derzeit in der Abteilung »Hybride Mikrosysteme« Integrationen für verschiedene Schaltspannungen erarbeitet. Für kleine Spannungen werden Varistor-Dicken zwischen 10 und 50 μm benötigt, die mittels Siebdruck eingebracht werden. Für größere Schaltspannungen stehen weitere Designs zur Verfügung. Die vielfältigen Möglichkeiten und die Zuverlässigkeit der LTCC-Technologie werden mit dieser integrierbaren Funktionalität deutlich bereichert.

Die Autoren danken dem BMBF für die Förderung im Rahmen der Förderinitiative RUBIN (FKZ: 03RU1U162E).

Bleifreie Piezokeramik mit verbesserter Temperaturstabilität für präzise Aktoren

Dr. Hannes Engelhardt, Dr. Arno L. Görne

Piezokeramiken werden vielfach in der Sensorik verwendet. Aber sie kommen auch als Aktoren in der nanometergenauen Positionierung, beispielsweise von Belichtungssystemen in der Halbleiterfertigung, in der hochauflösenden Mikroskopie oder in der Biotechnologie zum Einsatz. Etablierte Piezokeramiken basieren bisher auf Bleizirkonat-Titanat. Die Synthese, Verarbeitung und spätere Entsorgung der bleihaltigen Komponenten geht mit Risiken für Umwelt und Gesundheit einher, weshalb in der EU und weltweit strenge Vorschriften gelten und nur Ausnahmeregelungen die Verwendung gestatten.

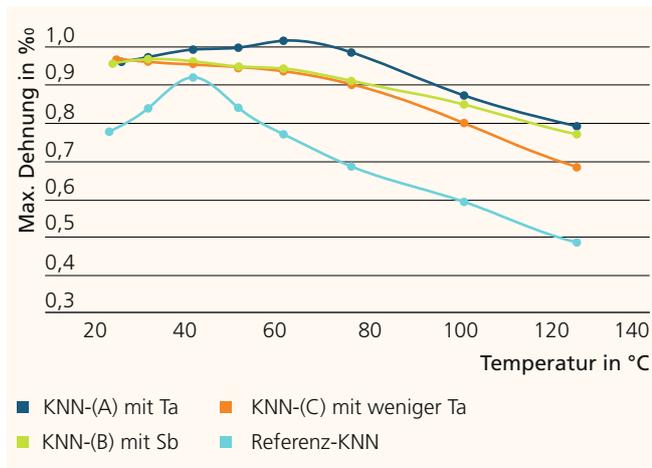


Abb. 1: Verlauf der Dehnung bei angelegtem Feld mit steigender Temperatur für komplex dotierte KNN-Keramiken.

Am Fraunhofer IKTS wird gemeinsam mit der PI Ceramic GmbH an bleifreien Alternativwerkstoffen geforscht. Das System $(K,Na)NbO_3$ (KNN) bietet gute Voraussetzungen als Aktorwerkstoff: In den vergangenen Jahrzehnten wurden hohe Dehnungen in Piezokeramiken erzielt – eine Voraussetzung für den Piezoeffekt. Die Kristallstruktur der entwickelten KNN-Keramik ändert sich jedoch mit steigender Temperatur. Die ideale Dehnung wurde anfangs nur in einem kleinen Temperaturintervall im Bereich des Strukturwechsels erzielt (Abb.1). Für hochgenaue Positioniersysteme ist aber ein stabiles Dehnungsverhalten bei sich verändernden Temperaturen essenziell. Durch gezielte Bildung von Mischkristallen und optimierte Dotierungen konnte der Temperaturbereich des Phasenübergangs im

Kristallsystem deutlich verbreitert werden, ohne relevante Verringerung der piezoelektrischen Dehnung. Im Ergebnis der Entwicklungsarbeiten stehen mehrere optimierte Werkstoffe mit stabilem Dehnungsverhalten von Raumtemperatur bis über 100 °C zur Verfügung (Abb. 1). Damit ist ein großer Fortschritt für zukünftige Positioniersysteme mit bleifreien Piezowerkstoffen gelungen.

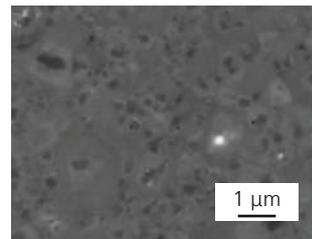


Abb. 2: Elektronenmikroskopische Aufnahme eines mehrphasigen KNN-Gefüges.



Abb. 3: KNN-Keramiken in Tablettenform zur elektrischen Charakterisierung.

Die erarbeiteten KNN-Zusammensetzungen sintern bei Temperaturen um 1200 °C. Die Senkung der Sintertemperatur wurde aus verschiedenen Gründen zur Etablierung der KNN-Hochleistungskeramik verfolgt:

- Bessere Prozesskontrolle durch geringere Abdampfung flüchtiger Bestandteile beim Sintern
- Verringerung des Energiebedarfs im Prozess
- Verringerung der Kosten durch Kompatibilität mit günstigeren Metallisierungen der Mehrlagen-Keramiken

Um diese Ziele zu erreichen, wurden verschiedene Sinterhilfen, darunter CuO , ZnO oder Li_2CO_3 , zugegeben. Die meisten Kombinationen von angepasster KNN-Keramik und Sinterhilfen führen zu Beeinträchtigungen. Besonders die maximale Dehnung verringert sich empfindlich. Daher ist es notwendig, für jeden der optimierten Werkstoffe eine speziell angepasste Kombination mit Sinterhilfsstoffen einzusetzen. So kann die Sintertemperatur der temperaturstabilen Piezowerkstoffe bei ausgezeichneten Dehnungseigenschaften um bis zu 100 K gesenkt werden. Zukünftige Herausforderungen sind die Skalierung zu größeren Probenkörpern und die Langzeitstabilität der neuen Werkstoffe.

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF für die finanzielle Unterstützung im Rahmen der Förderinitiative RUBIN (FKZ: 03RU1U162E).

Inline-Qualitätssicherung bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Elektroden

M.Sc. Muhammad Momotazul Islam, Dipl.-Ing. Jana Gatz, Dr. Granit Jashari, Dr. Mareike Partsch

Die Qualität der Elektroden von Lithium-Ionen-Batterien ist entscheidend für die Batterieleistung, -sicherheit und -lebensdauer. Angesichts der steigenden Nachfrage nach Hochleistungsbatterien ist eine automatisierte Inline-Qualitätskontrolle unerlässlich. Die kontinuierliche Überwachung der Elektroden-eigenschaften wie Beschichtungsdicke, Gleichmäßigkeit und Materialzusammensetzung im Herstellungsprozess hilft, Fehler frühzeitig zu erkennen, Ausschuss zu reduzieren und die Effizienz zu optimieren. Durch den Einsatz von Prüfmethoden wie optischer Inspektion und Laserscanning können Produktionskosten gesenkt und die Zuverlässigkeit von Lithium-Ionen-Zellen gesteigert werden. Im Rahmen des BMBF-Projekts IQ-EL wurde die Inhomogenität von Elektroden durch die Analyse von Rand- und Mittelabschnitten von nassen und trockenen Elektroden mit einem hochpräzisen konfokalen Sensor (Genauigkeit: 0,3 µm) untersucht.

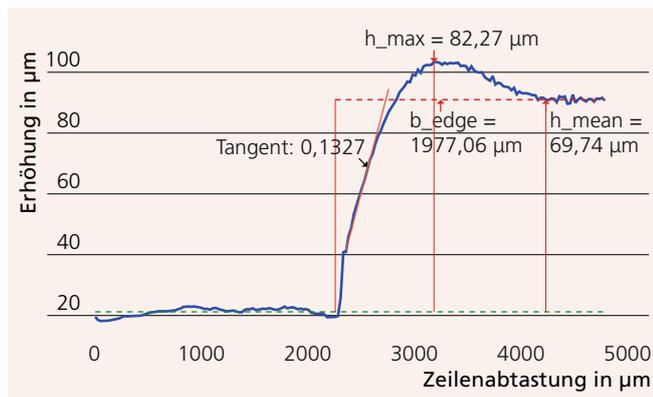


Abb. 1: 2D-Profil der nassen Elektrodenkante.



Abb. 2: In die Beschichtungsanlage integrierter konfokaler Sensor.

Die Messungen erstreckten sich über den gesamten Herstellungsprozess und ermöglichten datengesteuerte Erkenntnisse. Ein benutzerdefinierter Algorithmus generierte 2D- und 3D-Profile für eine detaillierte Elektrodencharakterisierung. In Abb. 1 ist das 2D-Kantenprofil einer Anode dargestellt. Genutzt wurde ein Inline-Messsensor mit einem Messbereich von ~4780 µm (Abb. 2). Abb. 3a zeigt das Oberflächenprofil des Mittelabschnitts, das eine Standardabweichung der Dicke von ~1,75 µm aufweist und somit deutlich unterhalb des üblichen industriellen Toleranzbereichs von ±10–20 µm liegt. Diese Schwankungen der Elektrodendicke wirken sich auf den Ionen-transport und die Stromdichteverteilung aus und beeinflussen die Leistung der Elektrode. Abb. 3b zeigt das Kantenprofil, dessen Genauigkeit für die Gewährleistung der Elektrodenqualität von entscheidender Bedeutung ist. Übermäßige Erhebungen und inhomogene Kanten von Elektrodenfilmen können zu Wicklungsproblemen und Kantenrissen führen und müssen vor der Verwendung in Pouch-Zellen beschnitten werden.

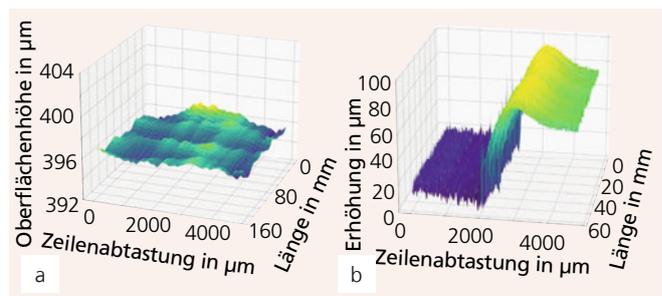


Abb. 3: Oberflächenanalyse der Elektrode (a) und Kantenprofil (b).

Die Messung der Rand- und Mittelabschnitte der Elektroden ermöglichte die Optimierung der Beschichtungsparameter der Schlitzdüse unter Verwendung verschiedener Materialien (Graphit, NCM, LFP) und die Zellcharakterisierung zur Bestimmung der Kritikalitätsschwellen.

In Experimenten im Pilotmaßstab wurden Dickeninhomogenitäten in Elektrodenfolien während der Schlitzdüsen-Beschichtung untersucht. Für die automatische Analyse wurde ein spezieller Algorithmus entwickelt, der auf kommerzielle Sensordaten angewandt wird und eine standardisierte Auswertung zur Verbesserung der Beschichtungsqualität ermöglicht.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Optimierte Elektrodenproduktion mit digitalem Fußabdruck
- Zwischenproduktcharakterisierung entlang der einzelnen Prozessschritte der Elektrodenproduktion wie Rheologie, Dicke, Kantenerhöhung, Feuchtigkeitsgehalt, Fehlererkennung usw.

Gefördert durch:

 auf Grund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages

AQQua
 Kompetenzcluster
 Analytik & Qualitätssicherung

Sichern einer kritischen Materialbasis in Europa durch Kreislaufschließung: Das DiLiRec-Projekt

Dr. Christian Kensy, Dr. Sebastian Hippmann,
Dr.-Ing. Sandra Pavón, Dr.-Ing. Mareike Partsch

Die begrenzte Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien verursacht steigende Volumina an verbrauchten Batterien und Batterieabfällen. Zeitgleich wächst die Nachfrage nach Lithium-Eisen-Phosphat-(LFP)-Batterien. Diese elektrischen Energiespeicher gelten als besonders sicher, langlebig und kosteneffizient. Mit effizienten Recyclingstrategien können die Grundsätze des europäischen Grünen Deals, also die Entwicklung einer nachhaltigen Industrie bei gleichzeitiger Reduzierung des Batteriematerialienverbrauchs, umgesetzt werden. Das Direktrecycling ist hierbei ein vielversprechender Ansatz.

Im vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten DiLiRec-Projekt (FKZ: 03XP0549H) arbeiten neun Projektpartner gemeinsam an neuen Recyclingverfahren für LFP-Kathodenmaterialien auf Basis einer optimierten Schwarzmassengewinnung, um so den realen Bedürfnissen der Industrie gerecht zu werden.

Das Fraunhofer IKTS erarbeitet hierfür einen direkten Recyclingweg. Hierfür müssen die Anforderungen an die Schwarzmasse sowie an die möglichen Rezyklate eindeutig definiert werden. Die wiedergewonnenen Aktivmaterialien werden daher umfassend analysiert, um den direkten Recyclingprozess zu optimieren. Das elektrochemische Verhalten der hergestellten Rezyklate wird in Knopfzellen charakterisiert, wobei sowohl reine Rezyklate als auch Mischungen von recyceltem LFP-Kathoden- oder Graphit-Anodenmaterial mit frischen Aktivmaterialien untersucht werden.

Die ersten Elektroden wurden aus LFP-Abfallkathoden hergestellt, wobei das Aktivmaterial durch ein trockenes mechanisches Entschichtungsverfahren zurückgewonnen wurde. Als Vergleich diente eine Referenzkathode aus kommerziellem LFP. Gegenüber der Referenzkathode unterschied sich das Verhalten des recycelten LFP-Materials während der Elektrodenherstellung wie auch in der Elektrodenporosität (Abb. 1).

Dies kann durch vorherige Bestandteile der Abfallkathode, z. B. Binder und Leitruß, oder enthaltene Verunreinigungen wie

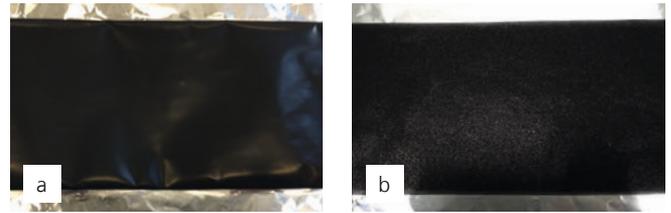


Abb. 1: LFP-Kathodenaktivmaterial. a) Frisches LFP als Referenzkathode. b) Reines recyceltes LFP als Kathode.

Aluminium verursacht werden. Die Ergebnisse der galvanostatischen Zyklierung (Abb. 2) zeigen eine sehr vielversprechende Zellperformance für die recycelte LFP-Kathode von > 88 % der Referenzkapazität (kommerzielles LFP: 154 mAh g⁻¹ vs. recyceltes LFP: 136 mAh g⁻¹). Um die Leistung nachhaltig zu verbessern, werden als nächstes der Einfluss von Verunreinigungen bzw. deren Entfernung sowie Gemische von rezykliertem mit frischem LFP als Kathodenaktivmaterial in unterschiedlichen Verhältnissen untersucht.

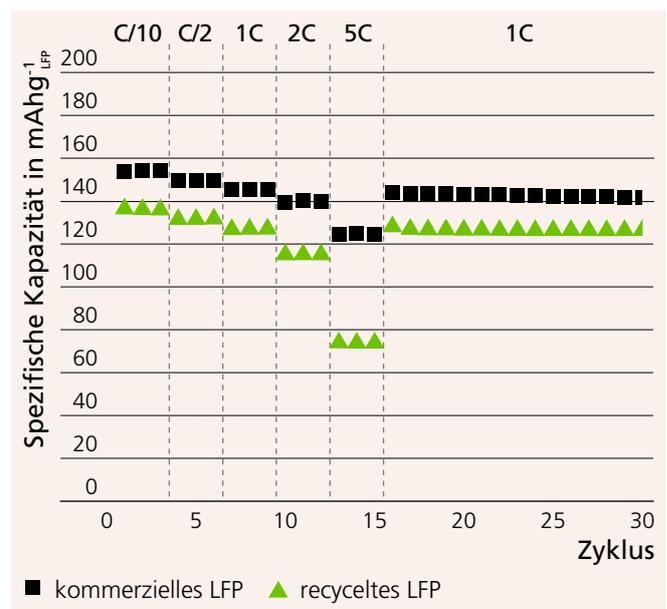


Abb. 2: Galvanostatische Zyklierung (vs. Li/Li+) eines reinen recycelten und kommerziellen LFP-Kathodenmaterials.

Mit Hilfe des DiLiRec-Projekts hat das Fraunhofer IKTS das Potenzial des Direktrecyclings aufgezeigt, ohne diese Recyclingroute bisher optimiert zu haben und leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft im Bereich Batterien und zur Sicherung der Ressourcen in Europa.

Forschungsgruppe »ThüNaBsE«: Die Thüringer Wald-Batterie

Dr. Lukas Medenbach, Dr. Cornelius Dirksen,
M.Sc. Moritz Maschke, M.Sc. Bingchen Xue,
M.Sc. Ahmed Ibrahim

Die vom Freistaat Thüringen und dem Europäischen Sozialfonds geförderte Forschungsgruppe »ThüNaBsE: Thüringer Natrium-Ionen-Batterie für die skalierbare Energiespeicherung« ist ein Gemeinschaftsprojekt des Center for Energy and Environmental Chemistry Jena, angesiedelt an der Friedrich-Schiller-Universität Jena (Arbeitsgruppen Prof. Martin Oschatz und Prof. Benjamin Dietzek Ivancič) sowie dem Fraunhofer IKTS in Hermsdorf und Arnstadt.

Ziel des Projekts ist die Entwicklung und Evaluierung eines Natrium-Ionen-Batteriesystems mit einer Lebensdauer von mindestens 200 Lade- und Entladezyklen – ausgehend von der Untersuchung und Synthese von Materialsystemen bis hin zur 1 Ah-Vollzelle. Bei der Materialauswahl soll ein besonderer Fokus auf Nachhaltigkeit und lokal verfügbare Ressourcen gelegt werden. Daher wird auf den Rohstoff Lignin (Abb. 1) zurückgegriffen und möglichst auf Bestandteile hohen Fluorgehalts verzichtet. Das Projekt wird von einem Industriebeirat regionaler Firmen begleitet. Dazu gehören Mercer Rosenthal GmbH, Glatt Ingenieurstechnik GmbH, IBU-tec AG und EAS Batteries GmbH.

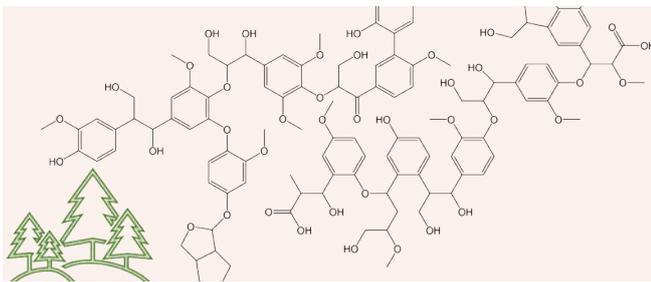


Abb. 1: Beispielstruktur eines Rohlingfragments aus Biomasse.

Negative Elektrode

Die Firma Mercer-Rosenthal stellt dem Projektkonsortium Lignin aus ihrem 2024 eröffneten Lignin-Center zur Verfügung. Dieses Abfallprodukt aus der Holzindustrie kann durch thermische Prozesse zu sogenanntem Hard-Carbon (Abb. 2 und 3) weiterverarbeitet werden, einem essenziellen Bestandteil von negativen Elektroden in Natrium-Ionen-Batterien. Während

das aus Lithium-Ionen-Batterien bekannte Graphit nicht ohne weiteres für die Interkalation oder Einlagerung von Natrium-Ionen verwendet werden kann, ist die Struktur des Hard Carbons dagegen gut geeignet, um Natrium-Ionen reversibel zu speichern – eine entscheidende Voraussetzung für das Speichern von elektrischer Energie.

Positive Elektrode

Als Aktivmaterial in der positiven Elektrode werden Berliner-Blau-Analoga zum Einsatz kommen. Diese bieten den Vorteil, keine kritischen Schwermetalle und andere kostenintensive Komponenten zu beinhalten. Außerdem sind sie ungiftig und die Rohstoffe auch in Deutschland gut verfügbar.

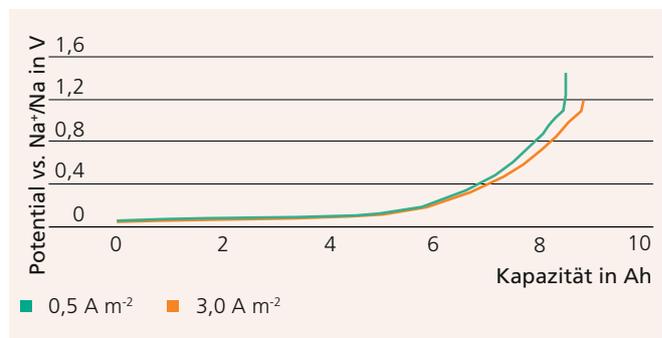


Abb. 2: Simuliertes Spannungsprofil von »Hard-Carbon« (Na⁺-Abgabe).

Begleitet werden die experimentellen Arbeiten von Berechnungen und spektroskopischen Untersuchungen (in-operando-Infrarot-, Raman-, Impedanzspektroskopie etc.), um ein tieferes Verständnis der Materialien und der Prozesse im Zellbetrieb, in Degradations- und Alterungsmechanismen zu erhalten. Das Konsortium hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2026 auf Basis der beschriebenen Elektroden eine 1 Ah-Natrium-Ionen-Batterie zu entwickeln. Damit soll ein wichtiger Beitrag für eine größere Unabhängigkeit von kritischen Rohstoffen und einer Wende hin zu günstigeren, nachhaltigeren und sicheren Batteriespeichern geleistet werden.



Abb. 3: Aus Biomasse thermisch hergestellter »Hard Carbon«.

SOE-Technologie auf dem Weg zur Industrialisierung

Dr. Mihails Kusnezoff, Dr. Roland Weidl,
Prof. Alexander Michaelis

Hohe Effizienz mit keramischer Hochtemperatur- elektrolyse

»Grüne Moleküle« sind ein integraler Bestandteil der zukünftigen Klimaneutralität. Die effiziente Umwandlung »grüner Elektronen« aus Erneuerbaren Energien in »grünen Wasserstoff« findet über Elektrolyse statt. Die Effizienz dieses Verfahrens erhöht sich mit steigender Betriebstemperatur des Elektrolyseurs. Der niedrigste Elektroenergieverbrauch und die höchste Effizienz wird bei Betriebstemperaturen von 650 bis 800 °C (Hochtemperatur-Elektrolyse) mit Wasserdampf- (H_2O) und Co-Elektrolyse (H_2O/CO_2) erreicht. Hierfür wurden am Fraunhofer IKTS keramische Zellen (Solid Oxide Electrolysis (SOE) Cells), planare Stacks und Module entwickelt, die sich bereits in Demonstrationsprojekten weltweit bewiesen haben.

Herausforderungen der Serienproduktion

Am Fraunhofer IKTS wird die Zell-, Stack- und Modul-Fertigung seit Jahren im Prototypenmaßstab umgesetzt. Die Skalierung hin zu einer Massenproduktion birgt jedoch einige Herausforderungen: der Aufbau einer resilienten Lieferantenkette, die Automatisierung der Herstellungsprozesse der Komponenten, die Entwicklung, Automatisierung und Integration schneller Qualitätsprüfung sowie die Entwicklung schneller Fertigungs-



Abb. 1: Hochtemperatur-Elektrolyse-Stack für Wasserdampf- und Co-Elektrolyse (Betriebstemperatur 750 bis 830 °C).

verfahren für geschwindigkeitsbestimmende Schritte im Produktionsprozess. Diese Herausforderungen wurden bereits in zahlreichen Entwicklungsprojekten am Fraunhofer IKTS adressiert, allerdings ohne praktische Umsetzung in einer Pilotfertigungslinie.

Industrialisierungsansatz

Der europäische und weltweite Bedarf an Elektrolyseuren ist immens. Um ihn zu decken, ist eine Produktionskapazität im Gigawatt-Maßstab notwendig, wofür eine Partnerschaft mit einem markterfahrenen und potenten Industriepartner von entscheidender Bedeutung ist. Aus diesem Grund wurde eine strategische Kooperation mit dem Unternehmen thyssenkrupp nucera für die Umsetzung der am Fraunhofer IKTS entwickelten Technologie auf dem weltweiten Markt abgeschlossen. Der gemeinsame Industrialisierungsansatz besteht im kurzfristigen Aufbau und Betrieb einer Pilotlinie zur Stack- und Modulfertigung am Institutsstandort in Arnstadt (Thüringen), wo neue Fertigungsverfahren und innovative Ideen zur Automatisierung der Herstellungsschritte getestet werden, bevor die Fertigung in den Gigawatt-Bereich skaliert wird.



Abb. 2: Entwicklung einer Stapel-Automatisierung für die Serienfertigung von SOE-Stacks.

Die Realisierung der Pilotlinie führt zum Aufbau lokaler sowie deutscher und europäischer Wertschöpfungsketten im Bereich der automatisierten Zell- und Stackfertigung. Zudem stärken die Aktivitäten den Industriestandort Deutschland in einem der wichtigsten Innovationsbereiche des zukünftigen Energiesystems.

Elektrodenprozesse der alkalischen und AEM-Wasserelektrolyse

Dr. Karl Skadell, M.Sc. Jakob Scholl, M.Sc. Mostafa Moradi, Dr. Mihails Kusnezoff, Prof. Michael Stelter

Die Anionen-basierte Wasserelektrolyse, wie alkalisch (AWE) und Anionen-Austausch-Membran-basiert (AEMWE), sind wichtige elektrochemische Technologien zur Herstellung von grünem Wasserstoff. Es ist essenziell, die Prozesse an den Elektroden (Kathode zur Wasserstoff- und Anode zur Sauerstoff-Entwicklung) sehr gut zu verstehen. Hierfür wird am Fraunhofer IKTS die Technologie permanent weiterentwickelt und Know-how aufgebaut.

Ortsaufgelöste Analytik

An industriell-relevanten Vollzellen werden die Einflüsse von Ladungstransfer und Ionenleitfähigkeit in operando analysiert, gestützt durch Referenz-Elektroden. Zudem werden neben der Analytik zur ortsaufgelösten Druckverteilung in Zellen und Stacks auch Stromdichte- und Temperaturverteilungen ermittelt. So können besonders aktive oder inaktive Stellen einer Membran-Elektroden-Einheit (MEA) oder einer elektrochemischen Zelle visualisiert werden. Im abgebildeten Fall einer AEMWE-MEA deutet eine hohe Stromdichte am Rand der Aktivfläche (blau) ein nicht optimiertes Flowfield-Design an (Abb. 1).

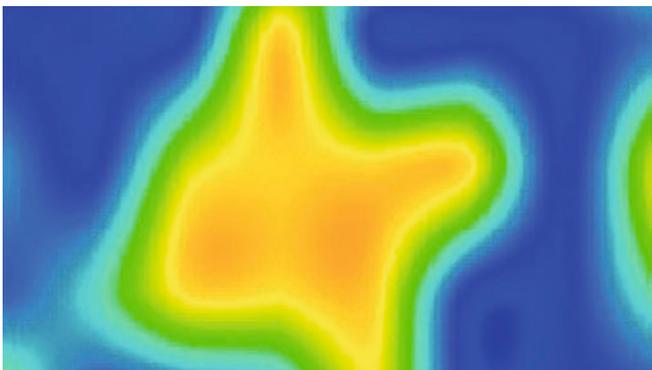


Abb. 1: Stromdichteverteilung einer Membran-Elektroden-Einheit (Kathode: Ni, Anode: NiFe_2O_4).

Gasblasen-Einfluss

Ein weiteres Beispiel stammt aus der Kooperation im Rahmen eines Fraunhofer International Mobility Programms mit

Prof. de Groot der TU Eindhoven. Dort wurde das Blasenverhalten in alkalischen Elektrolyseuren untersucht. Die Gasblasen spielen für die Effizienz des Elektrolyseurs eine wichtige Rolle, da sie sowohl die aktive Oberfläche der Elektroden als auch die Leitfähigkeit des Elektrolyten beeinflussen.

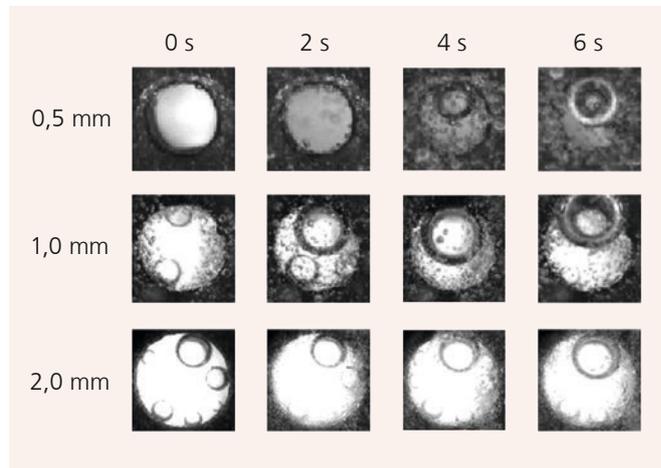


Abb. 2: Wasserstoffentwicklung im Bereich eines Lochs der Nickel-Kathode (Lochdurchmesser 0,5 mm, 1 mm, 2 mm).

Für die Experimente wurden industrietypische Nickellochbleche mit unterschiedlichen Lochdurchmessern als Elektroden verwendet. Mithilfe einer transparenten Zelle und einer High-Speed-Kamera ist es möglich, die Blasenentstehung von Wasserstoff und Sauerstoff direkt an den Elektroden zu beobachten. Diese Videos wurden durch elektrochemische Analysemethoden (z. B. Impedanzspektroskopie) ergänzt, um die Zusammenhänge zwischen Blasenbildung und elektrochemischen Prozessen zu verstehen.

Die Nickelelektroden mit 2 mm Lochdurchmesser weisen, im Vergleich zu Elektroden mit kleineren Löchern (1 mm und 0,5 mm) die niedrigste Aktivität auf. Die Beobachtung zeigt, dass die Gasblasen mit steigendem Lochdurchmesser größer werden. Die Gasblasengröße wirkt sich negativ auf die Elektrolytleitfähigkeit und die effektive Elektrodenoberfläche aus, welche über Impedanzspektroskopie ermittelt werden kann.

Die gewonnenen Erkenntnisse tragen dazu bei, die Effizienz der Elektrolyseure zu erhöhen und damit die Technologie der Anionen-basierten Wasserelektrolyse weiter zu optimieren.

Ültradünne keramische Elektrolytsubstrate für Natrium-Festkörperbatterien

Dipl.-Ing. Rafael Anton, M.Sc. Ansgar Lowack,
Dipl.-Ing. Christoph Baumgärtner, Dr. Dörte Wagner,
Dr. Kristian Nikolowski, Dr. Jochen Schilm,
Dr. Mihails Kusnezoff

In Festkörperbatterien ersetzt ein ionenleitender Feststoff (Festelektrolyt) den flüssigen Separator konventioneller Batterien. Durch den Verzicht auf brennbare und umweltschädigende Flüssigkomponenten werden Leckage- und Brandunfälle vermieden. Darüber hinaus kann die Energiedichte der Zelle erheblich gesteigert werden, wenn der Festelektrolyt mit metallischen Alkalimetallanoden kombiniert wird. Obwohl der momentane Schwerpunkt der Forschung auf Lithium-Ionen-Batterien liegt, gewinnen Natrium-basierte Zellkonzepte durch die weltweite Ressourcenknappheit von Lithium zunehmend an Interesse. Am Fraunhofer IKTS werden seit 15 Jahren keramische Festelektrolytkonzepte erforscht und in Festkörperbatterien demonstriert. Ein Ziel dieser Entwicklungen ist es, geeignete Ionenleiter (ultra)dünn herzustellen, um den Materialeinsatz zu reduzieren sowie höhere Leistungsdichten und geringere Widerstände zu ermöglichen. Eine Schlüsseltechnologie ist hierbei das Foliengießen verschiedener keramischer Festelektrolyte, wie etwa $\text{Na}_3\text{RSi}_4\text{O}_{12}$ (NaRSiO) oder $\text{Na}_{3,4}\text{Zr}_2\text{Si}_{2,4}\text{P}_{0,6}\text{O}_{12}$ (NASICON). Diese Materialien werden am Fraunhofer IKTS kalzinisiert und mit entsprechenden Mahlverfahren zu feinen Pulvern aufbereitet, welche dann über den Folienguss zu dünnen Grünfolien prozessiert werden.

Die für Batterieanwendungen erforderliche ionische Leitfähigkeit wird konventionell durch Sinterung der Folien bei Temperaturen von über 1300 °C erreicht. Um die Sintertemperatur von NASICON-Separatoren erheblich zu verringern, wird am Fraunhofer IKTS der Prozess des Kaltsinterns erforscht. Durch die Zugabe von wässrigen Sinteradditiven und dem gleichzeitigen Einsatz von Temperatur und Druck, erfolgt die Sinterung von dünnen Elektrolytsubstraten bei Temperaturen unter 400 °C. Im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts »HeNa« konnten so transluzente Elektrolytsubstrate mit einer Dicke von 260 µm und einer ionischen Leitfähigkeit von 0,27 mS/cm hergestellt werden (Abb. 1).

Die starke Reduktion der Sintertemperatur beim Kaltsintern eröffnet neue Möglichkeiten zur Herstellung von Kompositelektroden, bestehend aus Elektrolytmaterial, Aktivmaterial (z. B.



Abb. 1: Kaltgesintertes NASICON-Elektrolytsubstrat.

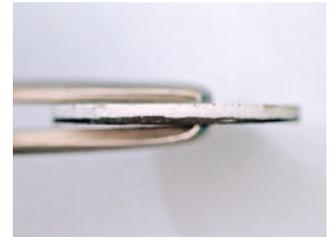


Abb. 2: Kaltgesinterte Natrium-Festkörperbatterie.

NVP, $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$) und Elektronenleiter (Kohlenstoff). In einem einzigen Sinterschritt kann dann eine funktionierende Festkörperzelle, bestehend aus Elektrolytsubstrat und Kompositkathode, hergestellt werden, ohne dass die Materialien miteinander reagieren (Abb. 2). Durch Aufbringen einer Na-Metallelektrode auf der Gegenseite, wird die Vollzelle komplettiert. Diese Na-Festkörperbatterien lassen sich bereits heute bei 80 °C mit hohem Kapazitätserhalt laden und entladen (Abb. 3). Der Na-Ionen-Transport in der kaltgesinterten Kompositkathode limitiert aktuell noch die Ratenfähigkeit der Batterie und steht im Fokus aktueller Forschung am Fraunhofer IKTS.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Herstellung und Verarbeitung von Festelektrolytmaterialien (Pulver, Substrate, Pasten, Grünfolien)
- Optimierung Sinterparameter, Co-Sintern (konventionelles Sintern und Kaltsintern)
- Elektrochemische und mechanische Charakterisierung
- Post-Test-Analysen von Batteriezellen und -komponenten
- Entwicklung von Festkörperbatterien basierend auf dem keramischen Festelektrolyten

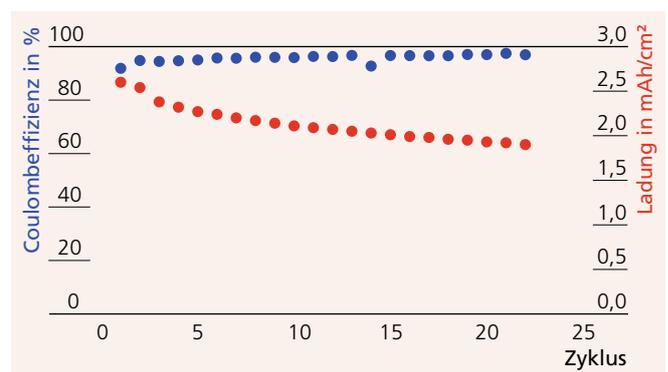


Abb. 3: Zyklusstabilität einer keramischen Natrium-Festkörperbatterie bei 80 °C.

STOP-Projekt: Übertragung von Krankheitserregern verhindern

Dr. George Sarau, Dr. Hyoungwon Park, Dr. Ina Erceg, Prof. Silke Christiansen

Das EU-geförderte STOP-Projekt entwickelt langlebige, aufsprühbare, antimikrobielle und antivirale Nanobeschichtungen für stark beanspruchte Oberflächen, die anorganische Nanopartikel, antimikrobielle Peptide und laserinduzierte Oberflächenstrukturierung kombinieren [1]. Diese Beschichtungen sollen Resistenzen minimieren, Infektionen verringern, Gesundheitskosten senken, die Umweltverschmutzung durch Desinfektionsmittel reduzieren und die Pandemiebereitschaft verbessern. Das Fraunhofer IKTS in Forchheim unterstützt das Projekt durch detaillierte Oberflächencharakterisierung variiert Nanobeschichtungen mittels fortschrittlicher Mikroskopie- und Spektroskopietechniken.

Abbildung 1 zeigt ein REM-Bild einer sprühbaren Nanokomposit-Beschichtung auf Edelstahl, bei der TiO_2 -Nanopartikel in einer Darvan-Matrix dispergiert und mittels Raman-Spektroskopie identifiziert wurden (Abb. 2). Die TiO_2 -Darvan-Mischung gewährleistet eine stabile Suspension, bessere Haftung, mechanische Stabilität und verstärkte antimikrobielle Eigenschaften für reale Bedingungen. Später im Projekt wird Helium-Ionen-Mikroskopie (HIM) eingesetzt, um Bakterien und Viren auf verschiedenen Oberflächen zu visualisieren und die Wirksamkeit der Beschichtungen zu bewerten. HIM bietet qualitativ hochwertigere Bilder biologischer Proben mit minimalen Schäden und Aufladungen.

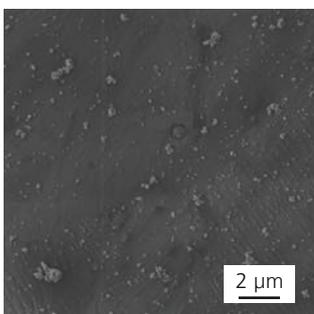


Abb. 1: REM-Aufnahme einer sprühbaren antimikrobiellen TiO_2 -Darvan-Beschichtung auf einer Edelstahloberfläche.

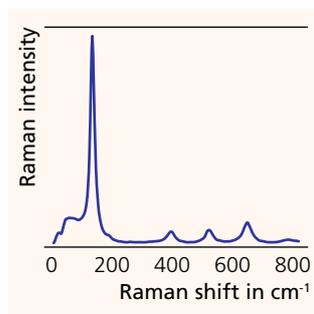


Abb. 2: Chemische Identifizierung von TiO_2 -Nanopartikeln mittels Raman-Spektroskopie.

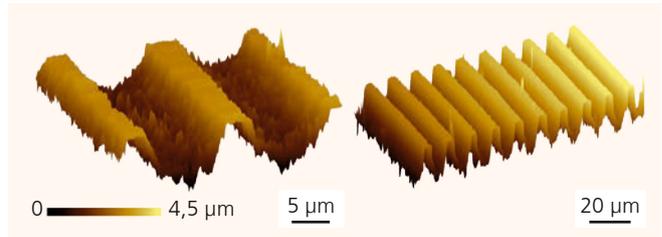


Abb. 3: Links: AFM-Bild eines laserstrukturierten Glassubstrats. Rechts: Optische Profilometrie der gleichen Probe.

Die Laserstrukturierung von Oberflächen zur Erzeugung nanoskaliger Rauheiten (sogenannte laserinduzierte periodische Oberflächenstrukturen – LIPSS [1]) ist ein effektiver Ansatz, um die Anhaftung von Bakterien und Viren zu verhindern, indem die Pathogene gestört und/oder die Hydrophobizität erhöht wird. Die Topographie der gelaserten Oberflächen kann mit Rasterkraftmikroskopie (AFM) und optischer Profilometrie analysiert werden. AFM erfasst feine nanoskalige Details auf kleineren Bereichen, während die optische Profilometrie schnellere Messungen über größere Flächen liefert, jedoch mit geringerer lateraler Auflösung.

Abbildung 3 zeigt 3D-AFM- (links) und 3D-Optische Profilometrie-Aufnahmen (rechts) eines gelaserten Glassubstrats. Diese Techniken liefern Rauheitsdaten auf einer Nano- bis Makroskala, die wichtig sind für statistische Korrelationen der Besiedlung von Krankheitserregern auf großen, stark frequentierten Oberflächen, wie in Krankenhäusern.

Im STOP-Projekt nutzt das Fraunhofer IKTS die nanoGPS-Technologie, um die gleiche Probenregion über verschiedene Instrumente hinweg zu relokalisieren [2]. So können Morphologie-, Topographie- und Kompositionsdaten desselben Objekts (Nanopartikel, Bakterien, Viren) erfasst und in einen korrelativen Analyse-Workflow mit maschinellem Lernen integriert werden.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Nanobeschichtung und Laserflächenmodifikation
- Korrelative, multiskalige Mikroskopie und Spektroskopie
- Maschinelles Lernen zur Analyse komplexer Datensätze

Literatur

- [1] L. Sotelo et al., Adv. Mater. Technol. 8, 2201802 (2023).
[2] A Kraus et al., Cells 12, 1245 (2023).



Biokeramik mit eingebetteten Leiterbahnen durch Kaltsintern

Dr. Aliya Sharipova, Dr. Marco Fritsch, Dr. Matthias Ahlhelm, Dr. Jörg Opitz

Biokeramiken bei niedrigen Temperaturen sintern

Durch Kaltsintern lässt sich das Anwendungspotenzial funktionalisierter Keramiken und Verbundwerkstoffe auf Keramikbasis erheblich erweitern. Während beim herkömmlichen Sintern Temperaturen von über 1300 °C erforderlich sind, liegt die Verarbeitungstemperatur beim Kaltsintern typischerweise deutlich unter 300 °C. Das ist möglich, weil hohe Pressdrücke eingesetzt werden. Durch die viel niedrigeren Temperaturen können der Energieverbrauch um den Faktor 10 gesenkt, die Verarbeitungszeit verkürzt und der CO₂-Ausstoß verringert werden – das macht das Kaltsintern zu einer attraktiven Option für die Entwicklung neuartiger Werkstoffe.

Zudem ermöglicht das Kaltsintern das simultane Sintern verschiedenster Materialien, die bislang mittels herkömmlicher Sintererntechnik nicht realisierbar sind. Das schließt eine Bandbreite von Keramiken, Metallen und insbesondere auch Polymeren ein. Durch stoffschlüssige Kombination dieser unterschiedlichen Materialgruppen bieten sich neue Möglichkeiten der Funktionalität mit erheblichen Vorteilen für die Entwicklung von Biomaterialien. Dazu zählt bspw. die Integration temperaturempfindlicher biologischer Zusatzstoffe oder Arzneimittel in dichte Biokeramiken oder Biometalle, ohne deren strukturelle Integrität oder Wirksamkeit zu beeinträchtigen. Ein weiteres Beispiel ist das direkte Einbringen biokompatibler Metalle, wie Gold oder Platin, in die Biokeramikmatrix, z. B. in Form von Elektroden oder elektrischen Leiterbahnen.

Integrierte Leiterbahnen

So ist es gelungen, eine Biokeramik auf Hydroxylapatit (HAp)-Basis mit darin eingebetteten elektrisch leitfähigen Bahnen durch Tintenstrahl Druck und Kaltsintern herzustellen (Abb. 1). Ausgangsmaterial ist ein selbstentwickeltes HAp-Kompositpulver aus sehr feinen HAp-Nanokristallen, die mit einer Gelatinematrix verwoben sind. Nach dem Kaltsintern erreicht diese Biokeramik eine Dichte von nahezu 99 % (Abb. 2).

Dank der einzigartigen Kombination von Gelatine (denaturiertes Kollagen) und synthetisch hergestelltem HAp sowie der Verarbeitung bei niedrigen Temperaturen konnte eine Bioke-

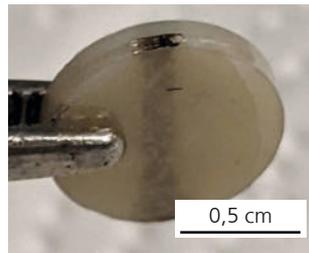


Abb. 1: Biokeramik mit eingebetteter Goldlinie, hergestellt durch Kaltsintern und Tintenstrahl Druck.

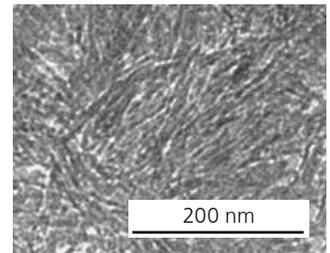


Abb. 2: Nanostruktur einer kaltgesinterten Biokeramik.

ramik mit knochenähnlichen mechanischen Eigenschaften hergestellt werden, die Druckfestigkeiten von fast 200 MPa und duktiles Verhalten aufweist (Abb. 3).

Für die Integration von Leiterbahnen in die Biokeramik wurde eine vom Fraunhofer IKTS entwickelte Gold-Nanotinte verwendet. Diese ist Inkjet-verdruckbar, bereits bei geringen Temperaturen von unter 200 °C elektrisch leitfähig und führt zu nachweislich biokompatiblen Leiterbahnen. Eine solche Materialkombination wäre mit herkömmlichen Dickschichtpasten der keramischen Multilayerkeramik (LTCC, HTCC) nicht darstellbar, da diese erst bei hohen Temperaturen von über 700 °C sintern. Zudem bietet Kaltsintern weitere Vorteile, da hierbei auch die Notwendigkeit einer thermischen Entbinderung von Folien- oder Pastenbindern entfällt.

Da Kaltsintern bereits bei 50 °C durchgeführt werden kann, bietet es die Möglichkeit, temperaturempfindliche bioaktive Substanzen zu verarbeiten. Damit soll dieser Ansatz bei der Entwicklung neuartiger funktioneller Implantate helfen, die u. a. die Übertragung und Steuerung elektrischer Muskelsignale durch mehrlagige Biokeramik-Implantate ermöglichen.

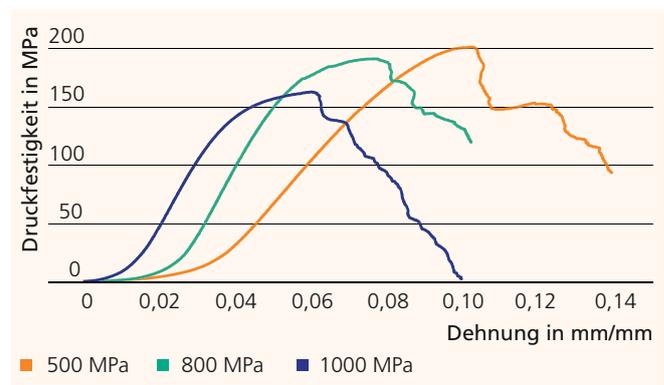


Abb. 3: Druckfestigkeiten exemplarischer CSP-Biokeramiken.



Elektrochemische Detektion von kardialen Biomarkern in Point-of-Care-Diagnostik

Dr. Natalia Beshchasna, M.Sc. Ivan Lopez Carrasco,
Dr. Jörg Opitz

Die Zahl der Krebserkrankungen nimmt laut der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) weltweit zu. Wurden 2022 noch 20 Millionen neue Krebsdiagnosen gestellt, steigt diese Zahl Prognosen zufolge bis 2050 auf 35 Millionen pro Jahr. Neben der Operation und Strahlentherapie ist die Chemotherapie eine der zentralen Säulen der Krebstherapie. Sie umfasst die Behandlung bösartiger Tumore mit chemischen Substanzen, sogenannten Chemotherapeutika oder Zytostatika, die in den Vermehrungszyklus der Krebszellen eingreifen.

Die Fortschritte der onkologischen Therapie führten in den letzten Jahrzehnten zu einer verbesserten Überlebensrate von Krebspatientinnen und -patienten, jedoch stieg damit auch die Morbidität und Mortalität aufgrund kardiovaskulärer Nebenwirkungen. Werden sich manifestierende kardiale Dysfunktionen (z. B. Herzrhythmusstörungen, EKG-Veränderungen und das Perikarditis-Myokarditis-Syndrom) frühzeitig erkannt, können präventive und unterstützende Maßnahmen ergriffen werden.

Spezifische kardiale Biomarker, wie Troponin (mit seinen Untertypen), sind hoch sensitiv, wodurch Kardiotoxizität frühzeitig erkannt werden kann. Nachteilig ist jedoch, dass der Troponin-Wert im Blut von Patient zu Patient stark variieren kann. Daher müssen Untersuchungszeitpunkte kardialer Biomarker individuell festgelegt und insbesondere bei Hochrisikopatienten engmaschig durchgeführt werden. Das macht die Überwachung kardiotoxischer Langzeitfolgen einer Chemotherapie sehr zeit-, material- und kostenintensiv. Zudem erfordert sie erhebliche personelle Kapazitäten. Abhilfe können hier Point-of-Care-Tests (POCT, patientennahe Sofortdiagnostik) schaffen.

Im Rahmen des vom BMWi geförderten Projekts CARDIOTOX (FKZ: KK5033910) wurde am Fraunhofer IKTS ein Sensor-Demonstrator entwickelt. Dieser basiert auf einem Polyethylen-naphthalat (PEN)-Substrat mit einer gedruckten Goldbeschichtung und ermöglicht eine selektive und sensitive Detektion von Troponin I mittels differentieller Puls-Voltammetrie. Damit gelang es, kardiales Troponin I im Labormaßstab elektrochemisch mit einer Genauigkeit von 0,3 ng/ml bis 2,4 ng/ml zu

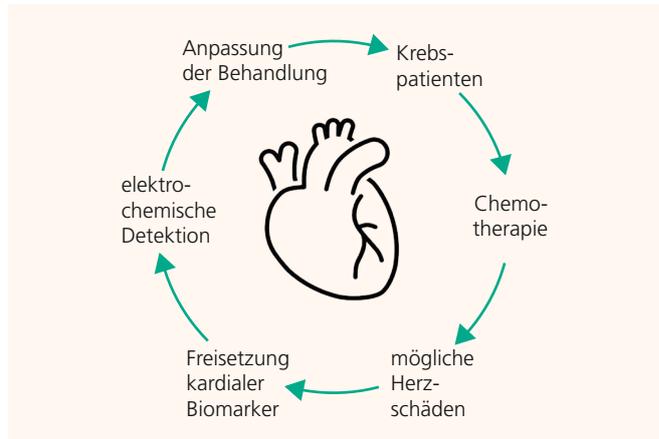


Abb. 1: Die Überwachung der kardiotoxischen Folgen einer Chemotherapie.

detektieren. Diese Spanne deckt die Troponin I-Proteinwerte während des Auftretens von Herzmuskelschäden ab [1].

In naher Zukunft soll ein tragbares Auslesesystem entwickelt und die Sensitivität und Reproduzierbarkeit des Sensors weiter verbessert werden. Bisher wurde die Testlösung manuell zugeführt, was künftig durch ein Mikrofluidikmodul ersetzt werden soll.

Der entwickelte Ansatz bietet eine zusätzliche Diagnoseoption, um das Risiko kardialer Folgeerkrankungen bei Onkologie-Patienten frühzeitig zu erkennen und rechtzeitig Maßnahmen einzuleiten. In Zusammenarbeit mit klinischen Partnern und Stakeholdern aus der Industrie plant das Fraunhofer IKTS im nächsten Schritt die Validierung und Hochskalierung der Sensortechnologie.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung elektrochemischer (Bio)Sensoren (Assayentwicklung, biochemische Sensorfunktionalisierung, biokompatible Aufbau- und Verbindungstechnik)
- Sensormessung
- Biokompatibles Sensor-Packaging
- Sensorprüfung und -evaluierung unter Medieneinfluss

Literatur

[1] S. Agewall, et al., »Troponin elevation in coronary vs. non-coronary disease«, *European Heart Journal*, vol. 32, no. 4, pp. 404–411, 2011.

Bewertung funktioneller Beschichtungen auf keramischen Zahnkronen

Dr. Malgorzata Kopycinska-Müller,
Dipl.-Ing. Ralf Schallert, Ricarda Wißler,
Dr. Daniel Schumacher, Dr. Sabine Begand

Zahnimplantate aus Keramik vereinen fortschrittliche Materialwissenschaft, Ästhetik und handwerkliches Geschick in sich. Jede Zahnkrone muss individuell in Größe, Form und Farbe angepasst werden, um eine erfolgreiche zahnmedizinische Rekonstruktion zu gewährleisten. Der Herstellungsprozess ist komplex: von der Anfertigung der Rohlinge, über präzises Fräsen für die Reproduktion des Originalzahns aus der Form bis hin zum Sintern und anschließendem Lackieren. Dabei tragen Zahntechniker mehrere Schichten keramischer Glasur auf, um eine möglichst natürliche Farbgebung zu erzielen. Die Beschichtungen müssen zudem funktionell sein, d. h. verschleiß- und druckfest, aber auch ästhetisch mit glatter Oberfläche.

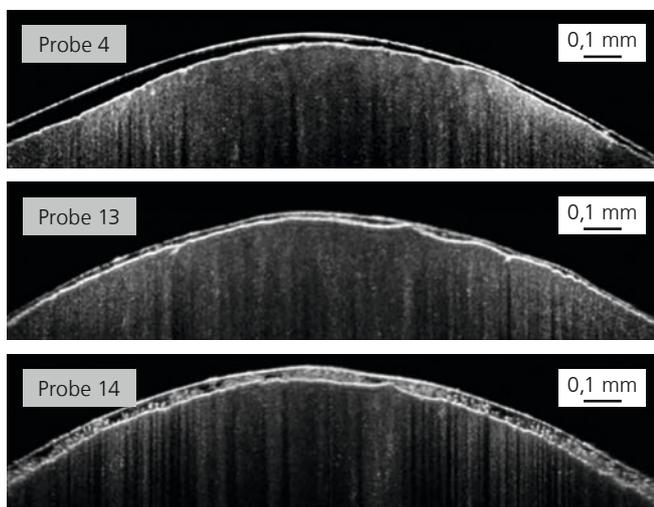


Abb. 1: OCT-Aufnahmen unterschiedlicher funktioneller Beschichtungen auf Zahnkronen aus Zirkoniumdioxid.

Das macht die Herstellung teuer. Daher wurde versucht, diese durch spezielle Sprühbeschichtungen zu vereinfachen und zu beschleunigen. Gemeinsam mit der Firma elaboro® wurden am Fraunhofer IKTS Hermsdorf zwei Lithiumsilikat-Sprays LiSiPURE und LiSi LOW FUSE entwickelt. Die hohe Qualität und Funktionalität der neuen Beschichtungen in Bezug auf Form und Gleichmäßigkeit konnte mit der Optischen Kohärenztomographie (OCT) nachgewiesen werden. OCT ist eine schnelle, zerstörungsfreie Bildgebungsmethode, die volumetrische Informa-

tionen liefert. Das Verfahren nutzt kurzes kohärentes Licht im nahen Infrarotspektrum. Materialien, die bei Wellenlängen von 800 bis 1300 nm zumindest teilweise transparent sind, können mit handelsüblichen Systemen in Tiefen von einigen hundert Mikrometern bis zu einigen Millimetern untersucht werden. Wenn der Laser die Probe abrastert, werden Photonen an der Oberfläche und innerhalb der Probe an Inhomogenitäten zurückgestreut; beides Bereiche mit diskontinuierlichen optischen Eigenschaften. Die Intensität des zurückgestreuten Lichts wird als Funktion der Tiefe aufgezeichnet. Während sich das fokussierte Licht entlang einer Linie bewegt, wird ein virtueller Querschnitt der Probe aufgezeichnet (B-Scan).

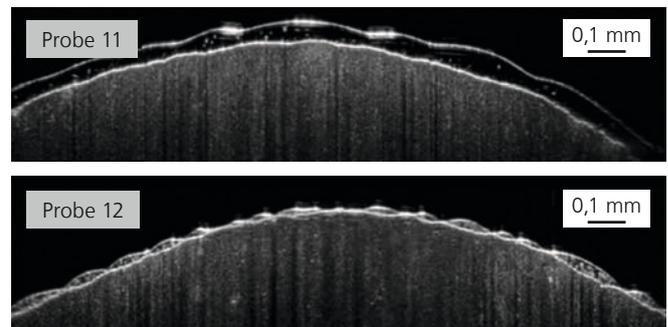


Abb. 2: Ergebnis eines fehlerhaften Beschichtungsprozesses von Zahnkronen – OCT-Aufnahmen.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen B-Scans von Zahnkronen aus Zirkoniumdioxid mit unterschiedlichen Beschichtungen – jeweils an der gleichen Stelle des vestibulären Zahnhöckers in Okklusalanzeige. Die genaue Positionierung zum Messkopf wird durch einen motorisierten Probenhalter sichergestellt. Die Proben 4 und 14 sind mit einer Kombination aus handelsüblichen Keramikbeschichtungen und LiSi PURE (Probe 4) bzw. LiSi LOW FUSE mit Farbpartikeln (Probe 14) beschichtet. Wie auf den OCT-Bildern zu sehen ist, überziehen die Beschichtungen das rohe Keramiksubstrat mit einer gleichmäßigen und glatten Schicht. Die Oberflächenqualität ist vergleichbar mit der einer handelsüblichen Glasurschicht (Probe 13). Abbildung 2 zeigt Beispiele von zwei weiteren Glasurspritzungen, bei denen die Schichtverteilung problematisch war: durch die rauen Oberflächen ist die Gleichmäßigkeit der Schicht nicht gewährleistet.

Die Ergebnisse belegen, dass die OCT-Methode qualitative Informationen über die Qualität der funktionellen Beschichtung von Zahnkronen liefert. Darüber hinaus wurde eine Software zur Charakterisierung der Beschichtungen, einschließlich ihrer Dicke und Homogenität, entwickelt. Im Rahmen von Kooperationen mit Industrieunternehmen können spezielle Systeme zur Charakterisierung von keramischen Beschichtungen und Substraten adaptiert werden.

Mikroakustik für das Zustandsmonitoring von Bäumen

Dr. Frank Schubert, Dr. Frank Duckhorn,
Dipl.-Ing. Mario Kühmstedt, Dipl.-Ing. Paul Meyer,
M.Sc. Michael Reinhold, M.Sc. Martin Barth,
Prof. Constanze Tschöpe, Prof. Henning Heuer

Die Beurteilung des Vitalitätszustands von Bäumen ist für den Naturschutz, die Baumpflege, den Obstbau oder auch die Forstwirtschaft von großem Interesse. Im Allgemeinen ist dies nur mit hohem personellen und technischen Aufwand realisierbar und daher für ein kontinuierliches Monitoring ungeeignet. Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass in stehenden Bäumen mikroakustische Schallemissionen (SE) im hörbaren wie auch im Ultraschallbereich auftreten. Sie lassen Rückschlüsse auf die Verkehrssicherheit des Baums, auf Trockenstress- und Saftstromanomalien sowie auf möglichen Krankheits- oder Schädlingsbefall zu (Tab. 1).

Tab. 1: Mikroakustische Ereignisarten mit Anwendungen

Ereignisart	Hinweis auf	Anwendung
Faserknack	Astbruch	Verkehrssicherheit
Kapillarkollaps	Trockenstress	Obstbau, Forstwirts.
Rauschsignal	Saftstromanomalie	Obstbau, Forstwirts.
Fraßgeräusch	Käfer-/Mäusebefall	Obstbau, Forstwirts.

Im laufenden BMBF-Projekt TreeMon (FKZ: 02WGD1698B) soll dafür ein autonomes Messsystem für mikroakustische Schallemissionen entwickelt und in die Praxis umgesetzt werden. Dazu wird der Demonstrator eines kabellosen SE-Sensorknotens aufgebaut und am Stamm eines Baums befestigt. Dort nimmt er über einen längeren Zeitraum Schallemissionen auf und wertet diese auf Basis maschinellen Lernens aus.

Das digitale Messsystem soll

- Schäden und Krankheiten, welche die Verkehrssicherheit beeinträchtigen, frühzeitig erfassen und klassifizieren;
- rechtzeitig Maßnahmen vorschlagen, die das Absterben bzw. die Schädigung der Bäume verhindern sowie stabilere und bessere Erträge im Obstbau zulassen;
- die Wirksamkeit von langfristigen Maßnahmen in der Forstwirtschaft (z. B. Anbau von Mischwäldern oder nicht-endermischen Baumarten) überprüfen.

Im Rahmen erster Testmessungen im Feld wurden SE-Daten an verschiedenen Obstbäumen, an Birken, Tannen, Kiefern sowie an Buchen und Linden aufgenommen und ausgewertet. Dabei konnten mit piezobasierten Schallaufnehmern und hochempfindlichen Kontaktmikrofonen (Abb. 1) feinste Faserknacks im Vorfeld von makroskopischen Ast- und Stammbrüchen, Trockenstress- und Trocknungsereignisse wie auch ein aktiver Borkenkäferbefall (Abb. 2) akustisch nachgewiesen werden. Saftstrommessungen befinden sich aktuell in der Durchführung.



Abb. 1: Mit Kontaktmikrofon instrumentierter Obstbaum.

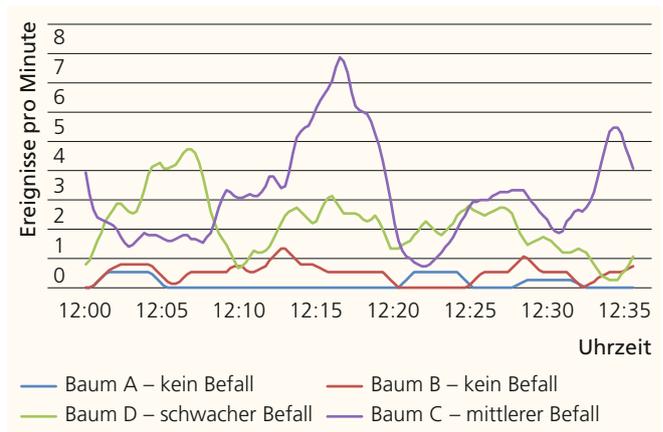


Abb. 2: Zeitabhängige Fraßgeräusche von Borkenkäfern an verschiedenen Kiefern.

Auf Grundlage der Frequenzcharakteristika der mikroakustischen Ereignisarten werden die zu entwickelnden Sensorknoten spezifiziert. In einer abschließenden einjährigen Feldtestkampagne werden diese validiert und optimiert. Ein anschließender Abgleich der Akustikdaten mit konventionell durch Baumsachverständige und drohnenbasierte Multispektralkameras erfasste Vitalitätseinschätzungen der Bäume bildet die Basis für die Auswertung mit maschinellern. Ähnliche akustische Überwachungslösungen werden am Fraunhofer IKTS auch für andere Anwendungen entwickelt.



Qualitätsprüfung von Batteriesuspensionen

Dr. Dirk Hofmann, Susan Walter, M.Sc. Martin Schulze,
Prof. Henning Heuer

Mit Wirbelstrom- und Ultraschalltechnologie können auch flüssige Materialien untersucht werden. So lassen sich bspw. Batteriesuspensionen auf ihre Qualitätseigenschaften während des Mischens und des Mahlens in einer Kugelmühle überwachen. Für eine solche Anwendung wurden die EddyCus®-Hochfrequenz-Wirbelstrom- und PCUS®-Ultraschalltechnologien des Fraunhofer IKTS für den koreanischen Partner NANOINTECH Co. Ltd. modifiziert.



Abb 1: An einer Kugelmühle installierte Wirbelstrom- und Ultraschallsensoren.

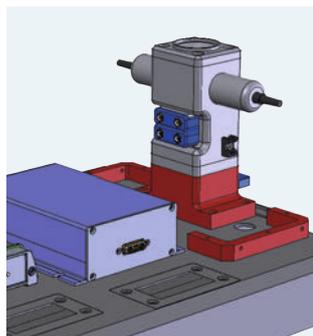


Abb 2: Offline-Inspektionsprototyp des Multisensorsystems.

Dazu wurde ein neuer Sensor mit Wirbelstromspulen und Ultraschallwandlern entwickelt und zu einem robusten System für raue Umgebungsbedingungen zusammengefügt. So kann der Sensor direkt in den Prozessfluss einer Kugelmühle oder in ein Offline-Gerät integriert werden. Experimente an einer Kugelmühle zeigen das enorme Potenzial des zerstörungsfreien Prüfsystems: zeitabhängige Sensorparameter in der Wirbelstrom- und Ultraschalldomäne korrelieren gut mit den Materialeigenschaften. Die Kombination beider Techniken erweitert zudem die Sensitivität von (gering) leitfähigen Materialien bis hin zu Isolatorwerkstoffen. Mechanische Materialparameter werden mithilfe von Reflexions- und Transmissions-Ultraschallverfahren analysiert. Die EddyCus®-Technologie erlaubt auch bei hohen Frequenzen von über 20 MHz die Analyse von Materialeigenschaften selbst in Isolatormaterialien wie Al_2O_3 -Suspensionen. Änderungen der Schallgeschwindigkeit und des Frequenzspektrums des Ultraschallsignals im Zeitverlauf korrelieren dagegen gut mit der Suspensionsdichte und der Partikelgrößenverteilung.

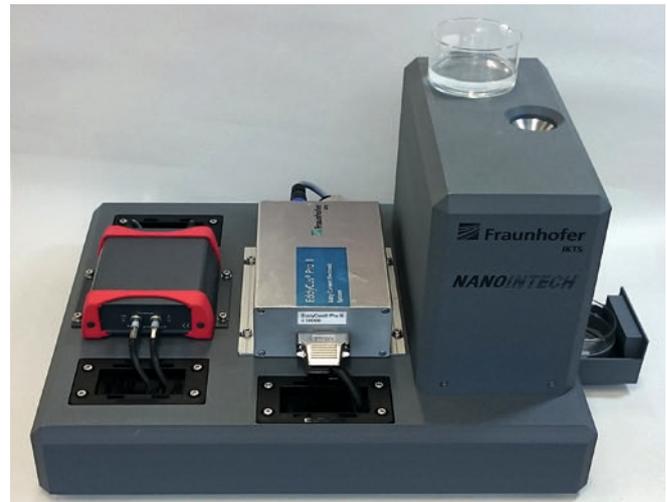


Abb 3: Offline-Analysegerät für Batteriesuspensionen entwickelt zusammen mit NANOINTECH.

Die kombinierte Technologie kann entweder in bestehende Kugelmühlen integriert oder offline in der Laborumgebung eingesetzt werden. Sie ermöglicht es Kunden, die Qualität ihrer flüssigen (Vor-)Produkte zu kontrollieren. Das Fraunhofer IKTS richtet derzeit einen anonymisierten Datenraum ein, in dem die Daten aller bisher installierten Systeme gesammelt werden. Mithilfe dieses Datensatzes wird ein Modell auf Basis maschinellen Lernens trainiert, um universelle Inspektionsrezepte für unbekannte Materialien zu entwickeln.

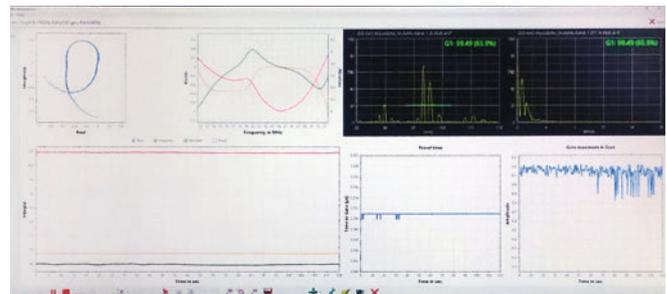


Abb 4: Zeitabhängige Wirbelstrom- und Ultraschallmessung mit PCUS® Lab Software für die Untersuchung der Eigenschaften von Batteriesuspensionen..

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Evaluierung unbekannter Batterieslurries
- Offline-Überwachung bestehender Mischprozesse für Batterieslurries
- Integration des Messsystems in bestehende Anlagen

IKT NANOINTECH

KI-basierte Auswertung von technischen, biologischen und Sprachdaten

Prof. Dr. Constanze Tschöpe, Dr. Ilkin Alkhasli, Maximilian Gast, Rovshan Hasanov, Dr. Yong Chul Ju, Dr. Mathias Käso, Dr. Ivan Kraljevski, Prof. Dr. Hans Rüdiger Lange, Dario Lembcke, Huajian Li, Maximilian Mühle, David Schiemenz

Die IKTS-Projektgruppe »Kognitive Materialdiagnostik« (Kog-Mat^D) wurde am 1.1.2019 gegründet und ist an der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) in Cottbus angesiedelt. Sie entwickelt intelligente Verfahren zur Materialdiagnostik sowie zur Überwachung von Systemen auf Basis künstlicher Intelligenz (KI) und maschinellen Lernens (ML). Gemeinsam mit zahlreichen Unternehmen der Region, Lehrstühlen der BTU, nationalen und internationalen Universitäten und Forschungseinrichtungen sowie Kliniken konzipiert und gestaltet die Gruppe anwendungsnahe Projekte. Dabei kommt v. a. die akustische Diagnose zum Einsatz: von der Qualitätsbewertung gefertigter Bauteile, der vorausschauenden Instandhaltung für industrielle Anlagen und Verschleißkomponenten über die Verarbeitung gesprochener und geschriebener Sprache bis hin zur Analyse biologischer und medizinischer Daten.

Die Projektgruppe wurde im Jahr 2023 erfolgreich evaluiert und über die Laufzeit von fünf Jahren hinaus verstetigt.

Vorausschauende Instandhaltung

Ein Schwerpunkt mehrerer aktueller Projekte der Gruppe Kog-Mat^D ist die vorausschauende Instandhaltung von Maschinen und Anlagen (Predictive Maintenance). Für Systeme aus den Bereichen Energie, Mobilität und Produktion werden Anlagen- und Prozess- und Umgebungsparameter geeignet kombiniert, um eine automatische, KI-basierte Zustandsvorhersage zu erzeugen. Ziel ist es, eine optimierte Wartung der zu untersuchenden Maschinen und Anlagen durchzuführen und unvorhergesehene Ausfälle zu vermeiden.

Spracherkennung

Ein weiteres Forschungsgebiet ist die automatische Analyse bzw. Erkennung von Texten und gesprochener Sprache, die in aktuellen Projekten für Roboter- und Maschinensteuerung, Diktiersysteme und Videotranskription zur Anwendung

kommt. Besonderes Augenmerk wird darauf gelegt, dass die Analyse autark und sicher ausgeführt wird und keine Übertragung an Dritte oder externe Server erfolgt.

Zudem engagiert sich die Projektgruppe für die Bewahrung seltener Sprachen. Im Jahr 2024 startete das nunmehr vierte Folgeprojekt zur Erkennung obersorbischer Sprache.

Gesundheitsdaten

In einem laufenden Projekt entwickelt die Projektgruppe gemeinsam mit der Medizinischen Fakultät der Technischen Universität Dresden und Anwendungspartnern ein Diagnostiksetup inklusive KI-basiertem Auswertalgorithmus. Dies soll dabei helfen, Rückenschmerz, eine der häufigsten Krankheiten, möglichst frühzeitig zu erkennen und zu behandeln. Mit diesem Setup werden sensorgestützte Funktionsmessungen am Patienten durchgeführt. Die Projektgruppe analysiert und klassifiziert vorhandene Gesundheitsdaten früherer Messungen und nutzt diese für die Bewertung der neuen, mit dem Diagnostiksetup aufgenommenen Daten.

Open-ZfP-KI-Portal für die Anomalieerkennung

Die Projektgruppe entwickelte ein kostenloses und frei verfügbares KI-basiertes Portal, mit dem Nutzer Audiodaten von Maschinen und Anlagen analysieren und auf Anomalien (Abweichungen vom Normalzustand) untersuchen können (Abb. 1). Das Portal ist nutzerfreundlich und eignet sich durch einen niederschweligen Einstieg auch für Anwender, die keine oder nur geringe KI-Kenntnisse besitzen. Für KI-erfahrene Nutzer steht ein Profimodus zur Verfügung, mit dem verschiedene Parameter justiert werden können.

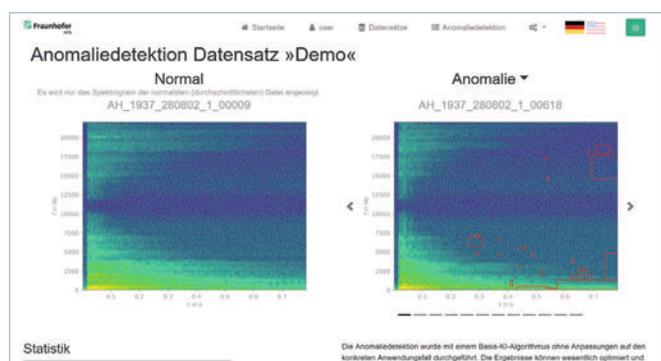


Abb. 1: Open-ZfP-KI-Portal: Spektrogramm des Normalzustands ohne Fehler (links) und Spektrogramm des Fehlerzustands (rechts; Anomalien rot markiert).

Gefördert durch:



Keramikfilter und Katalysatoren für die Emissionsminderung bei der Holzverbrennung

Dr. Uwe Petasch, Dipl.-Ing. (FH) Stephanie Schlotza,
Dipl.-Krist. Jörg Adler

Holz und Holzbrennstoffe leisten bei der Wärmeerzeugung im Haushaltsbereich (Kamine, Heizkamine und Kachelöfen) einen wichtigen Beitrag zum Gelingen der Energiewende. Allerdings entstehen bei der Verbrennung von Holz Feinstaub- und Luftschadstoffemissionen. In Wohngebieten, in denen viele Kamine betrieben werden, kann es bei Inversionswetterlagen daher zu erhöhten Feinstaubbelastungen kommen.



Abb. 1: Feinstaubfilter (hinten) und Katalysator (vorn) aus offenzelliger Schaumkeramik für die Emissionsminderung bei Kaminöfen.

Um den Schadstoffausstoß nachhaltig zu reduzieren und die Luftqualität zu verbessern legt die Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (1. BImSchV) fest, dass bis Ende 2024 ältere, ineffiziente und umweltschädliche Öfen entweder durch moderne, emissionsarme Modelle ersetzt oder mit geeigneten Emissionsminderungstechniken nachgerüstet werden müssen. Darüber hinaus sieht das neue Umweltzeichen »Blauer Engel« für Kaminöfen für Holz (DE-UZ 212) den Einsatz von Filtern, Katalysatoren und automatischer Verbrennungsluftregelung vor, um Staub- und sonstige Abgasemissionen deutlich unterhalb der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte zu erreichen.

Im Projekt »CleanKFA« entwickelte und erprobte das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit der DBI Gas- und Umwelttechnik

GmbH ein integriertes Abgasnachbehandlungssystem (AGN) zur Schadstoffminderung bei der Holzverbrennung in Kaminöfen. Mit geeigneten Schaumkeramikfiltern, -katalysatoren und Wärmespeicherelementen sowie durch Optimierung der Verbrennungsbedingungen (Temperatur, Luftzufuhr, Leistung) konnten im Vergleich zu konventionellen Feuerstätten deutliche Schadstoffminderungen erreicht werden. Die katalytische Abgasbehandlung führte bei Emissionsmessungen nach den Vergabekriterien des Umweltzeichens zu sehr niedrigen Werten:

■ Kohlenstoffmonoxid	< 350 mg/m ³
■ Organischer Gesamtkohlenstoff	< 50 mg/m ³
■ Stickoxide	< 125 mg/m ³

So können die Vorgaben nach »Blauem Engel« sicher eingehalten werden. Der vorgelagerte Feinstaubfilter schützt den Katalysator vor zu hoher Temperaturbelastung und übermäßiger Beaufschlagung mit Ruß- und Aschepartikeln. Damit wird die thermische und chemische Alterung des Katalysators reduziert und die Langzeitstabilität gesteigert. Ein erster Nachweis konnte dafür im Projekt für eine Betriebsdauer von 100 Stunden erbracht werden. In dieser Zeit ist keine signifikante Katalysatoralterung aufgetreten, so dass die Emissionsminderung für die gasförmigen Schadstoffe konstant geblieben ist.

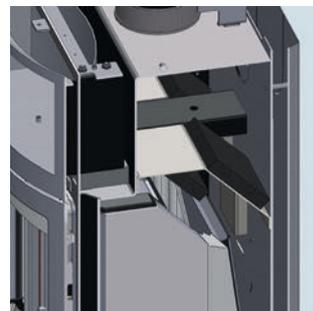


Abb. 2: Schematischer Einbau des AGN-Systems im Kaminofen.

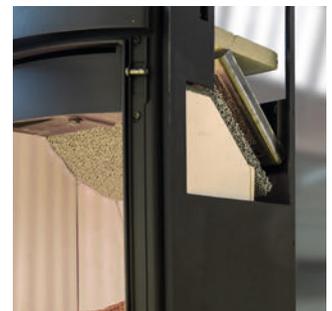


Abb. 3: AGN-System aus Feinstaubfilter, Katalysator und Wärmespeicherplatte.

Durch die Kombination von Schaumkeramikfilter und -katalysator konnten auch die Partikelemissionen stark gesenkt werden. Eine erweiterte Emissionsprüfung unter Einbeziehung der Anheizphase zeigt: die Partikelmassewerte liegen deutlich unter den gesetzlichen Vorgaben. Zudem konnte die Partikelanzahl gegenüber dem Ausgangszustand der Feuerstätte nahezu halbiert werden. Ofenbauern bietet das Fraunhofer IKTS die auf ihre Systeme abgestimmte Entwicklung von Filtern und Katalysatoren für die AGN an.

Kontinuierliche Gastrocknung mittels Membrantechnologie

Dr. Alireza Taherizadeh, Janet Philipp, M.Sc. Kerstin Böttcher, Dr. Adrian Simon, Dr. Hannes Richter, 'Dr. Jeremias Zill, 'Dipl.-Chem. Udo Lubenau ('DBI GUT GmbH)

Die Gastrocknung wird in der Erdgasaufbereitung, Petrochemie und Wasserstoffproduktion bis hin zur Industriegasreinigung eingesetzt, wo Feuchtigkeitsentfernung entscheidend für Prozesseffizienz und Anlagenlebensdauer ist. Die kontinuierliche Gastrocknung mittels Membrantechnologie stellt hier eine bedeutende Weiterentwicklung im Bereich der Trennprozesse dar. Durch den Einsatz fortschrittlicher, anorganischer, nanoporöser Membranen wie Zeolithe (NaA, SSZ-13, SAPO-34) und Kohlenstoff erzielt diese Technologie im Vergleich zu herkömmlichen Trocknungsverfahren sehr gute Ergebnisse. Die Membranen zeichnen sich durch hohe Selektivitäten und Wasserpermeanzen aus, wodurch ein kontinuierlicher Betrieb unter variierenden Druck- und Temperaturbedingungen mit minimalem Wartungsaufwand (ohne Absorptionsmittel) möglich ist. Asymmetrische Einkanalrohre aus porösem α -Aluminiumoxid dienen als Träger für eine Zeolithmembran, welche durch hydrothermale Kristallisation und Kalzinierung (1–2 μm Dicke) erzeugt wird. Bei Kohlenstoffmembranen erfolgt dies hingegen durch Tauchbeschichtung, Trocknung, Vernetzung und Pyrolyse (200 bis 1000 nm Dicke). Die Membranen wurden mit FESEM und XRD charakterisiert, um ihre Trenneigenschaften durch Gaspermeationsmessungen unter verschiedenen Bedingungen zu bewerten. Dabei wurden $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$ - (Wasser/Wasserstoff) und $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$ - (Wasser/Methan)-Trennungen bei einem Feddruck von 10 barg und 50 °C für Zeolithe bzw. 120 °C für Kohlenstoffmembranen durchgeführt (Tab. 1).

Tab. 1: Messbedingungen für die Trennung von Wasserdampf aus H_2 und CH_4 .

Parameter	$\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$	$\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$
Feeddruck [barg]	10	10
Permeatdruck [barg]	0	0
Messtemperatur [°C]	50, *120	50, *120
Volumenstrom [%]	4	4.65
Gasvolumenstrom [NI/h]	180	153
H_2O -Massenstrom [g/h]	6	6

* Messbedingungen für die Kohlenstoffmembran

Bei Betrachtung der $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$ -Trennung (Abb. 2) zeigt die Kohlenstoffmembran mit einer $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$ -Selektivität von 10 und einer H_2 -Permeanz von 1750 $[\text{l}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{bar})]$ die geringste Performance. Während die Zeolithmembranen SAPO-34- und SSZ-13 eine vergleichbare H_2O -Permeanz zwischen 2500 und 3000 $[\text{l}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{bar})]$ aufwiesen, erreichte die SSZ-13-Membran eine höhere $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$ -Selektivität von ~ 16. Im Gegensatz dazu zeigte die NaA-Membran die höchste $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$ -Selektivität von 67 bei einer H_2O -Permeanz von 3250 $[\text{l}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{bar})]$. Bei der $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$ -Trennung waren die Selektivitäten grundsätzlich höher. Dabei weist die SAPO-34-Membran eine relativ niedrige H_2O -Permeanz und $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$ -Selektivität auf. Die SSZ-13-Membran zeigte ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Permeanz und Selektivität. Die NaA-Membran hingegen zeichnet sich durch eine hohe $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$ -Selektivität > 100 und einer H_2O -Permeanz (~ 3200 $[\text{l}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{bar})]$) aus, was sie zu einem vielversprechenden Kandidaten für effiziente Gastrocknungsanwendungen macht. Noch bessere Werte wurden mit der Kohlenstoffmembran erreicht. Die $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$ -Selektivität überstieg 1000 bei einer Permeanz von ~ 3600 $[\text{l}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{bar})]$.

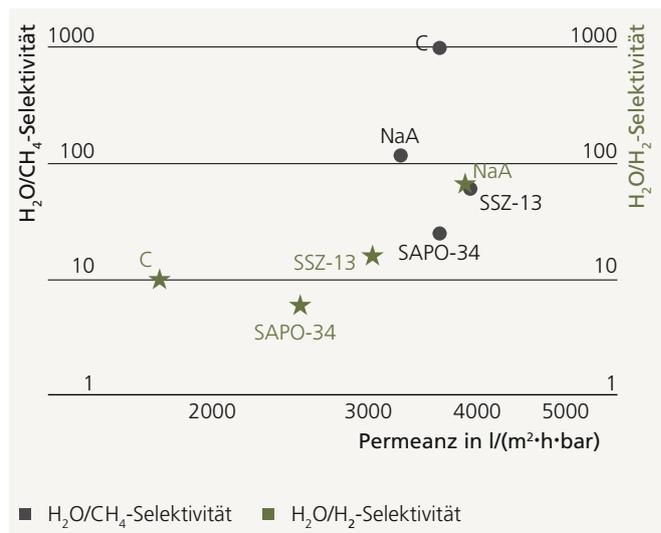


Abb. 1: Leistung verschiedener Zeolithmembranen und Kohlenstoffmembranen für $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$ - und $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$ -Trennungen.

Kohlenstoffmembranen zeigen somit ein exzellentes Potenzial für die direkte Biogastrocknung, während Zeolithmembranen (NaA) vielversprechend für die Wasserstofftrocknung sind. Aus diesem Grund wird die weitere Erforschung mit dem Ziel der Pilotierung am Fraunhofer IKTS priorisiert.

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Finanzierung im Rahmen des Projekts »Hybiodirect« (FKZ: 37192).



Präventiver Brandschutz neu gedacht: Flexible Folienlamine auf Silikatbasis

Dr. Thomas Hoyer, Dr. Ralf Wyrwa

Mit neu entwickelten Silikatfolien können aus kommerziellen Polymerfolien erstmals flexible und transparente Lamine hergestellt werden, die im Brandfall aufschäumen, dem Brandherd Energie entziehen und eine isolierende und strahlungsmindernde Barriere bilden (Abb. 1).



Abb. 1: Brandschutz-Folienlaminat im Kleinbrandversuch bei 500 °C.

Transparente Kunststofffolien werden in vielen Bereichen in Industrie, Baugewerbe und Verkehrswesen verwendet. Für bestimmte Anwendungen müssen sie flammhemmend ausgerüstet sein, um gesetzlich vorgeschriebene Brandklassen zu erreichen. Im Brandfall brennen sie zwar nicht von selbst, stellen allerdings keinen großen Widerstand gegen das Feuer dar und können schmelzen und abtropfen.

Der präventive Brandschutz ließe sich deutlich verbessern, wenn transparente Kunststofffolien zum Einsatz kommen, die im Brandfall weiterhin einen Raumabschluss gewähren, ein Hitzeschild bilden und sich nicht zu toxischen Produkten zersetzen.

Die gemeinsam mit einem Industriepartner am Fraunhofer IKTS entwickelten Brandschutz-Folienlamine basieren auf Natriumsilikat-Schichten, die in Brandschutzverglasungen schon seit Jahrzehnten eingesetzt werden und sich dort bestens bewährt haben. Den Forschenden ist es gelungen, die Natriumsilikat-Schichten so zu modifizieren, dass daraus flexible Folien herstellbar sind. Diese werden laminiert und ergeben dann transparente und flexible Folienlamine für den präventiven Brandschutz (Abb. 2). Die Herstellung der Lamine erfolgt durch die Kombination bestehender Folientechnologien am Fraunhofer IKTS (Abb. 3).



Abb. 2: Transparente und flexible Lamine.

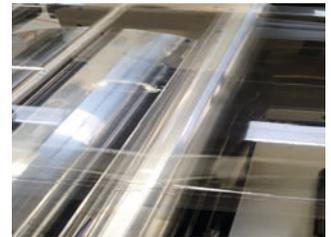


Abb. 3: Folienbeschichtung im Technikum.

Für die Lamine sind Anwendungen in vielen Bereichen denkbar, so zum Beispiel zur Verbesserung des Brandschutzes (Vorbeugung, Eindämmung) verschiedener Materialien, wie Textilien, Kunststoffe, Metalle, Baumaterialien oder Gläser. Zielmärkte sind u. a. bautechnischer Brandschutz, Akkutechnologie- und E-Mobility, textiler Brandschutz, Schutz von Elektro-Anlagen und Solartechnik, Verpackungen, Schutz von Industrieanlagen und Transportmitteln, Kabel und elektronische Schaltungen.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Anpassung der Zusammensetzung der Folienlamine an spezielle Anwendungen
- Herstellung von Musterlaminaten
- Unterstützung bei Umsetzung und Optimierung der Herstellungstechnologie



Prof. Dr. G. Meyer, Wesel

Neue Wertschöpfungsketten für die Produktion von grünem Stahl

Dipl.-Ing. Sebastian Hilbig, Dr. Erik Reichelt, PD Dr. Matthias Jahn

Stahl ist ein für die industrialisierte Welt unverzichtbarer Werkstoff, dessen Nachfrage durch weltweit errichtete Produktionsstätten gedeckt wird. Diese Standorte sind gerade in Deutschland historisch gewachsen. Im Zuge veränderter Wertschöpfungsketten für die Erzeugung von grünem Stahl sind diese Standorte künftig auch bezüglich technischer sowie ökonomischer Vor- und Nachteile zu bewerten. Hintergrund dieser Neubewertung ist die notwendige Minderung des massiven CO₂-Ausstoßes bei der Stahlerzeugung. Diese kann durch eine Umstellung der Reduktion von Eisenerz im konventionellen Hochofenprozess auf alternative Prozessrouten wie das sogenannte Direktreduktionsverfahren erreicht werden. Anstelle von Kohle und Koks werden dabei Erdgas oder regenerativ erzeugter Wasserstoff als Reduktionsmittel genutzt. Neben einer Direktreduktionsanlage wird auf dieser Route zudem ein Elektrolichtbogenofen (electric arc furnace, EAF) für die Stahlerzeugung benötigt. Die industrielle Umsetzung ist mit der Errichtung neuer Anlagen verbunden. Dabei sind in Anbetracht des Energie- und Rohstoffbedarfs neben den infrastrukturellen Bedingungen auch die Verfügbarkeit regenerativ erzeugter elektrischer Energie für die Wasserstoffherzeugung zu prüfen.

Im BMBF-geförderten Projekt »TransHyDe« wurde am Fraunhofer IKTS, aufbauend auf umfangreichen Vorarbeiten im Bereich der Prozessmodellierung der Direktreduktionsroute, die Wertschöpfungskette der Stahlerzeugung (Abb. 1) eingehend betrachtet. Die vorhandenen Modelle wurden um den Einfluss des Anlagenstandorts erweitert. Dadurch war es möglich, die Aufteilung der Prozesskette zwischen dem Land des Eisenerzabbaus und dem der Stahlerzeugung zu bewerten.

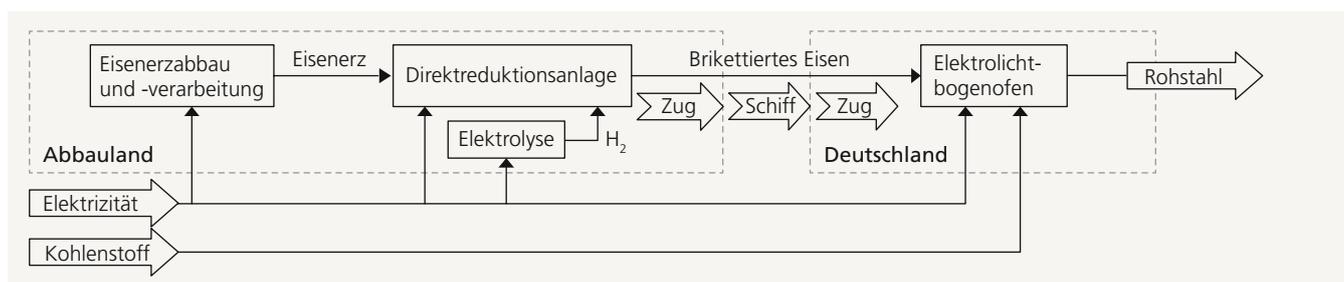


Abb. 1: Prinzipalskizze der Wertschöpfungskette für grünen Stahl durch Direktreduktion im Erzabbau-land.

Verschiedene Optionen konnten energetisch als auch ökonomisch verglichen werden. Als mögliche Standorte der Direktreduktionsanlage (direct reduction plant, DRP) wurden gewählt:

- Eisenerzmine (Abbauland),
- Küstenregion (Abbauland bzw. Deutschland) und
- Stahlwerksstandort (Deutschland)

Zudem sind im Modell standort- sowie materialspezifische Energiebedarfe und Kosten für Prozess- und Transportschritte hinterlegt worden.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein gemeinsamer Standort von DRP und EAF die thermische Kopplung beider Prozessschritte ermöglicht, indem direktreduziertes Eisen als Produkt der DRP ohne zusätzliche Abkühlung im EAF eingesetzt wird. Ohne örtliche Kopplung kann keine prozessinterne Nutzung dieser Wärme erfolgen, wodurch der Energiebedarf der Stahlerzeugung höher ausfällt (Abb. 2). Für die ökonomische Bewertung sind jedoch auch die Transport- sowie die Wasserstoffkosten von entscheidender Bedeutung. Deshalb können je nach betrachtetem Abbauland verschiedene Prozessrouten wirtschaftlich vorteilhaft sein (Abb. 1). Auch industriepolitische Aspekte wie das Bestreben nach Resilienz des Industriestandorts Deutschland müssen einbezogen werden. In Folgeprojekten mit Industriepartnern fließen diese Erkenntnisse nun in die Optimierung konkreter Stahlerzeugungsketten ein.

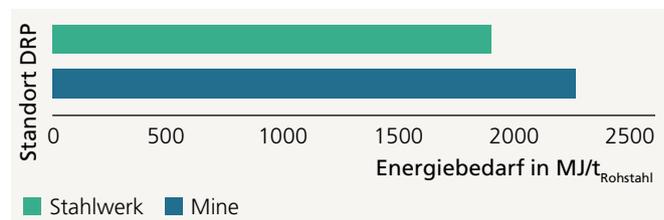


Abb. 2: Energiebedarf der Rohstahlerzeugung im Elektrolichtbogenofen (EAF) in Abhängigkeit des Standorts der Direktreduktionsanlage (DRP).

Gefördert durch:

 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages

Bioethanol-Kraftstoff aus Abwässern und Reststoffen von Brauereien

Dipl.-Ing. Björn Schwarz, Dr. Ralf Wyrwa,
Dr. Marcus Weyd

Nachhaltig erzeugtes Bioethanol aus Reststoffen kann einen Beitrag zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors leisten. Im BMWK-Projekt »Bieranol« arbeitet das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit dem Partner BFC Trading GmbH an der Erschließung von Bioethanol-Potenzialen aus Brauereien. Zwei Stoffströme standen dabei im Fokus. Zum einen fallen bei der Herstellung von alkoholfreien Biersorten Abwässer mit unterschiedlichem Ethanolgehalt an, welche häufig entsorgt werden. Zum anderen enthält Biertreber als Reststoff aus dem Brauprozess noch größere Anteile an Cellulose – ein potenzieller Ausgangsstoff für die Ethanolgewinnung.

Aufbereitungsziel für die Abwässer war die Abtrennung und Aufkonzentrierung des Ethanols bis zur Kraftstoffgüte (> 99,5 %). Dafür wurden zwei am Fraunhofer IKTS entwickelte Membranstufen eingesetzt. Die erste Stufe (Abb. 1) besteht aus speziell entwickelten planaren hydrophoben Mixed-Matrix-Membranen (MMM), welche in ein Plattenmodul der Firma Beroplan GmbH installiert wurden (Membranfläche 1 m²). Die Membranselektivität ist deutlich höher als die der Destillation. Somit können mit diesem Modul bereits aus niedrig konzentrierten Gemischen sowie bei Temperaturen von nur 40 °C energetisch effizient

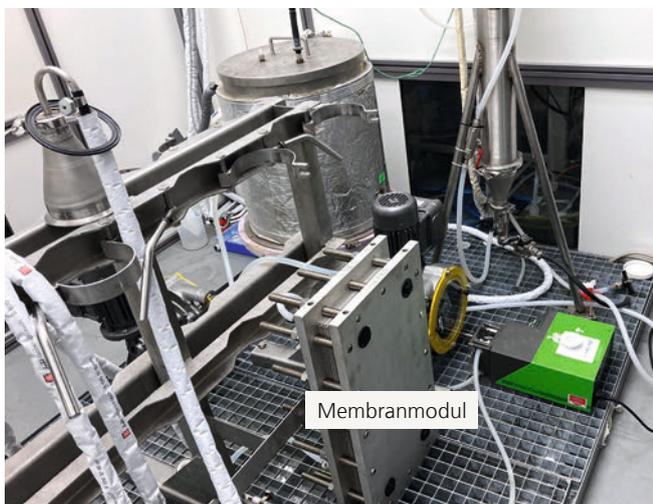


Abb. 1: Pervaporationsanlage mit integriertem MMM-Modul zur hydrophoben EtOH-Abtrennung.

und in nur einem Schritt Ethanolkonzentrationen von > 50 % erreicht werden. Die Vorkonzentrierung im MMM-Modul ist Voraussetzung für die Weiterverarbeitung in der zweiten Membranstufe. Für diese Aufkonzentrierung bis auf 99,9 % Ethanol wurden tubulare hydrophile keramische Membranen in der Dampfpermeation eingesetzt. Zu diesem Zweck wurde eine Versuchsanlage zur Absolutierung des Kraftstoffs gemeinsam konzipiert und vom Industriepartner umgesetzt (Abb. 2).



Abb. 2: Anlage zur Wasserabtrennung mittels hydrophiler Membran zur Ethanolabsolutierung.

Im Projekt ist es gelungen, mit zwei unterschiedlichen Membrantypen, hydrophoben MMM und hydrophilen Keramikmembranen, Ethanol aus Abwässern auf 99,9 % Ethanol zu absolutieren. Die Membrantechnologie ist effizient und erlaubt Energieeinsparungen von bis zu 80 % für die Absolutierung.

Biertreber besteht zu etwa 80 % aus Wasser und 20 % aus organischer Trockensubstanz. In der Trockensubstanz sind etwa 20 % Cellulose und 35 % Hemicellulose enthalten. Im Projekt konnten bis zu 80 % der Cellulose in Bioethanol umgewandelt werden. Dazu wurde der Biertreber einem sauren und thermischen Aufschluss unterzogen, um die Cellulose für die enzymatische Umwandlung durch Cellulasen in Glucose verfügbar zu machen. Bei der abschließenden Hefefermentation wurde daraus Ethanol gebildet. Eine Steigerung der Ethanolkonzentration wäre durch die Erschließung der Hemicellulosen mittels Spezialhefen sowie durch die Minimierung des Wassereinsatzes beim Aufschluss möglich. Weitergehende Untersuchungen zeigen, dass die generierten ethanolhaltigen Prozesswässer sehr gut mittels der beschriebenen Membrantechnologie zu Kraftstoff aufbereitet werden können.

Homogenitätsbestimmung an keramischen Gefügen

Dipl.-Ing. Jesus Andres Quintana Freire,
Dr. Björn Matthey, Dr. Sören Höhn

Die Homogenität spielt eine wichtige Rolle in der Werkstoff- bzw. Materialwissenschaft. Dabei dient sie meist der Beschreibung verschiedener Gefügemerkmale und -kennwerte, wie zum Beispiel der Verteilung oder Morphologie von Partikeln. Die Homogenität wird jedoch oft subjektiv betrachtet, was häufig zu einer qualitativen Beurteilung führt, welche falsch interpretiert bzw. missverstanden werden kann. Daher wird am Fraunhofer IKTS an geeigneten Methoden zur Quantifizierung der Homogenität von Gefügestrukturen geforscht. Eine sinnvolle Möglichkeit zur Quantifizierung der Homogenität stellt die Lorenz-Kurve dar. Diese grafische Darstellung ermöglicht eine klare Interpretation der Gleichmäßigkeit einer bestimmten Verteilung.

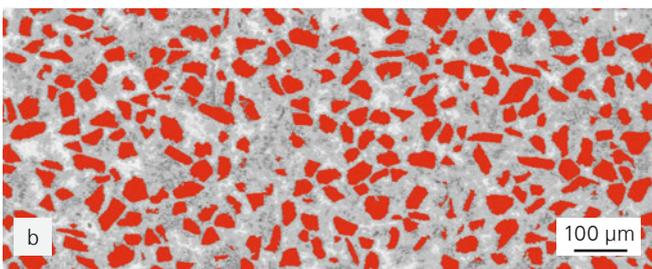
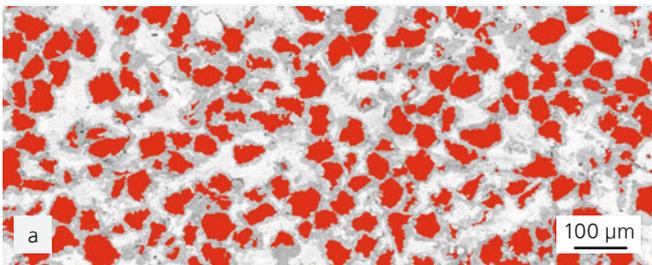


Abb. 1: FESEM-Aufnahmen von zwei Diamant-SiC-Bruchflächen. Diamantphase (rot), a: Probe 1, b: Probe 2.

Da der Begriff der Homogenität in vielerlei Hinsicht verstanden werden kann, wurde er von Rossi et al. wie folgt definiert: »Die Homogenität (H) eines Systems ist die Ähnlichkeit seiner Bestandteile unter Berücksichtigung eines gegebenen Attributs.«^[1] Eine vollständige Homogenität wird also dann erreicht, wenn alle gemessenen Daten den gleichen Wert besitzen.

Bei der Beurteilung eines Gefüges kann eine zweidimensionale mikroskopische Aufnahme eines Werkstoffes als System defi-

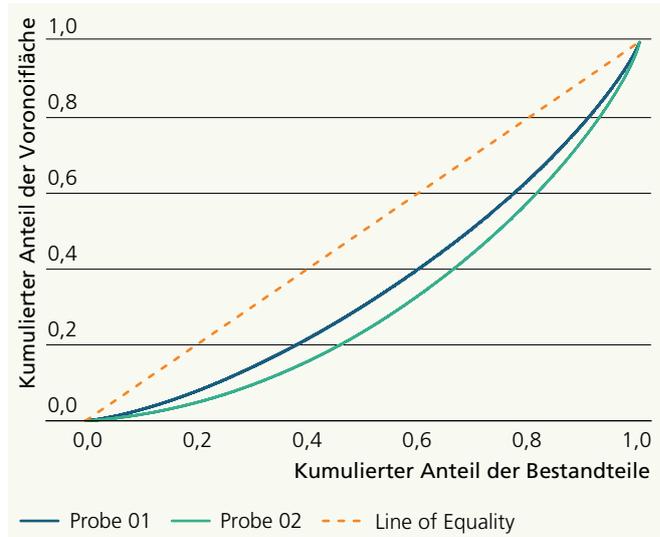


Abb. 2: Lorenzkurven der Homogenität der Voronoifläche zweier Diamant-SiC-Werkstoffe.

niert werden. Die Bestandteile könnten in dem Fall Objekte wie Partikel oder Poren sein. Attribute dienen zur Beschreibung der Bestandteile eines gegebenen Systems. Werden z. B. Partikel als Bestandteile detektiert, so sind Merkmale wie der Partikeldurchmesser ein mögliches Attribut. Damit wird die Homogenität in Abhängigkeit der Attributwerte quantifiziert. Je nach analysierten Parametern wird zwischen der Homogenität eines teilchenbezogenen Attributs und der Homogenität der Verteilung von Objekten unterschieden. Sie werden jeweils als Objekt- sowie Bereichshomogenität bezeichnet.

Ist die Homogenität der Phasengrenze (Phasengrenzhomogenität) eines Gefüges von Interesse, so kann diese mithilfe von Messfeldern bestimmt werden. Als Attribut eignet sich dabei die Voronoifläche, also die Fläche, die sich aus dem Mittelpunkt eines Kornes bis zum nächsten Punkt ausbildet. Eine Lorenz-Kurve stellt die Gleichmäßigkeit der Verteilung grafisch dar. Am Beispiel der Diamantverteilung in zwei Diamant-SiC-Kompositen (Abb. 1) kann die Homogenität quantifiziert werden. So lässt sich beobachten, dass die Diamanten in Probe 1 homogener verteilt sind, als die Diamanten in Probe 2, da die Lorenz-Kurve näher an der Linie der Gleichheit, also der perfekten Homogenität, liegt (Abb. 2).

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Homogenitätsquantifizierung an keramischen Gefügen mittels Objekt-, Bereichs- und Phasengrenzhomogenitätsanalysen

Literatur

[1] P. Rossi, M. Engstler, F. Mücklich (2014): Verfahren zur Quantifizierung der Homogenität, Practical Metallography.

Qualitätssteigerung für Sprühgranulate durch »Design of Experiment«

Dr. Sabine Begand, Dr. Daniel Schumacher, Prof. Frank Müller¹, M.Sc. Valentin Feller (¹ Friedrich-Schiller-Universität Jena)

Die Sprühgranulierung (Sprühtrocknung) ist ein Prozess um, dispergierte, emulierte oder gelöste Stoffe in einer flüssigen Phase zu trocknen. Dabei schließen sich die kleinen Bestandteile zu größeren Partikeln, sogenannten Granulaten, zusammen, wodurch gezielt Eigenschaften eingestellt werden können. Das Granulat kann anschließend durch Formgebungsverfahren verarbeitet werden.

Komplexe Verfahren besser verstehen mit statistischer Versuchsplanung

Die Sprühgranulierung ist ein sehr komplexes Verfahren, bei dem viele Faktoren das Ergebnis beeinflussen (Abb. 1). Im Wesentlichen haben die Rohstoffe, die Prozessparameter, die technologischen und die Umgebungsbedingungen Auswirkungen auf die Qualität des erzeugten Granulates. Durch statistische Versuchsplanung (Englisch: Design of Experiment, DoE) kann der Einfluss verschiedener Parameter auf relevante Eigenschaften der gewonnenen Granulate analysiert werden.

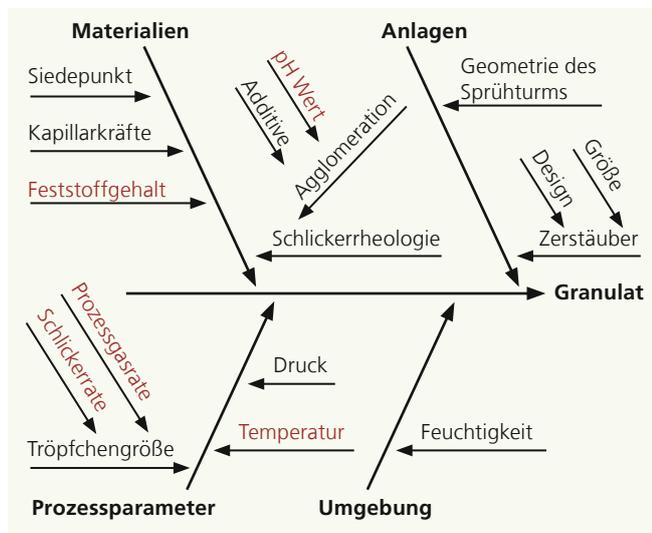


Abb. 1: Einflussfaktoren auf das Granulat, in Rot die untersuchten Parameter.

Am Fraunhofer IKTS wurde für hochreines Al_2O_3 -Pulver und $MgAl_2O_4$ -Spinellpulver je ein zweistufiger vollfaktorieller Versuchsplan erstellt, sodass damit bis zu 31 Einflussfaktoren auf die Granulateigenschaften untersucht werden konnten. In Abbildung 2 ist beispielhaft die Auswertung der Granulatgröße von Spinell (charakterisiert durch den d_{50} - und d_{95} -Wert der Partikelgrößenverteilung) in Bezug zum Feststoffgehalt im Schlicker dargestellt. Aus diesem Diagramm ergibt sich, dass ein höherer Feststoffgehalt im Durchschnitt zu größerem Granulat führt.

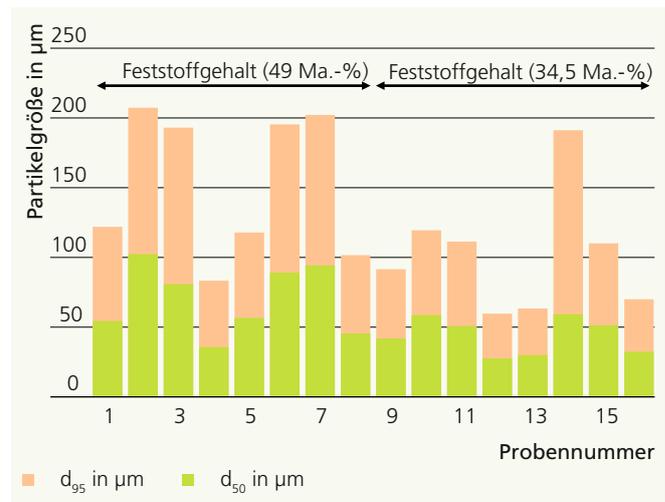


Abb. 2: Partikelgröße für 16 Spinellproben mit unterschiedlichen Prozess- und Schlickerparametern.

Mit dem DoE können zudem die Wechselwirkungen der Parameter mit dem größten Einfluss auf die Zielgrößen identifiziert, eine Zielgrößenoptimierung durchgeführt und die Qualität kontrolliert werden. Die erlangten Erkenntnisse bilden ein wichtiges Fundament für das Verständnis der Einflussfaktoren. Materialentwicklungen können so effizient vom Labormaßstab auf industrierelevante Dimensionen skaliert werden.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Unterstützung von Materialentwicklung von hochreinen Oxidkeramiken
- Transfer von Technologien
- Evaluation, Verifizierung und Validierung
- Kundenspezifische Entwicklung für Oxidkeramiken, Technologien und Halbfabrikaten entsprechend ISO 13485:2016



Roh- und Werkstoffcharakterisierung mit Elementanalyse bis in den ppm-Bereich

Dr. Tina Block, Dr. Robert Hoffmann, Dr. Olga Ravkina

Die Entwicklung und Herstellung von Hochleistungskeramiken erfordert in allen Prozessschritten umfassende Qualitätskontrollen. Zu berücksichtigen sind die Qualifizierung der Rohstoffe sowie die Qualitätssicherung über die gesamte keramische Prozesskette bis zur Bewertung des Endprodukts, da bereits geringfügige Abweichungen der Zusammensetzung große Auswirkungen auf die Materialperformance haben können. Zudem ist die Betrachtung der Werkstoffqualität hinsichtlich der Eignung als Recyclingprodukt von stark wachsendem Interesse. Der gezielte Einsatz der chemischen Elementaranalyse trägt an dieser Stelle zur Prozesssicherheit bei und hilft, die Fehlerkosten stark zu reduzieren.

Die ICP-OES (inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy), welche induktiv gekoppeltes Plasma nutzt, um mittels optischer Emissionsspektroskopie Elementkonzentrationen bis in den ppm-Bereich zu bestimmen, ermöglicht derartige Prozessüberwachungen. Mit ihr können sowohl Roh- als auch Werkstoffe entlang der Wertschöpfungskette charakterisiert und ein großer Teil der Elemente im Periodensystem analysiert werden (Abb. 1). Der zusätzliche Einsatz einer Elementaranalyse erweitert das Portfolio auf die Betrachtung der Elemente Sauerstoff, Kohlenstoff, Schwefel, Stickstoff und Wasserstoff.

Für die Analyse mittels ICP-OES sind nach Festlegung der zu untersuchenden Elemente die Substrate im Rahmen der Probenvorbereitung zunächst über ein geeignetes Verfahren aufzuschließen, das heißt, von dem festen in einen flüssigen Zustand zu überführen. Mittels ICP-OES werden im Anschluss die Einzelelemente der Probe charakterisiert, wobei elementabhängig Genauigkeiten bis in den unteren ppm-Bereich erzielt werden.

Neben dem Einsatz in der Forschung kann das Fraunhofer IKTS auch Industriekunden bei der Qualitätssicherung von großskaligen Herstellungsprozessen mittels ICP-OES-Elementaranalysen unterstützen. Die Herstellung keramischer Komponenten, z. B. für Gasseparations- und Speicherprozesse sowie für katalytische Reaktionen basierend auf Mischoxiden wie $Ba_{0,5}Sr_{0,5}Co_{0,8}Fe_{0,2}O_{3-d}$ (BSCF), $Ca_{0,5}Sr_{0,5}Fe_{0,2}Mn_{0,8}O_{3-d}$ oder $LaCoO_{3-d}$ erfordert beispielsweise die Einhaltung der exakten stöchiometrischen Verhältnisse der Metallionen. Kleinste Ab-

Abb. 1: Elemente, welche mittels ICP-OES analysiert werden können (blau).

weichungen, z. B. das Ba:Sr-Verhältnis in BSCF, können bereits signifikante Auswirkungen auf die funktionellen Eigenschaften, wie elektronische und ionische Leitfähigkeit, haben. Ebenso wirken sich Fremdionen signifikant auf die physikalischen, mechanischen und funktionellen Eigenschaften aus. Diese können bereits aus den Rohstoffen in das System gelangen (z. B. Schwefel) oder während des Herstellungsprozesses in das Material eingetragen werden (z. B. Zr, Al). Daher ist es von hoher Relevanz, die Mengen und Arten der Verunreinigungen bzw. Kationenverhältnisse beginnend beim Rohstoff über den gesamten Prozess hinweg zu überwachen (Abb. 2). Bei etwaigen Abweichungen kann in den Herstellungs- oder Recyclingprozess eingegriffen werden, um zielgerichtet Anpassungen vorzunehmen.



Abb. 2: Prozesskette zur Herstellung einer Membran. ICP-OES kann an allen abgebildeten Prozessschritten als qualitätssichernde Maßnahme eingesetzt werden.

Elektrische Eigenschaften von isolierenden thermisch gespritzten Schichten automatisiert messen

Dipl.-Ing. Anna Greiner, Dr. Sebastian Stark, Dr. Susan Conze, Dr. Lutz-Michael Berger

Elektrisch isolierende, thermisch gespritzte Schichten werden überwiegend in der Anlagen-, Energie- und Motorentechnik eingesetzt. Die elektrischen Kennwerte der meist auf Aluminiumoxid basierenden Schichten sind entscheidend für ihre Funktionstüchtigkeit. Beeinflusst werden die Kennwerte durch die Materialzusammensetzung, den Spritzprozess und die Messbedingungen. Um den Einfluss der Messbedingungen auf die Messung zu erkennen, wurde am Fraunhofer IKTS ein neuer Prüfstand entwickelt. Dieser misst die elektrische Durchschlagfestigkeit, den spezifischen elektrischen Widerstand, die Permittivität und den Verlustfaktor der Schichten. Dabei werden verschiedene Parameter wie die Kontaktierung der Probe, die Luftfeuchtigkeit und die Auslagerungsbedingungen gezielt eingestellt und variiert.

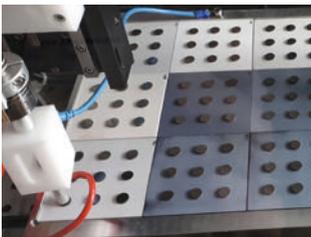


Abb. 1: Der Prüfstempel misst nacheinander 9 Proben an je 9 Messpositionen.

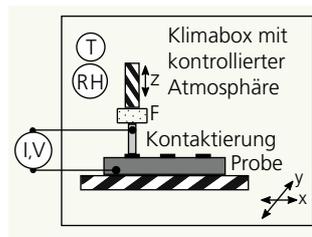


Abb. 2: Schematische Darstellung des Prüfstands.

Automatisierte Messung, Einfluss der Luftfeuchtigkeit

Der Prüfstand arbeitet auf Basis der am IKTS entwickelten Messsoftware weitgehend automatisiert. Ein Messstempel fährt in einem planaren Bereich von 210 x 210 mm² vordefinierte Messstellen an (Abb. 1, 2). Für jede Messstelle werden die elektrischen Eigenschaften bei definierten Messparametern (z. B. der Anpresskraft des Messstempels) bestimmt. Die elektrischen Kennwerte der Schichten sind stark feuchtigkeitsabhängig (Abb. 3), weshalb der Messstand in einer Klimabox aufgebaut wurde. So kann die Feuchte gezielt eingestellt und ihr Einfluss untersucht werden.

Normung der Messbedingungen

Der Prüfstand wurde im Rahmen eines AIF/IGF-Projekts konzipiert und aufgebaut, in dem die wissenschaftlichen Voraussetzungen für die Normung von Messmethoden zur Charakterisierung der elektrischen Eigenschaften thermisch gespritzter Schichten geschaffen wurden. Insbesondere konnten zuverlässige und normungsfähige Messaufbauten und Vorgehensweisen für die Bestimmung der elektrischen Schicht-Kennwerte erarbeitet werden. Als Ergebnis der Arbeiten ist die Normung der Messmethoden geplant, die das Fraunhofer IKTS im DIN-Normenausschuss NA 092-00-14 AA »Thermisches Spritzen und thermisch gespritzte Schichten (DVS AG V 7)« mitgestaltet.

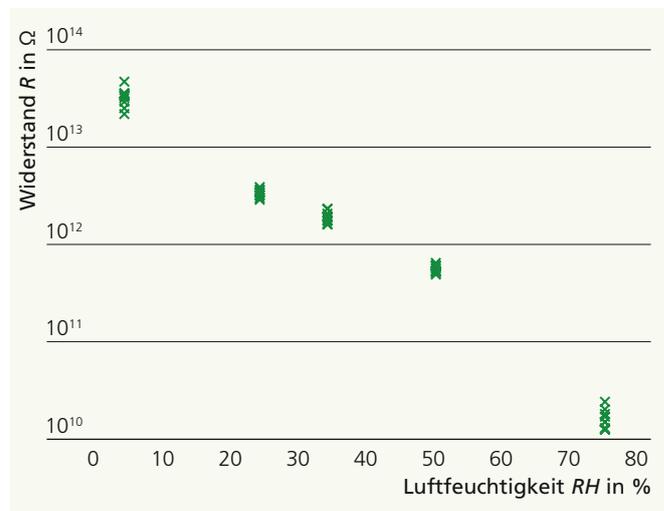


Abb. 3: Elektrischer Widerstand einer thermisch gespritzten Al₂O₃-Schicht in Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Charakterisierung elektrisch isolierender thermisch gespritzter Schichten unter kontrollierten Umgebungsbedingungen: spezifischer elektrischer Widerstand, Permittivität und Verlustfaktor, elektrische Durchschlagfestigkeit
- Maßgeschneiderte Messsysteme zur Inline-Qualitätskontrolle
- Errichten von Prüfständen für kundenspezifische Messaufgaben

Die Arbeiten wurden im Rahmen des AIF/IGF-Vorhabens 22328 BG/FE der Forschungsvereinigung DVS gefördert.



Kooperationsausbau durch Mitgliedschaften

Die Forschenden des Fraunhofer IKTS sind in zahlreichen thematisch orientierten Allianzen, Verbänden und Vereinen aktiv. So können wir unseren Kunden ein gemeinsames und koordiniertes Leistungsangebot unterbreiten und neue Themen aufgreifen.

Mitgliedschaften

AGENT-3D e. V.

agrارWert e. V.

AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e. V.

American Ceramic Society (ACerS)

Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschungsinstitutionen e. V. (AGEF)

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungseinrichtungen »Otto von Guericke« e. V.

Arbeitskreis: Biokeramik im Gemeinschaftsausschuss DKG/DGM - Hochleistungskeramik

Automotive Thüringen e. V.

BfR-Kommission für Risikoforschung und Risikowahrnehmung (RISKOM)

biosaxony e. V.

Innovationsbündnis »BioZ – Biobasierte Innovationen aus Zeit und Mitteldeutschland«

Bundesverband Energiespeicher e. V. (BVES)

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

Carbon Composites e. V. (CCeV)

Ceramic and Glass Industry Foundation

Ceramic Applications

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.

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 Phosphor Plattform

Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.

Deutsche Plattform NanoBioMedizin

Deutsche Thermoelektrik-Gesellschaft (DTG)

Deutsche Industrie- und Handelskammer (DIHK), Industrie- und Forschungsausschuss

Deutscher Hochschulverband (DHV)

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

Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

DIN-Normenausschuss Biologische und klinische Beurteilung von Medizinprodukten

DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO)

DIN-Normenausschuss Gesundheits- und Umweltaspekte (NMP NA)

DIN-Normenausschuss Informationstechnik und Anwendung (NIA)

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

DKG Anwenderkreis Additive Keramische Fertigung

DRESDEN-concept e. V.

Dresdner Fraunhofer-Cluster Nanoanalytik	Fraunhofer-Allianz Energie
Dresdner Gesprächskreis der Wirtschaft und der Wissenschaft	Fraunhofer-Allianz SysWasser
ECPE European Cluster for Power Electronics	Fraunhofer-Forschungsfeld Leichtbau
EIT Health	Fraunhofer-Geschäftsbereich Adaptronik
Energy Saxony e. V.	Fraunhofer-Kompetenzfeld Additive Fertigung
Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V.	Fraunhofer-Netzwerk Nanotechnologie FNT
European Ceramic Society (ECERS)	Fraunhofer-Netzwerk Simulation
European Materials Characterisation Council (EMCC)	Fraunhofer-Netzwerk Wissenschaft, Kunst und Design
Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V.	Fraunhofer-Netzwerk Wasserstoff
European Powder Metallurgy Association (EPMA)	Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS
Expertenkreis Hochtemperatursensorik in der DGM e. V.	Freiberg Science City
Expertenkreis Keramikspritzguss (CIM) in der DKG e. V.	Gemeinschaft Thermisches Spritzen e. V. (GTS)
Fachverband Biogas e. V.	Gemeinschaftsausschuss Hochleistungskeramik der DGM e. V. und der DKG e. V.
Fachverband Pulvermetallurgie	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) e. V.
FarmTech Society (FTS) ASBL	Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung e. V. (GFE)
Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum e. V.	Gesellschaft für Korrosionsschutz e. V. (GfKORR)
Fördergesellschaft Erneuerbare Energien (FEE)	Gesellschaft für Thermische Analyse (GEFTA)
Förderkreis Abgasnachbehandlungstechnologien für Dieselmotoren e. V. (FAD)	GRAVOMER - Intelligent Surface Technology Network
Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB	HERMSDORF e. V.
Forschungsgemeinschaft der DKG e. V.	Hydrogen Europe Research
Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe E.V (FGW)	HYPOS Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e. V.
Forschungsnetzwerk Mittelstand AIF e. V.	HySON – Förderverein Institut für Angewandte Wasserstoffforschung Sonneberg e. V.
Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e. V.	InDeKo Innovationszentrum Deutschland Korea
Fraunhofer-Allianz Batterien	InfectoGnostics Forschungscampus Jena e. V.
Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz	Initiative Erfurter Kreuz e. V.
Fraunhofer-Allianz Chemie	Innovations-Institut für Nanotechnologie und korrelative Mikroskopie – INAM e. V.

Innovationszentrum Bahntechnik Europa e. V.	Ostthüringer Ausbildungsverbund e. V. Jena
Institut für Anwendungstechnik Pulvermetallurgie und Keramik an der RWTH Aachen e.V. (IAPK)	ProcessNet – eine Initiative von DECHEMA und VDI-GVC
Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA)	QBN Quantum Business Network
Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gGmbH	Rail.S e. V.
International Adsorption Society	Regionale Aktionsgruppe Saale Holzland e. V.
International Institute for the Science of Sintering	Silicon Saxony e. V.
International Microelectronics and Packaging Society, IMAPS Deutschland e. V.	SmartTex-Netzwerk
International SOS GmbH	Technologie- und Kompetenzzentrum organisches Reststoffrecycling (TKoR)
International Zeolite Association	Thüringer Allianz für Wasserstoff in der Industrie (ThAWI)
Iso Technical Committee	Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk e. V. (THEEN)
Innovationsplattform »Sustainable Sea and Ocean Solutions ISSS«	Thüringer H ₂ ECOSystem
JenaVersum e. V.	Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e. V. (TITK)
KMM-VIN (European Virtual Institute on Knowledge-based Multifunctional Materials AiSBL)	Thüringer Wasser-Innovationscluster (ThWIC)
Kompetenzzentrum Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen/Thüringen e. V. (LRT)	Treffpunkt Keramik
Kompetenznetzwerk OceanTechnologies@Fraunhofer	TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V.
Kompetenzzentrum nanoeva®	TWI Innovation Network
medways e. V.	VDMA Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.
Meeting of Refractory Experts Freiberg e. V. (MORE)	VDMA Arbeitsgemeinschaft Medizintechnik
Metropolregion Mitteldeutschland	Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)
microTEC Südwest e. V.	Verein für Regional- und Technikgeschichte e. V. Hermsdorf
Mikro-Nano Thüringen e. V.	Wachstumskern smood® – smart neighborhood
Nachhaltigkeitsabkommen Thüringen	Wind Energy Network Rostock e. V.
NAFEMS – International Association Engineering Modelling	World Academy of Ceramics
OptoNet e. V.	
Organic Electronics Saxony e. V.	

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS steht für skalenübergreifende Materialkompetenz entlang industrieller Wertschöpfungsketten. Er setzt seine Expertise von materialwissenschaftlichen Grundlagen bis hin zu werkstofftechnischen Systemlösungen ein, um Innovationen für die Märkte seiner Kunden und Partner zu schaffen.

Der Fraunhofer-Verbund MATERIALS bündelt die Kompetenzen der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in der Fraunhofer-Gesellschaft. Dies gilt insbesondere für die Entwicklung neuer und verbesserter Materialien, das einsatzspezifische (Re-) Design vorhandener Materialien und Werkstoffe, die passenden Fertigungsverfahren und Prozesstechnologien bis hin zum quasi-industriellen Maßstab, die Charakterisierung der Material- und Bauteileigenschaften bis hin zur Bewertung des Systemverhaltens von Materialien, Werkstoffen und Bauteilen in Produkten.

Dabei kommen numerische Modellierungs- und Simulationstechniken ebenso zum Einsatz wie hochmoderne, experimentelle Untersuchungen in Laboren, Technika und Pilotanlagen. Beides geschieht über alle Skalen hinweg, vom Molekül über das Bauteil bis hin zum komplexen System und zur Prozesstechnik. Parallel werden die eingesetzten Methoden und Werkzeuge auf höchstem Standard ständig weiterentwickelt.

Stofflich deckt der Fraunhofer-Verbund MATERIALS den gesamten Bereich der metallischen, anorganisch-nichtmetallischen, polymeren und aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugten Werkstoffe sowie Halbleitermaterialien, Hybrid- und Verbundwerkstoffe ab.

Die Forschenden in den Verbundinstituten setzen ihr Know-how und ihre Expertise vor allem in den Geschäftsfeldern Mobilität, Gesundheit, Maschinen- und Anlagenbau, Bauen und Wohnen, Mikrosystemtechnik, Sicherheit sowie Energie und Umwelt ein. Sie sind national, europäisch und international gut vernetzt und tragen auf diesen Ebenen maßgeblich zu Innovationsprozessen bei. So engagiert sich der Verbund etwa auf europäischer Ebene im Rahmen der »Advanced Materials Initiative« (AMI 2030) dafür, dass die technologische Souveränität Europas durch exzellente Materialwissenschaft und Werkstofftechnik gestärkt wird.

Eine Schlüsselfunktion liegt aus Sicht des Fraunhofer-Verbunds in der Digitalisierung von Materialforschung und Werkstofftechnik im gesamten Wertschöpfungsprozess, entlang des Lebenszyklus von Materialien. Die Digitalisierung in diesem Bereich ist eine

wesentliche Voraussetzung für den nachhaltigen Erfolg von Industrie 4.0, ebenso wie für die Realisierung von Ressourceneffizienz. Der Datengenerierung und der Entwicklung digitaler Materialzwillinge gilt daher ein besonderes Augenmerk in den Projekten des Fraunhofer-Verbunds.

Klimawandel, Ressourcenknappheit und ein gleichzeitig steigender Bedarf an Mobilität, Wohnraum und Komfort fordern ein generelles Umdenken in der Produktentwicklung. Ein hohes Lösungspotenzial besitzt aus Sicht des Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS der hybride Systemleichtbau. Zielparame- ter im Entwicklungsprozess ist hier Ressourceneffizienz bei gewichts- und gleichzeitig funktionsoptimierter Auslegung von Bauteilen. Der Verbund versteht Leichtbau als ganzheitliche Herausforderung und stellt nachhaltige, kreislauffähige Materialien, intelligentes Hybridstrukturdesign sowie durchgängige Material- und Bauteilbewertungen in den Fokus.

Erneuerbare Energien gewinnen im Zuge der Energiewende eine dominante Bedeutung. Um sie zu gewinnen, zu speichern, zu transportieren und zu wandeln wird eine Vielzahl von Materialien in deutlich höherem Umfang als für klassische Energieversorgungssysteme zum Einsatz kommen, von Kupfer, Stahl und Beton bis hin zu Seltenen Erden. Der Fraunhofer-Verbund MATERIALS bearbeitet diesen Fragenkomplex im Kontext der Nachhaltigkeit insbesondere mit Blick auf Ressourceneffizienz, die Erschließung neuer Stoffströme und die Schaffung geschlossener Ressourcenkreisläufe.

Kontakt

Verbundvorsitzender

Prof. Dr. Peter Gumbsch
Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM

Stellv. Verbundvorsitzender

Prof. Dr. Bernd Mayer
Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM

Geschäftsführung

Dr. phil. nat. Ursula Eul
ursula.eul@materials.fraunhofer.de
www.materials.fraunhofer.de

Treffpunkt Keramik

Der Treffpunkt Keramik in Dresden ist weiterhin ein fester Bestandteil der Öffentlichkeitsarbeit des Instituts. In der Kooperation mit Ceramic Applications des Göller Verlags steht die Infrastruktur inzwischen 90 Partnern als Plattform zur Verfügung. Das Fraunhofer IKTS zeigt Leistungsangebote mit Exponaten und Informationsmaterial und informiert alle Gäste des Hauses auf diesem Weg über neue Anwendungen in Industrie und Forschung. Die Kooperation ist dabei eine effektive Verbindung von Wissenschaft und Kommunikationspraxis.

Die Ausstellung präsentiert über drei Etagen im Zentrum des Instituts über Highlights aus dem eigenen Portfolio und der Industrie. In Verbindung mit der Möglichkeit, Seminare und Schulungen abzuhalten, ist der Treffpunkt ein Bestandteil bei allen Institutsführungen und er wird für Gesprächsrunden der Mitarbeitenden genutzt. So werden Kaffeepausen zu kleinen Weiterbildungen und Markterkundungen. Rohstofflieferanten sind ebenso zu finden wie Zulieferer von Maschinenteknik.

Den Schwerpunkt bilden aber weiterhin Bauteile und Prozessinformationen. Viele der Anlagen, die von Treffpunktmitgliedern vermarktet werden, zählen zur Ausrüstung des IKTS und können auch in den Laboren besichtigt werden.

Additiv gefertigte Bauteile in Oxid- und Nichtoxidkeramik werden ebenso präsentiert wie Werkstoffverbunde. Auf Wunsch sind Besichtigungen der Labore möglich. Von der Pulveraufbereitung über die Formgebung bis zur Finishbearbeitung und Bauteilprüfung wird die gesamte Kette gezeigt.

Gigantische Strukturkeramikbauteile aus Siliciumcarbid mit mehr als 50 kg Gewicht sind ebenso zu sehen wie komplexe, modular aufgebaute, gelötete Strukturen aus Aluminiumoxid mit mehr als zwei Metern Höhe. Natürlich fehlen auch Exponate aus der Energie- oder Wasserstofftechnologie nicht. Auch nach 20 Jahren Treffpunkt Keramik in Dresden springt die Faszination des Werkstoffs auf die Gäste über.



Treffpunkt Keramik im Fraunhofer IKTS in Dresden-Gruna.

Im Jahr 2025 werden wieder Seminarveranstaltungen und Schulungen des Fraunhofer IKTS sowie der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. (DKG) und der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM) stattfinden. Inhouse-Schulungen bei Unternehmen sind ebenfalls eine Option. Auch Teilnehmende der ECERS 2025 werden erwartet.

Eine etwas kleinere Variante des Treffpunkt Keramik kann am IKTS-Standort in Hermsdorf seit März 2024 besucht werden.

Center for Energy and Environmental Chemistry Jena (CEEC)

*Automatisiert und robotergestützt:
Analytik und Abbau von Wasser-
schadstoffen.*



Das Center for Energy and Environmental Chemistry Jena (CEEC) ist ein interfakultäres Zentrum, welches das Fraunhofer IKTS seit nunmehr 10 Jahren 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 15 Professuren der FSU und fünf Abteilungen aus dem Fraunhofer IKTS vertreten.

Neben den Institutsneubauten in Jena, die seit 2015 und 2024 genutzt werden, 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 beiden Arbeitsgruppen des Lehrstuhls, geleitet von Dr. Marcus Franke und Dr. Sebastian Engel, widmen sich Themen der Wasserbehandlung und Wasseranalytik mit neuartigen Verfahren, aber auch innovativen Materialien für die Umweltsensorik und Umwelttechnik. Auch im Jahr 2024 konnte wieder neue Hochleistungsanalytik beschafft werden, die das Methodenspektrum im Bereich der hybriden und biogenen Funktionsmaterialien zur Wasserreinigung und zum Aufbau photonischer Systeme erweitert.

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



Namen, Daten, Ereignisse

Eine Übersicht über Publikationen, Patente
und das wissenschaftliche Engagement der
IKTS-Mitarbeitenden im Jahr 2024
finden Sie auf der Webseite

www.ikts.fraunhofer.de/de/daten2024

- Erteilte Patente
- Patentanmeldungen
- Buch- und Zeitschriftenbeiträge
- Vorträge und Poster
- Lehrtätigkeiten
- Dissertationen
- Abschlussarbeiten



Veranstaltungen und Messen im Jahr 2025

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

Tagungen und Events

Thüringer Werkstofftag
20.3.2025, Hermsdorf

SCHAU REIN! – Woche der offenen Unternehmen Sachsen
20.3.2025, Dresden-Klotzsche

SCHALL 25 – Schallemissionanalyse und Zustandsüberwachung mit geführten Wellen
26.–28.3.2025, Dresden-Klotzsche

Girls' Day
3.4.2025, Dresden-Gruna

Juniordoktor: »Kleine Detektive: Mit Ultraschall auf Fehlersuche«
3.4. und 8.5.2025, Dresden-Klotzsche

Vorschulprogramm »Wir machen Forschung!«
10.4.2025, Dresden-Klotzsche

Industrieworkshop: Individueller keramischer Knochenersatz – von bioabbaubar bis bioinert
10.–11.4.2025, Dresden-Gruna

17. VDE ITG MN 5.6 Fachtagung »f(ast)WLR, Wafer Level Reliability, Zuverlässigkeits-Simulation & Qualifikation«
26.–28.5.2025, Dresden-Klotzsche

HZwo-Technologieworkshop: Wasserstoff und Wasserstoff-Derivate für die Energieversorgung: nachhaltig und resilient?
5.6.2025, Dresden-Gruna

abonocare®-Konferenz
17.6.2025, Dresden-Gruna

Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft Freiberg
25.5.2025, Freiberg

ECerS 2025 Conference
31.8.–4.9.2025, Dresden

SBS6 – International Sodium Battery Symposium
3.–4.9.2025, ICC Congress Center Dresden

Industrieworkshop »Thermoplastische Formgebung keramischer Werkstoffe von Spritzguss bis 3D-Druck«
28.–29.10.2025, Dresden-Gruna

Messen und Ausstellungen

KarriereStart
24.–26.1.2025, Dresden

SPIE.PhotonicsWest
25.–30.1.2025, San Francisco (USA)

ICACC
26.–31.1.2025, Daytona (USA)

Enforce Tac
24.–26.2.2025, Nürnberg

LOPEC
26.–27.2.2025, München

JEC
4.–6.3.2025, Paris (FRA)

InterBattery
5.–7.3.2025, Seoul (KOR)

IDS
25.–29.3.2025, Köln

Tausendwasser
26.–27.3.2025, Berlin

Hannover Messe
31.3.–4.4.2025, Hannover

European Military Additive Manufacturing Symposium
8.–9.4.2025, Bonn

Orthomanufacture
15.–16.4.2025, Basel (CH)

Bonding-Firmenkontaktmesse
6.–8.5.2025, Dresden

CONTROL
6.–9.5.2025, Stuttgart

PCIM
6.–8.5.2025, Nürnberg

RapidTech
13.–15.5.2025, Erfurt

World Hydrogen Summit
21.–23.5.2025, Rotterdam (NL)

DGZfP-Jahrestagung
26.–28.5.2025, Berlin

Karrieremesse ORTE
18.6.2025, Freiberg

W3+ Fair
25.9.2025, Jena

V
13.–16.10.2025, Dresden

Formnext
18.–21.11.2025, Frankfurt am Main

Hagener Symposium
27.–28.11.2025, Hagen

Impressum

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Dipl.-Chem. Katrin Schwarz
Leiterin Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Telefon +49 351 2553-7720
katrin.schwarz@ikts.fraunhofer.de

Winterbergstraße 28,
01277 Dresden

Redaktion/Layout

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Marketing

Druck

Elbtal Druck & Kartonagen GmbH

Bilder

Jürgen Scheere / SCHEERE PHOTOS, Jena Titelbild

Ellen Türke Fotografie, Dresden S. 2, 6

Fraunhofer IKTS / thyssenkrupp nucera (PPBraun) S. 14

Fraunhofer IKTS

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

© Fraunhofer IKTS, Dresden 06/2025

Kontakt

Hauptsitz Dresden-Gruna

Winterbergstraße 28, 01277 Dresden
Telefon +49 351 2553-7700

Standort Dresden-Klotzsche

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

Standort Hermsdorf

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

Standort Arnstadt

Batterie-Innovations- und Technologie-Center BITC
August-Broemel-Straße 8, 99310 Arnstadt
Telefon +49 3628 58172-10

Standort Berlin

Volmerstraße 9, 12489 Berlin
Telefon +49 30 63923-427

Standort Halle (Saale)

Center for Economics and Management of
Technologies (CEM)
Leipziger Straße 70/71, 06108 Halle (Saale)
Telefon +49 345 131886-130

Standort Forchheim

Äußere Nürnberger Strasse 62, 91301 Forchheim

Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS

Lilienthalplatz 2, 38108 Braunschweig

Fraunhofer-Technologiezentrum Hochleistungsmaterialien THM

Am St.-Niclas-Schacht 13, 09599 Freiberg

Fraunhofer-Forschungsgruppe Smart Ocean Technologies SOT

Alter Hafen Süd 6, 18069 Rostock

Forschungsgruppe Biologische

Materialanalytik am Fraunhofer IZI

Perlickstraße 1, 04103 Leipzig
Telefon +49 351 88815-661

Forschungsgruppe Kohlenstoff-

Kreislauf-Technologien KKT

Fuchsmühlenweg 9 D, 09599 Freiberg
Telefon +49 3731 39-4530

Projektgruppe Kognitive Materialdiagnostik

BTU Cottbus-Senftenberg
Siemens-Halske-Ring 14, 03046 Cottbus

Fraunhofer Center for Smart Agriculture and Water Management – AWAM

Évora Branch

c/o Universidade de Évora
Pólo da Mitra, 7002-554 Évora, Portugal

Vila Real Branch

c/o Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Parque de Ciência e Tecnologia de Vila Real
Régia Douro Park, 5000-033 Vila Real, Portugal
Telefon +351 220 430 300

Wasserstoffanwendungszentrum für Industrielle

Wasserstoff-Technologien Thüringen WaTTh

August-Broemel-Straße 8, 99310 Arnstadt
Telefon +49 3628 58172-10

Applikationszentrum Wasser

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

Applikationszentrum Membrantechnik

Nougat-Allee 3, 98574 Schmalkalden
Telefon +49 3683 401994

