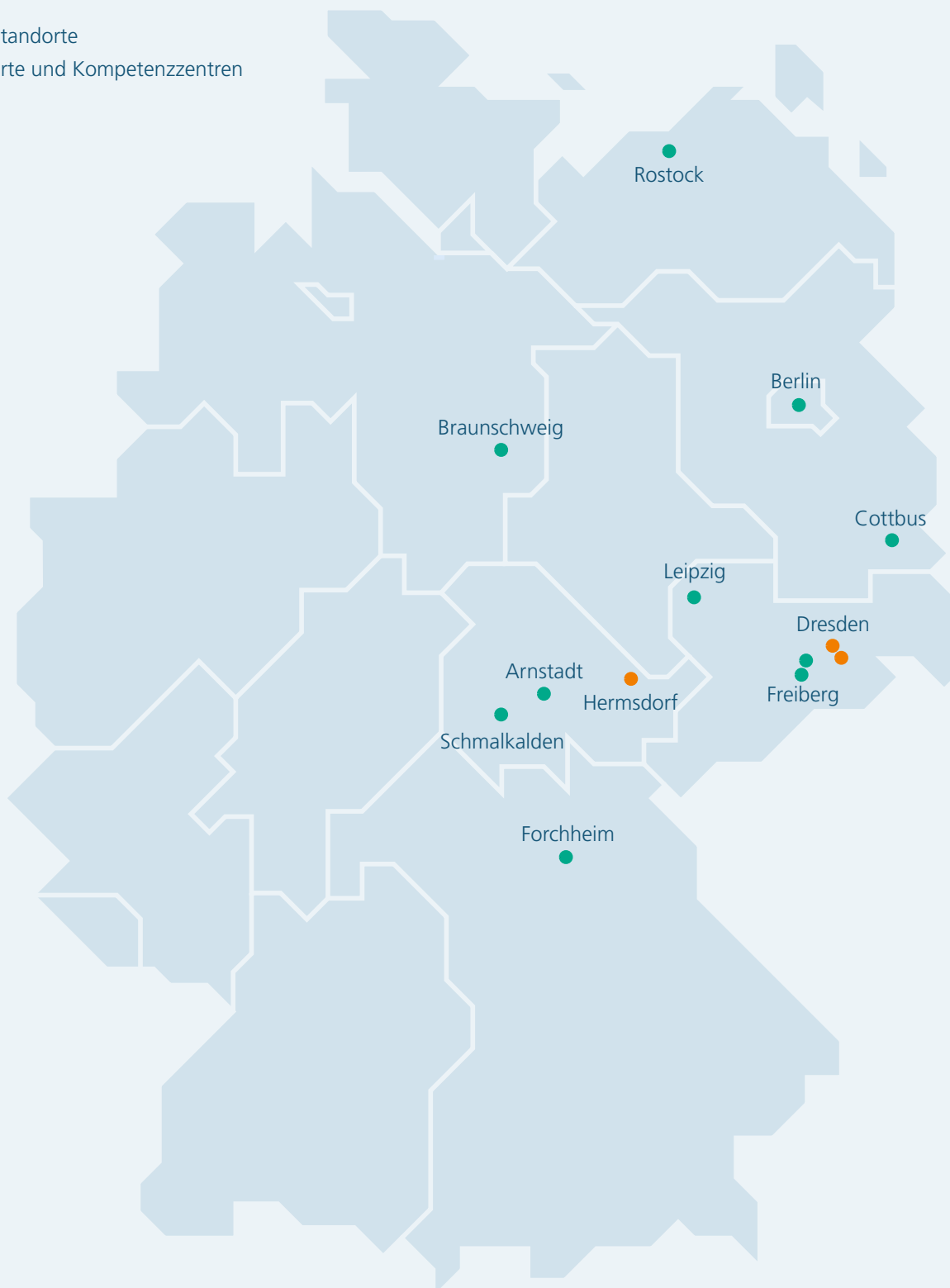




Jahresbericht
2022/23

- Hauptstandorte
- Standorte und Kompetenzzentren



Standorte des Fraunhofer IKTS.

Titelbild:

Keramisches Stacksystem zur simultanen Filtration und photokatalytischen Oxidation von Wasser.

Jahresbericht 2022/23

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



Management
System
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015



www.tuv.com
ID 1100005194

Vorwort

Liebe Freunde und Partner des IKTS,

mit dem vorliegenden Jahresbericht schaut das IKTS wieder auf ein überaus erfolgreiches Jahr zurück. Unser Gesamthaushalt liegt erneut an der 80 Mio. € Marke mit einer sehr stabilen Ertragslage und erfreulicherweise wachsendem Industrieertrag. Aufgrund von erwartbaren Schwierigkeiten bei der SAP-Einführung auf Fraunhofer-Ebene, liegen die genauen Zahlen noch nicht vor; wegen unserer positiven Entwicklung ist das für uns aber unkritisch. Wichtig ist, dass wir erneut einen zweistelligen Millionenbetrag (> 11 Mio. €) in Ausrüstung investieren konnten. Damit können wir Ihnen weiterhin als hervorragend ausgerüsteter und kompetenter Partner zur Verfügung stehen und Ihnen die gesamte Wertschöpfungskette der technischen Keramik bis in den Upscaling-Bereich und der zerstörungsfreien Prüftechnologien für die Prozessüberwachung auf höchstem Niveau anbieten. Auf dem Feld der Sensorik gehen wir jetzt bis in den Bereich der »Augmented Reality«, um Prüfergebnisse einfach visuell darstellen zu können. Dies ist für aktuelle Megatrends wie das »Metaverse« wichtig. Ein besonders toller Erfolg ist die Initiierung einer strategischen Kooperation mit Südkorea (City of Gumi) auf diesem Gebiet. Hier möchte ich mich bei Prof. Henning Heuer und seinem Team sowie bei Dr. Tae-Young Han bedanken. Insbesondere die Aktivitäten von Dr. Han haben bewirkt, dass sich Südkorea zu unserem wichtigsten Auslandspartner entwickelt hat. Wir sehen hier auch hohe Synergien zu unserer portugiesischen Außenstelle, die eng mit dem Fraunhofer Center for Assistive Information and Communication Solutions AICOS verbunden ist und sich unter der Leitung von Prof. Thomas Härtling sehr gut weiterentwickelt hat.

Bereits mehrfach hervorgehoben habe ich unsere Aktivitäten auf dem Gebiet der Speichertechnologien. Wir haben uns auf diesem Gebiet zu einem der größten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt und bearbeiten mit höchster wissenschaftlicher und technischer Tiefe alle relevanten Gebiete zu Batterien und Wasserstoffsystemen. Bei den Batterien umfassen unsere Aktivitäten z. B. Lithium-Ionen Batterien, Festkörperbatterien, Natrium-Nieder- und Hochtemperaturbatterien für mobile und stationäre Anwendungen. Hierbei schließen wir auch das Thema des Recyclings mit ein, das wir unter dem Motto »green battery« für das BMBF koordinieren.

Ein herausragender Erfolg im Jahre 2022 ist die Gründung eines Joint Ventures zur Produktion von NaNiCl_2 -Hochtemperaturbatterien zwischen Fraunhofer IKTS (25 %) und der Altech Energy Holding GmbH (75 %), die mehrheitlich zu einer australischen Muttergesellschaft mit Sitz in Perth gehört. Im Rahmen dieses Joint Ventures bauen wir derzeit eine 100 MW-Produktionslinie in Schwarze Pumpe, Sachsen auf. Mit der Sächsischen Staatskanzlei sind wir bereits zum Erwerb weiterer 60 ha Land am Standort im Gespräch, um in der nächsten Phase in den GW-Bereich vorzustoßen. Gegenüber Wettbewerbstechnologien zeichnen sich unsere Batterien durch hohe Sicherheit, die Nutzung lokal verfügbarer Rohstoffe und damit niedriger Preise sowie hoher Zyklfestigkeit und langer Lebensdauer aus. Damit haben wir die Chance, den Markt der stationären Speicher zu dominieren. Innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft haben wir hiermit auch wieder den Preis für das größte Industrieprojekt des Jahres gewonnen. Seitens Altech möchte ich dem gesamten Team danken und insbesondere Iggy Tan (Executive Group Managing Director), Dr. Uwe Ahrens (Executive Managing Director) und Dr. Carsten Baumeister (CTO) hervorheben. Auf IKTS-Seite wird diese Aktivität von Dr. Roland Weidl koordiniert, der hier mit seinem Team eine großartige Arbeit leistet.

Einen solchen Erfolg möchten wir gerne dieses Jahr wiederholen und haben hierzu auch beste Chancen, und zwar auf dem Gebiet der Brennstoffzellen und Elektrolysesysteme. Seit Jahrzehnten arbeiten wir an Hochtemperaturbrennstoffzellen (SOFC – solid oxide fuel cell), die im Reverse-Modus für die Elektrolyse zur Erzeugung von grünem Wasserstoff verwendet werden können. Gegenüber anderen Elektrolysesystemen (alkalisch oder PEM) zeichnen sich diese SOE (solid oxide electrolysis)-Systeme durch folgende Alleinstellungsmerkmale aus:

- > 30 % höhere Effizienz bei der Strom-zu-Wasserstoff-Konvertierung aufgrund von Abwärmenutzung,
- Co-Elektrolysefähigkeit, d. h. neben grünem Wasserstoff kann simultan CO_2 zu CO reduziert werden, um Synthesegas zu erzeugen. Damit bietet sich die SOE besonders für Power-to-X-Verfahren (z. B. Erzeugung von E-Fuels) an. SOE ist damit nicht nur CO_2 -neutral, sondern sogar CO_2 -negativ,
- SOFC/SOE-Systeme sind reversibel, d. h. sie können umschaltbar im Brennstoffzellen- oder Elektrolysemodus betrieben werden.

Diese Vorteile sind für die avisierte Wasserstoffwirtschaft im Rahmen der Energiewende entscheidend. Basierend auf unseren Technologien möchten wir nun zeitnah im Rahmen von Industriekooperationen in die Massenproduktion einsteigen. Hier soll unser Standort in Arnstadt eine wichtige Rolle spielen.

Neben der Wasserstofftechnologie spielen Kreislauftechnologien am IKTS eine immer größere Rolle. Einen wichtigen Schwerpunkt bildet hierbei »Wasser«. Fokussierend auf dieses Thema haben wir im abgelaufenen Jahr die von der Fraunhofer-Gesellschaft in regelmäßigen Abständen geforderte IKTS-Evaluierung durchgeführt. Unsere Strategie, das Thema Wasser als eigenständiges Geschäftsfeld aufzustellen, wurde von der Kommission sehr positiv bewertet. Ich möchte mich bei der Kommission für die wertvollen Hinweise zur Weitergestaltung dieses Gebietes bedanken. Auf IKTS-Seite möchte ich mich stellvertretend für das gesamte IKTS-Team bei Prof. Michael Stelter und Martin Kunath für die federführende Durchführung des Evaluationsverfahrens bedanken.

Besonders erfreulich ist, dass wir unsere Kreislauftechnologien auf das Gebiet der »Kohlenstoffkreisläufe« erweitern konnten. Im Rahmen einer Portfoliobereinigung haben wir die Freiburger Fraunhofer-Einrichtung für Kohlenstoff-Kreislauf-Technologien KKT vom Fraunhofer IMWS übernommen und in das IKTS integriert. Das KKT ist eng mit einem der größten Institute der TU Bergakademie Freiberg verbunden, und zwar mit der Professur für Energieverfahrenstechnik von Prof. Martin Gräbner am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC). Wir heißen Prof. Gräbner mit seinem Team im IKTS willkommen und freuen uns, dass wir hierdurch unsere Zusammenarbeit mit der TUBAF weiter ausbauen konnten. Im letzten Jahr hatte ich bereits das gemeinsam mit der TUBAF und dem Fraunhofer IISB betriebene Fraunhofer-Technologiezentrum Hochleistungsmaterialien THM hervorgehoben. Am IKTS ist das KKT als Gruppe in die Abteilung von Dr. Matthias Jahn eingebunden, die nun gemeinsam von ihm und Prof. Gräbner geleitet wird. Das KKT konzentriert sich auf Lösungen für CO₂-arme und CO₂-neutrale Technologien für die Energie-, Chemie- und Grundstoffindustrie. Es gibt hier große Synergien zu unseren Wasserstoff- und SOE-Aktivitäten, die wir jetzt heben werden.



Für gesellschaftliche Megathemen wie Energiewende, Kreislaufwirtschaft und Versorgungssicherheit spielt die technische Keramik eine herausragende Rolle und muss industriell in Europa und global weiter abgesichert werden. Hierzu möchten wir zusammen mit Ihnen beitragen. Weitere Highlights und Entwicklungstrends aus unseren Geschäftsfeldern haben wir im vorliegenden Bericht zusammengestellt.

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
April 2023

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
Aus den Geschäftsfeldern des Fraunhofer IKTS	20
Im Fokus	22
Joint Venture Altech Batteries GmbH – 100-MWh-Batteriefabrik in Schwarze Pumpe	22
Das Thüringer Wasser-Innovationscluster ThWIC	23
Augmented Reality – Multi-User-Anwendungen als erster Schritt zum Industrial Metaverse	24
Neue Rohstoff- und Energieressourcen für eine grüne Industrie	25
Werkstoffe und Verfahren	26
RECOSiC – Recycling von Siliciumcarbid	26
Hochwärmeleitfähige Siliciumnitrid-Keramik für die Leistungselektronik	27
Kontinuierliche Faserbeschichtung für Kompositwerkstoffe	28
Gelcasting für variabel geformte Keramiken	29
Defektfreies Fügen von Verbunden mit Transparentkeramik	30
CerAMfactoring: Multimaterialbauteile aus leitfähigem und isolierendem Si_3N_4 -SiC-MoSi ₂	31
Wasser	32
Hochaufgelöste mikro- und spektroskopische Methoden für die Wasseranalyse	32
Kunststoffverwitterung unter realen Bedingungen an Flussmündungen	33
CE-konforme Membranfiltrationsanlagen für die angewandte Forschung	34
Keramische Stacksysteme zur simultanen Filtration und photokatalytischen Oxidation	35
KeraMOL – Kostengünstige Keramikmembranen für die Trinkwasserversorgung	36
Elektronik und Mikrosysteme	37
Zuverlässige Schaltkreis-Verdrahtungen für automobiler Radaranwendungen	37
KI-gestützte Prognostik und Zustandsmanagement für die Elektronik	38
Sondermessverfahren für die Leistungselektronik	39

■ Energie	40
Batterieentwicklung am Fraunhofer-Projektzentrum ZESS	40
Kaltsintern von Materialien für Anwendungen in Festkörperbatterien	41
Effiziente Recyclingverfahren für Lithium-Ionen-Batterien am Fraunhofer THM	42
Hochtemperaturelektrolyse für die Erzeugung von grünem Ammoniak	43
Trends in der alkalischen und AEM-Wasserelektrolyse für grünen Wasserstoff	44
Neuartiges Zellkonzept für Natrium-basierte Mitteltemperatur-Batterien	45
■ Bio- und Medizintechnik	46
Verbesserte Stenteigenschaften durch laserinduzierte periodische Oberflächenstrukturierung	46
Implantat-Gehäuse mit optischem Fenster aus transparenter Keramik	47
Druckguss von Multilayer-Blanks für dentale Restaurationen	48
■ Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung	49
Vollflächige Qualitätskontrolle und Onlinebewertung von Kohlefasergelegen	49
Prozessdigitalisierung in der Metallbranche	50
CoMoBase3 – neue Hardwareplattform für akustische Zustandsüberwachung	51
■ Maschinenbau und Fahrzeugtechnik	52
Verschleiß- und korrosionsbeständige Rührwerke für Biogasanlagen	52
Neuartige Hartstoffe für die Entwicklung verschleißresistenter Brems Scheiben	53
Keramischer Reaktor für umweltfreundlichere Satellittriebwerke	54
■ Umwelt- und Verfahrenstechnik	55
Reaktionskinetische Untersuchung zur flexibel betriebenen Direktreduktion von Eisenerz	55
Tubulare Membran-Elektroden-Einheiten für die Festkörper-Ammoniaksynthese	56
Zeolithmembranen für die energieeffiziente Abtrennung von CO ₂ aus Biogas	57
Effizient düngen: Angepasste Stickstoffgehalte in Düngern	58
■ Material- und Prozessanalyse	59
Großflächige Zielpräparation durch korrelatives Arbeiten mit Laser-FIB-Technik im FESEM	59
Multiskalige 3D-Analytik, Datenkorrelation und Präparation in der Halbleiterentwicklung	60
Neue Ansätze für In-situ-Analytik in der Mikroelektronik	61
Bestimmung der Festigkeit und Bruchzähigkeit von dünnen Keramiksubstraten	62
■ Kooperationsausbau durch Mitgliedschaften	63
Namen, Daten, Ereignisse	69
Veranstaltungen und Messen im Jahr 2023	70
Anfahrt zum Fraunhofer IKTS	72

Das Fraunhofer IKTS im Profil

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 unikatlichen Eigenschaften 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 Fertigungsverfahren 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 modellieren, 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 verfügbaren 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.

Die Institutsleitung des IKTS, v.l.n.r.:

Dr. Michael Zins, Prof. Michael Stelter, Dr. Christian Wunderlich, Prof. Ingolf Voigt und Prof. Alexander Michaelis.

Standortübergreifendes Qualitätsmanagement

Qualität, Nachvollziehbarkeit, Transparenz und Nachhaltigkeit gehören für uns zu den wichtigsten Instrumenten, um Partnern und Kunden valide und reproduzierbare Forschungsergebnisse ressourcenschonend 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

Werkstoff- und Prozesscharakterisierung

Sintern und Charakterisierung

Dr. habil. Mathias Herrmann

- Thermische Analyse und Thermophysik**
- Wärmebehandlung
- Keramografie und Phasenanalyse
- Pulver- und Suspensionscharakterisierung**

Umwelt- und Verfahrenstechnik

Nanoporöse Membranen

Dr. Hannes Richter

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

Hochtemperaturseparation und Katalyse

Dr. Jörg Richter

- Hochtemperaturmembranen und -speicher
- Katalyse und Materialsynthese

Kreislauftechnologien und Wasser

Dr. Burkhardt Faßbauer

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

Chemische Verfahrenstechnik

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

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

Standorte und Kompetenzzentren des Fraunhofer IKTS

- Hauptsitz Dresden-Gruna, Sachsen
- Standort Dresden-Klotzsche, Sachsen
- Standort Hermsdorf, Thüringen

- Standort Forchheim, Bayern
- Standort Berlin, Berlin
- Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS, Braunschweig, Niedersachsen
- Fraunhofer-Technologiezentrum Hochleistungsmaterialien THM, Freiberg, Sachsen
- Fraunhofer-Forschungsgruppe Smart Ocean Technologies SOT, Rostock, Mecklenburg-Vorpommern
- Forschungsgruppe Biologische Materialanalytik am Fraunhofer IZI, Leipzig, Sachsen
- Forschungsgruppe Kohlenstoff-Kreislauf-Technologien KKT, Freiberg, Sachsen
- Projektgruppe Kognitive Materialdiagnostik, Cottbus, Brandenburg
- Fraunhofer Center for Smart Agriculture and Water Management AWAM, Porto, Portugal
- Batterie-Innovations- und Technologie-Center BITC, Arnstadt, Thüringen
- Wasserstoffanwendungszentrum für Industrielle Wasserstoff-Technologien Thüringen WaTTh, Arnstadt, Thüringen
- Applikationszentrum Wasser, Hermsdorf, Thüringen
- Applikationszentrum Membrantechnik, Schmalkalden, Thüringen

Technische Universität Dresden

ifWW – Institut für Anorganisch-Nichtmetallische Werkstoffe

Prof. Dr. habil. Alexander Michaelis

IAVT – Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik

Prof. Dr. Henning Heuer

IFE – Institut für Festkörperelektronik

Prof. Dr. habil. Thomas Härtling

Freie Universität Berlin

Institut für Experimentalphysik

Prof. Dr. Silke Christiansen

Stellvertretender Institutsleiter / Verwaltungsdirektor
Stellvertretender Institutsleiter / Marketing und Strategie
Stellvertretender Institutsleiter / Standortleiter Hermsdorf
Stellvertretender Institutsleiter / Standortleiter Dresden-Klotzsche

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

- Labor für Qualität und Zuverlässigkeit**, Mechanisches Labor
- Chemische und Strukturanalyse
- Hartmetalle und Cermets

Korrelative Mikroskopie und Materialdaten

Prof. Dr. Silke Christiansen

- Korrelative Mikroskopie

Elektronik/Mikrosystem- und Biomedizintechnik

Intelligente Materialien und Systeme

Dr. Holger Neubert

- Multifunktionale Werkstoffe und Bauteile
- Angewandte Werkstoffmechanik und Festkörperwandler

Energiesysteme

Werkstoffe und Komponenten

Dr. Mihails Kusnezoff

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

Systemintegration und Technologietransfer

Dr. Roland Weidl

- Systemkonzepte
- Stationäre Energiespeicher
- Dünnschicht-Technologien
- Industrielle Datenkonzepte
- Smartes Maschinen- und Produktionsdesign
- Wasserstofftechnologien

Energiespeicher und Elektrochemie

Dr. Mareike Partsch

- Elektrochemie
- Zell- und Prozessentwicklung
- Recycling und Grüne Batterie

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 Analysensysteme

Prof. Dr. Henning Heuer

- Elektronik für Prüfsysteme
- Software für Prüfsysteme
- Wirbelstromverfahren
- Ultraschallsensoren und -verfahren
- Maschinelles Lernen und Datenanalyse
- Projektgruppe Kognitive Materialdiagnostik Cottbus

Mikroelektronik-Materialien und Nanoanalytik

Dr. Birgit Jost / 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

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

Das Fraunhofer IKTS in Zahlen

Haushalt und Erträge

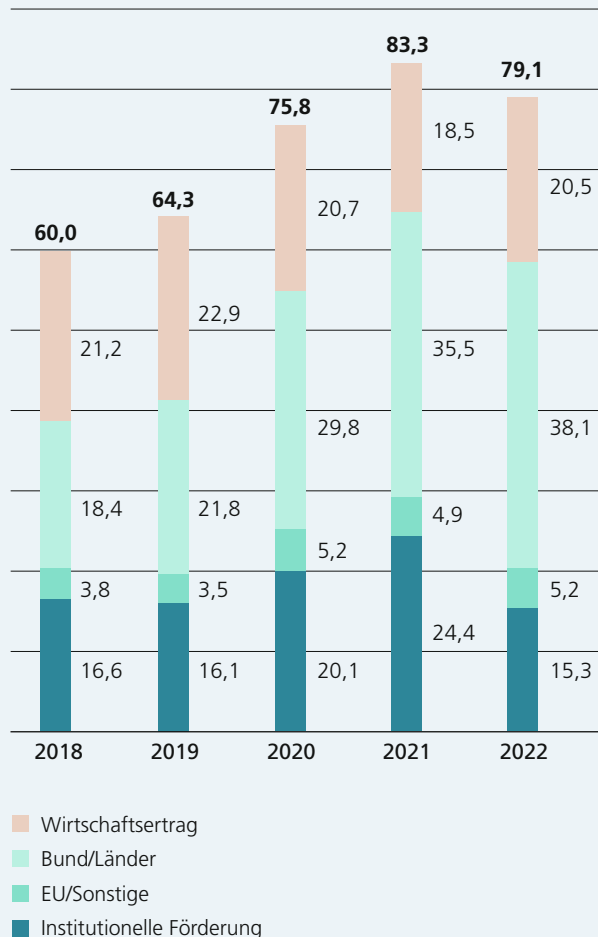
Das Institut blickt auf ein sehr erfolgreiches Jahr 2022 zurück. Aber auch im Fraunhofer IKTS verzögern sich Projekte durch die aktuelle Weltlage. Insbesondere Herausforderungen beim Einkauf von Rohstoffen und Geräten sind ein wesentlicher Grund, dass der Gesamthaushalt leicht auf ca. 80 Mio. € zurückgeht. Mit über 11 Mio. € Investitionsvolumen konnten die strategischen Arbeitsgebiete dennoch weiter ausgebaut werden. Durch die Förderung des Freistaat Sachsen für den Standort Freiberg wurde das Fraunhofer THM weiter ausgebaut. Die Länder Bayern und Thüringen engagieren sich schwerpunktmäßig durch Investitionsförderung in Forchheim und Arnstadt.

Nach aktuellen Hochrechnungen wurden Projekte für 20,5 Mio. € in direktem Industrienauftrag bearbeitet. Davon entfallen 11,8 Mio. € auf das Mutterhaus in Dresden-Gruna, 3,3 Mio. € auf die Kostenstelle Dresden-Klotzsche sowie 5,5 Mio. € auf die Kostenstelle Hermsdorf. Bezogen auf den Betriebshaushalt von 68 Mio. € ergibt sich eine Steigerung von 2 % bzw. 2,1 Mio. € gegenüber dem Vorjahr. Sehr erfreulich ist dabei, dass die Anzahl von mehrjährigen Industrieprojekten deutlich steigt. Insbesondere Projekte der Energie und Umwelttechnik spielen hier eine große Rolle.

Die öffentlichen Erträge sind um 2,8 Mio. € auf 38,1 Mio. € angewachsen. Hier profitiert das Institut weiterhin von den erfolgreichen Anträgen der letzten 3 Jahre. Es ist allerdings eine deutliche Reduktion von verfügbaren Ausschreibungen bei gleichzeitig sinkender, allgemeiner Erfolgsquote zu verzeichnen. Die Projektlage 2024 wird hierdurch sicherlich stark beeinflusst.

Preissteigerungen im Energiebereich wurden 2022 im Wesentlichen noch von bestehenden Verträgen begrenzt. Der Kostenexplosion im Bereich der Wärmeversorgung wurde durch konsequentes Einsparen entgegengewirkt. Auf der Ebene des Fraunhofer-Institutszentrums Dresden wurden immerhin 15 % Fernwärmeleistung eingespart. In Zusammenhang mit den neuen Rahmenverträgen für die Energieversorgung und den erwarteten Tarifsteigerungen sind Kostensatzsteigerungen 2023 nicht zu vermeiden. Im Zusammenhang mit den laufenden Projekten und den bereits in den früheren Preisjahren vereinbarten Kostensätzen ergeben sich weitere Belastungen der Grundfinanzierung. Die Möglichkeit für Eigenforschungsprojekte wird hierdurch reduziert.

Entwicklung des Gesamthaushalts des Fraunhofer IKTS (in Millionen Euro) in den Haushaltsjahren 2018 bis 2022*

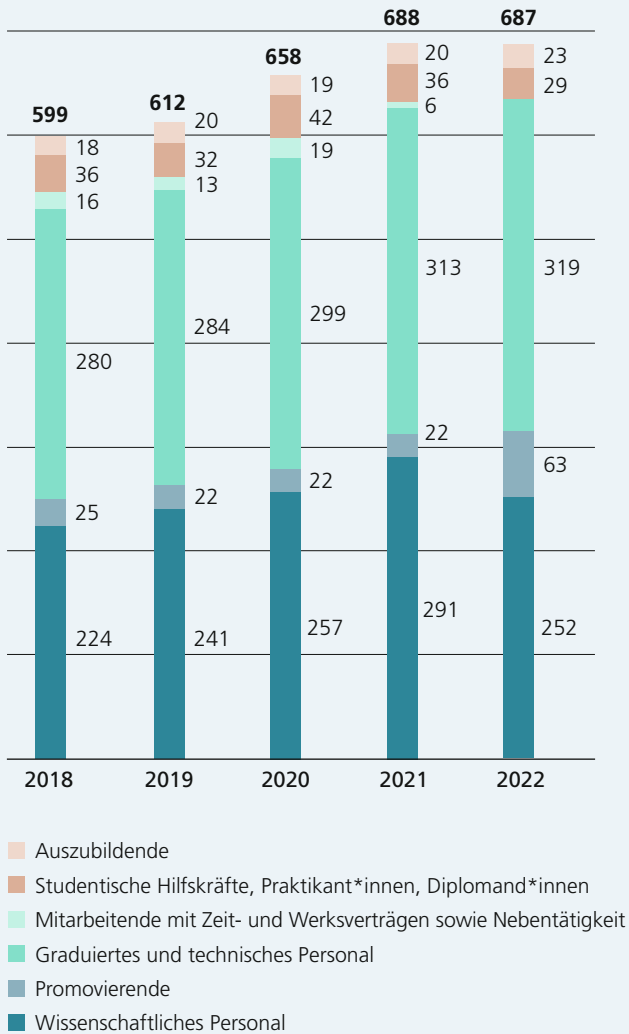


*Ertragshochrechnung 10.03.2023

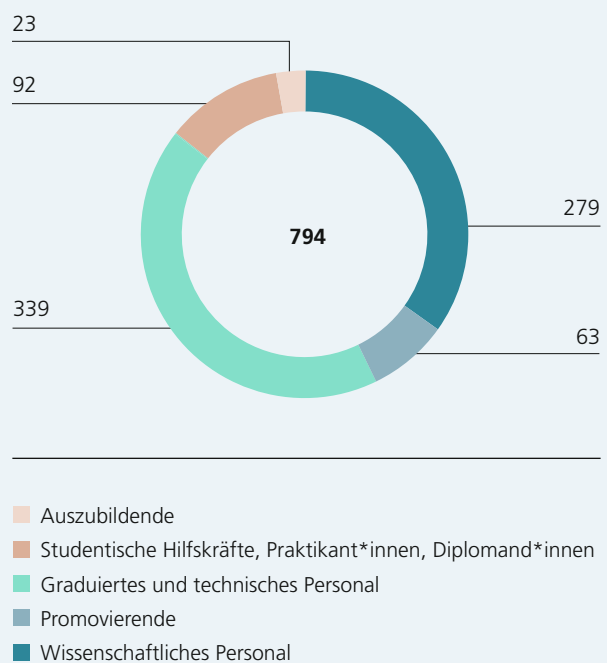
Personalentwicklung

Insgesamt werden an den IKTS-Standorten 794 Mitarbeitende beschäftigt. Work-Live-Balance ist ein Kriterium, dass an Bedeutung stark gewonnen hat. In allen Bereichen wählen viele der Mitarbeitenden Teilzeitmodelle. Die Flexibilität, Verträge nach den individuellen Bedürfnissen anzupassen, ist ein wichtiger Grund für den Start am Fraunhofer IKTS. Unter den aktuellen Kostenentwicklungen ist das Modell des klassischen Doktorandenvertrags in einem 50 %-Teilzeitmodell nicht mehr attraktiv. Zunehmend erfolgen die Promotionen daher in höheren Beschäftigungsverhältnissen mit bis zu 100 %. Die Kapazität wird dynamisch an die Projektaufgaben angepasst. Die verschiedenen Vollzeitäquivalente werden in der Graphik dargestellt. In den beiden Gruppen ist die Summe der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler um 2 angestiegen. Leider ist die Anzahl der beschäftigten Studierenden und

Entwicklung des Personalbestands des Fraunhofer IKTS - Beschäftigtenzahl 2018 bis 2022, Vollstellenäquivalente Personalstruktur



Beschäftigte des Fraunhofer IKTS in 2022, Anzahl Personen



Diplomand*innen gleichzeitig von 103 auf 92 gesunken. Durch die Anbindung weiterer Lehrstühle der TU Bergakademie Freiberg wird der Zugang für Studierende 2023 verbessert. Auch Studierende der Wirtschaftswissenschaften finden inzwischen Themen im Fraunhofer IKTS. Erwähnenswert ist auch, dass verstärkt im dualen Lehrbetrieb ausgebildet wird. Mit insgesamt 23 Auszubildenden leistet das Institut auch hier einen wichtigen Beitrag und profitiert zukünftig von den eigenen Nachwuchskräften.

Der Arbeitgeber Fraunhofer IKTS ist im Markt bisher gut positioniert. Trotzdem bleibt die Akquisition von Mitarbeitenden im wissenschaftlichen und zunehmend im administrativen Bereich eine der großen Herausforderungen.

Erweiterung der Infrastruktur

Eine enorme Herausforderung ist die Einführung von SAP. Das System ist zum 10. Januar 2022 in Betrieb genommen worden. In allen Bereichen ist hierdurch eine erhebliche Belastung entstanden, die durch Personalaufbau abgefangen werden musste. Einsparpotenziale und Effizienzsteigerungen können aufgrund der enormen Komplexität erst für 2024 erwartet werden. Die Erweiterung der technischen Infrastruktur speziell an den Außenstellen Freiberg, Forchheim und Arnstadt wurden bereits von Prof. Alexander Michaelis vorgestellt. Speziell für die großen Industrieverbundvorhaben ist das IKTS dadurch sehr gut aufgestellt.

Kuratorium

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

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

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

Dipl.-Ing. Robert Fetter
Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft, Erfurt
Leiter der Referate 53 »Technologieförderung« und 54 »Institutionelle Forschung«

Dr. habil. Martin Gude
Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz, Erfurt
Leiter der Abteilung 1 »Zentralabteilung«

Dr. Peter Heilmann
arxes-engineering GmbH, Eberswalde
Geschäftsführer

Andreas Heller
Landratsamt Saale-Holzland-Kreis, Eisenberg
Landrat

Dr. Wolfgang Köck
Plansee SE, Reutte
Geschäftsführender Direktor

Dr. Sabine Kolodinski
Nexperia, Hamburg
Senior Project Manager
Public Funded Projects

Andreas Krey
Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen mbH, Erfurt
Sprecher der Geschäftsführung

Dr. Reinhard Lenk
CeramTec GmbH, Plochingen
Director Innovation & Technology

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

Dr. Patrick Pertsch
PI Ceramic GmbH, Lederhose,
Geschäftsführer

Dipl.-Ing. Michael Philipps
Endress+Hauser SE+Co. KG, Maulburg
Strategic Expert Level+
Pressure

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

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

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

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft

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

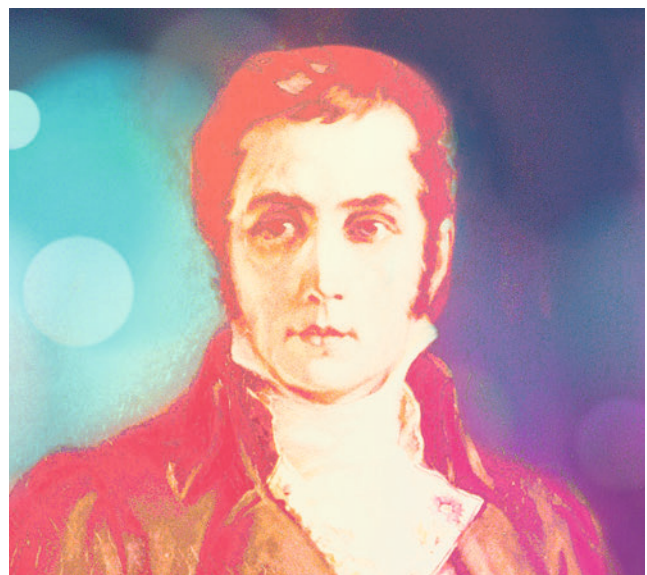
Interdisziplinäre Forschungsteams der Fraunhofer-Gesellschaft setzen gemeinsam mit Vertragspartnern aus Wirtschaft und öffentlicher Hand originäre Ideen in Innovationen um, koordinieren und realisieren systemrelevante, forschungspolitische Schlüsselprojekte und stärken mit werteorientierter Wertschöpfung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

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 30 000 Mitarbeitende, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,9 Mrd. €. Davon fallen 2,5 Mrd. € auf den Bereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

Die Wirkung der angewandten Forschung geht weit über den direkten Nutzen für die Auftraggeber hinaus: Fraunhofer-Institute stärken die Leistungsfähigkeit der Unternehmen, verbessern die Akzeptanz moderner Technik in der Gesellschaft und sorgen für die Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

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

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.



Joseph von Fraunhofer.

Retrospektive

Das Fraunhofer IKTS präsentierte 2022 seine Forschung und Dienstleistungen auf zahlreichen Messen im In- und Ausland und als Veranstalter mehrerer wissenschaftlicher Kongresse sowie bei verschiedenen Events für die breite Öffentlichkeit.

3. Februar 2022

NDT4INDUSTRY – Online-Seminarreihe zur zerstörungsfreien Prüfung

Auch 2022 stellte das Fraunhofer IKTS im Rahmen der Online-Seminarreihe NDT4INDUSTRY Entwicklungen aus dem Bereich der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) für die Industrie vor. Im Januar sprach Natalia Beshchasna über neuartige In-vitro-Tests für kardiovaskuläre Implantate, um deren Verträglichkeit und Langlebigkeit zu verbessern. Eine Anlage zur Inline-Prüfung multiaxialer Kohlefasergelege mit einer Breite von bis zu 2,50 m stellte Martin Schulze im März vor. Manuela Heymann widmete sich im Juni einer Kennzeichnungslösung, die den extremen Bedingungen in der Metallverarbeitung standhält. Peter Krüger führte im September Röntgen und Thermografie zusammen, um die Qualitätssicherung in der Batterieproduktion zu optimieren. Das Erkennen von Defekten und Verschleiß mit KI-basierter akustischer Diagnose war Thema des Seminars von Ivan Kraljevski im November.



Ab 2023 wird das Konzept der Seminarreihe vom Verfahrenszum Branchenfokus geändert. Zukünftig stehen industrielle Fragestellungen im Fokus, für deren Lösung geeignete Entwicklungen aus dem Institut vorgestellt werden. Aktuelle Themen und Termine finden Sie unter www.ndt4industry.com.

2. März 2022

Prof. Michaelis erhält internationale Materialforschungspreise

(Bild unten)

IKTS-Institutsleiter Prof. Alexander Michaelis erhielt am 2. März als erster Europäer den renommierten »Acta Materialia Hollo-mon Award for Materials and Society« der Acta Mineralia, Inc. Bereits im Oktober 2021 wurde er zudem mit dem »Rustum Roy Lecture Award 2021« der American Ceramic Society ACerS ausgezeichnet. Beide Preise würdigen herausragende Beiträge für die Materialwissenschaften zum Nutzen für die Gesellschaft.

30. Mai 2022

Unsere Messehighlights

(Bild oben)

Das Fraunhofer IKTS war 2022 auf 25 Messen vertreten. Auf der JEC demonstrierte das Institut die Inlineprüfung von Carbonfaser-Textilien. Verfahrensentwicklungen für die energieeffiziente und selektive Abscheidung von Wertstoffen aus Heißgasprozessen mittels Filtration waren Highlight auf der IFAT. Auf den Messen Sensor und Test und Electronica präsentierte das IKTS keramische Lösungen für Sensorik und Leistungselektronik in harscher Umgebung. Die Elektrolyse ist zentraler Bestandteil für die Dekarbonisierung der Industrie. Auf derACHEMA konnten die Besucher*innen keramische Technologien für effiziente Power-to-X-Prozesse und ein Angebot zu deren techno-ökonomischen Bewertung kennenlernen. Neben einem Schienenprüfsystem wurde auf der Innotrans eine Ultraschall-Prüfzange für Pressverbinder an Fahrdrahlleitungen vorgestellt, mit der Risse erkannt werden, bevor sich diese bis





zur Oberfläche ausgebreitet haben. Das Multi Material Jetting (MMJ) 3D-Druckverfahren erlaubt erstmals die nachhaltige Fertigung von funktionalisierten Multi-Material-Bauteilen in einem Druckvorgang. Auf der **Hannover Messe**, **CERAMITEC** und **formnext** gab das IKTS-Team einen ersten Einblick in diese Technologie, die in 2023 kommerzialisiert wird. Einen Ausblick auf das Messejahr 2023 finden Sie auf Seite 70. Wir freuen uns auf Sie, u. a. auf der GIFA und COMPAMED 2023!

7.–8. Juni 2022 **Vision Keramik 2022**

(Bild oben)

Zum Höhepunkt seines 30-jährigen Bestehens lud das Fraunhofer IKTS zur nunmehr 11. Auflage der Vision Keramik nach Dresden ein. Der Einladung folgten 60 Gäste aus Forschung und Industrie, darunter auch ehemalige Mitarbeitende. Schlüsseltechnologien und zukünftige Herausforderungen in den Bereichen Wasser, Dekarbonisierung und Digitalisierung waren dabei die Hauptthemen der zweitägigen Tagung. Das IKTS blickte auf bisherige Entwicklungen zurück, beleuchtete neuste keramische Lösungen für Industrie und Gesellschaft und gab Ausblicke auf die nächsten 30 Jahre.

18. Juni | 8. Juli 2022 **Lange Nacht der Wissenschaften in Freiberg und Dresden**

(Bild unten)

Unter dem Motto »nachhaltig. forschen. wirtschaften. leben.« präsentierte das IKTS-Team des Fraunhofer THM am 18. Juni seine Forschung zu Batterietechnologien und Batterierecycling bei der Freiburger Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft.

Am 8. Juli eröffnete Dresdens Oberbürgermeister Dirk Hilbert die 19. Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften 2022 am Fraunhofer-Institutszentrum Dresden mit einem Rundgang. Das Fraunhofer IKTS öffnete seine Türen und brachte der interessierten Bevölkerung mit praxisnahen Experimenten, Vorträgen und Laborführungen die vielfältigen Anwendungen von Hochleistungskeramik näher. So konnten beispielsweise Kinder und Jugendliche eine Batterie aus Kartoffeln bauen, Fingerabdrücke elektrochemisch sichtbar machen und Wasser mit Strom reinigen. Die erwachsenen Gäste schauten Forschenden beim Spritzgießen von keramischen Knieprothesen über die Schulter und blickten mit modernen Sensoren in das Innere von Handys und Mikroelektronik. In unseren Vorträgen erfuhren sie, warum Kläranlagen eine wichtige Rohstoff- und Energiequelle sind und was Korrosionsschutz mit Klimaschutz zu tun hat.



18. August 2022

IKTS-Ausgründung treibt Überwachungstechnologie für Offshore-Druckbehälter voran

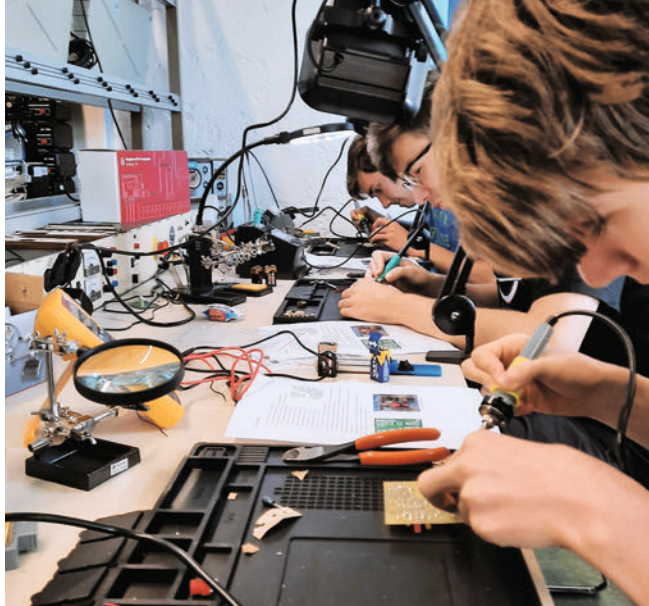
Gemeinsam mit Equinor Ventures und der Spinoff-Gesellschaft CoFounder gründete das Fraunhofer IKTS das Deep-Tech-Venture »Nicoustic« in Trondheim, Norwegen. Das neue Unternehmen vertreibt eine Technologie zur Überwachung von Offshore-Druckbehältern, die in der verarbeitenden Industrie breite Anwendung finden. Mit geführten Ultraschallwellen können hierbei geschlossene Behälter nicht-invasiv, permanent, von außen und ohne Ausfallzeiten für den Betreiber überwacht werden.

22.–26. August 2022

Sensor Space Summer School

(Bild oben)

Unter dem Motto »Feel the Beat« fand die zweite Sensor Space Summer School des Fraunhofer IKTS als kostenfreies Ferienprogramm in Hermsdorf (Thüringen) statt. Gemeinsam mit Forschenden des Fraunhofer IKTS, die das Konzept der Summer School erarbeitet hatten, beschäftigten sich die neun Jugendlichen eine Woche lang mit Schaltplänen, Elektronikbauteilen und Messgeräten. Ziel war es, ein eigenes EKG-Gerät aufzubauen, mit dem am Ende der Woche die eigenen Herzschläge gemessen werden konnten. Das vom BMBF geförderte MI(N)TmachLabor Sensor Space ist ein Maker Space für Sensorik und Technische Keramik mit dem Ziel, Schüler*innen für



Mikroelektronik, Software und Technik zu begeistern und das Interesse für technische Berufe zu steigern.

26. August 2022

CleanEFX – Ministerpräsident informiert sich über Dekarbonisierung des Erfurter Kreuz

(Bild unten)

Mehr als 20 Unternehmen der Initiative Erfurter Kreuz e. V. arbeiten in der Interessengemeinschaft CleanEFX gemeinsam daran, das Gewerbegebiet am Erfurter Kreuz klimaneutral mit Energie und Prozesswärme zu versorgen. Bereits vor den derzeitigen geopolitischen Veränderungen wurde die Projektidee in mehreren Workshops von Unternehmen und Forschungseinrichtungen initiiert. Thüringens Ministerpräsident Bodo Ramelow sowie Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee besuchten



Thüringens Ministerpräsident Bodo Ramelow (2.v.l.) und Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee (3.v.l.) mit Fraunhofer IKTS Institutsleiter Prof. Alexander Michaelis (r.) und Prof. Michael Stelter (l), stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer IKTS und Vorstand des Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk (ThEEN) e. V.

das Batterie-Innovations- und Technologie-Center in Arnstadt, um von Forschenden des Fraunhofer IKTS und Unternehmensvertretern aus der Region mehr über die Konzepte für nachhaltige Energielösungen zu erfahren.

3. September 2022

Tag der offenen Tür am Fraunhofer IKTS Hermsdorf

(Bild rechts)

Mehrere hundert Interessierte besuchten den thüringischen IKTS-Standort in Hermsdorf zum Tag der offenen Tür. Bei Vorträgen, Demonstrationen und Laborbesichtigungen erhielten sie Einblicke in aktuelle Forschungsthemen und kamen mit Forschenden ins Gespräch.



14.–16. September 2022

ISPA International Symposium on Piezocomposite Applications

(Bild unten)

Auf dem neunten »International Symposium on Piezocomposite Applications« mit begleitender Industrieausstellung diskutierten rund 40 Ingenieurinnen und Designer aus sechs Nationen aktuelle Forschungsergebnisse, Entwicklungen, Marktanforderungen und Rahmenbedingungen für den optimalen Technologietransfer piezokeramischer Innovationen. Im Fokus standen Piezokeramiken kombiniert mit Elektronik-, Funktions- und Strukturwerkstoffen für Anwendungen in der Medizintechnik, dem Maschinen- und Automobilbau sowie der Halbleitertechnik. Das Symposium wurde mit einem Themenworkshop der CTS Ferroperm Piezoceramics zum Thema »Piezoelektrische Materialien und Anwendungen« eröffnet. Die nächste ISPA findet 2024 statt.

21. September 2022

Pressefrühstück: Renaturierung mit Klärschlamm und Pilzen

Boden ist eine wertvolle Ressource. IKTS-Agrarexperte Nico Domurath stellte beim Pressefrühstück des Fraunhofer-Institutszentrums Dresden eine vielversprechende Technologie zur Renaturierung von Halden vor. Das Projektteam aus Matthias Hoger (Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH), Prof. Dr. Christina Dornack und Dr. Paula Penckert (Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft der TU Dresden), Natalie Rangno (Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH) sowie Nico Domurath und Marc Lincke (Fraunhofer IKTS) hat biologisch inaktives Abraummaterial mit einer speziellen Mischung aus Klärschlammkompost und Pilzsubstraten beimpft. Mit dieser Deckschicht hat das Team eine Mülldeponie





im Leipziger Raum in kurzer Zeit zum Blühen gebracht. In mehreren Folgeprojekten mit weiteren Partnern wird die neue Rekultivierungstechnik nun auch für alte Bergbauhalden adaptiert und erprobt.

5. Oktober 2022
Industrietag Transparentkeramik

Zur Veranstaltung »Transparentkeramik am Fraunhofer IKTS – Produktion, Technologie, Potenziale« blickten Gäste aus der Industrie in die neuen Labore und Technika des Forschungs- und Entwicklungszentrums Transparentkeramik in Hermsdorf. Im Rahmen von Führungen wurde über innovative Fertigungsmethoden, Strategien zur Qualitätssicherung und potenzielle Einsatzgebiete informiert. In individuellen Gesprächen konnten konkrete Anwendungsfälle und gemeinsame Projekte diskutiert werden.

11. Oktober 2022
Ehrung als Ausgezeichneter Ausbildungsbetrieb

In einer Feierstunde am 11. Oktober hat die IHK Dresden zum wiederholten Mal bestätigt, dass die duale Ausbildung am Fraunhofer IKTS eine dauerhaft anhaltende Qualität bei hoher Erfolgsquote bietet. Am Standort Dresden-Klotzsche werden derzeit die Berufe Physiklaborant*in, Industriemechaniker*in oder Elektroniker*in für Geräte und Systeme ausgebildet. Herzlichen Glückwunsch an die erfolgreichen Absolvent*innen und die Ausbildungsbeauftragte Dr. Beatrice Bendjus.

12. Oktober 2022
30 Jahre Fraunhofer IKTS Festakt

(Bild rechts)

Unter dem Motto »Hallo Zukunft – 30 Jahre Fraunhofer IKTS« beging der IKTS-Standort Hermsdorf das 30-jährige Bestehen des Instituts mit einem Festakt. Geladen waren neben den Mitarbeitenden auch Gäste und Wegbegleiter aus den Unternehmen des Tridelta Campus sowie ehemalige Mitarbeitende, darunter die ehemalige langjährige Institutsleiterin Dr. Bärbel Voigtsberger.

Zu Gast waren zudem Thüringens Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee, Landrat Andreas Heller und Hermsdorfs Bürgermeister Benny Hofmann.

12.–13. Oktober 2022
AM Ceramics am Fraunhofer IKTS in Dresden

(Bild oben)

Zur AM Ceramics 2022 Konferenz begrüßten das Fraunhofer IKTS und die Lithoz GmbH mehr als 110 internationale Keramikspezialist*innen. Im Fokus der Konferenz standen neben dem Austausch zu Fortschritten beim keramischen 3D-Druck und aktuellen Material- und Prozessentwicklungen vor allem industrielle Erfolgsgeschichten sowie das persönliche Netzwerken der Teilnehmenden. Im Rahmen einer Laborführung präsentierte das IKTS seine cerAMufacturing 3D-Druck-Infrastruktur sowie aktuelle keramische Technologien jenseits der additiven Fertigung von der Pulver- und Suspensions- bzw. Rohstoffentwicklung über die Auswahl der Fertigungstechnologie bis hin zur weiteren Funktionalisierung sowie der Charakterisierung und Bewertung der gefertigten Bauteile und Systeme.



3. November 2022

Prof. Neugebauer besucht ehemaliges Kohlerevier Helmstedt

Am 3. November besuchte der Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft Prof. Reimund Neugebauer im Rahmen seiner »Fokusreise Strukturwandel« das ehemalige Kohlerevier Helmstedt. Dort informierte er sich über regionale und dezentrale Lösungen für den landwirtschaftlichen Strukturwandel in der Region im Hinblick auf die Themen Klimawandel, wachsende Weltbevölkerung sowie geopolitische Instabilitäten. Forschende des IKTS demonstrierten einen Bodendichtesensor, der automatisierte Bodenmessungen bis in eine Tiefe von 2 m ermöglicht. Die Sensoren liefern, robotergeführt oder gekoppelt am Traktor, Informationen über die Notwendigkeit einer Tiefenlockerung bzw. über den Erfolg bereits vorgenommener Bodenbearbeitungen. Um die Themen des Strukturwandels effektiv zu bündeln, plant das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST gemeinsam mit dem Fraunhofer IKTS den Aufbau eines »Innovationshubs«, durch den überregionale Initiativen und regionale Partner vernetzt werden sollen.

22. November 2022

Fraunhofer-Kommunikationspreis für PR-Kampagne

Mit der Kampagne #womeninscience hat das Fraunhofer IKTS im Jahr 2022 Frauen in den Fokus gerückt, die in verschiedenen Funktionen am Institut tätig sind. Ziel der Kampagne, die über die Webseite und soziale Medien lanciert wurde, war es, die Bekanntheit des Instituts zu erhöhen, es als attraktiven Arbeitgeber zu zeigen und die Bewerbung von Frauen auf offene Stellen zu motivieren. Für die Konzeption und Umsetzung der Kampagne haben Maria Kaminski und Marie Kaden aus der PR-Gruppe im Fraunhofer-weiten Kommunikationspreis den



zweiten Platz erhalten. Die Videointerviews zur Kampagne finden Sie auf dem IKTS-YouTube-Kanal.

24.–25. November 2022

Symposium Angewandte Elektrochemie in der Materialforschung

(Bild unten)

Zum 7. Mal trafen sich Expertinnen und Experten zum Symposium Angewandte Elektrochemie in der Materialforschung in Dresden. Gesponsort durch sieben Industriepartner und begleitet durch eine Industrieausstellung widmete sich das Symposium dem Thema Materialien für elektrochemische Speicher und Wandler sowie den Entwicklungen und neuen Möglichkeiten im Bereich der industriellen Oberflächentechnik. Der rege Austausch und die positive Resonanz der Teilnehmenden ermutigten die Organisatoren, die Reihe in zwei Jahren fortzuführen.

15. Februar 2023

Ministerpräsident Kretschmer besucht Pilotanlage in Thallwitz

(Bild oben)

Aus regionaler Biomasse CO₂-neutral hochwertige Grundstoffe für eine resiliente Chemie- und Kraftstoffindustrie erzeugen – mit diesem Ziel betreibt das Fraunhofer IKTS zusammen mit den Partnern TU Bergakademie Freiberg, TU Dresden, Ökotec-Anlagenbau GmbH, Sunfire GmbH und DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH seit 2019 in Thallwitz bei Leipzig eine einmalige Pilotanlage. Diese wandelt den Kohlenstoff aus dem lokalen Biogas mittels Hochtemperaturelektrolyse zunächst in Synthesegas und anschließend via Fischer-Tropsch-Synthese in Basischemikalien, E-Fuels und biogene Wachse. Nach der erfolgreichen Validierung des Anlagenkonzepts, plant das Konsortium nun zusammen mit der EDL Anlagenbau Gesellschaft GmbH das Verfahren in die Industriereife zu bringen. Der sächsische Ministerpräsident Michael Kretschmer informierte sich Mitte Februar bei einem Besuch vor Ort über das aktuelle Vorhaben und betonte dabei die Bedeutung der Technologie für die Strukturentwicklung im Mitteldeutschen Revier.

Aus den Geschäftsfeldern des Fraunhofer IKTS



Im Fokus Seite 22–25

Industrielle Transformation, Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Energieversorgung sind aktuelle gesamtgesellschaftliche Herausforderungen. Das Fraunhofer IKTS arbeitet daher über Fachdisziplinen und Standorte hinweg an der Entwicklung bedarfsgerechter und nachhaltiger Lösungen. Durch unikale Anlagen und Testfelder transferieren wir Forschungs- und Entwicklungsergebnisse schnell in die Anwendung – zum Nutzen von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt.



Werkstoffe und Verfahren Seite 26–31

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



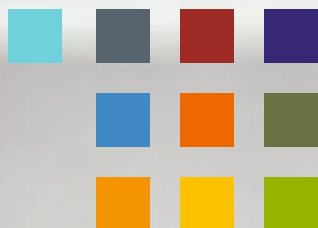
Wasser Seite 32–36

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



Elektronik und Mikrosysteme Seite 37–39

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



Energie Seite 40–45

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



Bio- und Medizintechnik Seite 46–48

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



Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung Seite 49–51

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



Maschinenbau und Fahrzeugtechnik Seite 52–54

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



Umwelt- und Verfahrenstechnik Seite 55–58

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



Material- und Prozessanalyse Seite 59–62

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



Uwe Ahrens, Vorstand von Altech Advanced Materials (r.), begrüßt Bundeskanzler Olaf Scholz (l.) bei dessen Besuch in Schwarze Pumpe. (Quelle: Tudyka.PR)



Areal der zukünftigen Altech Batteries GmbH in Schwarze Pumpe, Sachsen.



Entwurf eines 60-kWh-cerenergy®-Moduls für die stationäre Energiespeicherung.

Joint Venture Altech Batteries GmbH – Die 100-MWh-Batteriefabrik in Schwarze Pumpe

Dr. Roland Weidl, Prof. Alexander Michaelis

Nach mehr als zehn Jahren Entwicklung im Fraunhofer IKTS beginnt nun die Industrialisierung der keramischen cerenergy®-Batterie. Ein wichtiger Meilenstein auf diesem Weg wurde im September 2022 mit der Gründung der Altech Batteries GmbH erreicht, an der die Altech Energy Holding zu 75 % und die Fraunhofer-Gesellschaft zu 25 % beteiligt sind. Ziel der Altech Batteries GmbH ist die Errichtung einer Produktionsanlage für die cerenergy®-Festkörperbatterie.

Nachhaltige Zukunft für ehemaliges Kraftwerksgelände

Die Batteriefabrik soll auf einer 14 Hektar großen Brachfläche im sächsischen Teil des Industrieparks Schwarze Pumpe errichtet werden. Die Planungen dafür laufen bereits auf Hochtouren. Für die erste Linie wird eine Jahresproduktion von 100 MWh avisiert.

Fraunhofer IKTS als erfahrener Entwicklungs- und Transferpartner

Begleitend zum Aufbau der Fertigung wird das IKTS in einem Entwicklungsprojekt die Umsetzung des Batterieprototypen in ein Produkt und das Upscaling der Fertigung in den Industriemaßstab begleiten. Darin eingebunden sind Experten-Teams an drei IKTS-Standorten. Am Standort Arnstadt geht es um die Qualitätssicherung in der Fertigung, z. B. durch Inline-Kontrollen, sowie die finale Fertigungsplanung. Am Standort Hermsdorf, an dem die Zellentwicklung seit nunmehr zehn Jahren betrieben wird und eine Musterfertigung existiert, wird der Zellprototyp in die Industriereife überführt. Ferner werden die Herstellprozesse des keramischen Festkörperelektrolyten – einer Natrium-Beta-Aluminat-Keramik – an die industriellen Anforderungen angepasst und somit

hochskaliert. Für die Modellierung und Auslegung des 60-KWh-Moduls – als kleinste Einheit der Fertigung – sowie die dazugehörigen Konstruktionen ist das Team am Standort Dresden verantwortlich. Ziel ist es, alles auf den Betrieb im Container auszulegen und zu optimieren, der bezüglich seiner Speicherkapazität im MWh-Bereich einzuordnen ist.

Zielmarkt stationäre Energiespeicherung

Die Altech Batteries GmbH adressiert mit ihrem Vorhaben im Marktsegment der stationären Energiespeicherung den Bereich der industriellen bzw. großformatigen Quartierspeicherung, insbesondere die Zwischenspeicherung von erneuerbaren Energien wie Sonne und Wind. Hierfür sind die wartungsfreien, langzeitstabilen, nichtbrennbaren Batteriezellen, deren Kathode anstelle von Lithiumverbindungen aus Kochsalz und Nickel besteht, bestens geeignet.

Ambitionierter Zeitplan

Innerhalb eines Jahres wird die Batteriefabrik inklusive sämtlicher Spezifikationen und Verbräuche auf dem Reißbrett geplant. In den anschließenden drei Jahren erfolgt der Aufbau und danach die Inbetriebnahme-Phase mit dem Hochrampen auf vollen Produktionsbetrieb.

Noch während des Produktionsstarts der 100-MWh-Fabrik wird bereits der nächste Schritt in Angriff genommen: der Ausbau zu einer Gigawattstunden-Produktion auf einem angrenzenden Gelände im Industriepark. Die entsprechenden Flächen von 70 Hektar sind dafür bereits reserviert.

Das Thüringer Wasser-Innovationscluster ThWIC

Dr. Patrick Bräutigam, Prof. Michael Stelter

Das Thüringer Wasser-Innovationscluster (ThWIC) ist einer der Gewinner der BMBF-Zukunftscluster-Initiative. Unter der Leitung der beiden Sprecher Prof. Michael Stelter und Dr. Patrick Bräutigam entsteht in den nächsten neun Jahren ein interdisziplinäres Zentrum, das neue Lösungen für die nachhaltige Nutzung von Wasser entwickelt und in die Industrie überführt. Dafür stehen bis zu 45 Mio. € bereit.

Das Fraunhofer IKTS ist als miteinreichende Einrichtung in der gesamten Breite des Geschäftsfeldes Wasser und auch über seine Strategie-Abteilung im ThWIC involviert.

In der ersten Förderperiode werden 22 Projekte gefördert, davon 10 mit direkter oder indirekter IKTS-Beteiligung. Sie reichen von Echtzeit-CSB-Sensorik und Membranen als technische Nieren über Oxidation und Kavitationsassisierte Ozonung sowie schaltbare keramische Adsorber bis hin zur künstlichen Intelligenz zur Vorhersage der Entfernbarkeit von Schadstoffen in technischen Prozessen. Besonderes Synergiepotenzial zeigen dabei die innovationsunterstützenden Maßnahmen des ThWIC im Bereich Nachhaltigkeit und Outreach. Durch diese konnte sich das Fraunhofer IKTS bereits vor Projektstart hervorragend in Öffentlichkeit, Industrie und Politik positionieren und seine Leistungsfähigkeit in der Wassertechnologie darstellen. Das IKTS erhält zudem Zugang zur datenwissenschaftlichen und soziologischen Forschung des ThWIC.

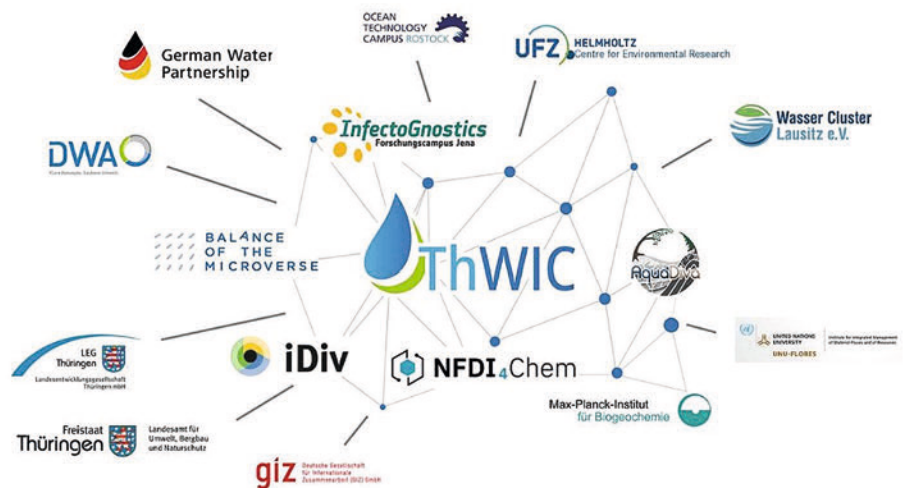
ThWIC zeigt eindrucksvoll das Potenzial für gemeinschaftliche Technologieentwicklung und Technologietransfer über alle Technologiereifegrade (Technology Readiness Level, TRL), das in der engen Zusammenarbeit zwischen den ansässigen Hochschulen und Universitäten, dem Fraunhofer IKTS und den zahlreichen

ansässigen Firmen liegt. Der Lehrstuhl für Technische Umweltchemie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena und die dort verankerte Arbeitsgruppe Advanced Water Technology von Dr. Patrick Bräutigam haben sich dazu in den letzten Jahren zu einem Dreh- und Angelpunkt der Wasserforschung entwickelt.

In zehn Jahren soll ThWIC eines der weltweit führenden Zentren für Wasserfragen sein: wegweisend in Technologie und Outreach, mit einem umfangreichen Datenangebot und einem leistungsstarken wissenschaftlichen und kommerziellen Angebot.



Automatisierter, robotergestützter Abbau und Analytik von Wasserschadstoffen.



Vernetzung des ThWIC mit anderen lokalen und nationalen Partnern.



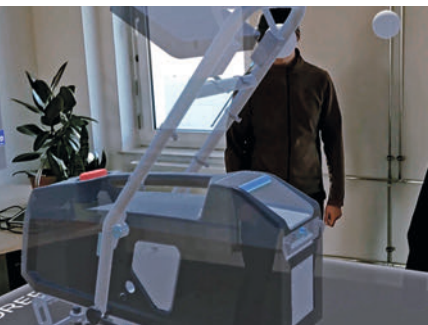
Augmented Reality – Multi-User-Anwendungen als erster Schritt zum Industrial Metaverse

Oliver von Kopp, Dr. Regina Koreng, Tobias Stüwe, Stephan Heilmann, Philipp Horn, Nico König, Viktor Schütz, Simona Simoni, Prof. Henning Heuer

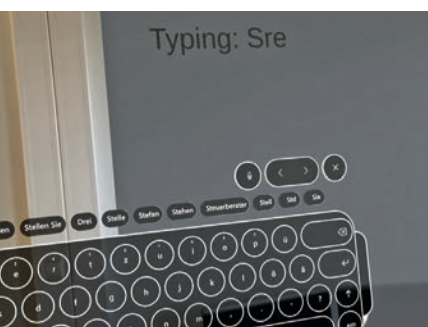
Virtuelles CAD-Modell des SoniQ Rail Explorer in der Datenbrille.



Darstellung von Mesh-Daten und die Überlagerung mit dem realen Prüfobjekt.



Multi-User-Anwendungen: Teilnehmende werden als Kugel dargestellt.



Eingabe in ein Textfeld per virtueller Tastatur.

Für eine interaktive Zusammenarbeit mit (inter-)nationalen Projektpartnern erarbeitet das Fraunhofer IKTS Lösungen, die die virtuelle Welt – ein Metaversum – mit einbeziehen. Ziel ist es, dass Projektpartner zusammen im Metaversum an Hardware- und Softwarelösungen arbeiten, die sich dann in die reale Welt übertragen lassen. Das Metaversum ist dabei nicht ein virtueller Abgleich der Realität, sondern ein aktiver Arbeitsplatz, in dem die benötigten Ressourcen und Geräte zur Verfügung gestellt werden.

Wichtig ist, dass in der virtuellen Welt die tatsächlichen Eigenschaften und Bedingungen von Geräten und Materialien simuliert werden. Dafür ist eine Verbindung zu realen Geräten vorstellbar. Aktuell wird für das Metaversum eine Multi-User-Anwendung entwickelt. Dieser erste Schritt befasst sich mit der virtuellen Zusammenarbeit durch Datenbrillen.

Mittels Multi-User-Anwendung gemeinsam agieren

Eine Multi-User-Anwendung erlaubt es, mit mehreren Personen gemeinsam in der virtuellen Umgebung zu agieren. Voraussetzung dafür ist, dass die Teilnehmenden die gleiche Szenenansicht haben. Die Nutzung einer Augmented-Reality-Datenbrille ermöglicht eine Überlagerung von virtuellen Informationen mit der Realität. Dank bestehender CAD-Daten können Modelle von Maschinen oder Geräten für die virtuelle Welt aufbereitet (Bild 1) und mit anwendungsfallspezifischen Animationen und Interaktionen erweitert werden. In Verbindung mit realen Komponenten sowie einer integrierten Gestensteuerung in der Datenbrille kann eine reale Handhabung in der virtuellen Umgebung simuliert werden. So lassen sich Prüfergebnisse lokal zugeordnet auf dreidimensionale Objekte projizieren (Bild 2).

Für die aktuelle Anwendung kann aber auch nur ein PC genutzt werden. Bild 3 zeigt, dass die Teilnehmenden in der virtuellen Umgebung mit einer Kugel dargestellt sind. Die Position richtet sich nach der Kameraposition des Endgeräts. Die Startposition dient zur Orientierung bzw. Positionierung im Raum während der gemeinsamen Nutzung. Diese ist in der Anwendung klar definiert und für alle Teilnehmenden identisch.

Für die aktuelle Version der Anwendung ist festgelegt, dass der erste Teilnehmende als Master die Hauptaktivitäten steuert. Objekte können per Gestensteuerung manipuliert und im Raum bewegt werden. Die Bedienung von Buttons ist für alle Teilnehmenden möglich. Damit können Zusatzinformationen aufgerufen und/oder Explorationsdarstellungen ausgewählt werden. Jede dieser Aktionen ist für alle anderen sichtbar und ermöglicht eine detaillierte Erläuterung oder Diskussion.

Kommunikation im Metaverse

Die Kommunikation in der virtuellen Umgebung wird momentan durch eine Chatfunktion ermöglicht. Die Teilnehmenden können zum einen mit der virtuellen Tastatur ein vordefiniertes Textfeld nutzen und Kommentare für die anderen hinterlassen (Bild 4). Zum anderen können Markierungen als 3D-Schrift oder Zeichen im Raum platziert werden. Nach der Multi-User-Anwendung folgen weitere iterative Schritte zum Metaversum. Untersucht werden soll, inwieweit Avatare entwickelt und welche Kommunikationswege gefunden werden müssen, um eine Zusammenarbeit natürlich wirken zu lassen. Weiterhin wird der Fokus immer stärker auf die Einbindung und Verbindung zwischen realen und virtuellen Geräten gelegt.

Neue Rohstoff- und Energieressourcen für eine grüne Industrie

PD Dr. Matthias Jahn, Prof. Martin Gräbner

Kohlenstoff ist ein zentraler Grundstoff unzähliger Produkte unseres täglichen Lebens. Bislang nutzt die Industrie dafür weitestgehend fossile Rohstoffquellen wie Erdöl, Erdgas oder Kohle. Hierbei werden sowohl während der Produktion dieser Grundstoffe als auch am Produktlebensende bei der Verbrennung große Mengen an CO₂ frei. Allein Deutschland verbrennt jährlich rund 47 Mio. Tonnen dieser kohlenstoffhaltigen Abfälle in thermischen Abfallbehandlungs- und Feuerungsanlagen. Durch exakt aufeinander abgestimmte Verfahrenskombinationen des chemischen Recyclings will das Fraunhofer IKTS mit seiner neuen Arbeitsgruppe »Kohlenstoff-Kreislauf-Technologien« zukünftig bis zu 100 % dieser Abfälle recyceln und für neue Produkte nutzbar machen. Somit wird Abfall zu einer wertvollen Rohstoffquelle beispielsweise für Grundstoffe in der chemischen Industrie.

Großtechnische Erprobung von chemischen Recyclingverfahren

Am neuen IKTS-Standort in Freiberg werden chemische Recyclingverfahren wie die Pyrolyse oder Gasifizierung optimiert und im großtechnischen Maßstab erprobt. Kunststoffe, die mechanisch nicht weiter recyclebar sind, Biomassen oder fossile Mischabfälle werden dabei in kleinere Moleküle zerlegt, so dass sie als Synthesegase, Monomere oder andere Zwischenprodukte in der chemischen Industrie wieder einsetzbar sind. Hierfür betreibt das IKTS eine Pyrolyseplattform sowie – in Kooperation mit der TU Bergakademie Freiberg – Anlagen zur Gasifizierung, um verschiedene Fragestellungen zu untersuchen: Welche Abfallfraktionen lassen sich in welche Art Grundstoffe überführen? Wie müssen die Prozesse gefahren werden, um Korrosion oder Anbackungen zu vermeiden oder eine bestimmte Reinheit der Produkte zu erreichen? Nicht weniger wichtig ist die Frage

der Wirtschaftlichkeit. So lassen sich für Industriepartner verschiedene Technologien anpassen, bewerten und in kundenspezifische Lösungen für die Schließung von Kohlenstoffkreisläufen übertragen.

Kombination von Kohlenstoff-Recycling und Power-to-X-Technologien

Diese Kompetenzen sollen in Zukunft erweitert werden. Dabei muss regenerativ erzeugter Strom die Basis aller Stoffwandlung bilden, der z. B. für die Herstellung grünen Wasserstoffs einbezogen wird. Werden die benannten Recyclingprozesse mit elektrochemischen Konversionsprozessen wie der Hochtemperatur-Elektrolyse, oder Syntheseprozessen wie der Fischer-Tropsch-Synthese kombiniert, können einerseits höherwertige Produkte wie synthetisches Kerosin hergestellt und andererseits hohe Wirkungsgrade erzielt werden.

Gesamtheitliche Betrachtung von Stoff-, Energie- und Wärmeströmen

Erst die Kopplung von Stoff-, Energie- und Wärmeströmen in Summe führt zu Verfahrenskonzepten, die einen deutlichen Mehrwert gegenüber bisherigen Ansätzen bieten. Das Fraunhofer IKTS hat langjährige Erfahrung mit Technologien zur Wasserstofferzeugung und -nutzung. Hier sind die Hochtemperatur-Elektrolyse und Fischer-Tropsch-Synthese entscheidende Schlüsseltechnologien. Mit der erweiterten Expertise im Bereich der Kohlenstoff-Kreislauf-Technologien sind wir nun in der Lage, neue Rohstoff- und Energieressourcen für eine grüne Industrie bereitzustellen.



Die Kohlenstoff-Kreislauf-Technologien ergänzen die Elektrolyse-, Wasserstoff- und Power-to-X-Technologien und erschließen nachhaltige Kohlenstoffquellen für die Kreislaufwirtschaft (Quelle: TU Bergakademie Freiberg).

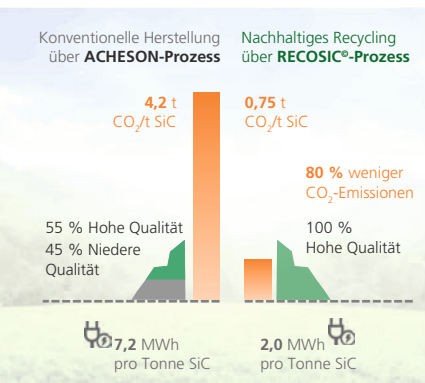


Mit der umfassenden Gaschromatographie-Massenspektrometrie werden komplexe Gemische organischer Verbindungen, wie z. B. synthetische Kraftstoffe oder Pyrolyseöle aus Kunststoffen, analysiert.

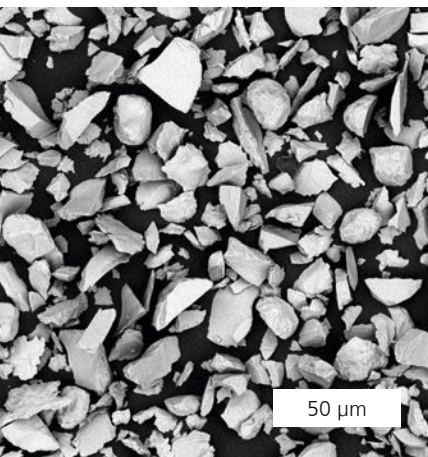


Das Upscaling der Pyrolyseprozesse erfolgt mit einem Pyrolysedrehrohr. Die flüssigen Produkte mit den wertvollen chemischen Verbindungen werden in einer Kondensationsanlage gewonnen.

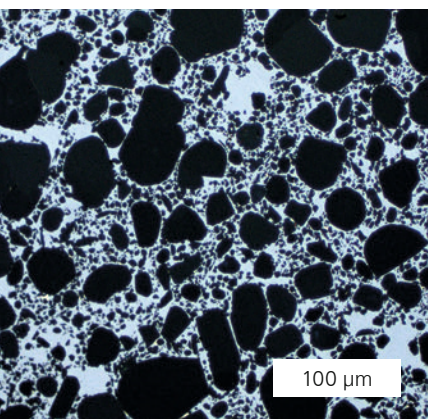
RECOSiC – Recycling von Siliciumcarbid



Energieverbrauch, CO₂-Footprint und Ausbeute der konventionellen SiC-Herstellung (links) im Vergleich zum RECOSiC-Prozess (rechts).



Beispiel eines zu konventionellem F600 identischen Schleifmittels RECOSiC E-ABRASIV F600 (Quelle: ESK-SiC GmbH).



Gefüge eines SiSiC-Werkstoffs aus einem abgerundeten RECOSiC-Spezialpulver.

Seit mehr als 100 Jahren wird Roh-Siliciumcarbid (SiC) im energieintensiven Acheson-Verfahren, der carbothermischen Reduktion von SiO₂ hergestellt; mittlerweile im Umfang von ca. 1 Mio. t/a weltweit. Dabei werden ca. 7,15 MWh an elektrischer Energie pro Tonne SiC benötigt. Gleichzeitig werden ca. 4,2 Tonnen CO₂ emittiert. 2,4 Tonnen dieser CO₂-Emissionen sind rein reaktionsbedingt, die restlichen 1,8 Tonnen CO₂ entstehen bei der Energieproduktion (europäischer Strommix). Da 70–80 % der Weltproduktion in China stattfindet, sind die Emissionen, weltweit gesehen, sogar noch deutlich höher. Sowohl bei der Herstellung des Rohmaterials als auch bei dessen Veredelung zu Spezialprodukten für die Keramik-, Feuerfest- und Schleifmittelindustrie fallen zudem große Mengen an minderwertigem Material an (Bild 1 links).

Hier setzt ein Forschungsteam der ESK-SiC GmbH und des Fraunhofer IKTS an. Mit dem von ihnen entwickelten und patentierten RECOSiC-Verfahren können minderwertige Rohmaterialien und Beiprodukte thermisch zu SiC-Pulver mit einem SiC-Gehalt von > 98 % und einer an die späteren Zielprodukte angepassten Korngrößenverteilung mit einer Ausbeute von nahezu 100 % umgewandelt werden. Die daraus entstehenden Wertstoffe werden nachfolgend den etablierten Pulveraufbereitungsverfahren unterzogen, so dass sämtliche Materialkennwerte nach dem Recyclingverfahren identisch oder verbessert im Vergleich zu marktgängigen Produkten sind (Bild 2). Der RECOSiC-Prozess verbessert deutlich die CO₂-Bilanz der SiC-Herstellung: Beim stofflichen Recycling einer Tonne SiC wird weniger als eine Tonne CO₂ emittiert. Zusätzlich fällt die Rohstoffbilanz sehr viel besser aus, da fast vollständig auf den Einsatz von Primärrohstoffen verzichtet werden kann (Bild 1 rechts).

Durch die zielgerichtete RECOSiC-Prozessführung können Korngröße, Kornform, Dotierung und Polytypengehalt auf das spätere Endprodukt zugeschnitten werden, so dass die Ausbeute an Spezialprodukten im Vergleich zu konventionellen Prozessen nochmals deutlich verbessert ist. Zum Teil können sogar Eigenschaften (z. B. Kornformen) erzielt werden, die bisher nicht möglich waren. Für die Herstellung von SiC-Keramik ergeben sich dadurch neue Optionen der Prozess- und Eigenschaftsoptimierung, z. B. für korrosionsstabilere Feuerfestprodukte oder die additive Fertigung (Bild 3).

Am Fraunhofer IKTS steht eine erste RECOSiC-Versuchsanlage mit einer Kapazität von einigen Tonnen pro Jahr. Die ESK-SiC GmbH plant derzeit eine erste Linie mit einer Kapazität von 12 000 t/a, die in der ersten Jahreshälfte 2024 stufenweise in Betrieb gehen soll. Weitere Ausbaustufen sind bereits in Planung.

Für die Zukunft kann erwartet werden, dass auch Abfälle der SiC-Keramikindustrie (z. B. Grünware, Sinterschrott) in den RECOSiC-Prozess eingeschleust werden können. Eine entsprechende Erfassungslogistik vorausgesetzt, könnten sogar ausgewählte SiC-Produkte nach End of Life einer echten Kreislaufwirtschaft zugeführt werden.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Untersuchungen zur Recyclingfähigkeit von SiC-Abfallstoffen
- Optimierung von SiC-Materialien für spezifische Anwendungen

Hochwärmeleitfähige Siliciumnitrid-Keramik für die Leistungselektronik

Dr. Eveline Zschippang, M.Sc. Lea Schmidtner, Dr. Mathias Herrmann

Siliciumnitrid (Si_3N_4)-Werkstoffe zeichnen sich durch exzellente mechanische und tribologische Eigenschaften selbst bei hohen Temperaturen aus. Darüber hinaus kann durch Anpassung der Zusammensetzung und Mikrostruktur die Wärmeleitfähigkeit von Si_3N_4 auf bis $100 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ eingestellt werden. Diese Kombination aus hoher Festigkeit und guter Wärmeleitfähigkeit ist unikal und führt zu einer sehr hohen Thermozyklenbeständigkeit und Lebensdauer von Si_3N_4 -basierten Substraten. Diese Eigenschaften verbunden mit dem hohen elektrischen Widerstand und der Spannungsfestigkeit des Werkstoffs nutzt das Fraunhofer IKTS im BMWK-Projekt CuSiN (FKZ: 3ETE025) für die Entwicklung aktiv-gelöteter Kupfer-Siliciumnitrid-Verbunde (active metal brazed-Substrate, AMB) für den Einsatz als zuverlässige Schaltungsverträge in der Leistungselektronik.

Im Rahmen einer Werkstoffanpassung im Labormaßstab wurden der Einfluss von Art und Menge der oxidischen Additive sowie der Si_3N_4 -Pulverqualitäten untersucht. Aus kostengünstigen Si_3N_4 -Pulvern mit niedrigem Sauerstoffgehalt und verringerten Aluminiumverunreinigungen konnten Werkstoffe mit Wärmeleitfähigkeiten von $> 90 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ realisiert werden. Die im Labormaßstab entwickelte Granulatzusammensetzung wurde in den kleintechnischen Maßstab (10 kg Skalierung) überführt. Aus den gut-pressfähigen Granulaten wurden über uniaxiales oder kalisostatisches Pressen Blöcke mit den Abmessungen $320 \times 230 \times 45 \text{ mm}$ bzw. $265 \times 195 \times 60 \text{ mm}$ hergestellt. Beim Sintern großer Blöcke müssen Temperaturgradienten beim Aufheizen und Abkühlen berücksichtigt werden. Mittels Modellierung konnten kritische Spannungen während des Sinterprozesses abgeschätzt und die Sinterpraxis optimiert werden. Aus den gesinterten Blöcken stellte das Fraunhofer CSP in Halle

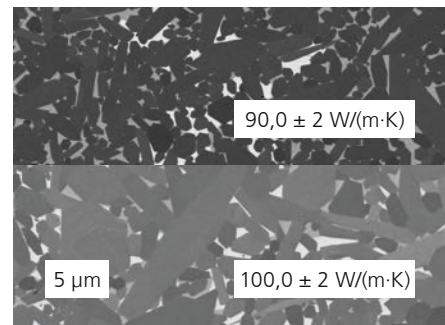
über Violdrahtsägen $7,5 \times 5,5$ Zoll-Substrate her. Die erzielten Substrate mit niedriger Rauheit und hoher Ebenheit bedürfen keiner mechanischen Nachbearbeitung der Substratoberfläche für die nachfolgende Metallisierung. Zudem ist die Substratdicke von beispielsweise $320 \mu\text{m}$ bis zu $100\text{--}150 \mu\text{m}$ zielgenau einstellbar.

Neben der entwickelten AMB-Technologie qualifizierte das Forschungsteam auch Methoden für die Charakterisierung der Substrate hinsichtlich der Gefüge, der thermischen, mechanischen, elektrischen und dielektrischen Eigenschaften (Steinborn et al., S. 62 und Gnauck et al. S. 59).

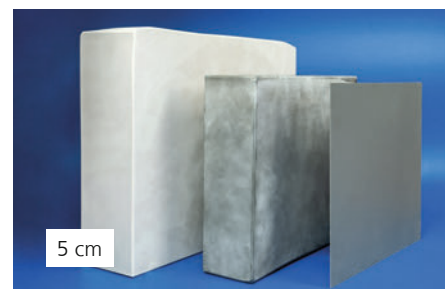
Durch weitere Optimierung des Werkstoffs und des Sinterregimes sind Wärmeleitfähigkeiten $> 100 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ realisierbar.

Leistungs- und Kooperationsangebot

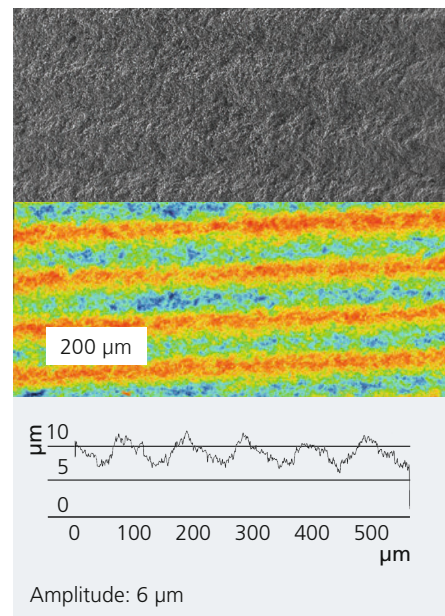
- Entwicklung von Nitridwerkstoffen mit applikationsoptimierten Eigenschaften
- Charakterisierung von Substraten hinsichtlich mechanischer, thermischer und elektrischer Eigenschaften



Gefüge einer Si_3N_4 -Keramik vor (oben) und nach (unten) der Sinteroptimierung.



Grün- und Sinterkörper aus Si_3N_4 sowie daraus über Drahtsägen am Fraunhofer CSP hergestelltes Substrat mit einer Dicke von $320 \mu\text{m}$.



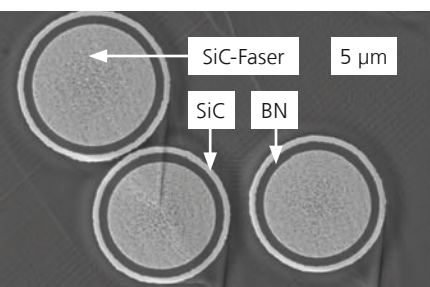
Laserscanning-Mikroskop- und FESEM-Aufnahme der gesägten Si_3N_4 -Oberfläche.



Rolle-zu-Rolle-CVD-Beschichtungsanlage für die kontinuierliche Faserbeschichtung.



Wickelwerk mit beschichtetem, aufgewickeltem Faser-Roving.



REM-Aufnahme einer Doppelschicht aus SiC und BN auf einer SiC-Faser.

Kontinuierliche Faserbeschichtung für Kompositwerkstoffe

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

Faserverstärkte Kompositwerkstoffe werden aufgrund ihrer vielfältigen Eigenschaften und variablen Gestaltungsmöglichkeiten in vielen Bereichen der Industrie verwendet. Dabei erfüllen die Fasern je nach Anwendungsfall unterschiedliche Funktionen. Unabhängig von der Art der Composite entscheidet das Faser-Matrix-Interface über die Komposit-Eigenschaften. Definierte Faser-Beschichtungen eröffnen dabei vielfältige Möglichkeiten der Eigenschafts- und damit Funktionseinstellung. So kann durch Beschichtung der Fasern die Stärke der Anbindung an das Matrixmaterial variiert und ein Schutz vor chemischen Wechselwirkungen bei der Infiltration mit dem Matrixmaterial erreicht werden. Bei der Kombination von Endlosfasern, z. B. aus Glas oder Kohlenstoff, mit einer duktilen Matrix aus Kunststoffen oder Metallen wird hauptsächlich das Ziel verfolgt, die Festigkeit und Steifigkeit dieser Werkstoffe zu verbessern. Im Fokus der Forschung am Fraunhofer IKTS stehen demgegenüber keramische Faserverbundwerkstoffe mit hoher Bruchzähigkeit und Schadenstoleranz.

Hierfür wurde am IKTS eine Beschichtungsanlage für die chemische Gasphasenabscheidung (CVD) aufgebaut, mit der vielfältige Schichttechnologien und Schichtvarianten bei Verwendung eines 2-Kammer-Reaktorsystems im Rolle-zu-Rolle-Prozess realisierbar sind (Bild 1 und 2). Beide CVD-Beschichtungskammern können unabhängig voneinander mit variablen Precursoren bis zu Beschichtungstemperaturen von 1100 °C und Abscheidungsdrücken bis 100 mbar im CVD-Prozess betrieben werden. Während der Beschichtung wird ein Faser-Roving, bestehend aus vielen Einzelfilamenten, kontinuierlich durch die zwei Beschichtungskammern gezogen.

CVD-Beschichtung für Fasern in keramischen Kompositwerkstoffen

Bei keramischen Kompositwerkstoffen (CMC, ceramic matrix composites), die z. B. als Leichtbauwerkstoff oder in Hochtemperaturprozessen Anwendung finden, werden Faserbeschichtungen benötigt, die neben einem zuverlässigen Oxidations- und Korrosionsschutz der Fasern vor allem ein schadenstolerantes Verhalten des Komposits gewährleisten. Durch die Faserverstärkung kann das für keramische Werkstoffe oft typische spröde Materialverhalten via Rissablenkung und Faser-Pull-out vermieden werden. Für nichtoxidische Composite haben sich Schichten aus Bornitrid auf Grund der hexagonalen Schichtstruktur (h-BN) und der daraus resultierenden günstigen Abgleitbedingungen beim Pull-out durchgesetzt. Diese Schichten besitzen jedoch keine ausreichende Hochtemperaturstabilität (Oxidationsbeständigkeit bei Temperaturen > 1000 °C) an Luft. Aus diesem Grund wurden am Fraunhofer IKTS Doppelschichten entwickelt, die aus einer h-BN-Schicht mit einer darüberliegenden schützenden Schicht aus Siliciumcarbid (SiC) bestehen (Bild 3). Diese Doppelschichten können in der Rolle-zu-Rolle-Faserbeschichtungsanlage während eines Durchgangs nacheinander in zwei Beschichtungskammern aufgebracht werden. Ausdrucksversuche an Einzelfasern (single fiber push out tests) zeigen die gewünschte schwache Anbindung der beschichteten Fasern an das Matrix-Material.

Gelcasting für variabel geformte Keramiken

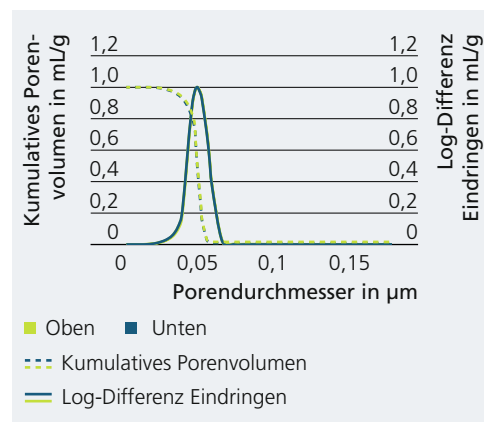
Dr. Stefanie Hildebrandt, Uwe Schindler, Dipl.-Ing. (FH) Sylvia Golbs, Ines Thiel, Dipl.-Ing. Thomas Hutzler

Gelcasting erlaubt die Herstellung dichter keramischer Bauteile in unterschiedlichsten Geometrien in hoher Qualität und mit wenigen Defekten. Formunabhängig können so homogene Grünkörper mit 50–60 % Grunddicke und einer engen Porengrößenverteilung erzeugt werden (Graphik). Voraussetzung für das Gelcasting ist eine stabile Suspension mit hohem Feststoffgehalt und hoher Homogenität. Erreicht wird dies über eine angepasste Pulver-Additiv-Kombination und Pulveraufbereitung. Der Suspension wird zudem ein geeignetes Monomersystem zugesetzt, das um die Partikel vernetzt und das Lösungsmittel absorbiert. In Formen gegossen, konsolidiert die Suspension durch radikalische Polymerisation. Anschließend wird der »Gelkörper« entformt und langsam getrocknet, um Risse zu vermeiden. Nach dem Trocknen erfolgt die Wärmebehandlung. Zunächst wird der organische Anteil ausgebrannt. Mit anschließendem drucklosen Sintern ist eine theoretische Dichte bis zu 99,5 % und mit druckunterstütztem Sintern bis zu 100 % einstellbar.

Geometrievielfalt über einmaliges oder schichtweises Gießen

Am Fraunhofer IKTS gibt es ein umfangreiches Know-how zu geeigneten Suspensionseigenschaften und Formen für das Gelcasting. Damit lassen sich keramische Bauteile gießen, die nach dem Sintern wenig nachbearbeitet werden müssen (Bild 1). Unter Einbezug der Schwindung können so Formen endkonturnah konstruiert werden. Es lässt sich eine Vielzahl von Geometrien herstellen, wie z. B. Halbschalen, scharfe Kanten und Winkel (Bild 2–3) sowie flachwandige Bauteile. Durch Anpassung des Polymerisationsprozesses ist es auch möglich, einen additiven schichtweisen Gelcasting-Prozess durchzuführen und Dotierungs-

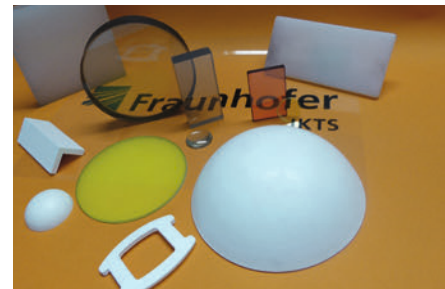
unterschiede einzuführen. Über die Konzentrationserhöhung von Pigmenten oder Dotanten sind so z. B. individuell gestaltete Farbverläufe realisierbar. Diese spezielle Gelcasting-Technik eignet sich sowohl für die Herstellung von opaken als auch von transparenten Keramiken. In Bild 4 ist ein Beispiel für ein alternierend Co-dotiertes $MgAl_2O_4$ dargestellt. Erforderlich für den schichtweisen Gelcasting-Prozess ist eine starke Verbindung zwischen den einzelnen Schichten, realisiert durch eine angepasste Prozessführung.



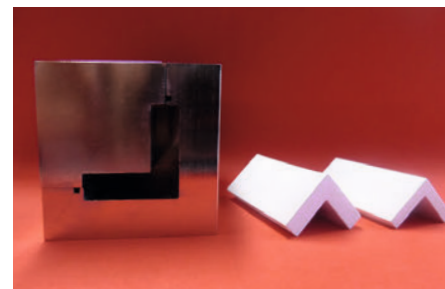
Ergebnis der Hg-Pososimetrie an zylinderförmigen Grünkörpern an verschiedenen Bereichen des Keramikkörpers (oberes und unteres Teilstück, sehr homogene Verteilung).

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Suspensionsentwicklung für verschiedene Rohstoffe zur Anwendung in flüssiger Formgebung
- Prozessoptimierung für endformnahe Geometrien von hochdichten (opaken und transparenten) Keramiken
- Entwicklung von hochdichten Keramiken mit Eigenschaftsgradienten



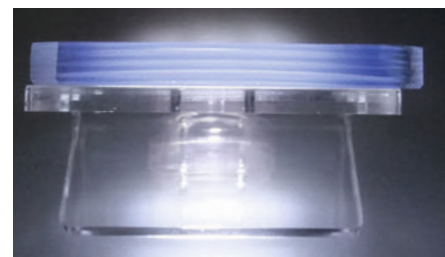
Unterschiedliche mit Gelcasting erzeugte Geometrien.



Endformnahe Formgebung: Form (links), Keramik nach dem Sintern (mitte) und nach der Hartbearbeitung (rechts).



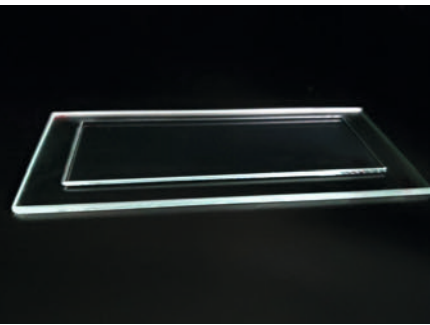
Komplexe gekrümmte $MgAl_2O_4$ -Keramik mit unterschiedlichen Wandstärken (links) und Al_2O_3 -Keramik (rechts).



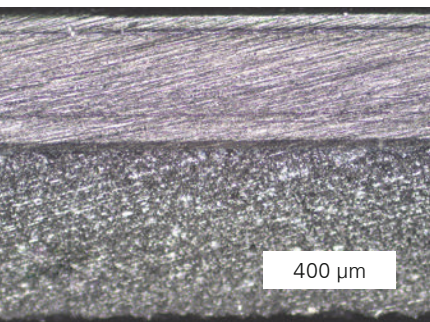
Multilagen-Gelcasting von transparenter Keramik ($MgAl_2O_4$) mit alternierender Dotierung mit und ohne Cobalt.

Defektfreies Fügen von Verbunden mit Transparentkeramik

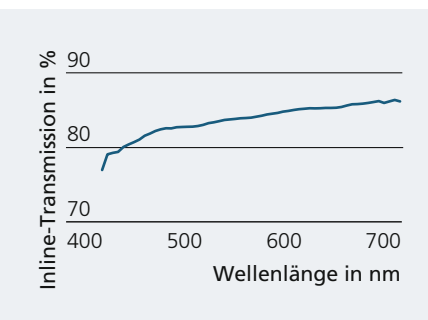
B. Eng. Thomas Grau, Dipl.-Chem. Ralph Schubert



Acrylat-gefügter Verbund aus transparenter Spinellkeramik (oben) und Borofloatglas.



Fügespalt eines Acrylat-gefügten Verbundes aus transparenter Spinellkeramik (oben) und PET.



Transmissionsspektrum einer transparenten Spinellkeramik (Plattendicke 10 mm).

Transparente Spinellkeramiken stellen im Bereich moderner Oberflächenanwendungen eine verschleißfeste und korrosionsbeständige Alternative zu kommerziell verbreiteten Materialien wie Polycarbonat und gehärtetem oder ungehärtetem Glas dar. Dabei weisen sie auch bei ihrer polykristallinen Gefügestruktur eine vergleichbare optische Transparenz im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes auf. Für verschiedene Anwendungen wie optische Scanner, Telefondisplays oder optische Sensoren ist eine Lamination der Spinellkeramik mit einer funktionellen Komponente in optischer Qualität erforderlich. Dafür wurden Technologien zur Lamination von Transparentkeramiken mit Dicken im Bereich von 0,2 bis 5 mm mit Glas wie z. B. Borofloatglas bzw. Kunststoffen wie z. B. PET oder PVC mit Hilfe von Acrylat- und Epoxidklebstoffen entwickelt. Zur Vermeidung von Staubeinschlüssen werden die Laminationen in teilgeschlossenen Glasboxen unter Zufuhr von gefilterter Luft mit geringem Überdruck in einem besonders isolierten Reinraum durchgeführt.

Der technologische Ablauf setzt sich aus folgenden Schritten zusammen: Für eine Reinigung und Aktivierung der zu fügenden Oberflächen ist die Behandlung aller Komponenten in einem Sauerstoff-Mikrowellenplasma erforderlich. In Abhängigkeit von der chemischen Stabilität der Materialien kommen weitere Reinigungsschritte wie eine Behandlung im Ultraschall-Wasserbad und mit organischen Lösemitteln vor der Plasmabehandlung zum Einsatz.

Im nächsten Prozessschritt werden die jeweiligen Klebstoffe mit einem Dispenser aufgetragen. Dabei werden definierte, von der zu fügenden Oberflächengröße abhängige Auftragsmuster verwendet, die eine vollständige und blasenfreie Benetzung ohne Klebstoff-

übertritte an den Rändern des Laminataufbaus ermöglichen. Systematische Untersuchungen ergaben, dass die geringsten Fehlerraten und besten Reproduzierbarkeiten mit Fügeschichtdicken im Bereich von 50 bis 100 µm erreicht werden können.

Nach dem Klebstoffauftrag wurden die zu fügenden Komponenten bisher manuell zusammengesetzt. Dieser Prozessschritt birgt jedoch das Risiko einer ungleichmäßigen Klebstoffverteilung und die Gefahr des Einschlusses von Blasen im Fügespalt. Für eine fehlerfreie und reproduzierbare Lamination ist die Entwicklung eines Anlagenkonzepts zur maschinellen Lamination von Systemen verschiedener Größen und der Bau einer Laboranlage geplant.

Im abschließenden Technologieschritt muss der Klebstoff aushärten. Bei der Verwendung des Acrylatklebstoffs erfolgt dies durch eine UV-Lichtbestrahlung. Bei der Verwendung von Zweikomponenten-Epoxidharzen ist beim Fügen mit Kunststoffen eine Aushärtung bei Raumtemperatur einer thermischen Aushärtung bei 60 bis 80 °C vorzuziehen, um einen Verzug der Verbunde zu vermeiden.

Vorteilhafte applikationsspezifische Eigenschaften wie hohe Haft- und Biegebruchfestigkeiten von Verbunden mit Transparentkeramik wurden bei Untersuchungen gemäß entsprechender Prüfnormen nachgewiesen.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erfolgten in Kooperation mit dem Fachbereich Werkstofftechnik der Ernst-Abbe-Hochschule Jena.

CerAMfactoring: Multimaterialbauteile aus leitfähigem und isolierendem Si_3N_4 -SiC-MoSi₂

Dipl.-Ing. Steven Weingarten, Dipl.-Ing. Johannes Abel, B. Eng. Lisa Gottlieb, Justin Ziener, B. Eng. Maria Reichel, Dipl.-Ing. Robert Johne, Dr. Eveline Zschippang, Dr. Uwe Scheithauer, Dr. Tassilo Moritz

Additive Fertigung funktionaler Bauteile

Um den immer höheren Anforderungen an die Funktionalisierung und Miniaturisierung von Bauteilen gerecht zu werden, ist es notwendig, verschiedene Werkstoffe in Bauteilen mit hochkomplexen Geometrien zu kombinieren. Additive Fertigungstechnologien (AM) erlauben hierbei erstmals Eigenschaftskombinationen wie dicht/porös oder elektrisch bzw. thermisch leitend und isolierend in einem Bauteil. Für die Herstellung von Multimaterialbauteilen eignen sich besonders AM-Technologien auf Basis thermoplastischer Bindersysteme, bei denen die Werkstoffe nur an den Stellen aufgebracht werden, an denen sie benötigt werden. Diese AM-Technologien bieten zudem die Möglichkeit, ein nahezu unbegrenztes Materialportfolio zu verarbeiten.

Elektrisch leitende und isolierende Eigenschaften in einem Bauteil

Elektrisch leitfähiges Siliciumnitrid ist eine hochtemperaturstabile Mischkeramik. Sie besteht aus Siliciumnitrid (Si_3N_4), einer oxidischen Korngrenzenphase sowie einer oder mehreren elektrisch leitfähigen Komponenten, z. B. TiN, SiC oder verschiedene Metallsilicide. Bereits durch eine geringe Änderung der Zusammensetzung kann ein leitfähiger oder ein nichtleitfähiger Werkstoff hergestellt werden. Durch Kombination von elektrisch leitfähigem und nichtleitfähigem Si_3N_4 -SiC-MoSi₂ können komplexe hochtemperaturgeeignete keramische Sensoren, Heizer und Zünder in nur einem Herstellungsschritt additiv gefertigt werden, die bei Temperaturen bis über 1000 °C einsetzbar sind (Bilder 1–3). Am Fraunhofer IKTS stehen hierfür verschiedene AM-Technologien zur Verfügung.

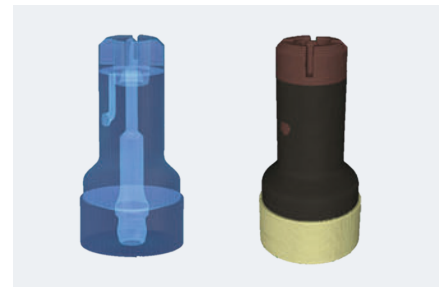
Verfahrensvielfalt am Fraunhofer IKTS

Multi Material Jetting (CerAM MMJ) ist ein am Fraunhofer IKTS entwickeltes tropfenbasiertes Verfahren, mit dem Bauteile aus einem oder mehreren Werkstoffen gleichzeitig durch Verschmelzen von thermoplastischen Einzeltropfen, direkt nach der selektiven Ablage, hergestellt werden können. Die CerAM MMJ-Technologie wird derzeit im Rahmen eines Exist-Forschungstransferprojekts (03EFQSN180) des BMWK in Form einer IKTS-Ausgründung kommerzialisiert. Die Ausgründung wird unter dem Namen AMAREA Technology GmbH als Systemanbieter für MMJ-3D-Drucker und den zugehörigen Druckmaterialien sowie Service-Dienstleistungen ab 2023 auf dem Markt auftreten.

Bei der *Fused Filament Fabrication* (CerAM FFF) werden homogene, hochgefüllte Endlosfilamente aufgeschmolzen und linienbasiert abgelegt. Das Fraunhofer IKTS entwickelt kundenspezifische Endlosfilamente mit der Partikelfüllung verschiedenster keramischer Sinterwerkstoffe. Die vorhandene Anlagentechnik verfügt über einen Dual-Druckkopf und bietet somit ebenfalls die Möglichkeit mehrkomponentige, funktionale Bauteile zu fertigen (Bild 3).

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Bauteilentwicklung (Design und Fertigung) auf Basis verschiedener AM-Verfahren und Werkstoffe
- Filamententwicklung und -vertrieb für CerAM FFF



CAD von einem keramischen Zünder für Aerospike-Triebwerke.



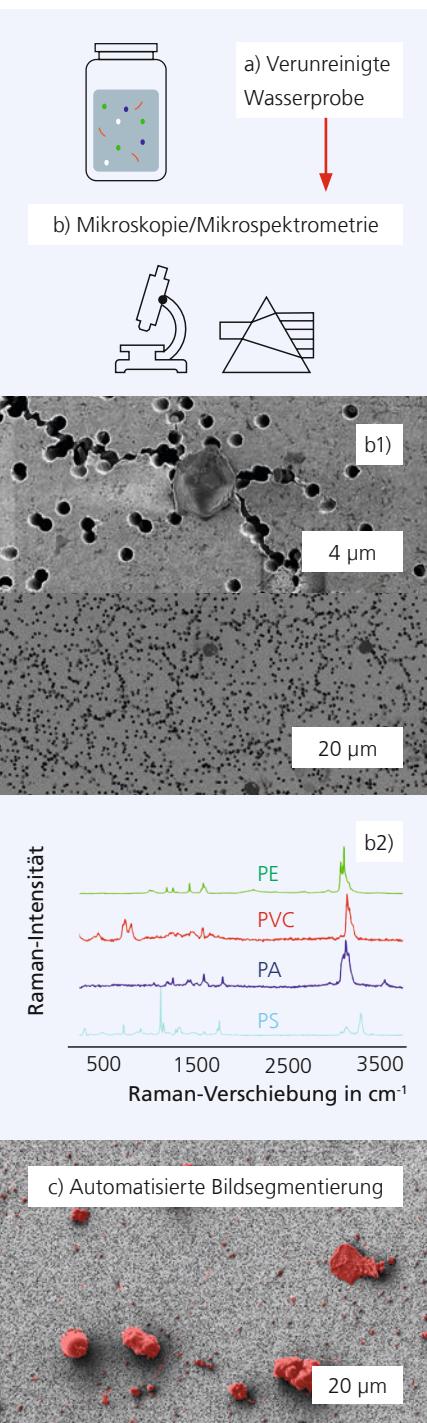
Mit CerAM MMJ gedruckter keramischer Zünder: co-gesintert (links); im Betrieb (rechts).



Mit CerAM FFF gedruckter keramischer Heizer im Betrieb (Partner: PolyMerge GmbH, 3D Ceram Sinto Tiwari).

Hochaufgelöste mikro- und spektroskopische Methoden für die Wasseranalyse

Dr. George Sarau, Dr. Sabrina Pechmann, Prof. Silke Christiansen



Workflow zur Wasseranalyse von der Probenentnahme (a) über das Filtern (b1) und die mikroskopische (b1) und spektroskopische Analyse (b2) inklusive der automatisierten Bilderkennung mit Methoden des maschinellen Lernens (c).

Mit Mikroplastik verunreinigtes Wasser ist zur weltweiten Gesundheitsgefährdung geworden. Makroskopische Plastikteile verwittern in der Umwelt zu Mikro- und Nano-Partikeln (MNPs), die über Pflanzen und Tiere in unsere Nahrungskette gelangen. Um das Ausmaß dieser Gefährdung zu überwachen, braucht es standardisierte, hochauflösende, reproduzierbare, artefaktfreie und idealerweise automatisierte mikroskopische und spektroskopische Methoden (Bild a, b) inklusive entsprechender Probenpräparation.

Am Fraunhofer IKTS sind diese Methoden multimodal und skalenübergreifend etabliert. In einer internationalen »Round-Robin-Studie« mit 22 Laboratorien unter Leitung des Southern California Water Research Project (SCCWRP) hat das IKTS seine Methodik erfolgreich validiert [1]. Wesentlich dafür ist die automatisierte Auswertung der Plastik-MNPs, z. B. in Bildern der Rasterelektronenmikroskopie mit Hilfe des Trainings eines U-Nets zur automatisierten Partikelerkennung [2,3] (Bild c). Ob es sich dabei um Plastik-MNPs oder andere Arten von Partikeln (anorganisch, organisch) handelt, muss durch zusätzliches molekulares »Fingerprinting«, z. B. mit Raman-Spektroskopie oder Infrarotspektroskopie (FTIR) abgesichert werden. So können auch diverse Polymertypen (PE, PS, PA, PVC, PET u. a.) unterschieden werden. Mit Hilfe der nanoGPS-Technologie [4] kann hochauflösende Mikroskopie (Bild b1) und Spektrometrie (Bild b2) mit einer lateralen Auflösung von ~10 µm (FTIR) bzw. ~1 µm (Raman) an identischen Partikeln durchgeführt werden. Der am Fraunhofer IKTS etablierte analytische Workflow umfasst eine Vorschrift zur Wasserfiltration in Laminar-Flowboxen mit Sieben mit Maschenweiten von Makro bis Nano. Anschließend folgt die Lichtmikroskopie für die schnelle Aufnahme ganzer Filter und die automatisierte Zählung und Klassifizierung der bis zu ~1 µm großen Partikel sowie die Datenkorrelation mit sub-1µm-Auflösung.

Der spektrale Abgleich mit standardisierten Referenzbibliotheken (kommerziell/Open Source) ermöglicht die zuverlässige Zuordnung gemessener Partikel.

Empfehlungen für Analysen

Mittels optischer Spektroskopie (Infrarotspektroskopie FTIR) und Raman-Spektroskopie (Bild b1) können Partikel bis ~1 µm bei Messzeiten von < 3 min pro Partikel automatisiert aufgenommen werden. Workflows zur Analyse von Plastik-MNPs sind auch in komplexen Matrices wie Geweben am IKTS etabliert.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Standardisiertes Wassermonitoring und hochauflösende mikroskopische und spektroskopische Charakterisierung von Plastik-MNP-Rückständen
- Entwicklung kundenspezifischer präparativer und analytischer Workflows zur Plastik-MNP-Diagnostik in Wasserproben und komplexen Matrices, wie z. B. Geweben
- Automatisierte Segmentierung von Plastik-MNPs mit Hilfe des maschinellen Lernens

Literatur

- [1] H. De Frond, G. Sarau, ..., S. Christiansen, Chemosphere, 137300 (2022).
- [2] Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In: Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28.
- [3] L. Mill, ..., S. Christiansen, Small methods 5, 2100223 (2021).
- [4] G. Sarau, ... S. Christiansen, Appl. Spectrosc. 000370282091625 (2020).

Kunststoffverwitterung unter realen Bedingungen an Flussmündungen

**Dr. Annegret Potthoff, Dr. Kathrin Baumgarten,
Dipl.-Ing. Johanna Sonnenberg**

Plastikeintrag ins Meer reduzieren

Der Eintrag von Plastikmüll aus dem Landesinneren über Flüsse ins Meer ist in vielen Regionen die Hauptursache für zunehmende Plastikkonzentrationen in den Weltmeeren. Sollten andere Maßnahmen zur Vermeidung der Plastikemission nicht greifen, bietet die Abtrennung von Makroplastik vor der Flussmündung einen Ansatz zur Reduzierung des Kunststoffeintrags.

Zur Auslegung solcher Reinigungsanlagen muss die Plastikfracht quantifiziert werden. Zudem muss bekannt sein, wie sich die Plastikpartikel auf der Wasseroberfläche, im Wasserkörper und im Sediment verteilen. Partikelgröße, -form und -dichte sind hierfür die bestimmenden Parameter.

Zeitabhängige Eigenschaften der Kunststoffe

Während des Transports von der Eintragsquelle hin zur Flussmündung unterliegt der Plastikmüll stetigen Veränderungen, die z. B. bei der Modellierung berücksichtigt werden müssen: Die mechanische Energie des Wassers und der Kontakt mit dem Sediment beschleunigen den Zerfall von Makro- in Mikroplastik. Das Aufwachsen von Biofilm beeinflusst u. a. die Dichte. So kann ein Kunststoff, der ursprünglich an der Wasseroberfläche treibt, durch den Biofilmbewuchs absinken. Bisherige Untersuchungen zur Biofilmbildung fokussierten auf die (spezifische) Zusammensetzung des Biofilms, nicht auf die Kinetik der Massezunahme.

Biofilmaufwuchs quantifizieren

Um diese Lücke zu schließen, untersucht das Fraunhofer IKTS in Rostock das Verhalten von Plastik in Gewässern unter realen und

permanent überwachten Bedingungen. Kunststoffplatten wurden in der Warnow nahe der Flussmündung fixiert und die Veränderung von Oberfläche und Bulk des Materials in regelmäßigen Abständen charakterisiert. Parallel wurden Temperatur, pH-Wert, Salinität sowie weitere Parameter des Wasser gemonitort.

Fallstudie Polyethylenterephthalat

Als typischer Kunststoff, der z. B. in Form von Flaschen als Müll in Flüsse eingetragen wird, wurde Polyethylenterephthalat (PET) im Winter sowie im Sommer jeweils für 8 Wochen ausgelagert. Dabei wurden die Proben in unterschiedlichen Wassertiefen befestigt, um die Sonneneinstrahlung zu variieren. Neben der Massezunahme durch Biofilmaufwuchs wurden veränderte Polymereigenschaften mit Hilfe von spektroskopischen Verfahren sowie Kontaktwinkelmessungen analysiert. Im Sommer wurde im Vergleich zum Winter eine 50-fache Massezunahme nachgewiesen, wobei der Biofilmaufwuchs oberflächennah stärker war als in Sedimentnähe.

Mit der verfügbaren Versuchsanordnung können Kunststoffe und andere Materialien unter realen und ständig überwachten Bedingungen auf ihre Beständigkeit untersucht werden.

Wir danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz BMWK für die Projektförderung von »DeMARC« (FKZ: 03SX556B).

Geteilt durch:

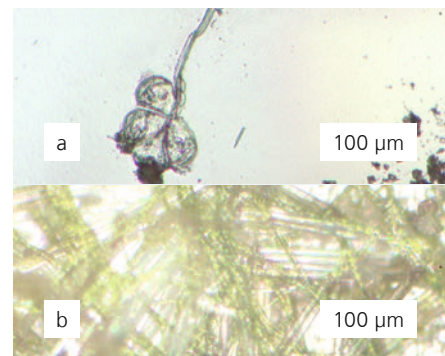
 Bundesministerium
 für Wirtschaft
 und Klimaschutz
 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages



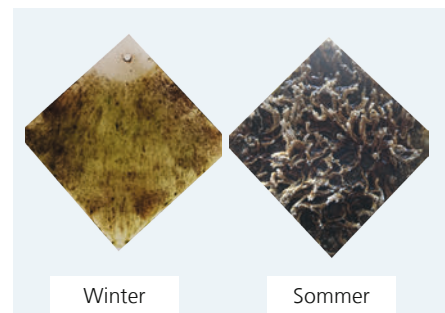
Unterwasserroboter für die Foto-Dokumentation
(Quelle: Fraunhofer IGD).



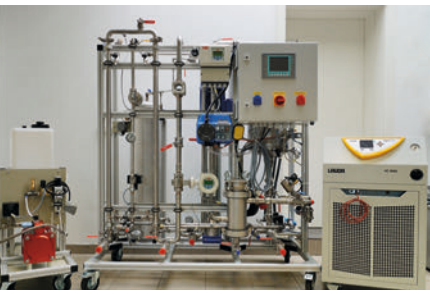
Probenhalterung am Beginn der Auslagerung.



Mikroskopaufnahme des Biofilms im Winter nach zwei (a) und acht Wochen (b) nahe der Wasseroberfläche.



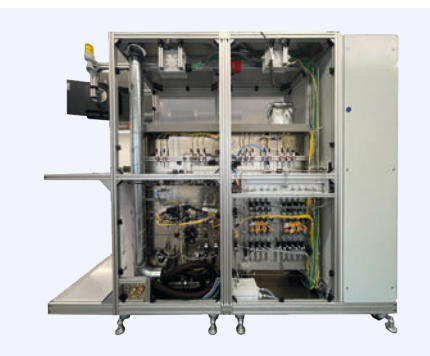
PET-Proben nach 8 Wochen nahe der Wasseroberfläche (Winter/Sommer).



Feldversuchsanlage des IKTS.



Gasseparationsanlage, entwickelt für einen externen Kunden.



Multifunktionales Gasphasenmodul (Betrieb bis 650 °C), entwickelt für einen externen Kunden – im Aufbau.

CE-konforme Membranfiltrationsanlagen für die angewandte Forschung

Dipl.-Umweltwiss. Christian Pflieger, Dr. Marcus Weyd

In der angewandten Forschung ist es unbedingt notwendig, Geräte und Anlagen zu entwickeln, zu bauen und diese auch selbst zu betreiben. Das Fraunhofer IKTS setzt dabei anspruchsvolle technische Lösungen um, die über Standardlösungen hinausgehen. Hier besteht die Herausforderung, den bestehenden gesetzlichen Regeln für die Produkt- und Betriebssicherheit gerecht zu werden.

Rechtlicher Hintergrund

Werden Geräte und Anlagen für den Eigenbedarf und zum Einsatz in einem Forschungsprojekt entwickelt und gebaut, so gilt der Erbauer zunächst als Hersteller. Betrachtet man den rechtlichen Rahmen, so gilt hier das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) und dessen Verordnungen. Als Hersteller muss der Forschende laut Maschinenverordnung (9. ProdSV) die sogenannte Konformitätsverantwortung übernehmen. Werden diese Anlagen betrieben, so sind das Arbeitsschutzgesetz und die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) zu beachten.

Konsequenzen für die Forschenden

Forschungsvorhaben und entsprechende Anlagenentwicklungen finden meist kontinuierlich und über einen längeren Zeitraum statt. Die Sicherheit des Forschungsbetriebs wird zu jeder Zeit nach den Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften bzw. durch Beachtung der Betriebssicherheitsverordnung gewährleistet. Eine Konformitätserklärung im Sinne des ProdSG ist deshalb zunächst nicht erforderlich. Wird die entwickelte Anlagentechnik jedoch für Routineaufgaben verwendet bzw. spätestens nach drei Jahren im Forschungsbetrieb oder bei Übergabe an einen externen Projektpartner wird ein Konformitätsbewertungsverfahren (CE) notwendig, um die

Mindestsicherheit des in Verkehr gebrachten Produkts zu gewährleisten. Im Bereich der Geräte und Anlagen für Forschungszwecke kann dies nur erreicht werden, wenn bereits vor dem Bau und direkt zu Beginn der Entwicklung eines Prototyps alle Beteiligten diese Thematik im Blick haben und entlang erprobter Prozeduren verantwortlich handeln (Risikobeurteilung).

Etablierte CE-Konformität am IKTS

Vor diesem Hintergrund wurde am Fraunhofer IKTS ein System zur Durchführung eines CE-Konformitätsbewertungsverfahrens etabliert und mehrfach erfolgreich angewendet auf anspruchsvolle Anlagentechnik u. a. zur Charakterisierung von bzw. Verfahrensentwicklung mit Filtrationsmembranen. Die konsequente und umsichtige Durchführung des Verfahrens erlaubt den sicheren Einsatz der entwickelten Anlagentechnik u. a. im Bereich der membrangestützten Flüssigfiltration, Pervaporation, Dampf- sowie Gaspermeation. Mit dieser wichtigen Kompetenz etabliert sich das IKTS weiter als zuverlässiger Partner für prototypischen Anlagenbau zur Lösung praxisnaher angewandter Forschungsaufgaben im akademischen Umfeld und in der Industrie.

Keramische Stacksysteme zur simultanen Filtration und photokatalytischen Oxidation

Dipl.-Ing. Franziska Saft, Dipl.-Ing. Heike Heymer, Dr. Daniela Haase, Dr. Paul Giertth

Persistente organische Schadstoffe, wie z. B. Veterinär- und Humanpharmaka, Pflanzenschutzmittel und Industriechemikalien reichern sich in der aquatischen Umwelt an. Ein vollständiger und rückstandsfreier Abbau ist mit den herkömmlichen Verfahren der Wasseraufbereitung kaum möglich, so dass eine neue Generation hochflexibler, variabel einsetzbarer sowie energie- und materialeffizienter Technologien und Verfahren zur Problemlösung erforderlich ist. Die Voraussetzung hierfür sind leistungsfähige Materialien und Materialverbunde.

Funktionshybride Aufbereitungssysteme

Vor diesem Hintergrund entwickelt das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit den sächsischen Kooperationspartnern WTA Vogtland GmbH, Rhode + Wagner Anlagenbau GmbH und Innotas Elektronik GmbH im Verbundprojekt »MemPhOx« funktionshybride, zu Stacks kombinierbare Filtrations-Photokatalyse-Materialverbundsysteme. Dabei werden

- keramische Mikrofiltrationsmembranen im Planar- oder Tubulardesign,
- zelluläre keramische, mit photokatalytisch hochwirksamem Titandioxid beschichtete Strukturen und
- energieeffiziente, langlebige und umweltfreundliche UV-LED zur Anregung der katalytischen Reaktion

zu Stacks zusammengeführt und in kontinuierlich betriebene Aufbereitungsanlagen integriert. Die kompakten Systeme arbeiten vollständig chemikalienfrei, sind selbstreinigend und ermöglichen eine Abtrennung von partikulär gebundenen Schadstoffen bei gleichzeitiger Sterilfiltration. Durch Oxidation in der nachgeschalteten Photokatalysezone werden organische Spurenstoffe vollständig abgebaut.

Energieeffiziente UV-LED

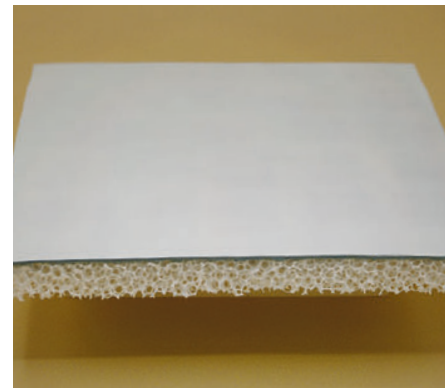
UV-LED ermöglichen gegenüber konventionellen UV-Strahlern eine zielgerichtete Bestrahlung im definierten Zielwellenbereich, wodurch der Abbaueffekt auf den jeweiligen Anwendungsfall maßgeschneidert werden kann. Durch Integration der LED auf thermisch hochleitfähigen und langzeitstabilen Keramikplatinen konnte ein skalierbares Stacksystem entwickelt werden, welches für Tauchanwendungen hermetisierbar ist.

Labortests mit Modellwässern und kommunalen Abwässern bestätigen die Eignung des Stacksystems zur Beseitigung von pharmazeutischen Wirkstoffen und pathogenen Mikroorganismen. Das Modulsystem kann sowohl am »point-of-use« als letzter Behandlungsschritt vor dem Verbrauch oder am »point-of-emission« zur Behandlung von organisch belasteten kommunalen und industriellen Abwässern eingesetzt werden.

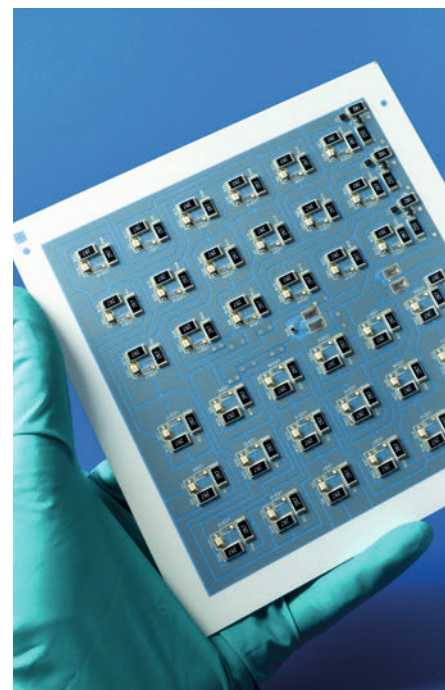
Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung und Charakterisierung hochporöser/zellulärer Keramikmaterialien und Membranen
- Entwicklung keramischer hermetisierbarer LED-Arrays für LED-Applikationen
- Anwendungsspezifisches Prozessdesign und Prototypenentwicklung
- Verfahrenserprobung unter Realbedingungen, Prozessbewertung

Die Autoren danken der Europäischen Union für die finanzielle Unterstützung (FKZ: 100334866).



Schaumkeramik-Membranverbund im Planardesign.



LED-Array.



Schaumkeramik-Membranverbund im Tubulardesign.

KeraMOL – Kostengünstige Keramikmembranen für die Trinkwasserversorgung

Dipl.-Umweltwiss. Christian Pflieger, Dipl.-Ing. Birgit Köhler,
Dipl.-Chem. Gundula Fischer

Flussmühle für Trinkwasser

Im Rahmen des BMWK-Projekts KeraMOL sollen mobile Trinkwasseraufbereitungsanlagen zukünftig kleine bzw. abgelegene Orte in Asien, Afrika und Mittelamerika bedarfsgerecht aus filtrierten Oberflächenwassern versorgen. Zum Einsatz kommt dabei das Konzept einer Flussmühle: Die Anlage schwimmt auf dem Wasser und die Energie für die Wasserbehandlung und -förderung wird dem Fluss entnommen. Das System soll dabei eine lange Standzeit der eingesetzten Filter garantieren und weitestgehend auf Elektronik und Chemie verzichten. Um diese Vorgaben zu erfüllen, wurden kostengünstig produzierte Keramikmembranen und ein Mineral-Metall-Katalysator (MOL®LIK-Katalysator), welcher Scaling- und Fouling-Effekte minimieren soll, kombiniert.

Ziel: Reduzierung von Material- und Energiekosten

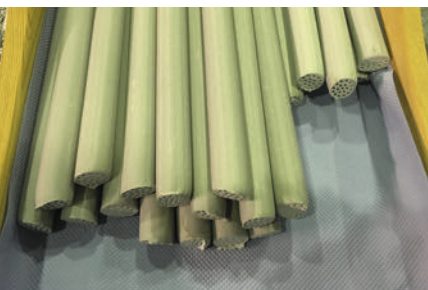
Das Fraunhofer IKTS bearbeitet im Projekt KeraMOL die Trägerentwicklung und Synthese keramischer Filterelemente. Bisherige Entwicklungen zielten zumeist auf besonders hohe chemische und thermische Stabilität ab, was höhere Stückkosten zur Folge hat. Für die aktuelle Anwendung mussten Material- als auch Energiekosten gesenkt werden. Die Kosten für Trägerrohre (Supporte) ergeben sich dabei hauptsächlich aus den Rohstoff- und Sinterkosten. Hier wurde bei der Neuentwicklung direkt angesetzt. Dabei wurde nicht außer Acht gelassen, dass sich zukünftige Elemente auch für die Mikro-, Ultra- und Nanofiltration nutzen lassen sollten.

Entwicklungsschritte

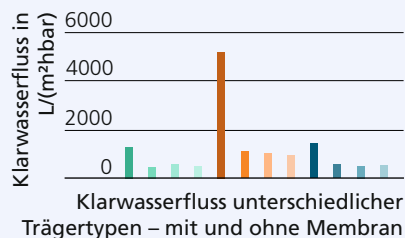
Zu Beginn der Arbeiten erfolgte die Trägerrohrentwicklung auf Basis einer Einkanal-Rohrgeometrie ($DA/DI = 10/7$ mm). Nach erfolgreicher Entwicklung eines niedrigsinternden, beschichtbaren Trägers mit geeigneter Porosität und hoher Festigkeit, wurde das Upscaling unter Zuhilfenahme der besten Rezepturen (Versatzwahl) durchgeführt. Hierfür wurde eine 19-Kanalgeometrie, eine industrierelevante Größe für Filtrationsrohre, ausgewählt (Außendurchmesser 25 mm, Kanaldurchmesser 3,5 mm). Durch sukzessive Entwicklungsschritte und angepasste Sinterhilfsmittel konnte schließlich, trotz Senkung der Brenntemperatur von 1700 °C auf 1430 °C, eine geeignete Oberflächenstruktur für die Membransynthese erreicht werden. Die offene Porosität liegt dabei bei ca. 30 % und die mittlere Porengröße (d_{50}) bei 3 µm. Auf die Trägerrohre wurde zudem eine Al_2O_3 -Membran mit einer mittleren Porengröße von 100 nm aufgebracht. Die Charakterisierung mittels Bubble Point, Reinstwasserfluss- und CSB-Rückhaltungsmessungen konnte positive Filtrationseigenschaften nachweisen. Aktuell wird der favorisierte Trägertyp in Form ganzer Filterelemente auf seine chemische Stabilität untersucht. Parallel laufen Applikationsuntersuchungen der Projektpartner bezüglich der Einsatzfähigkeit.

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) für die Förderung im Rahmen des »Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand« (FKZ: ZF4076470SA9).

Extrusionswerkzeug zum Herstellen der keramischen Grünlinge.



19-Kanalrohrextrudate – Grünlinge.



Elementbeschreibung

- H629/J116 (support)
- H629/J116_100nm_L250
- H629/J116_100nm_L500
- H629/J115_100nm_L500
- H630/J116 (support)
- H630/J116_100nm_L250
- H630/J116_100nm_L500
- H630/J115_100nm_L500
- H632/J116 (support)
- H632/J116_100nm_L250
- H632/J116_100nm_L500
- H632/J115_100nm_L500

Darstellung des Klarwasserflusses unterschiedlicher Trägertypen – mit und ohne Membran.

Zuverlässige Schaltkreis-Verdrahtungen für automobiler Radaranwendungen

Dr. André Clausner, Dr. Matthias Kraatz

Die Anzahl von Radarsensoren in Automobilen nimmt – auch im Hinblick auf autonomes Fahren – kontinuierlich zu. Deshalb muss die betreffende Elektronik im Automobil für hohe Frequenzen befähigt sein. Im Projekt ARAMID soll eine von GlobalFoundries entwickelte Halbleitertechnologie für automobiler Radaranwendungen qualifiziert werden. Dafür entwickelt das Fraunhofer IKTS spezifische Zuverlässigkeitstests für die Prüfung von On-chip-Leiterbahnen in der Verdrahtungsebene von Halbleiterkomponenten.

Elektromigration als Basis der Zuverlässigkeitsprüfung

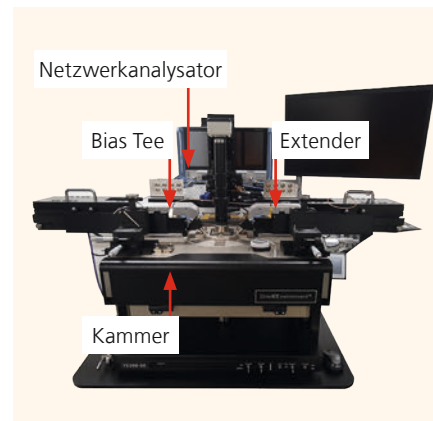
Klassischerweise besteht die Zuverlässigkeitsprüfung der Verdrahtungsebene in der Mikroelektronik aus dem Prüfen des Verhaltens der Elektromigration (EM) und des zeitabhängigen dielektrischen Durchbruchs (TDDB). Die Arbeiten im Projekt ARAMID fokussierten EM. EM ist ein Transportvorgang von Metallionen in Leitern. Dieser erfolgt bei hohen Stromdichten ($\sim 10 \text{ mA}/\mu\text{m}^2$), die typischerweise in On-chip-Leiterbahnen von Mikroprozessoren auftreten. Die dabei entstehenden Poren (Voids) können zu Ausfällen der Leiterbahn durch Unterbrechung bzw. Kurzschluss führen. Standardmäßig wird das EM-Verhalten mit Gleichstrom geprüft, beschleunigt durch erhöhte Temperatur und erhöhten Strom. Für die Qualifizierung der Technologie für Radaranwendungen muss zusätzlich der Einfluss von Hochfrequenzsignalen (HF) untersucht werden. Dazu wurde ein HF-Messplatz eingerichtet (Bild 1). Der Messplatz besteht aus einem Waferprober mit Heizplatte, einem Netzwerkanalysator, einer kombinierten Quellen- und Mess-Einheit (SMU) für die Strommessung inklusive Überlagerung mit Gleichspannung. Mit diesem Aufbau können Frequenzen bis 90 GHz und eine Temperatur

bis 300 °C erreicht werden. Bei der Evaluierung des experimentellen Aufbaus zeigte sich, dass für die verwendeten Temperaturen, Ströme und Zeitbereiche zunächst keine Unterschiede zwischen HF und nicht-HF festzustellen waren. In der für EM-Vorgänge kurzen Versuchszeit konnten erwartungsgemäß keine Widerstandsänderungen durch mögliche EM-Degradation nachgewiesen werden. Deshalb werden gegenwärtig die Ströme und Temperaturen erhöht.

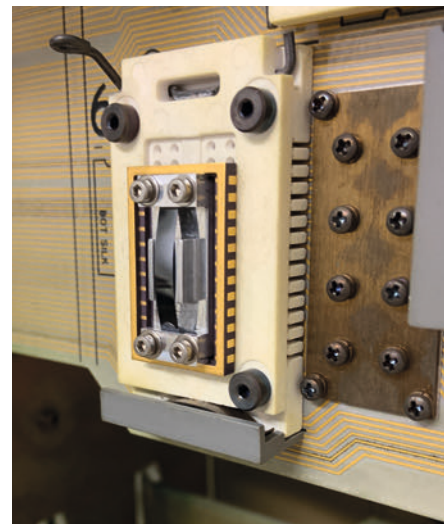
Thermomechanisch-elektrische Versuche

Weitere Einflussparameter auf die EM sind mechanische Spannungen. Diese nehmen zu, da mehr Leistungselektronik in der Automobiltechnik bis zu einer Temperatur von 250 °C arbeitet und neues Nutzungsverhalten (Car-Sharing) mit häufigerem Start/Stop zu zahlreicheren Temperaturzyklen führt, was die Materialermüdung fördert. Daher wird am Fraunhofer IKTS mit speziellen Biegestationen (Bild 2) untersucht, wie sich mechanische Spannungen auf das EM-Verhalten auswirken. Zusätzlich wird die Materialermüdung in thermo-mechanisch-elektrischen Versuchen unter zyklischer Temperaturbelastung in einer Klimakammer geprüft.

Diese Untersuchungen leisten einen Beitrag zur Erhöhung der Lebensdauer künftiger mikroelektronischer Bauteile für die Automobiltechnik und damit auch zu mehr Sicherheit und Nachhaltigkeit. Sie bilden zudem die Grundlage für weitergehende Aufträge aus dem Bereich der Zuverlässigkeit für die Automobilelektronik.



Waferprober zum Testen von Chips auf Waferbasis.



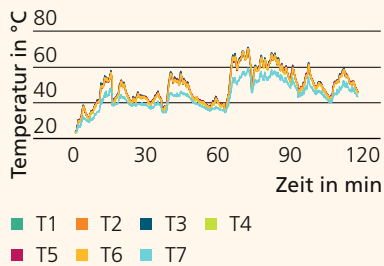
Biegestation mit gebogenem Siliciumstreifen im EM-Ofen; der verdrahtete EM-Chip befindet sich im Si-Streifen.



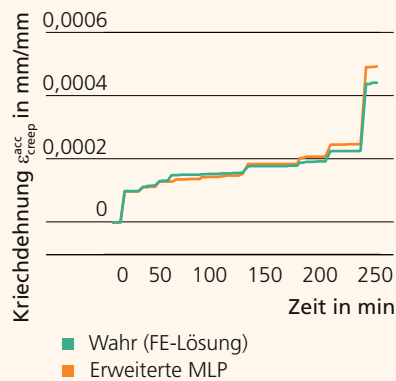
E-Bike für die Datenerfassung im Feld.

KI-gestützte Prognostik und Zustandsmanagement für die Elektronik

M. Sc. Darshankumar Bhat, Dr. Stefan Münch, Dr. Mike Röllig



Beispielhafte Missionsprofil-daten vom E-Bike-Leistungsmodul.



Schädigungsvorhersage für das eBike-Leistungsmodul.

Insbesondere seit dem Aufkommen des Internet-of-Things (IoT) wächst der Bedarf an zuverlässiger, vertrauenswürdiger und intelligenter Elektronik. Eine kostengünstige und schnelle elektronische Systemüberwachung sowie eine schadensbasierte Wartungsplanung bietet das »Prognostics and Health Monitoring« (PHM). Bei dieser kontinuierlichen Zustandsüberwachung elektronischer Systeme entstehen jedoch große Datenmengen. Diese sollten idealerweise ausgewertet werden, ohne sie dauerhaft zu speichern. Eine Möglichkeit dafür bietet Maschinelles Lernen (ML), ein Teilbereich der Künstlichen Intelligenz (KI).

Neuer Ansatz für die Echtzeit-Prognose

Die hier vorgeschlagene Methodik hat das Potenzial einer realisierbaren Lösung für die Online-Zustandsbewertung. Als Testobjekt wurde das Leistungsmodul, d. h. die Steuereinheit des eBike-Motors gewählt. Die verbleibende Lebensdauer wird hier direkt aus der thermischen Belastung während der Fahrt ermittelt (Graphik mitte). Für das Training der KI wurde ein großer Datensatz synthetischer Temperatur-Zeit-Profile generiert. Über eine Simulation mit der Finite-Elemente-Analyse (FEA) erfolgte die Auswertung der Schädigung von Lötverbindungen unter diesen Temperaturbelastungen und die Überführung in ein mehrlagiges Perzeptron-Modell (MLP). Temperaturmerkmale und entsprechende Kriechkremete (Schädigungen) bilden hierfür den Trainingsdatensatz. Die Genauigkeit des Modells wird durch »Transfer Learning« anhand der Daten aus Feldversuchen (Missionsprofil) verbessert. Die verbleibende Nutzungsdauer (RUL) dieser Leistungselektronikkomponente im Betrieb wird dann auf Grundlage der ermittelten Lebensdauer abgeschätzt.

Die wichtigsten Errungenschaften dieser Methode sind: (1) die Extraktion von Merkmalen aus Temperatur- und Zeitdaten, was den Aufwand für die Datenspeicherung reduziert, (2) das effiziente Training unter Verwendung synthetischer Daten und die einfache Erweiterung auf begrenzte Daten der realen Welt sowie (3) die sehr gute Vorhersagefähigkeit in Echtzeit.

Die Graphik unten zeigt die beeindruckend genaue Vorhersage der Kriechdehnung vom MLP im Vergleich mit den Daten aus der FEA. Anhand des Testdatensatzes wird ein durchschnittlicher Fehler von nur 6,7 % ermittelt.

An der Leistungselektronik des eBike-Motors wurde demonstriert, dass sich diese Methode in ein intelligentes PHM implementieren lässt. Sie bietet eine Echtzeit-Vorhersage der Restlebensdauer, die zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit auch in anderen sicherheitskritischen Anwendungen, wie im Schienen- oder Automobilbereich, benötigt wird.



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch
Staatsmittel auf der Grundlage des von dem
Abgeordneten des Sächsischen Landtags
beschlossenen Haushalts.

Sondermessverfahren für die Leistungselektronik

Dr. Lars Rebenklau, Dr. Henry Barth, Dipl.-Ing. Johannes Drechsel, Dipl.-Ing. Mirko Kirchhoff

Die Anwendungsbreite für leistungselektronische Module wird in den kommenden Jahren weiter stark wachsen. Treiber für diese Entwicklung ist die hohe Nachfrage im Bereich der E-Mobilität und der regenerativen Energien. Der Einsatz von keramischen Substraten in leistungselektronischen Modulen ist Stand der Technik. Ausschlaggebend hierfür ist die hohe elektrische Isolationsfestigkeit technischer Keramiken bei gleichzeitig guter Wärmeleitfähigkeit. Mit dem Einsatz schnell schaltender Leistungshalbleiter mit großem Bandabstand, wie z. B. Siliciumcarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN), steigen die Anforderungen an die elektrische Isolationsfestigkeit, die mechanische Stabilität und die Entwärmung von keramischen Schaltungsträgern in leistungselektronischen Modulen. Zur Charakterisierung der verschiedenen Aufbaustufen und Bestandteile leistungselektronischer Schaltkreise werden am Fraunhofer IKTS anwendungsspezifische Messverfahren weiterentwickelt.

Teilentladungsmessung

Die Teilentladungsmessung bietet sich als zerstörungsfreies Messverfahren zur Charakterisierung des Metall-Keramik-Verbunds an. Dabei zeigen sich interne Defekte wie Delamination, Muschelbrüche oder Hohlräume in Form von lokalen Teildurchschlägen und damit als messbare Stromspitzen in der Versorgungsleitung. Da sowohl die Aufnahme als auch die Auswertung der stochastischen Messdaten erheblichen Zeit- und Rechenaufwand verursacht, wird mit einem hochautomatisierten Messsystem gearbeitet. Aktuell wird die Datenauswertung mit Methoden des maschinellen Lernens von der momentan angewandten Visualisierungsebene ausgehend weiterentwickelt. Ziel ist es, die gewonnene Erfahrung in einem Datenmodell allgemein anwendbar zu machen.

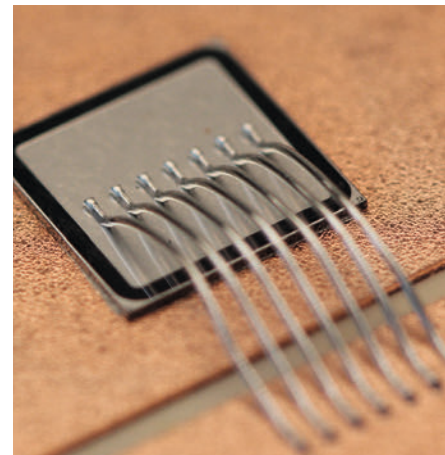
Neben Metall-Keramik- oder Polymersubstraten werden zukünftige Messungen auch Vergussmassen und komplexere Aufbauten fokussieren.

Infrarot-Thermografie

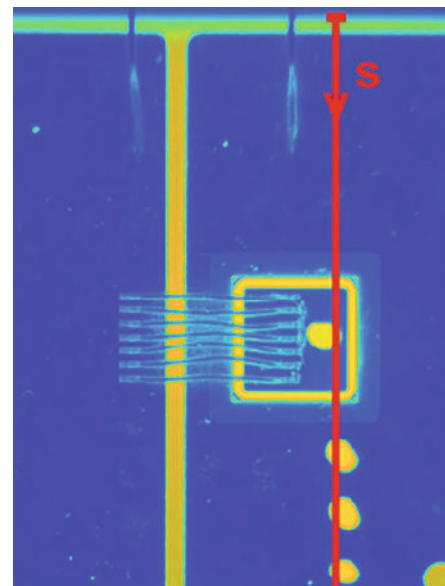
Ein effektives zerstörungs- und kontaktfreies Messverfahren stellt die Infrarot-Thermografie (IR-Thermografie) dar. Mit ihr ist es möglich, Wärmeverteilungen dynamisch zu erfassen. So können zum Beispiel lokal besonders temperaturbelastete Stellen erkannt und Temperaturgradienten an mit Nacktchips bestückten keramischen Schaltungsträgern erfasst werden. Es bestehen umfassende Erfahrungen zu keramischen Schaltungsträgern auf der Basis von:

- DCBs (Direct Copper Bonding)
- AMBs (Active Metal Brazing)
- Kupfer- und Silber-Dickschichtsubstraten

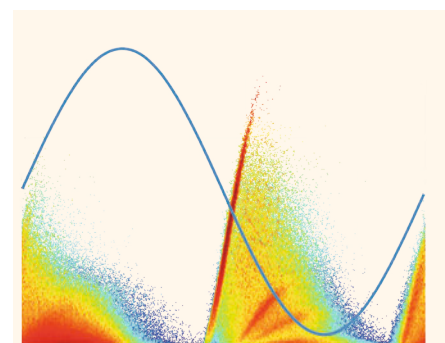
Im Fokus der Messungen stehen die Wärmeleitfähigkeit, der Wirkungsgrad und die thermische Kapazität. Das gesamte Messsystem ist flexibel erweiterbar. Zusätzliche Temperatursensoren können weitere Informationen zum Wärmefluss liefern und ermöglichen so eine umfangreiche Klassifizierung des thermischen Verhaltens. Zur Einprägung von elektrischer Leistung steht ein breites Spektrum an Stromquellen zur Verfügung. Diese sind anwenderspezifisch nach Messanforderung anpassbar. Die Wärmeleistung kann sowohl passiv an die Umgebungsluft als auch aktiv über einen Kühlkreislauf mit Thermostat abgeführt oder, je nach Anforderung, zugeführt werden.



Gebundene Leistungsdiode auf einem DCB-Substrat.



Falschfarbendarstellung der Infrarot-Aufnahme einer drahtgebundenen Leistungsdiode auf einem DCB-Substrat.



Phasenaufgelöstes Teilentladungsmuster an DCB-Substraten.

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Batterieentwicklung am Fraunhofer-Projektzentrum ZESS

M.Sc. Matthias Seidel, M.Sc. Silian Yanev, Dr. Henry Auer, Dr. Kristian Nikolowski, Dr. Mareike Partsch

Das Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS ist eine gemeinsame Forschungs- und Transferplattform der Fraunhofer-Institute IKTS, IST und IFAM mit vier Forschungsschwerpunkten: Lithium-Festkörperbatterien, stationäre Energiespeicher auf Basis von Natrium-Nickelchlorid-Batterien, Wasserstofftechnologien mit hohen Speicherdichten sowie Prüftechniken zur Qualitätssicherung während der Fertigung. Das Land Niedersachsen unterstützt diese Aktivitäten seit 2018.

Für den Forschungsbereich Festkörperbatterien wurden am Standort Braunschweig neue Labore konzipiert und ausgestattet. Damit steht nun die Infrastruktur bereit, um unter inerter Atmosphäre Elektrolyte zu synthetisieren, Elektroden herzustellen und Zellen zu assemblieren. Die Prozesse werden mit entsprechender Prüftechnik begleitend analysiert. Dies umfasst beispielhaft kalorimetrische und rheologische Messungen sowie Laserlichtbeugung. Mit diesen Verfahren können luft- und feuchtigkeitsempfindliche Materialien untersucht werden. Im Jahr 2023 ist ein Gebäude-neubau geplant, in dem chemische und technische Labore, ein Trockenraum sowie Bürofläche für 100 Mitarbeitende vorgesehen sind. Dadurch wird die Skalierung der im Projektzentrum erprobten Prozesse in den Technikkumsmaßstab möglich.

Ein Forschungsschwerpunkt des Fraunhofer IKTS am ZESS ist die Entwicklung sulfidischer Elektrolyte inklusive der Erprobung passender Verarbeitungsprozesse und Analyseverfahren. Die entwickelten Elektroden werden evaluiert, um den Zusammenhang zwischen Performance und Materialeigenschaften besser zu verstehen und so die Einzelkomponenten weiter zu optimieren. Hierfür müssen Kristall- und

Partikeleigenschaften genau auf die Bedürfnisse im finalen Komposit angepasst werden. Dadurch gelingt es, die elektrochemischen Eigenschaften auf die geforderte Charakteristik der Festkörperzelle abzustimmen. Des Weiteren werden Methoden zur schnellen Charakterisierung dieser Elektroden weiterentwickelt. Mit der am ZESS genutzten und für Festelektrolyte optimierten Methode der Chronoamperometrie¹ können die Komponenten schneller und ohne Informationsverlust auf ihre Performance-Eigenschaften untersucht werden. Der Forschungsprozess wird dadurch effektiver.

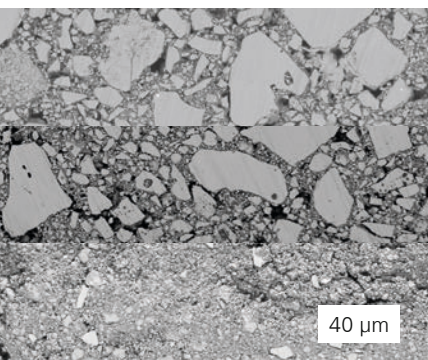
Das Fraunhofer IKTS bringt sein umfangreiches Know-how in der Material- und Prozessentwicklung für keramische Energiespeicher in die vier Forschungsfelder des ZESS ein. Das Kompetenzfeld reicht dabei von der Materialentwicklung über die Komponentenfertigung z. B. von Elektroden und Separatoren bis zum Design und der Assemblierung kompletter Batteriesysteme. Im Fokus steht dabei stets eine Skalierung von Verfahren in die industriennahe Fertigung.

Literatur

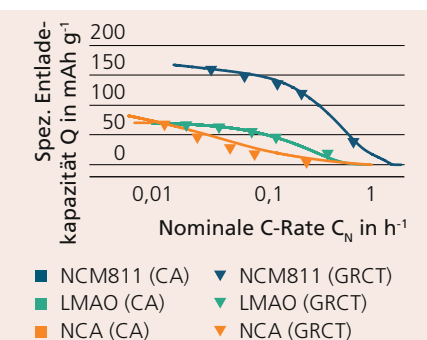
[1] S. Yanev, H. Auer, C. Heubner, K. Nikolowski, M. Partsch, A. Michaelis, Rapid Determination of All-Solid-State Battery Performance via Chronoamperometry, J. Electrochem. Soc. 169 090519.



Messung von feuchte- und luftempfindlichen Proben. Oben: Ofen integriert an Ar-Glovebox, unten: Rheometer integriert in Ar-Glovebox.



FESEM-Abbildung von sulfidischen Elektrolyten unterschiedlicher Partikelgröße.



Kapazitätsrate von Festkörperzellen mit sulfidischem Elektrolyten gegen Kathodenmaterialien (absolute Kapazität vs. nominale C-Rate, Chronoamperometrie (CA) galvanostatisch (GRCT)).

Kaltsintern von Materialien für Anwendungen in Festkörperbatterien

Dipl.-Ing. Christoph Baumgärtner, Dr. Mykola Vinnichenko, Alf Aurich, Dr. Katja Wätzig, M.Sc. Jean Philippe Beaupain, Dr. Dörte Wagner, M.Sc. Ansgar Lowack, Dr. Mathias Herrmann, Dr. Mihails Kusnezoff

Die Energiewende und Elektromobilität führen zu einer wachsenden Nachfrage nach Stromspeichern mit hohen Energie- und Leistungsdichten. Aktuell kommen hier vorwiegend Lithium-Ionen-Batterien mit flüssigen Elektrolyten zum Einsatz. Eine vielversprechende Alternative sind Festkörperbatterien, da sie zudem besonders sicher sind. Das Fraunhofer IKTS erprobt hierfür innovative Ansätze, wie das Kaltsintern zur Herstellung von Komponenten für Lithium- und Natrium-Festkörperbatterien.

Kaltsintern

Der Prozess des Kaltsinterns findet seit einigen Jahren zunehmend Beachtung als energieeffiziente Sintertechnik. Dabei werden Materialien mit einer flüssigen Phase (Wasser oder Lösungsmittel) gemischt und bei Temperaturen von unter 300 °C und Drücken bis zu 700 MPa verpresst. Durch die flüssige Phase finden im Gefüge Auflösungs- und Wiederabscheidungsprozesse statt. Auf diese Weise lassen sich bei einem Bruchteil der üblichen Sinteremperatur Werkstoffe mit vergleichbar hohen Dichten wie bei konventionell gesinterten Werkstoffen realisieren.

Festelektrolytmaterialien

Die Prozessparameter und Lösungsmittel wurden für Lithium- ($\text{Li}_{1,3}\text{Al}_{0,3}\text{Ti}_{1,7}(\text{PO}_4)_3$, LATP) und Natrium-Ionen leitende ($\text{Na}_{3,4}\text{Zr}_2\text{Si}_{2,4}\text{P}_{0,6}\text{O}_{12}$, NaSICON)-Festelektrolytmaterialien optimiert. Verglichen mit trocken prozessierten Materialien weisen die kaltgesinterten Gefüge deutlich höhere Dichten auf. Die Elektrolyte besitzen nach der Kaltsinterung bei maximal 200 °C relative Dichten von über 90 %. Elektronenmikroskopische Untersuchungen zeigen aber, dass sich an den Partikelkontakten und

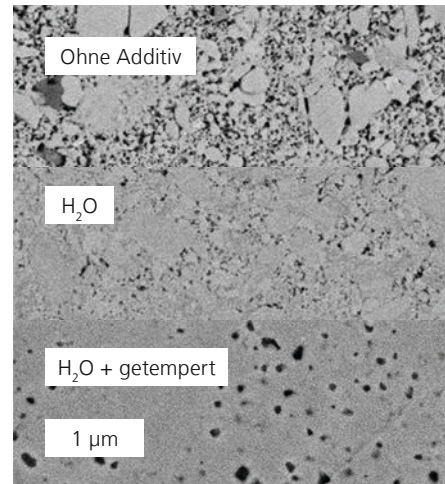
zwischen den Elektrolytpartikeln amorphe Nebenphasen bilden (Bild oben). Diese reduzieren die ionische Leitfähigkeit der Elektrolytmaterialien. Eine thermische Nachbehandlung reduzierte die Nebenphasen an den Korngrenzen. Hierdurch wurden ionische Leitfähigkeiten, vergleichbar mit konventionell gesinterten Elektrolyten, von $1,55 \times 10^{-4}$ S/cm bei 800 °C statt 1080 °C (LATP [1]) und $2,3 \times 10^{-3}$ S/cm bei 900 °C statt 1300 °C (NaSICON, Graphik mitte) erzielt.

Kompositkathoden

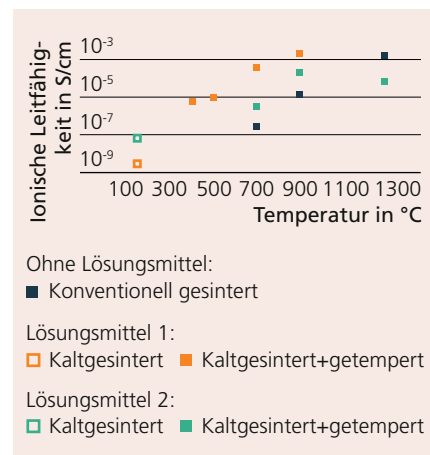
Da bei Festkörperbatterien auf flüssige Elektrolyte verzichtet wird, werden dafür Kathodenkomposite aus Aktiv- und Elektrolytmaterial eingesetzt. Bei Sinteremperaturen wie sie für konventionelle Sinterungen benötigt werden, reagieren die eingesetzten Materialien miteinander und verlieren ihre elektrochemische Aktivität. Die am Fraunhofer IKTS entwickelten Kompositkathodenfolien zeigen nach der Kaltsinterung bei max. 200 °C verminderte Anzeichen dieser Zersetzungsreaktionen. Zusätzlich haben kaltgesinterte Komposite deutlich dichtere Gefüge als konventionell bei 750 °C gesinterte Komposite (Bild unten). Das Kaltsintern ermöglicht hierdurch völlig neuartige Materialkombinationen zur Herstellung leistungsfähiger Festkörperbatterien, die über konventionelle Herstellungsrouten nicht herstellbar sind.

Literatur

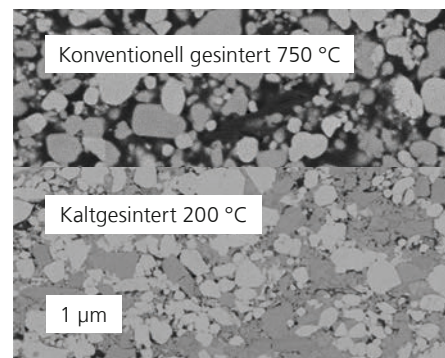
[1] M. Vinnichenko et al, *Nanomaterials* 12, 3178 (2022).



LATP-Gefüge nach Kaltsintern mit unterschiedlichen Lösungsmitteln und thermischer Nachbehandlung.



Ionische Leitfähigkeit von konventionell und kaltgesinterten NaSICON-Elektrolyten.



FE-REM-Aufnahmen konventionell und kaltgesinterner Kompositkathodenfolien (dunkel = LATP; hell = Aktivmaterial).



Fraunhofer-Technologiezentrum Hochleistungsmaterialien THM.



Schwarzmasse von End-of-Life-Batterien soll zur Rückgewinnung wertvoller Metalle aufbereitet werden.



Pilotanlage zur Lithium-Rückgewinnung unter Anwendung des COOL-Verfahrens.

Effiziente Recyclingverfahren für Lithium-Ionen-Batterien am Fraunhofer THM

Dr. Sandra Pavón, Prof. Martin Bertau, Dr. Burkhardt Faßauer, Dr. Mareike Partsch

Das Fraunhofer-Technologiezentrum Hochleistungsmaterialien THM in Freiberg/Sachsen ist eine Forschungs- und Transferplattform des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB und des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS. Gemeinsam werden sowohl Halbleiter- und Energie-Materialien als auch deren Anwendungen untersucht. Hierbei wird die gesamte Wertschöpfungskette von der Materialsynthese über die Prozessentwicklung bis zum Recycling berücksichtigt. Darüber hinaus kooperiert das Fraunhofer IKTS eng mit dem Institut für Technische Chemie der TU Bergakademie Freiberg (TUBAF).

Ein Forschungsschwerpunkt des Fraunhofer IKTS in Freiberg ist die Lebenszyklusuntersuchung von Lithium-Ionen-Batterien (LIBs) – ausgehend von den Materialien über die Elektrodenherstellung und Assemblierung bis zum späteren Recycling der Werkstoffe. Im Fokus stehen ganzheitliche, integrierte und auf die Anforderungen der Industrie abgestimmte Lösungen zur Kreislaufschließung der Batterieherstellung. Die Entwicklung von Batterieelektroden erfolgt in verschiedenen Pilotanlagen unter Labor- und Trockenraumbedingungen (TP -60 °C).

Um die benötigten Rohstoffmengen für den wachsenden Batteriebedarf der E-Mobilität im Sinne der Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft bereitzustellen, sind umweltfreundliche und effiziente Aufarbeitungs- und Recyclingverfahren für End-of-Life-Batterien zwingend erforderlich. Im Bereich Batterierecycling konzentriert sich das Fraunhofer IKTS daher auf Konzepte und Technologien, mit denen Material- und Stoffkreisläufe geschlossen und zu rückgewonnenem Material wiederverwendet werden kann.

Gemeinsam mit der TUBAF wird im Rahmen des Projekts »EarLiMet – Early Stage-Metallrückgewinnung für das energie- und ressourceneffiziente Recycling von LIBs« das alternative COOL-Verfahren zur selektiven Lithium-Rückgewinnung aus Schwarzmasse erprobt. Hierbei konnte gezeigt werden, dass 95 % des Lithiums nach der CO₂-Auslaugung zurückgewonnen werden kann. In dem Prozess entsteht Li₂CO₃, das als Hauptprodukt in Batteriequalität gewonnen wird. Wertvolle Rohstoffe, wie Cobalt, Nickel, Mangan und Kupfer verbleiben in der Lithium-freien Schwarzmasse.

Die Rückgewinnung dieser wertvollen und kritischen Metalle aus dem Kathodenaktivmaterial (KAM) wurde im Rahmen des BMBF-Projekts »EVanBatter – Entwicklung einer gegenüber Verunreinigungen robusten Resyntheseroute von KAM für LIBs« (FKZ: 03XP0340C) untersucht. Ziel war es, tolerierbare Verunreinigungsgrenzen für KAM mit Aluminium und Eisen zu ermitteln, um die Reinigungsschritte innerhalb des Recyclingprozesses zu reduzieren, und damit nicht nur zur Verringerung der chemischen Belastung, sondern auch zur Prozesseffizienz beizutragen.

Darüber hinaus plant das IKTS einen weiteren Infrastrukturaufbau am Fraunhofer THM, um die Batterieherstellung weiter zu digitalisieren und Recyclingprozesse stärker zu automatisieren.

Gefördert durch:

 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
 BERGAKADEMIE FREIBERG
 Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

greenBatt
 Kompetenzzentrum
 Recycling & Grüne Batterie

Hochtemperaturelektrolyse für die Erzeugung von grünem Ammoniak

Dr. Mihails Kusnezoff, Dr. Stefan Megel, Dipl.-Ing. Christian Eckart, Dr. Erik Reichelt, Dipl.-Ing. Michael Gallwitz, PD Dr. Matthias Jahn

Ammoniak gilt als Schlüsselchemikalie in einem zukünftigen, nachhaltigen Energie- und Rohstoffsystem. Er ist der bedeutendste Grundstoff für Düngemittel und damit essenziell für die Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung. Im Energiesektor wird Ammoniak als ein zukünftiger, kohlenstofffreier Energieträger mit hoher Energiedichte betrachtet. Die Ausgangsstoffe für die Synthese dieser wichtigen Chemikalie sind Stickstoff (N₂) und Wasserstoff (H₂). Im EU-Projekt ARENHA sowie im BMBF-Projekt GreatSOC werden am Fraunhofer IKTS die Wege zur effizientesten Wandlung von erneuerbaren Energien in Ammoniak erforscht.

Hochtemperaturelektrolyse

Die Bereitstellung von grünem (nachhaltig erzeugtem) Wasserstoff kann großtechnisch nur über Elektrolyse erfolgen. Hervorzuheben ist hier die bei 700–850 °C betriebene Hochtemperaturelektrolyse (SOE), da sie Wasserstoff durch verschiedene Möglichkeiten zur Wärmeintegration besonders energieeffizient erzeugen kann (Energiebedarf: 3,2–3,5 kWh/Nm³ H₂). Für diese Technologie werden am Fraunhofer IKTS Zellen, Stacks sowie Stack-Module weiterentwickelt und erprobt. Für die Ammoniaksynthese wird ein Eduktgasgemisch aus Stickstoff und Wasserstoff im Verhältnis 1:3 benötigt. Die in der Graphik präsentierten Ergebnisse zeigen, dass Stickstoffbeimengung in der Elektrolyse keinen Einfluss auf die benötigte Leistung für die Bereitstellung von Wasserstoff hat. Dies bildet eine wichtige Grundlage für innovative Konzepte zur Synthesegasbereitstellung für die Ammoniaksynthese über die Hochtemperaturelektrolyse.

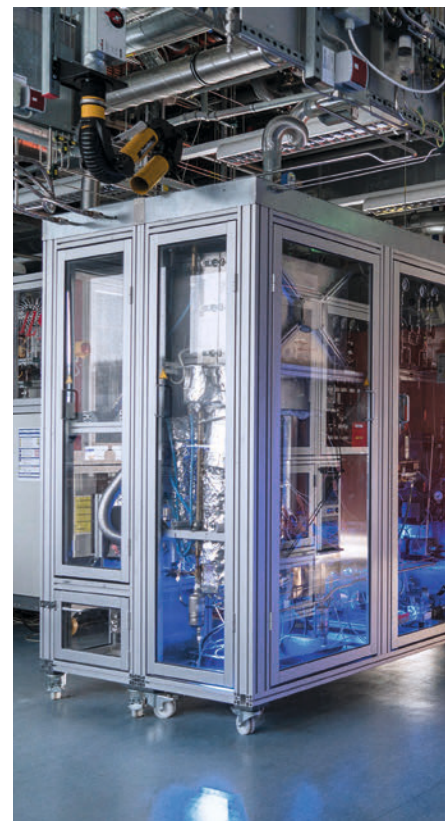
Nachhaltige Konzepte zur Herstellung von Ammoniak fokussieren zumeist auf die Erzeugung des Synthesegases (N₂, H₂) für den

nachgelagerten Haber-Bosch-Reaktor, in dem die eigentliche Umsetzung zu Ammoniak stattfindet. Beim Einsatz von Niedertemperaturelektrolyseuren wird für die Gewinnung von Stickstoff aus Luft eine Luftzerlegung als zusätzlicher Prozessschritt benötigt. Die Hochtemperaturelektrolyse hingegen erlaubt die direkte Bereitstellung des Synthesegases. So kann ein Teil des erzeugten Wasserstoffs mit Luft umgesetzt werden, um Stickstoff zuzuführen. Entstandenes Wasser kann im Elektrolyseur wieder in Wasserstoff umgesetzt werden.

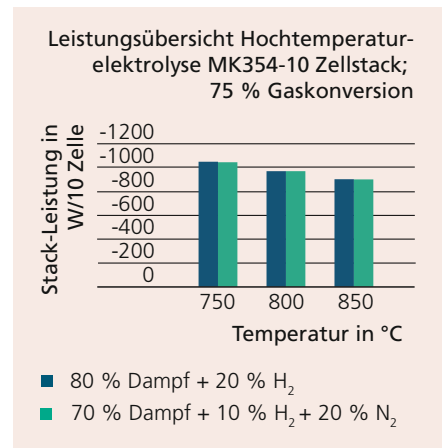
Als zusätzlicher Vorteil kommt hinzu, dass die Hochtemperaturelektrolyse die Abwärme exothermer Prozessschritte, wie der Ammoniaksynthese, zur Steigerung des energetischen Wirkungsgrads nutzen kann. Dies ermöglicht einen bis zu 10 % geringeren Energiebedarf für die Ammoniakherzeugung im Vergleich zu Niedertemperaturelektrolyse-basierten Verfahrenskonzepten.

Unikale Kernkompetenzen des Fraunhofer IKTS, wie die Simulation einzelner Prozessschritte/Reaktoren und deren Kopplung mit experimentell gewonnenen Betriebsdaten, erlauben eine optimierte Prozessauslegung bis hin zur Demonstration.

ARENHA wurde gefördert von der Europäischen Union im Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 (FKZ: 862482). GreatSOC erhielt Förderung vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (FKZ: 01DR22005A).

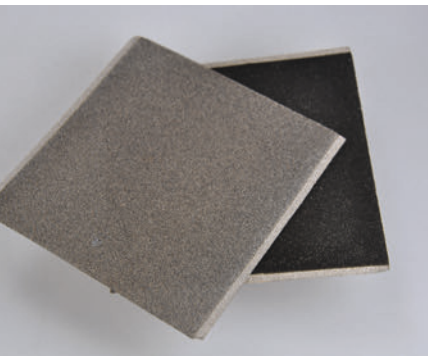


Demonstrationsanlage zur Kopplung der Hochtemperaturelektrolyse und Ammoniakherstellung.

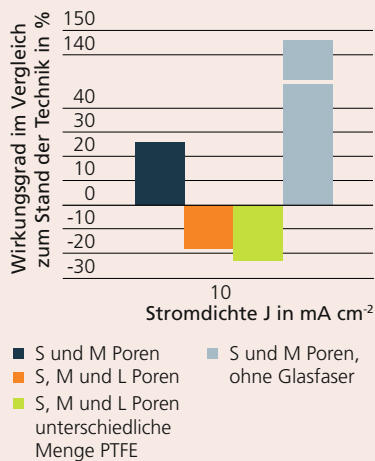


Leistungsbedarf des SOE-Stacks für die Wasserstoffproduktion bei unterschiedlichen Betriebstemperaturen und einer Stromdichte von 600 mA/cm².

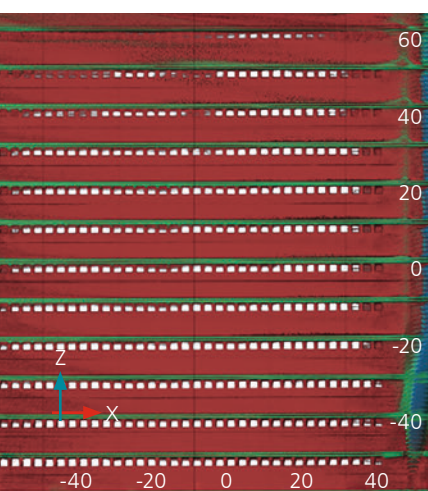




Keramisch beschichtete
3D-Elektroden für AWE.



Elektroden-Performance
vs. Standard-Elektroden
(GDE) für die alkalische
Wasserelektrolyse.



Computertomografie-Aufnahme eines extern-gestellten Stacks.

Trends in der alkalischen und AEM-Wasserelektrolyse für grünen Wasserstoff

Dr. Karl Skadell, Dr. Artur Bekisch, M. Eng. Justin Reichert, Dr. Roland Weidl

Die alkalische (AWE) und die Anionen-Austausch-Membran-basierte Wasserelektrolyse (AEMWE) werden in Zukunft weiterhin den weltweit größten Anteil an grünem Wasserstoff produzieren. Das Fraunhofer IKTS setzt neue Trends auf Material- und Komponentenseite und begleitet den Markthochlauf mit Entwicklungsdienstleistungen.

Startpunkt – Elektrodenarchitektur

Ausgehend von IKTS-Entwicklungen von bifunktionalen Elektroden für die Sauerstoffreduktion und -herstellung, lassen sich Erkenntnisse für eine optimierte Elektrodenarchitektur ableiten. Während der Elektrolyse müssen die relevanten physikochemischen Prozesse aufeinander abgestimmt sein: Stoffumwandlung, Elektronenleitung und z. B. simultanes Transportmanagement von Flüssigkeit und Gas. Besonders letzteres ist deutlich anspruchsvoller als für rein Gas-basierte Systeme, wie PEM- oder SOEC-Brennstoffzellen. Die dargestellten Ergebnisse (Graphik mitte) zeigen, dass ein intelligenter Schicht-Aufbau von 3D-Elektroden in einem Zero-Gap-Design zu einem verbesserten Abtransport von Produktgasen und somit höherer Elektrolyse-Aktivität führt.

Methoden zur CAPEX-Senkung in der alkalischen und AEM-Wasserelektrolyse

Die Installationskosten (CAPEX) für die Wasserelektrolyse zur Wasserstoffherstellung werden im Verhältnis zur Leistung bewertet. Ein zentraler Hebel zur CAPEX-Senkung ist somit die Steigerung der Stromstärke bei gleichbleibenden Kosten. Neben der Anpassung von Elektrodenarchitekturen lässt sich durch Variation der Kernkomponenten der Wasserelektrolyse diese Steigerung erreichen. Das IKTS entwickelt hier keramische Beschichtungen für Elektroden,

voll-anorganische, skalierbare Diaphragmen und leistungsfähige Flowfields. Insbesondere die Entwicklung von Komponenten zur Steigerung von Temperatur und Druck sind vielversprechende Werkzeuge zur Steigerung der Leistung. Diese gehen in einem fertigungsge-rechten Stackdesign (elektrochemischer Flusszellenreaktor im Filterpressen-Design) auf. Mit verschiedenen Möglichkeiten der Post-Mortem-Analyse von Stacks (z. B. Industrie-Computer-Tomographie, Impedanzspektroskopie an Komponenten etc.) lassen sich Designentscheidungen anhand einer solider Datenbasis treffen.

Entwicklung von Elektrolyseursystemen und automatisierter Stack-Fertigung

Am Fraunhofer IKTS-Standort in Arnstadt werden Elektroden und Stacks mit einem besonderen Fokus auf die digitale Prozessführung entwickelt. Ein Kern ist dabei das Engineering von hochgradig automatisierten Testständen bis mindestens 10 kW für die Flüssig-Elektrolyse von PEM- über AEM- bis alkalisch. Zudem erfolgt die Bereitstellung von Prüffeldern und Containern auf Freiflächen: z. B. für 20-kW-Mitteltemperatur-Elektrolyse. Ein weiterer Schwerpunkt ist das automatisierte Stapeln von großflächigen Stacks für die alkalische und AEM-Wasserelektrolyse. Dafür stehen verschiedene 6-Achsen-Industrieroboter bereit. Diese werden in ein automatisiertes, Vision-gestütztes Fertigungskonzept für Stacks in alkalischen und AEM-Elektrolyseuren eingebunden. Letztere können eine Aktivfläche bis über 6400 cm² bei einem Endplatten-Gewicht von 200 kg haben.

Neuartiges Zellkonzept für Natrium-basierte Mitteltemperatur-Batterien

M.Sc. Micha Philip Fertig, Dr. Karl Skadell, Dr. Matthias Schulz, Prof. Michael Stelter

Die Energiewende benötigt Batterien

Stationäre, elektrochemische Energiespeicher sind essenziell für die Speicherung von Überschussstrom, um eine sichere Energieversorgung zu gewährleisten. Hierfür werden kommerziell bereits Hochtemperaturbatterien verwendet (»ZEBRA-Zelle«). Diese Batterien benötigen, im Gegensatz zu Lithium-Ionen-Batterien, kein Kobalt und Lithium. Beide Elemente sind selten und deswegen teuer. Als Negativelektrode kommt metallisches Natrium zum Einsatz. Natrium ist 1000-mal häufiger in der Erdkruste zu finden als Lithium. Es ist daher preiswert und quasi unbegrenzt verfügbar. Ein weiterer, entscheidender Bestandteil ist der keramische Festelektrolyt aus Natrium-Beta-Aluminat. Die ZEBRA-Zellen wurden vom Fraunhofer IKTS bereits erfolgreich weiterentwickelt und werden aktuell kommerzialisiert.

Natrium-Beta Aluminat – das Herz der Batterie

Das Fraunhofer IKTS hat Werkstoffe und Verfahren zur Herstellung von Natrium-Beta-Aluminat mit hoher Phasenreinheit und Dichte entwickelt. Die Elektrolyte weisen deswegen eine hohe chemische, elektrochemische und mechanische Stabilität auf. Sie eignen sich daher hervorragend als ionenleitende Festelektrolyten in Batterien. Im Gegensatz zu üblichen, organischen Elektrolyten sind sie zudem ungiftig und können nicht in Brand geraten.

Übergangsmetalloxide – eine Erfolgsgeschichte

Die heutige Lithium-Ionen-Technologie basiert auf Übergangsmetalloxiden (»NMC«), die als Positivelektroden eingesetzt werden. Ihre gute Energiedichte und Kosteneffizienz machen sie

enorm erfolgreich – ihre Entdecker erhielten 2019 den Chemie-Nobelpreis. Es existieren allerdings auch Natrium-basierte Lithium-Analoga, sodass diese leistungsstarken Übergangsmetalloxide auch in Natrium-basierten Zellen eingesetzt werden können.

Ein neuartiges Zellkonzept – die Kombination leistungsfähiger Zellbestandteile

Am Fraunhofer IKTS werden Natrium, Natrium-Beta-Aluminat und Übergangsmetalloxide zu einem neuartigen Zellkonzept kombiniert, das ideal für die stationäre Energiespeicherung geeignet ist.

Durch Verwendung eines speziellen Kathodenkomposits entsteht eine sichere Festkörperbatterie mit hoher Energiedichte. Aufgrund des Einsatzes der Compositelektrode konnte die Betriebstemperatur auf 80 °C abgesenkt werden. Der Elektrolyt ist zudem scheibenförmig, was vorteilhaft für die Produktion und den Modulbau ist.

Aufgrund der Phasenumwandlungen im Aktivmaterial ist die Lebenszeit der Batterie aktuell noch begrenzt. Hier wird intensiv an einer Verbesserung gearbeitet, beispielsweise durch das Einbringen von Fremdatomen (»Dotierung«). Gleichzeitig werden dünnere Elektrolyte eingesetzt und damit der Zellwiderstand optimiert. Ziel der Entwicklung ist eine marktfähige Festkörperbatterie, die nachhaltig und sicher ist und eine hohe spezifische Energie aufweist.



Messzelle mit Natrium-Beta-Aluminat und Übergangsmetalloxid-Aktivmaterial (Quelle: EL-CELL).



Scheibenförmiger Festkörperelektrolyt aus Natrium-Beta-Aluminat.

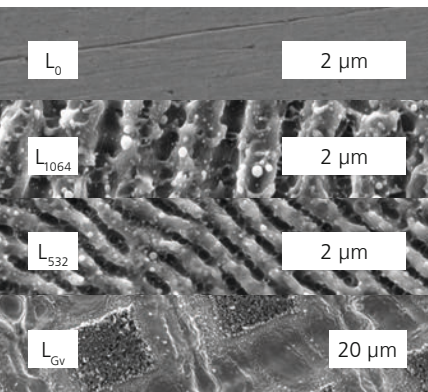
BATTERIE | 2020

Gefördert durch:

 Bundesministerium
 für Bildung
 und Forschung
 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages

Verbesserte Stenteigenschaften durch laserinduzierte periodische Oberflächenstrukturierung

Dr. Natalia Beshchasna, Dr. Muhammad Saqib, Dr. Joerg Opitz



Oberflächenmorphologie unbehandelter (L_0) und laserbehandelter Edelstahlproben mit Pikosekunden-Lasersystem.

Seit Jahrzehnten werden Stents erfolgreich zur Behandlung von Herzkranzgefäßen eingesetzt. Trotzdem bedürfen sie noch immer weiterer Verbesserungen hinsichtlich ihrer Biokompatibilität; insbesondere bei Wiederverengung (Restenose), Neubildung der Gefäßinnenwand (Endothelialisierung) und Korrosion.

Röntgenanalyse (SEM-EDX), Kontaktwinkelmessungen und Laserprofilometrie zum Einsatz.

In Zusammenarbeit mit der Universität Modena & Reggio Emilia (Italien), NanoPrime (Polen) und der Universität Lettland untersuchte ein Team des Fraunhofer IKTS den Einfluss der laserinduzierten periodischen Oberflächenstrukturierung (LIPSS) auf Stenteigenschaften. Dabei handelt es sich um eine vielversprechende Oberflächenmodifikationstechnik zur Beeinflussung der Migration und Proliferation (Wachstum) von Zellen sowie der Korrosionsrate von Metall-Stents.

Alle LIPSS-Proben wiesen im Vergleich zum Referenzmaterial eine erhöhte Oberflächenrauheit und eine Veränderung der Benetzbarkeit vom hydrophilen zum hydrophoben Zustand auf. Elektrochemische Korrosionstests belegten die gesteigerte Korrosionsbeständigkeit der laserbehandelten Oberflächen in Verbindung mit ihrem hydrophoben Verhalten. Von allen getesteten LIPSS-Proben wies die L_{532} -Probe die höchste Korrosionsbeständigkeit und die höchste Zelladhäsion und -proliferation auf, mit signifikantem Einfluss auf die Form der Zelle und das gerichtete Wachstum entlang der Nanostrukturen.

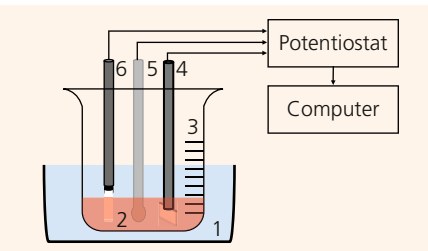
Drei Testszenarien

Vielversprechende Ergebnisse

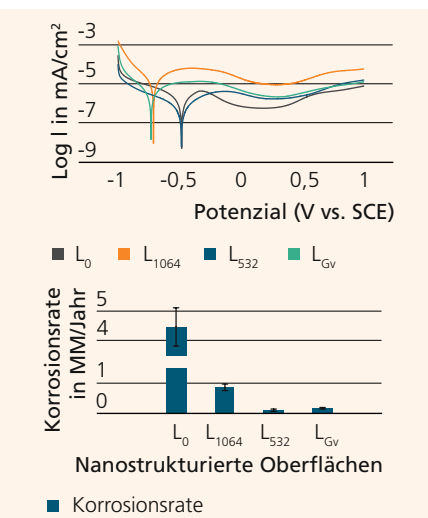
Für die Untersuchungen wurden AISI 316-Edelstahlplatten (2 mm dick, 10 mm im Durchmesser) mittels Laserschneiden und Polieren aufbereitet und anschließend mit dem EKS-PLA Atlantic 5 Pikosekundenlaser (Strahllinien mit Wellenlängen von 1064 nm und 532 nm) behandelt. Es standen drei verschiedene Laserbehandlungen im Fokus: zwei (L_{1064} , L_{532}) strebten eine gleichmäßige Verteilung von LIPSS auf den Oberflächen an, während die dritte (L_{Gv}) ein Gitter von Rillen mit einem Abstand von 40 µm generieren sollte.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Oberflächen von Stents durch mikro- oder nanostrukturierte Beschichtungen bzw. Oberflächenmodifikationen verbessert werden. Zudem wirkt sich die behandelte Oberfläche positiv auf die Zell-Material-Interaktion aus, indem die Restenose im Stent unterdrückt und die Endothelialisierung gefördert wird. Da LIPSS-Strukturen in der Lage sind, natürliche Nanoeigenschaften des Gefäßgewebes nachzubilden, ergibt sich ein großes Potenzial für die biologische Transformation.

Die Biokompatibilität wurde anhand von mesenchymalen Stammzellen aus menschlichem Nabelschnurgewebe untersucht. Für die Erfassung von Morphologie, Benetzbarkeit und Struktur der Oberflächen kamen die Rasterelektronenmikroskopie mit energiedispersiver



Versuchsaufbau für elektrochemische Messungen an Stents, 1. Wasserbad, 2. Salzlösung nach Hanks (HBSS), 3. Glasbecher, 4. Gegenelektrode: Platinblech (25*25 mm²), 5. Referenzelektrode: gesättigte Kalomelektrode (SCE), 6. Arbeitselektrode: TiON-Stent.



Korrosionsverhalten von LIPSS-Oberflächen: Tafelkurven (oben) und Balkendiagramm für Korrosionsraten (unten).



Implantat-Gehäuse mit optischem Fenster aus transparenter Keramik

Dipl.-Ing. Olaf Sandkuhl, Dr. Daniel Schumacher, Dr. Sabine Begand

Projektpartner aus Wirtschaft, Wissenschaft und Medizin haben im Rahmen des Innovationsclusters INTAKT an einem bislang einzigartigen Forschungsprojekt zum therapeutischen Einsatz interaktiver Mikroimplantate gearbeitet. Unter der Leitung des Fraunhofer IBMT hat das Konsortium aus 18 Partnern digitale Medizinprodukte entwickelt, die auf einen größtmöglichen Nutzen für den Patienten ausgerichtet sind. So sollen neue Technologien eine lebenslange zuverlässige Anwendung der Implantate gewährleisten. Im Fokus stehen hierbei die Anwendungsbereiche Tinnitusunterdrückung, die Wiederherstellung von Greiffunktionen sowie die Behandlung gastrointestinaler Funktionsstörungen.

Ziel von INTAKT war die Entwicklung einer völlig neuartigen Generation aktiv vernetzter einzelner Mikroimplantate (Bild 1), welche zukunftsweisende Ansätze für eine verbesserte Mensch-Technik-Interaktion liefern können. Miteinander vernetzte Implantate kommunizieren über äußere Schnittstellen mit dem Arzt oder Patienten. Diese direkte Kommunikation soll es Ärzten zukünftig erlauben, einen datensicheren Zugriff auf relevante Informationen zu erhalten und durch die äußere Steuerung von Parametern und Stimulationsmodi die Behandlung optimal auf den Patienten auszurichten.

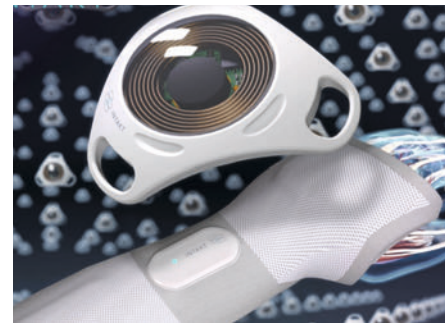
Mit der Übernahme der Transparentkeramik-Sparte der Firma CeramTec-ETEC im April 2021 hat das IKTS die Arbeiten im INTAKT-Teilvorhaben zur Behandlung gastrointestinaler Funktionsstörungen fortgesetzt. Die Aufgabe bestand darin, eine mechanisch stabile und hermetisch dichte Keramik-Hausung mit optischem Fenster zu entwickeln. Dazu wurde die transparente Keramik Magnesium-Aluminium-Spinell ausgewählt. Die Anforderungen an die

Keramik waren Biokompatibilität, eine Transparenz im IR-Bereich ($\lambda = 1,07 \mu\text{m}$) und eine ausreichende Bruchfestigkeit. Zur Signalübertragung wurde ein optisches Fenster integriert.

Zwei Formgebungstechnologien wurden getestet: Schlickerguss und Fertigung über Hartbearbeitung aus Vollmaterial.

Die CeramTec-ETEC hat Gehäusedeckel-Demonstratoren der ersten Generation aus PERLUCOR® über die Hartbearbeitung aus Vollmaterial gefertigt. Das IKTS hat den Gehäusedeckel über Schlickerguss als Demonstrator hergestellt und somit eine weitere Formgebungstechnologie für eine monolithische Komponente evaluiert. Nach Vorliegen des finalen Designs konnte eine weitere Kleinserie der monolithischen Gehäusedeckel der zweiten Generation aus Spinell-Keramik gefertigt werden (Bild 2). Anschließend erste In-vitro-Untersuchungen mit komplett aufgebauten Implantaten (Bild 3) erzielten positive Resultate. Den Sensoraufbau, die Grundplatte und die Stromversorgung entwickelten Projektpartner. Die IKTS-Arbeitsgruppe ist für Medizinprodukte gemäß ISO 13485 zugelassen, so ist es möglich, die Entwicklung und Herstellung von Prototypen weiter zu optimieren.

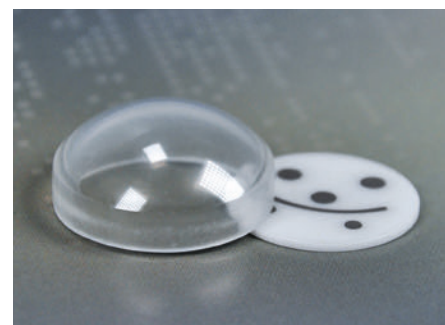
Initiiert und gefördert wurde das fünf Jahre laufende Projekt durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Forschungsprogramms »Technik zum Menschen bringen« (FKZ: 16SV7652).



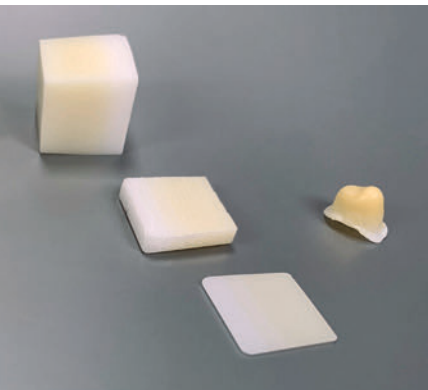
INTAKT Implantat-Design
(Quelle: Wilddesign GmbH).



Spinell-Gehäuse mit Grundplatte
(Quelle: Wilddesign GmbH).



Implantat mit Sensorik.



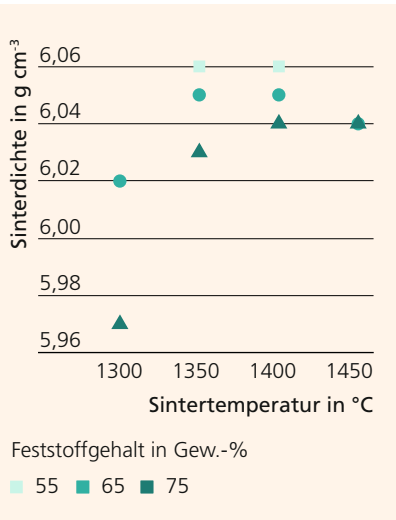
Gesinterter Multilayer-Blank und aus einem Multicolor-Blank gefräste Krone.

Druckguss von Multilayer-Blanks für dentale Restaurationen

Dr. Daniel Schumacher, Dr. Sabine Begand

Zirkonoxid findet seit mehr als zwei Jahrzehnten immer stärkere Verbreitung auf dem Dental-Markt. Das Branchennetzwerk Aegis Communications prognostiziert jährliche Wachstumsraten von bis zu 9,3 %. Das zunehmende Ästhetik-Bewusstsein der Patienten bei dentalen Restaurationen rückt Entwicklungen auf dem Gebiet der kosteneffizienten Farbanpassungen in den Fokus. Zirkonoxid weist gegenüber anderen Materialien viele Vorteile auf: Sie ist biokompatibel, reduziert Plaque-Anlagerungen und ist nur gering wärmeleitfähig. Zudem ist keine Gesundheitsgefährdung durch allergische Reaktionen zu erwarten.

Transluzenz und Farbeindruck zu verändern. Zudem ermöglicht die gezielte Vermischung der unterschiedlich dotierten Schlicker die Erzeugung eines kontinuierlichen Farbverlaufs ohne Schichtbildung.



Sinterdichte in Abhängigkeit des Feststoffgehalts und der Sintertemperatur bei einem Gießdruck von 15 bar.

Farbverlauf mit dotierten Schlickern

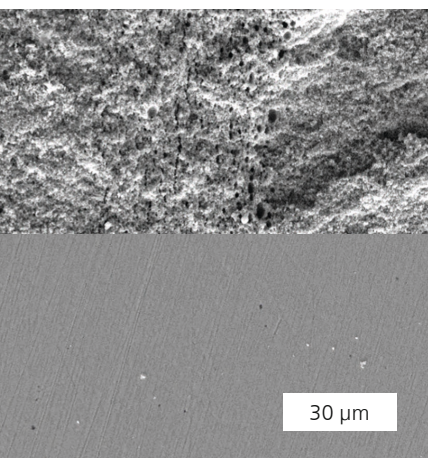
Nach der Auswahl eines geeigneten Formmaterials wurden geeignete Prozessparameter zur Aufbereitung der Schlicker mittels Rührwerkskugelmühle festgelegt. Bei mittleren Partikelgrößen von etwa 0,18 µm ließ sich unter Verwendung einer eigens entwickelten Druckgusszelle ein homogenes und dichtes Gefüge mit guten mechanischen Kennwerten erzeugen. Es folgten Untersuchungen zur Identifizierung von Prozessabhängigkeiten. Insbesondere der Einfluss des Feststoffgehalts (55–75 %) und des Drucks (15–25 bar) auf die Dichte und das Gefüge wurden betrachtet. Die definierte Zugabe von unterschiedlich dotierten Schlickern während des Druckgussprozesses ermöglichte den Aufbau mehrfarbiger Blanks mit einer Höhe von 20 mm. Dabei konnten die sehr hohen Anforderungen an den Farbverlauf (Gradient und Farbeindruck) erreicht werden. An den Grenzflächen der Schichten sind nach Sinterung keine Inhomogenitäten erkennbar. Neben der guten Ästhetik können die mehrfarbigen Blanks auch mit sehr guten mechanischen Eigenschaften (biaxiale Festigkeit 1050 MPa) überzeugen. Abschließende Bearbeitungsversuche mit einer Dental-Fräsmaschine beweisen die gute Eignung der Blanks zur Herstellung von Multicolor-Restaurationen. Für Anwendungen in der Medizintechnik bieten wir die kundenspezifische Entwicklung von oxidkeramischen Komponenten und Technologien sowie die kundenspezifische Fertigung von Halbfabrikaten an. Hierfür sind wir nach DIN EN ISO 13485 zertifiziert.

Druckschlickerguss

Druckschlickerguss wird industriell zur Herstellung von technischer Keramik eingesetzt. Seit einigen Jahren findet diese Technologie auch in der Dentalkeramik Anwendung. Insbesondere die Verwendung von Schlickern mit geringen Partikelgrößen stellt diese Formgebungstechnologie vor Herausforderungen. Für mechanisch hoch belastete Komponenten wie Dentalrestaurationen, ist eine kleine Partikelgröße jedoch zwingend erforderlich.

Gute Ästhetik auch ohne Verblendung

IKTS-Forschende konnten mit einem Industriepartner Multilayer-Blanks für dentale Restaurationen mittels Druckschlickerguss herstellen. Dabei wurde bereits im Formgebungsprozess der Farb- und Transluzenzverlauf des natürlichen Zahns abgebildet. Bisher war dafür eine nachgelagerte aufwändige Verblendung der Restaurationen mit Glas oder Glaskeramik zum Erreichen der ästhetischen Ansprüche nötig. Für die Umsetzung des Verfahrens waren zwei Aspekte zentral: Dotierungen des Zirkonoxids bieten eine leicht zugängliche Möglichkeit



REM-Aufnahmen der Grenzfläche teilgesintert (oben) und gesintert (unten).

Vollflächige Qualitätskontrolle und Onlinebewertung von Kohlefasergelegen

Prof. Henning Heuer, Dirk Hofmann, Martin Küttner, Jürgen Michauk, Martin Oemus, Christian Pilz, Matthias Pooch, Maren Rake, Scally Joyce Scharbow, Martin Schulze, Till Schulze, Nikolas Wohlgemuth

Multiaxiale Hochleistungs-Kohlefasergelege (NCF) können bisher nicht vollumfänglich inline geprüft werden. Die zur Verfügung stehenden optischen Verfahren erlauben keinen Blick auf verdeckte Schichten und damit unsichtbare Defekte im Material. Das betrifft vor allem die verdeckten lasttragenden 0°-Lagen. Deshalb wurde am Fraunhofer IKTS ein mehrkanaliges Wirbelstromsystem entwickelt, das CF-Textilien inline, in Highspeed und voller Produktionsbreite zerstörungsfrei prüft.

Erprobte Basis

Grundlage bildet das industrieeerprobte EddyCus® Pro-II-Messsystem des Fraunhofer IKTS, das die Detektion und Auswertung von verdeckten Kohlefasern innerhalb eines multiaxialen Lagenaufbaus ermöglicht. Die modular erweiterbaren Sensorelemente erlauben eine blindpixelfreie Inspektion von Produktionsbreiten bis zu 101 Zoll, inline und bei Produktionsgeschwindigkeiten von bis zu 5 m/s. Das System kann metallische Verunreinigungen und eingenähte Kohlefasern eindeutig klassifizieren und bietet darüber hinaus eine automatisierte Gassenerkennung, Fehlergrößenbewertung und Faserorientierungsmessung.

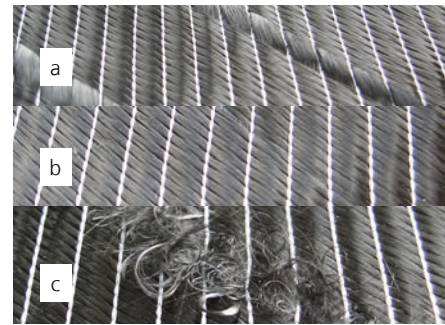
Dabei erfasst das Inspektionssystem Informationen über den Leitfähigkeitszustand in Echtzeit bei gleichzeitig hoher lateraler Auflösung – berührungslos und somit zerstörungsfrei integral. Möglich wird dies durch die Kombination mehrerer Wirbelstromkanäle (Mehrkanalsensoren) mit sensorintegrierten Multiplexern und einem leistungsstarken Edge-Server für die Datenanalyse.

Anwendungen

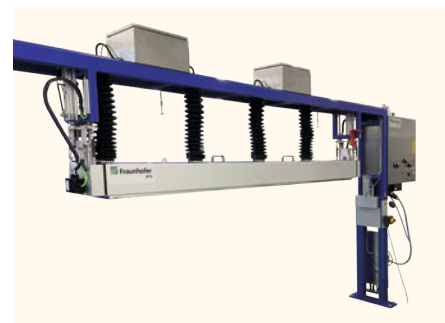
- Inline-Produktionsüberwachung von bis zu 101 Zoll Inspektionsbreite bei der Herstellung von NCF-Gelegen (Gassen, Ondulationen, Lagenaufbau, Einschlüsse von Fremdmaterial) insbesondere in verdeckten und nicht sichtbaren Lagen
- Inline-Inspektion von Schicht- und Wanddicken, elektrischem Schichtwiderstand von hoch- und niedrigleitenden Schichten auf Wafern, Batteriefolien, leitfähigen Beschichtungen auf Glas und Kunststoff in Nanometerauflösung

Eigenschaften des Prüfsystems

- Kaskadierbares System mit einer Kanalmultiplexrate von bis zu 100 KS/s
- Bestehend aus 4 EddyCus® Pro-II-Geräten und 12 Array-Sensoren
- Bis zu 25 MHz Wirbelstromanregungsfrequenz dank integrierter Multiplexer
- Maximale laterale Auflösung: 0,853 mm
- ATEX-konform für Zone 21 (IP 68)
- Temperaturkompensation
- Datenanalyse und Systemsteuerung durch integrierten Edge-Server
- Optionales Ethernet-basiertes OPC-UA für Smart-Factory-Anwendungen
- Analoge und digitale E/A für die Kommunikation mit der Produktionslinie
- Algorithmen für automatisierte Kalibrierungen, insbesondere für inhomogene und anisotrope Materialien wie Kohlefasermaterialien



Mögliche Fehler bei der NCF-Produktion: a) Gassen, b) überlappende Fasern, c) Flusen.



Inspektionssystem mit Hochfrequenz-Wirbelstromarrays.



EddyCus® Pro-II ECA-Messsystem für 101 Zoll Prüfbreite, modulare Sensorarrays.



101 Zoll breiter Wirbelstrom-C-Scan.

Prozessdigitalisierung in der Metallbranche

**Peter Bischoff, Dr. Manuela Heymann, Dr. Christiane Schuster,
Prof. Thomas Härtling**

Für die Digitalisierung von Produktionsprozessen ist die individuelle Erfassung der hergestellten Bauteile Voraussetzung, da nur so Produktionsparameter und Bauteilzustand zusammengeführt werden können. Besondere Herausforderungen ergeben sich dabei in der Metallverarbeitung. Während kalt hergestellte Metallkomponenten bereits seit langem gekennzeichnet werden, verhindern hohe Prozesstemperaturen von bis zu über 1000 °C bei anderen Bauteilen die durchgängige Kennzeichnung. Das Aufschmelzen von Oberflächen, Anlauf-farben, Verzunderung und potenziell auftretende Korrosion machen konventionelle Kennzeichnungen in vielen Fällen unmöglich.

Die Ceracode®-Technologie

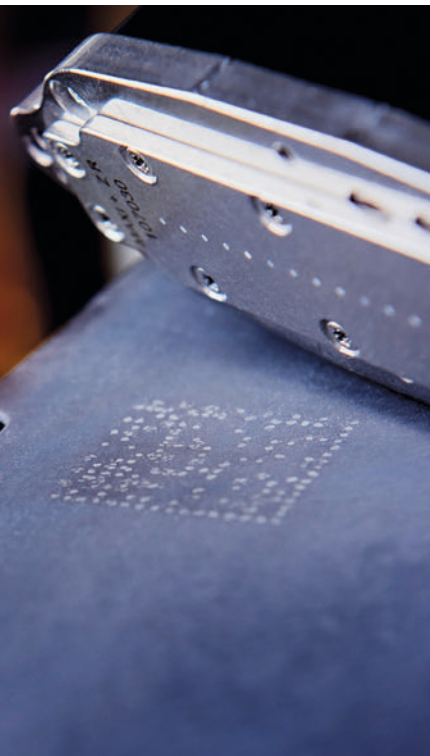
Das Fraunhofer IKTS hat für diese schwierigen Einsatzfälle die hochtemperaturfeste Ceracode®-Tinte entwickelt, die durch die IKTS-Ausgründung Senodis Technologies GmbH vermarktet wird. Mit dieser Tinte werden Kennzeichnungen (etwa Data-Matrix-Codes) mit Hilfe von gängigen Industriedruckern auf Metallkomponenten gedruckt, ehe diese in Hochtemperaturschritten weiterverarbeitet werden. Durch die hohe Temperatur kommt es zur stoffschlüssigen Verbindung von Tintenbestandteilen und Metalloberfläche, so dass eine dauerhafte Markierung entsteht. Die Bauteilkennzeichnung kommt bereits beim Presshärten in Produktionslinien bei Automobilherstellern zum Einsatz. Mit dieser Umformtechnologie werden hochfeste crash-relevante Karosserieteile, wie A-, B-, C-Säulen oder Batteriekästen, gefertigt. Das Kennzeichnungsverfahren hat das Stadium der Technologieentwicklung überschritten und ist als Produkt des Vermarktungspartners verfügbar. Vor diesem Hintergrund geht das Fraunhofer IKTS

neue Anwendungen an, die über die reine Bauteilidentifikation (Track-and-Trace) hinausgehen.

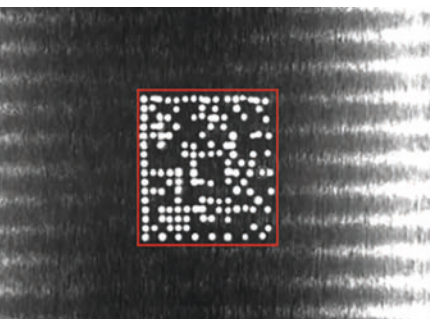
Erschließung neuer Anwendungen in der Prozessdigitalisierung

Neben der Erfassung des Codeinhalts (z. B. laufende Produktionsnummer) erlaubt die Kennzeichnung zum einen die Zuordnung von Prozessparametern (wie Ofenverweildauern, Presskräfte, verwendete Werkzeuge) zu individuellen Bauteilen. Somit wird die Granularität des digitalen Prozessmonitorings erhöht und kann über einen digitalen Zwilling des Herstellungsprozesses für Optimierungen genutzt werden. Zum anderen kann aber auch der Kennzeichnungsvorgang selbst überwacht und somit hochzuverlässig gestaltet werden, indem unmittelbar nach dem Druck das Druckbild automatisiert analysiert wird.

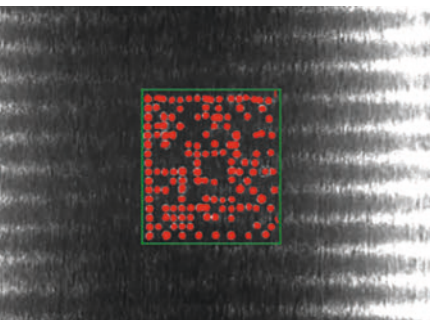
Letzteres verfolgen Fraunhofer IKTS und Senodis gemeinsam im BMWK-Verbundvorhaben »Ceracode Digital« (FKZ: 16GP105802). Durch eine automatisierte Bildsegmentierung (Unterscheidung zwischen Druckmuster und Hintergrund) können kleinste Abweichungen, z. B. von Druckpunkten zu ihrer Sollposition, erfasst werden. Diese so ermittelten Eigenschaften des Drucks erlauben eine frühzeitige Erkennung und Verhinderung von Druckausfällen. Zusätzlich sind damit aber auch Echtheitsnachweise von Bauteilen möglich, was zukünftig z. B. für die Erfassung bauteilspezifischer CO₂-Fußabdrücke von großer Relevanz sein wird.



Data-Matrix-Code auf Warmformblech, gedruckt mittels Industriedrucker.



Automatisch detektierte Region of Interest für einen Data-Matrix-Code.



Erkennung der gedruckten Punkte zur detaillierten Druckbildauswertung.

CoMoBase3 – neue Hardwareplattform für die akustische Zustandsüberwachung

Dr. Bianca Weihnacht, M.Sc. Thomas Klesse, Jörn Augustin, Sebastian Sonntag, Richard Kienitz, Dr. Lars Schubert

Die kontinuierliche Erfassung von Daten ermöglicht es, den Zustand von Infrastruktur zuverlässig zu erfassen und mit digitalen Zwillingen abzugleichen. Ziel ist es daher, während des Betriebs eine breite Datenbasis messtechnisch zu erfassen, beispielweise mittels akustischer Zustandsüberwachung.

CoMoBase3

Die am Fraunhofer IKTS entwickelte Hardwareplattform CoMoBase3 soll den damit einhergehenden hohen Anforderungen gerecht werden. Sie ist für die autonome Langzeitüberwachung von technischen Strukturen und Anlagen konzipiert. Das umfasst sowohl Ultraschall (Acousto-Ultraschall) als auch passive Verfahren (Schallemissionsanalyse) im Frequenzbereich von 1 kHz bis 8 MHz.

Als mehrkanaliges akustisches Komplettsystem ist es für akustische Sensornetze sofort einsetzbar. Es eignet sich beispielsweise zur Überwachung von Drucktanks oder Rohrleitungen in Industrieanlagen, wobei die Betriebsdaten direkt mit den Messdaten korreliert werden können. Dafür werden die piezoelektrischen Sensoren an Hotspots oder in der Fläche verteilt. Mithilfe der Online- bzw. Offline-Analyse werden Schadensindikatoren definiert, die Aufschluss über den Zustand der Struktur geben. Eine weitere Einsatzmöglichkeit ist das begleitende Monitoring bei Fatigue-Tests. Dabei können Schadensverläufe schon während des Versuchs dargestellt werden.

Das System ist modular aufgebaut, kann entsprechend der Überwachungsaufgabe mit bis zu 32 synchronen Kanälen mit 20 MS/s ausgerüstet werden und hat eine Auflösung von 16 bit.

Sensorlösungen

Die Hardware kann mit Sensorlösungen für vielfältige Überwachungsaufgaben kombiniert werden. Diese stehen für verschiedene Frequenzbereiche, aber auch für den Hochtemperaturbereich oder für Anwendungen in EX-Schutz-Zonen zur Verfügung.

Anwendungsfelder

Typische Anwendungsbereiche des Messgeräts sind Faserverbundwerkstoffe wie Kohlefaserverstärkter Kunststoff (CFK) und Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK), in Drucktanks, Rohrleitungen oder auch Rotorblättern. Die Hardware kann aber auch beim Monitoring metallischer Infrastrukturkomponenten, wie Behältern oder Rohren Anwendung finden. Mit den beiden Messverfahren können vielfältige Korrosionsschäden wie Risse, Wandabträge oder auch Lochfraß detektiert werden. Zudem eignet sich die Hardware auch für die nicht-permanente Prüfung von Komponenten.

Förderung

Die Entwicklung erfolgte im Projekt »Quant-Carbon« und wurde von der Sächsischen Aufbaubank unter der Antragsnummer 100393561 gefördert.



Prüfung einer CfK-Felge mit Schallemission.



Dauerhafte Überwachung von Drucktanks mit geführten Wellen.



Akustisches Messsystem mit 32 Kanälen.

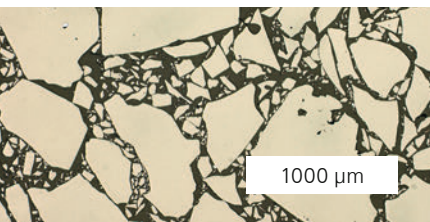




Pilotpropeller während des Beschichtungsprozesses (Quelle: SiCcast GmbH).



Pilotpropeller auf der Messe nach zweijährigem Einsatztest.



1000 µm

Typisches Werkstoffgefüge des Polymer-Keramik-Verbunds (Quelle: SiCcast GmbH).



Propeller mit (mitte) und ohne Beschichtung (rechts) nach Tribotests im Labor.

Verschleiß- und korrosionsbeständige Rührwerke für Biogasanlagen

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

Infolge der komplexen Charakteristika der Gärsubstrate erreichen die aus metallischen Werkstoffen, Kunststoffen oder glasfaserverstärkten Polymeren gefertigten Rührer in Biogasanlagen nur Standzeiten von einigen tausend Betriebsstunden. Bereits nach kurzer Betriebszeit setzen Verschleiß- und Korrosionserscheinungen am Propeller ein, was nicht nur zu einem erhöhten Wartungsaufwand führt, sondern zudem den Mischprozess in den Fermentern negativ beeinflusst. Die wesentlichen Anforderungen an das Rührwerk werden determiniert durch die chemischen (pH-Wert, Reaktionswärme, hoher Salzgehalt, H₂S), mechanischen und tribologischen Gegebenheiten im Fermenter.

Im Rahmen des Verbundvorhabens »MaRü-Ferm« wurde zusammen mit dem Rührwerkshersteller RTO GmbH und dem Mineralgusspezialisten SiCcast GmbH eine verschleißfeste Beschichtung für Rührwerke entwickelt. Diese besteht wesentlich aus einem kalthärtenden Polymer-Keramik-Verbund, der in variablen Schichtdicken auf metallische, keramische und polymere Werkstoffe aufgebracht werden kann. So lassen sich mit dieser Beschichtungstechnologie nicht nur neue Rührwerke armieren, sondern auch bereits verschlissene Rührtechnik zeiteffizient und kostengünstig aufarbeiten.

Der Polymer-Keramik-Verbund weist eine sehr hohe Medienstabilität und keine Foulingneigung auf. Aufgrund seiner hohen Dämpfung ist er trotz des hohen Keramikanteils schadens-tolerant und unempfindlich gegen Schläge. In einem Tribotest an skalierten Propellern zeigte die Armierung einen um den Faktor 5 niedrigeren Verschleiß im Vergleich mit Rührern aus Polyamid 12.

In einem zweijährigen Langzeittest eines ar-mierten industriellen Pilotrührers (Ø 2500 mm, Drehzahl bis 60 U/min) in einer Biogasanlage erfolgte die technologische Überprüfung. Der Propeller zeigte in dieser Zeitspanne einen extrem geringen Verschleiß und bestätigte die Tests im Labor- und Technikumsmaßstab. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass derartig armierte Fermenterrührer über 10 Jahre wartungsfrei im Dauerbetrieb in einer Biogasanlage einsetzbar sind, ohne einen signifikanten Verlust ihrer Rührleistung aufzuzeigen.

Bild 4 zeigt skalierte Propeller nach den Tribotests im Labormaßstab. Rührer (PA 12) im Ausgangszustand (links), Rührer (PA 12) nach dem Test mit hohem Verschleiß (rechts) und mit der entwickelten Armierung beschichteter Rührer nach dem Verschleißtest (mitte).

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Charakterisierung, Entwicklung und Optimierung von Rührwerken
- Werkstoffentwicklung keramikbasierter Verschleißschutzbeschichtungen
- Charakterisierung tribologischer und korrosiver Effekte
- Herstellung von Musterbauteilen

Neuartige Hartstoffe für die Entwicklung verschleißresistenter Bremscheiben

Dr. Johannes Pötschke, Dr. Susan Conze, Dr. Lutz-Michael Berger

Die neuen Mobilitätskonzepte des 21. Jahrhunderts verlangen eine technische Anpassung aller Komponenten. Vor allem Bremsen als zentrales Sicherheitssystem eines jeden Fahrzeugs genügen in der heute noch üblichen konventionellen Art nicht mehr den technischen, ökologischen und insbesondere auch gesetzlichen Vorgaben. Am Fraunhofer IKTS wird daher an innovativen Werkstofflösungen für laser- und oberflächentechnische Konzepte neuer Bremscheibengenerationen gearbeitet. Diese sollen gleichermaßen das erforderliche Bremsvermögen, die aktive und passive Sicherheit von Fahrzeugen, Insassen und Verkehrsteilnehmern sowie eine drastische Verringerung der Feinstaubemission bei Millionenstückzahlen dieser Bauteile wirtschaftlich gewährleisten.

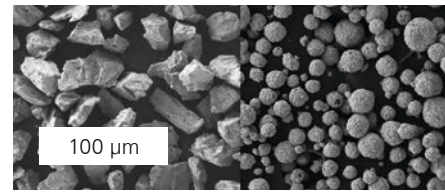
Im Rahmen des SAB-Projekts BremsCLAD entwickelt das IKTS funktionsoptimierte, in einer Metallmatrix eingebettete, carbidische Werkstoffe. Diese werden von den Projektpartnern C4 Laser Technology GmbH und Fraunhofer IWS mittels Hochleistungs-Laser-Auftragsschweißens auf Bremscheiben-Grundkörper aus Gusseisen aufgetragen. Dabei wird über ein maßgeschneidertes Pulverdüsensystem das Carbid- und Metallpulver gemischt und mit einem Laser auf die rotierende Bremscheibe aufgebracht.

Die neuen am Fraunhofer IKTS entwickelten Carbidwerkstoffe werden mit industriellen Verfahren wie »Sintern und Brechen« (s&c) sowie »Agglomerieren und Sintern« (a&s) hergestellt. Letzteres eignet sich zudem zur Herstellung von vorverdichteten Carbid-Metallpulvern. Die Entwicklungscarbide (Ti,X)C zeigen eine vergleichbare oder bessere Härte von bis zu 2530 HV0.1 im Vergleich zum Referenzmaterial TiC mit 2420 HV0.1.

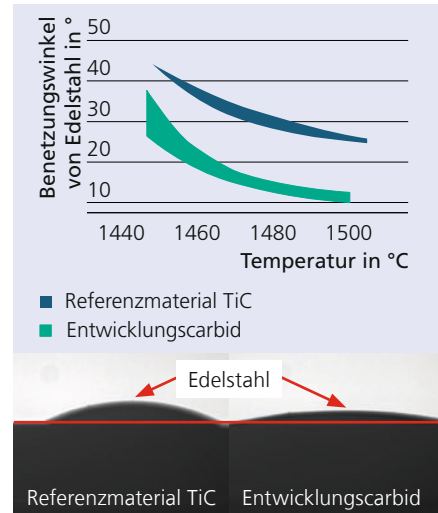
Ebenfalls ermöglicht eine erhöhte Dichte im Bereich von 6 g/cm³ (TiC: 4,9 g/cm³) eine bessere Rieselfähigkeit und Verminderung der Partikelgröße, die folglich eine Reduzierung der Schichtdicke erlaubt.

Für eine defektarme Beschichtung aus Carbidwerkstoff und Metallmatrix wurde der Carbidwerkstoff hinsichtlich des Benetzungsverhaltens der Metallmatrix optimiert. Benetzungswinkelmessungen zeigen, dass abhängig von der chemischen Zusammensetzung der Benetzungswinkel im Vergleich zu TiC halbiert werden kann (Bild 2). Dies führt zu einer homogenen und dichten Beschichtung selbst bei geringerer Laserleistung und dadurch geringerem Energiebedarf. Alternativ wurde die Herstellung von binderhaltigem Carbidpulver (Carbid-Metallpulver) untersucht, um bei der Laserverarbeitung eine verbesserte Benetzung mit der Metallmatrix zu erzielen. Mit optimierten Entwicklungscarbiden ist eine materialeffiziente und kostengünstige Beschichtung mit geringerer Schichtdicke bei reduziertem Hartstoffanteil realisierbar. Gleichzeitig reduziert der schnellere Wärmeübertrag auf den Gusseisen-Grundkörper die thermische Last der Schicht im Einsatz. Aktuell werden die mit den Entwicklungscarbiden beschichteten Bremscheiben beim Projektpartner C4 Laser Technology GmbH getestet.

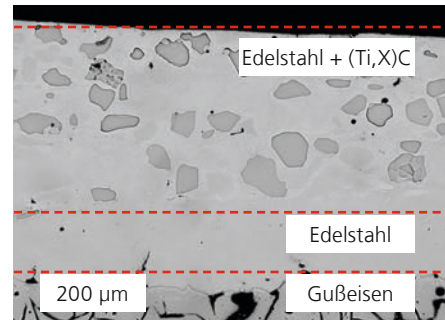
Das SAB-Projekt BremsCLAD (FKZ: 100552819) wird von der EU und dem Freistaat Sachsen aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) finanziell gefördert.



s&c (links) bzw. a&s (rechts) Beschichtungspulver.



Benetzungsverhalten gegenüber Edelstahl.



Schichtsystem auf Gusseisen.



Bremscheibe während eines Prüfprogramms.



Keramischer Reaktor für umweltfreundlichere Satellitenantriebe

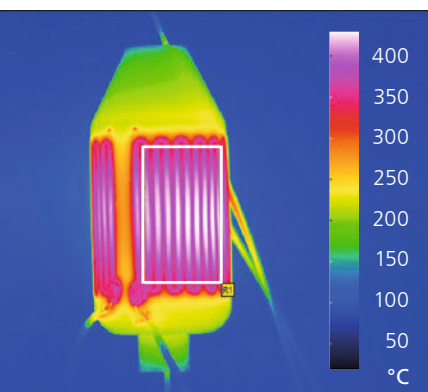
**Dr. Uwe Scheithauer, Dr. Lars Rebenklau, Dr. Henry Barth,
Dipl.-Ing. Eric Schwarzer-Fischer, Dipl.-Ing. Leon Berger**



*CAD-Rendering des Reaktors:
Schnitt durch Substrat (links);
Gesamtstruktur inklusive
Heizerstruktur (rechts).*



*Reaktor inklusive elektrischer
Kontaktierung.*



*Aufnahme einer IR-Kamera
während des Heizprozesses.*

Satellitentriebwerke dienen der Lageregelung und dem Orbit-Transfer sowie dem De-Orbiting von Satelliten am Ende ihrer Lebensdauer, um Weltraummüll zu vermeiden. Der Betrieb dieser Triebwerke erfolgt derzeit meistens mit hochgiftigen und teuren Treibstoffen wie Hydrazin. Zunehmend werden diese durch umweltfreundlichere Alternativen wie Wasserstoffperoxid (H_2O_2) ersetzt.

Die Induzierung der notwendigen Zerlegung von H_2O_2 in Wasser und Sauerstoff (Oxidationsmittel im Verbrennungsprozess) erfolgt aktuell katalytisch. Dazu werden z. B. Silbernetze oder mit Platin oder MnO_2 beschichtete Granulate eingesetzt. Neben den hohen Kosten ist die fehlende Dynamik des Prozesses problematisch, da Satellitentriebwerke in fein abgestimmten Impulsen arbeiten müssen, um die erforderliche Genauigkeit zu erreichen.

Thermisch induzierte Zersetzung von H_2O_2 als grüne Alternative

Alternativ zur katalytisch induzierten Zersetzung von H_2O_2 ist auch die thermische Induzierung der stark exothermen Reaktion ($T > 1000\text{ °C}$) möglich, die anschließend auch ohne weitere Energiezufuhr stabil weiterläuft. Dafür werden Temperaturen über 150 °C , aber keinerlei katalytisch aktive Materialien benötigt. Additiv gefertigte, funktionalisierte Keramikbauteile bieten dabei einen vielversprechenden Lösungsansatz.

Der am Fraunhofer IKTS entwickelte Reaktor (Bild 2) kombiniert mehrere Eigenschaften, die wesentliche Vorteile für das Einsatzszenario haben. Durch die aufgebrachte Heizerstruktur ist eine hochperformante Induzierung der Zersetzungsreaktion möglich. Das im Bauteil als Substratmaterial verwendete Al_2O_3 ist

chemisch sowie thermisch beständiger als metallische Werkstoffe und weist zudem noch eine geringe Dichte auf. Aus der komplexen Bauteilgeometrie (Bild 1) resultiert eine gerichtete Fluidführung, die eine sehr gute Vermischung sicherstellt und eine Überhitzung der außen aufgetragenen Heizerstrukturen trotz der hohen Reaktionstemperaturen im Inneren verhindert.

Vereinigung unikatler IKTS-Kompetenzen

Zur Herstellung des Reaktors wurden unikale Kompetenzen des Fraunhofer IKTS kombiniert. Die additive Fertigung des Al_2O_3 -Substrats erfolgte mittels CerAM VPP-Verfahren mit anschließender Sinterung bei 1650 °C . Im nächsten Schritt wurde die Heizerstruktur inklusive Isolationsschicht und Kontaktpads mittels Rundsiebdruck im Dickschichtprozess aufgebracht. Die dafür genutzten Funktionsmaterialien wurden anschließend in einer zweiten thermischen Prozessierung bei 850 °C gesintert. Final erfolgte das Fügen von Drähten für die elektrische Kontaktierung mittels angepasster Mikroschweißprozesse sowie ein thermisch stabiles Abdecken der Montagestellen.

Eine sichere Funktionsweise bis 400 °C konnte im Labor bereits nachgewiesen werden. Umfangreiche Realversuche sind für das Frühjahr 2023 geplant. Zudem ist eine Erweiterung der Materialpalette auf Si_3N_4 sowie AlN in Arbeit.

Reaktionskinetische Untersuchung zur flexibel betriebenen Direktreduktion von Eisenerz

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

Die Stahlindustrie verursacht etwa 7 % der weltweiten, anthropogenen CO₂-Emissionen und ist damit gegenwärtig einer der größten CO₂-Emittenten. Das sogenannte Direktreduktionsverfahren als alternative Route zur konventionellen Stahlproduktion bietet hier ein enormes Potenzial für die CO₂-Minderung, insbesondere, da es in idealer Weise die Umstellung auf eine nachhaltige Stromerzeugung nutzt und relativ zeitnah umgesetzt werden kann.

Bei der Direktreduktion werden pelletierte Eisenerze, statt mit Kohle und Koks wie im konventionellen Hochofenprozess, mit gasförmigen Reduktionsmitteln zu Roheisen umgewandelt. Möglich ist der Einsatz von Erdgas aber auch von regenerativ erzeugten Reduktionsgasen wie Wasserstoff oder Synthesegas. Ein flexibler Betrieb von Direktreduktionsanlagen unter dynamischem Wechsel der Rohstoffbasis kann dabei enorme Vorteile im Vergleich zur stationären Betriebsweise bieten. Denkbar ist eine Steuerung der Produktion für netzgebundene Dienstleistungen unter optimaler Nutzung der volatilen regenerativen Energiequellen sowie eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit und der Resilienz gegenüber Veränderungen am Energiemarkt.

Zur Bewertung des Potenzials des Verfahrens sind Kenntnisse zur Reaktionskinetik der flexiblen Direktreduktion unerlässlich. Im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts »BeWiSe« wurde eine Direktreduktionsanlage im Labormaßstab umgesetzt, die eine Untersuchung der Reaktionskinetik an einzelnen Eisenerzpellets bei unterschiedlichen Prozessgaszusammensetzungen und Reaktionsbedingungen bis zu 1000 °C und 8 bar ermöglicht. Das System ist zusätzlich ausgestattet mit einer automatisierten Fördereinheit, durch die ein Befüllen

und Entleeren des Reaktors im heißen Zustand stattfinden kann und so eine zeiteffiziente Versuchsdurchführung sichergestellt ist.

Basierend auf den experimentellen Arbeiten wird derzeit ein umfassendes kinetisches Modell erarbeitet, in dem die Einflüsse aller signifikanten Parameter berücksichtigt werden. Die dazu notwendige Quantifizierung der Reaktionsgeschwindigkeitskonstante ist auf Grund der vielfältigen ablaufenden Mechanismen sehr komplex. Bei der heterogenen Gas-Festphasen-Reaktion kann das kinetische Regime unter anderem durch Porendiffusion der Gase innerhalb des Pellets, Festkörperdiffusion von Fe²⁺- und O²⁻-Ionen oder durch Keimbildung und -wachstum beim Phasenübergang bestimmt sein. Sind kohlenstoffhaltige Komponenten im Prozessgas enthalten, kommt es zusätzlich zur Bildung carbidischer Phasen, zur Abscheidung von reinem Kohlenstoff und zur Wassergas-Shift-Reaktion. Das abgeleitete Modell soll anschließend zur Simulation von auftretenden Übergangszuständen im flexiblen Betrieb der Direktreduktion genutzt werden, um so Vorhersagen bezüglich Energiebedarf, Metallisierungsgrad sowie anderer verfahrenstechnischer Kenngrößen zu generieren.

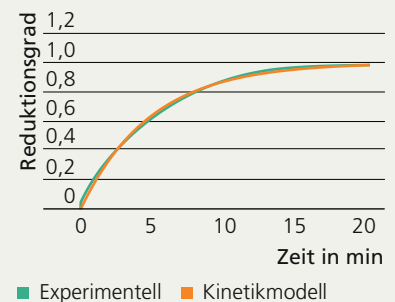
Die am Fraunhofer IKTS einmalige Anlage ist, neben der Direktreduktion von Eisenerz, einsetzbar für eine Vielzahl anderer Anwendungen, im Bereich druckbelasteter Hochtemperaturprozesse.



Direktreduktionsanlage im Labormaßstab.



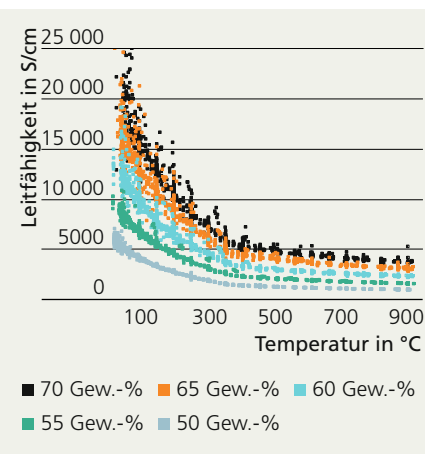
Pelletiertes Eisenerz.



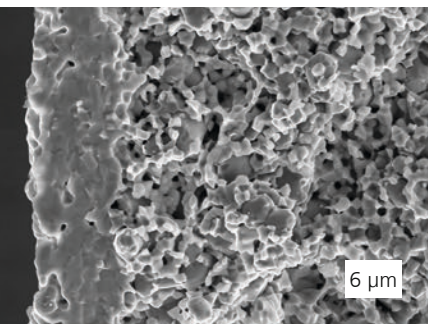
Reduktionskurve eines Direktreduktions-Pellets in H₂ und Vergleich mit Kinetikmodell.

Tubulare Membran-Elektroden-Einheiten für die Festkörper-Ammoniaksynthese

Dr. Olga Ravkina, Dr. Robert Hoffmann, Dr. Ralf Kriegel



Elektrische Leitfähigkeit des Ni-BCZY27-Komposits.



REM-Aufnahme einer dichten BCZY27-Elektrolytschicht auf einem Ni-BCZY27-Träger.

Die angestrebte Umstellung auf eine emissionsarme Wirtschaft erfordert die Entwicklung von innovativen CO₂-freien Prozessen zur Energieumwandlung und die Anpassung der industriellen Verarbeitungsprozesse. Neben Methanol wird Ammoniak eine große Rolle als gänzlich kohlenstofffreiem Energieträger beigemessen. Im Vergleich zu Wasserstoff hat Ammoniak eine deutlich höhere Energiedichte und kann als Flüssigkeit effizienter und kostengünstiger gelagert und transportiert werden.

Schon heute ist Ammoniak eine der wichtigsten und meistproduzierten Grundchemikalien weltweit. Allerdings ist der heutige Stand der Technik – die Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren – eine der größten Quellen für CO₂-Emissionen und für bis zu drei Prozent des weltweiten Verbrauchs an fossilen Energieträgern verantwortlich. Die Entwicklung alternativer Synthesen grünen Ammoniaks wird daher zu einer der großen Herausforderungen des nächsten Jahrzehnts.

Festkörper-Ammoniaksynthese

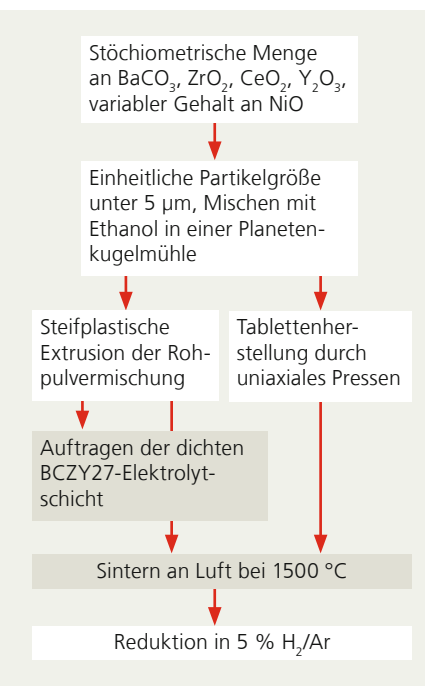
Ein möglicher Lösungsansatz wird im Rahmen des Verbundvorhabens CAMPFIRE 04 mit Partnern des Leibniz-Instituts für Plasmaforschung (INP), des Zentrums für Brennstofftechnik (ZBT) und des Leibniz-Instituts für Katalyse (LIKAT) verfolgt. Die aktuellen Forschungsarbeiten zielen dabei auf die Entwicklung der Festkörper-Ammoniak-Synthese (Solid-State-Ammoniak-Synthese, SSAS) unter Einsatz von dünn-schicht-basierten Membran-Elektroden-Einheiten und Nutzung erneuerbarer Energien (Power-to-Ammonia). Die SSAS ist eine elektrochemische Ammoniak-Syntheseroute, bei der eine direkte Umsetzung von Luftstickstoff und Wasser in einem Membranreaktor erfolgt. Auf der Anodenseite wird Wasser in Sauerstoff und

Protonen zerlegt. Die Protonen werden über eine protonenleitfähige Membran zur Kathode transportiert, wo sie direkt mit Luftstickstoff reagieren.

Am Fraunhofer IKTS wurde das Kernstück des Membranreaktors, der tubulare poröse Komposit-Träger (Metall/Keramik) für den Protonenleitenden Elektrolyten entwickelt. Die tubulare Bauweise ist dabei für die Druckstabilität des Membranreaktors entscheidend. Der offene-porige Träger muss zudem einen schnellen Gasphasentransport ermöglichen. Die optimierte Perkolationsstruktur aus metallischem Nickel und keramischem Protonen-Leiter (BaCe_{0,2}Zr_{0,7}Y_{0,1}O₃) trägt dabei wesentlich zu einer hohen elektrischen Leitfähigkeit bei. Das IKTS entwickelte die Rezeptur für die steifplastische Extrusion der Träger weiter und passte diese den Anforderungen an die finale Bauteilfestigkeit an. Für Rohre mit 10 mm Außendurchmesser wurde eine sehr gute Druckstabilität von 86 MPa erreicht.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Kundenspezifische Support- und Membranentwicklung für die SSAS
- Plastifizierung von keramischen Ausgangspulvern und Extrusion von Rohren und Waben unterschiedlicher Geometrien



Syntheseroute der Trägerherstellung.



Zeolithmembranen für die energieeffiziente Abtrennung von CO₂ aus Biogas

M. Sc. Alireza Taherizadeh, Dr. Adrian Simon, Dr. Hannes Richter

Die Membrantechnologie ist hervorragend geeignet, um CO₂ energieeffizient aus Biogas zu entfernen. Anorganische Membranen sind aufgrund ihrer hohen Stabilität und Permeationseigenschaften geeignete Kandidaten für diese Trennaufgabe. So haben beispielsweise Zeolithmembranen besondere Eigenschaften, wie eine intrinsische Molekularsiebkapazität: d. h. sie können verschieden große Moleküle trennen. Außerdem besitzen sie die Fähigkeit zur bevorzugten Adsorption bestimmter Gaskomponenten. Zur Herstellung von Membranen, die CO₂ von Biogas (CH₄) trennen, wurden Chabasit (CHA)-Zeolithe ausgewählt. Die Porengröße im CHA-Gerüsttyp ähnelt der von CH₄-Molekülen, ist aber größer als die von CO₂. Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden CHA-Membranen hohen Flusses mit einem hohen Si/Al-Verhältnis (SSZ-13) zur CO₂/CH₄-Trennung hergestellt.

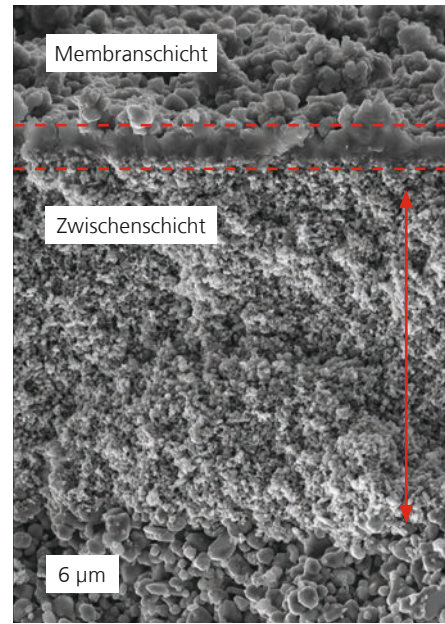
Als Träger der Zeolithmembranen wurden asymmetrisch poröse, keramische Träger aus Al₂O₃ in Einkanalrohrgeometrie (10 mm Außendurchmesser, 7 mm Innendurchmesser, 200 nm Porengröße in der Trennschicht, Membranoberfläche von ~17 cm²) verwendet (Bild oben).

Um die Trenneigenschaften der Membran zu prüfen, wurde die Permeation von Einzelgasen (Graphik mitte) und die komplexere Permeation von Mischgasen (Graphik unten) gemessen. Die Einzelgaspermeation von SSZ-13-Membranen wurde bei Raumtemperatur (hier dominiert die Adsorption als Trennverfahren) und bei 150 °C (Diffusion) analysiert. In beiden Fällen hatte CO₂ die höchste Permeanz der getesteten Gase. Die ideale CO₂/CH₄-Permealselektivität reichte bis zu 112 bei einer sehr hohen CO₂-Permeanz von etwa 11 m³/(m²hbar).

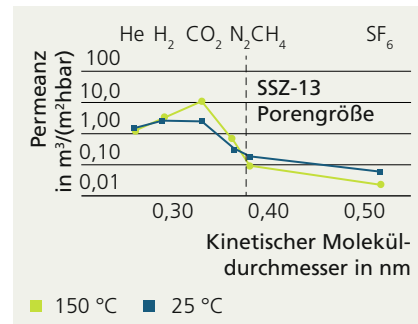
Bei den Mischgas-Permeationsmessungen wurde ein Gasgemisch aus jeweils 50 Vol.-% CO₂ und CH₄ bei zwei unterschiedlichen Feeddrücken unter Raumtemperatur betrachtet. Bei einem Feeddruck von 2,55 bar wurde eine hohe CO₂-Permeanz von ~ 5 m³/(m²hbar) ermittelt. Die Permeanz von CH₄ lag bei etwa 0,033 m³/(m²hbar). Folglich wurde eine ausgezeichnete CO₂/CH₄-Selektivität von > 150 erreicht. Eine Erhöhung des Feeddrucks auf 6,05 bar führte zu einer Verringerung der CO₂-Permeanz auf ~ 2,5 m³/(m²hbar) und eine Erhöhung der Permeanz von CH₄ auf ~ 0,045 m³/(m²hbar). Die CO₂/CH₄-Selektivität der SSZ-13-Membran sank also, wies aber dennoch einen sehr guten Wert von ~57 auf.

Die Messungen zeigen, dass die neuartigen Zeolithmembranen ausgezeichnete Trennleistungen erbringen – sowohl bezüglich der CO₂/CH₄-Selektivität als auch der CO₂-Permeanz. Diese Membranen bieten damit erstmalig die Möglichkeit, hoch konzentriertes CO₂ aus Biogas energieeffizient in nur einer einzigen Membranstufe abzutrennen. Als nächster Schritt ist nun die Hochskalierung der Membranen bei gleichbleibender Trennleistung mit Partnern aus der Industrie geplant.

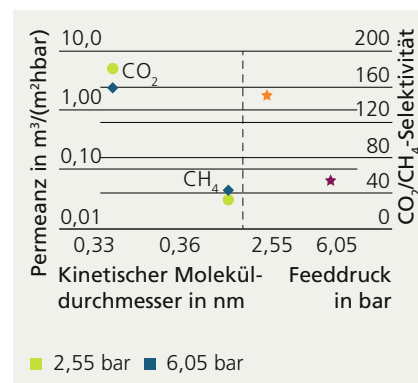
Wir danken der Europäischen Union für die finanzielle Unterstützung durch das Projekt »INNOMEM« (FKZ: 862330-INNOMEM-H2O2-NMBP-TO-IND-2010-2020/H2O2-NMBP-HUBS-2019).



Bruchansicht des keramischen Trägers, der Zwischenschichten und der gebildeten SSZ-13-Membran.



Einzelgaspermeationsmessung der SSZ-13-Membran bei 25 °C und 150 °C.



Mischgaspermeationsmessung der SSZ-13-Membran bei einem Feeddruck von 2,55 bar und 6,05 bar.



Effizient düngen: Angepasste Stickstoffgehalte in Düngern

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

Stickstoff – ein Wert- und Problemstoff

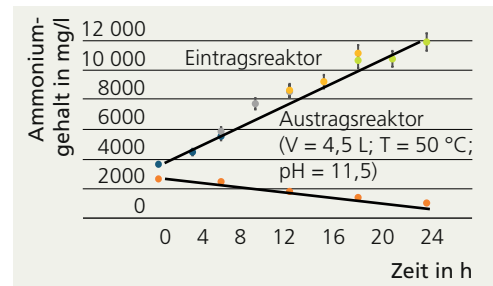
Für die Landwirtschaft ist Stickstoff als Pflanzennährstoff essenziell. Gülle und Gärprodukte aus Biogasanlagen sind wichtige Stickstoffträger. Hohe Produktionsmengen können und dürfen jedoch nicht im gesamten Jahresverlauf auf Felder ausgebracht werden. So muss die Stickstofffracht aus dem Herbst bis zum Frühjahr zwischengelagert werden. Hierfür sind große Güllelager notwendig. Mit Beginn des Pflanzenwachstums im Frühjahr werden dann in kurzer Zeit sehr große Nährstoffmengen ausgebracht, was eine hohe Belastung für die Fläche und den Maschinenpark bedeutet.

Stickstoffgehalt gezielt verändern

Im Projekt »N-Shift« wurden zwei Verfahren erprobt, um den Stickstoffgehalt in Gärprodukten so zu beeinflussen, dass eine optimierte Herbst- und Frühjahrdüngung erfolgen kann. Via Kreislaufstrippung bzw. Membrankontaktorverfahren fand eine Übertragung von Ammoniak von einer Teilmenge Gärprodukt auf eine andere Teilmenge statt. Dabei wurden Temperatur und pH-Wert variiert, um die Löslichkeit des Ammoniaks und somit die Triebkraft für den Stoffübergang gezielt zu beeinflussen.

Kreislaufstrippung

Bei der Strippung erfolgt ein aktiver Austausch von Stripppgas zwischen zwei Reaktoren in einem geschlossenen Kreislauf. Im basischen Austragsreaktor nimmt das Stripppgas Ammoniak aus dem Gärprodukt auf. Im sauren Eintragsreaktor wird Ammoniak aus dem Stripppgas als Ammonium im Gärprodukt gelöst. Je nach eingestellten Milieubedingungen und Intensität der Strippung konnten pro Stunde bis zu 3,2 % der Ammoniakfracht übertragen werden.



Ergebnis der Kreislaufstrippung.

Membrankontaktor

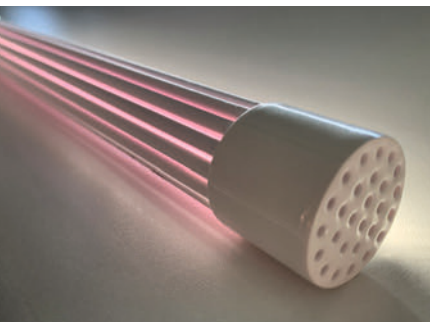
Beim Membrankontaktor werden beide Gärproduktmengen durch eine hydrophobe keramische Membran getrennt. Diese darf von Flüssigkeit nicht benetzt werden und nur den gasförmigen Transport von Ammoniak erlauben. Die entwickelten Membranen zeigten dauerhaft hydrophobe Eigenschaften und verhinderten eine Vermischung der flüssigen Phasen wirksam. In der aufnehmenden Phase wurden 3-mal höhere Ammoniakkonzentrationen im Vergleich zur abgebenden Phase erreicht.

Vorteile für die Düngung

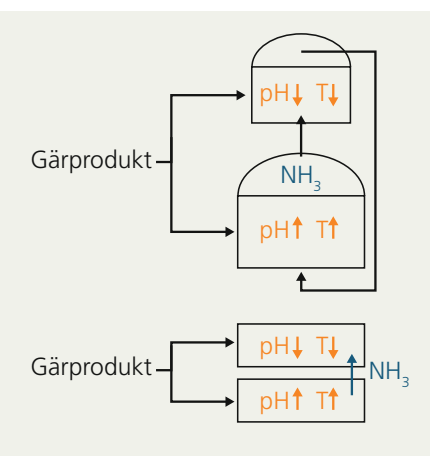
Der im Projekt erzeugte Herbstdünger zeichnet sich durch sehr geringe Stickstoffgehalte (insbesondere NH_3), Phosphorfixierung und basische Eigenschaften (Kalkersatz) aus. Der Frühjahrsdünger enthält hohe Konzentrationen an verfügbarem Stickstoff und Phosphor. So kann im Herbst mehr Masse ausgebracht werden, was Lagerkapazität spart. Insgesamt werden die Stickstoffverluste deutlich gesenkt und die Pflanzen zielgenau gedüngt.



Versuchsanlage Kreislaufstrippung.



Hydrophobes keramisches Kapillarbündel für den Membrankontaktor.



Schema Kreislaufstrippung (oben) und Membrankontaktor (unten).



Großflächige Zielpräparation durch korrelatives Arbeiten mit Laser-FIB-Technik im FESEM

Dipl.-Ing. Kerstin Gnauck, Dipl.-Ing. Lea Schmidtner, Dr. Sören Höhn, Dr. habil. Mathias Herrmann

Hochleistungskeramiken für strukturelle und funktionelle Anwendungen haben speziell entwickelte Gefügestrukturen, um dedizierte Eigenschaften zu erreichen. Um diese zu realisieren, sind fehlerfreie Gefüge unabdingbar. Auftretende Fehler müssen deshalb schnell lokalisiert, freigelegt und charakterisiert werden.

Die neue korrelative Präparations- und Analysetechnik von Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop (FESEM), Laserschneiden und Focused-Ion-Beam (FIB) am Fraunhofer IKTS ermöglicht eine schnelle und zielgenaue Präparation sowie eine artefaktfreie Gefügedarstellung und Charakterisierung des Werkstoffs. Die Elementanalyse mittels energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX) liefert zusätzlich exakte Informationen über die chemische Zusammensetzung der Mikrostruktur. Weitere Analysemethoden, wie computertomographische (CT) Messungen, können in den Analyseprozess integriert werden.

Für die Präparation und die nachfolgenden Analyseschritte wird die Probe einmalig auf einen Halter aufgebracht. Sämtliche Analyseschritte erfolgen im FESEM korrelativ, kontaktionsfrei, ohne nochmaligen Kontakt mit Luftsauerstoff.

Die zu untersuchende Probenstelle wird im FESEM lokalisiert, dokumentiert und mit ihren Koordinaten abgespeichert. Das Lasermodul erzeugt an den abgespeicherten Koordinaten Querschnitte in das Gefüge. Dabei sind Schnittlängen bis zu einem Millimeter möglich. Mit der integrierten FIB-Technologie werden ausgewählte Gefügebereiche feinstpoliert und so für die hochauflösende Mikroanalyse zugänglich.

Das Potenzial der Methode wird anhand der Charakterisierung von elektrischen Durchschlägen in Si_3N_4 -Substraten demonstriert.

Im Rahmen des BMWK-Projekts CuSiN (siehe Zschippang et al., S. 27) wurde am Fraunhofer IKTS ein Si_3N_4 -Werkstoff mit Wärmeleitfähigkeiten $> 85 \text{ W/(mK)}$ für Anwendungen in der Leistungselektronik entwickelt. An den Substraten wurden elektrische Durchschlagfestigkeiten $> 40 \text{ KV/mm}$ bestimmt. Die Durchschlagkanäle aus solchen Messungen wurden genauer mit CT und mittels der korrelativen FESEM/Laser-FIB-Technologie untersucht, um die ablaufenden Prozesse besser zu verstehen. Der Schnitt wurde durch den Durchschlagskanal gelegt (Bild 1–4). Mit dem Laser-Grob- und Feinschnitt wurde eine Querschnittsfläche von ca. $1000 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$ präpariert und anschließend elektronenmikroskopisch charakterisiert. Die Analyse zeigt, dass um den Kanal nur in einer schmalen Zone ($< 50 \mu\text{m}$) eine Zersetzung des Werkstoffs auftritt (Bild 5).

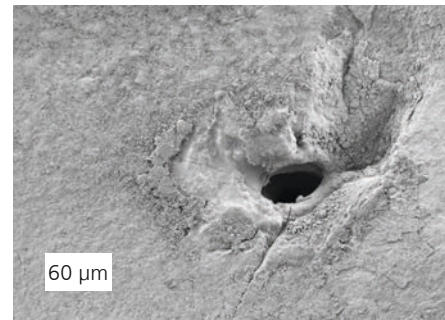
Großes Potenzial für die Fehleranalyse

Die korrelative Zielpräparation mittels Laser und FIB zeichnet sich durch eine exzellente Zielgenauigkeit sowie eine effektive und schädigungsfreie Querschnittspräparation aus. In vielen Fällen kann damit die etablierte mechanische Zielpräparation ersetzt werden.

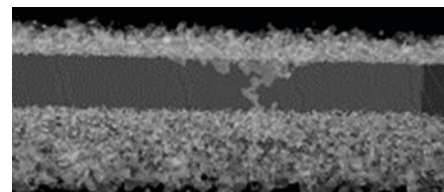
Wir danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) für die Förderung des CuSiN-Projekts (FKZ: 03ETE025A).

Geleitet durch:

 Bundesministerium
 für Wirtschaft
 und Klimaschutz
 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages



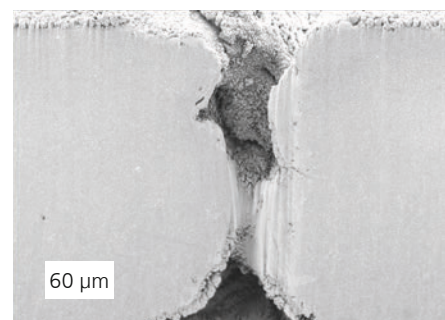
SE-Oberflächenabbildung des Durchschlags in einer Si_3N_4 -Platte.



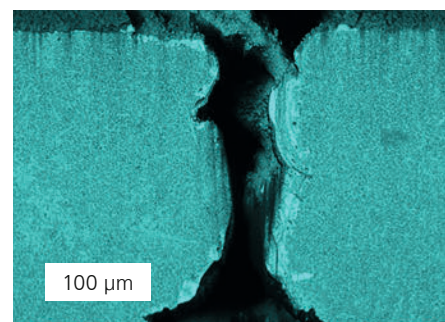
CT-Aufnahme des Durchschlags.



Laser-Feinschnitt, Draufsicht.



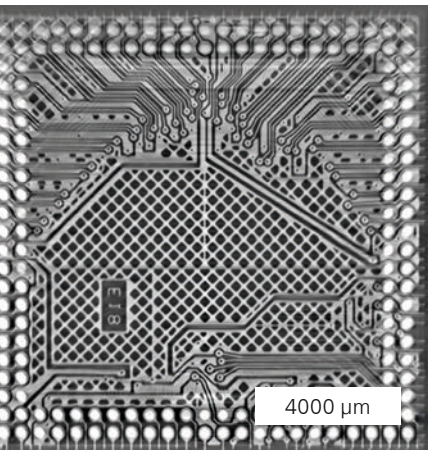
Laser-Querschnitt.



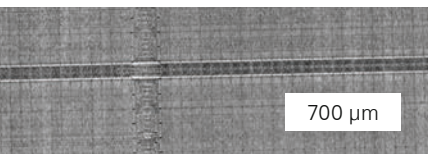
Si-Elementverteilung.

Multiskalige 3D-Analytik, Datenkorrelation und Präparation in der Halbleiterentwicklung

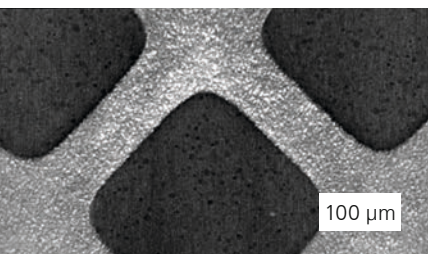
Prof. Silke Christiansen, Dr. Sabrina Pechmann, Ph.D. Tommaso Fontanot, Dr. George Sarau



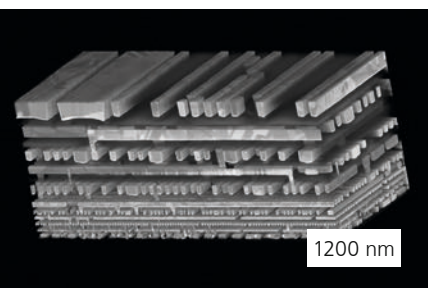
Röntgenmikroskopie an einem DRAM-Chip; Übersichtsscan mit 8,6 µm Voxelgröße.



Zoom-In Detail aus oberem Bild.



Detailscan mit 0,6 µm Voxelgröße.



3D-Detailansicht eines CPU-Chips mit nm-Voxelgröße aus einer Tomographie, die mit dem fokussierten Ga-Ionenstrahl im Elektronenmikroskop erzeugt wurde.

Das Fraunhofer IKTS bietet analytische und präparative Workflows zur skalienübergreifenden, multimodalen Analytik für die Entwicklung von Materialien, Komponenten und Bauelementen der Mikro- und Leistungselektronik mit dem Ziel der beschleunigten Optimierung. Die Präparation erfolgt bei Bedarf inert und gekühlt (Flüssigstickstoff). Die Analytik beinhaltet Mikroskope (2D), die mit Elektronen Ionen und Licht (auch Röntgen) abbilden sowie Röntgentomographen (3D). Diese Geräte sind mit operando-Modulen zur mechanischen Testung (z. B. Zug/Druck, Biegung, Haftung) ausgestattet. Die Gesamtheit aller so erzeugten Daten wird FAIR (findable, accessible, interoperable, reachable) abgelegt und zur korrelativen, quantitativen und statistischen Auswertung auch mit Methoden des maschinellen Lernens genutzt und dem Kunden bereitgestellt.

Zerstörungsfreie Volumenanalyse

Integrierte Halbleiterbauelemente (Bilder 1–4) können mittels Röntgenmikroskopie (XRM) tomographisch untersucht werden. Hier stehen verschiedene Geräte zur Verfügung, die mit 3D-Volumen-Pixeln (sogenannten Voxeln) von wenigen Nanometern bis einigen 10 µm Auflösung arbeiten. Im Kontrast erscheinen insbesondere die stark absorbierenden metallischen Leiterbahnen und vertikalen Kontakte. Etwaige Defekte wie schadhafte Metallisierungen können so im Volumen identifiziert und lokalisiert werden. Im Anschluss kann eine Zielpräparation zu den Defekten erfolgen und mit nachgeschalteter Analytik weiter untersucht werden.

Probenzielpräparation

Mikro- und Nano-Analytik erfordert meist dezidierte Probenzielpräparation, die vollumfänglich am Fraunhofer IKTS vorhanden ist und der

Analytik entlang der Prozesskette zur Seite steht. Mittels Laserablation, mechanischer Politur (TXP) und Ionenätzen (TIC₃X) können sowohl Verkapselungen von Bauelementen entfernt werden als auch ein schonendes Freilegen innerer Oberflächen erfolgen. Eine nanometergenaue finale Präparation erfolgt im Zweistrahl-Rasterelektronen-Ionenmikroskop (FIB-SEM) für das Gallium-, Helium- und Neon-Ionen zur Verfügung stehen.

Skalenübergreifende, multi-modale und korrelative Analyse und Datenkorrelation

Mit analytischer Mikroskopie (Kompositionsbestimmung mit energiedispersiver Röntgenanalyse – EDX) und Spektroskopie (z. B. molekulares Fingerprinting mit Raman-Spektroskopie und Flugzeit-Massenspektroskopie – TOF-MS bei Ionenstrahlmaterialabtrag im FIB-SEM) kann ein umfassendes Bild über Morphologie und multi-physikalische Eigenschaften von Proben erzeugt werden. Im Rahmen der Zuverlässigkeitsanalyse werden am IKTS analytische Mikroskopie in FIB-SEMs inklusive Element- und Kristallanalytik und elektrische Fehleranalyse mit Rastersondenverfahren kombiniert mit mechanischen Tests (im FIB-SEM und XRM). Dank der nanoGPS-Technologie [1] kann eine Relokalisation mit µm-Genauigkeit identischer Probenstellen in den verschiedenen Messmodalitäten erreicht werden. Die komplexen, sehr großen Datensätze (für XRM z. B. >15 GB pro Datensatz) werden mit KI-gestützten Methoden automatisiert, quantitativ und statistisch ausgewertet.

Literatur

[1] O. Acher et al., Meas. Sci. Technol. 32, 045402 (2021).

Neue Ansätze für In-situ-Analytik in der Mikroelektronik

Dr. André Clausner, Dr. Birgit Jost, Jendrik Silomon, Dr. Juliane Posseckardt, Stefan Weitz

3D-Nanoröntgentomographie von μ -Rissen in Mikrochip-Verdrahtungsebenen

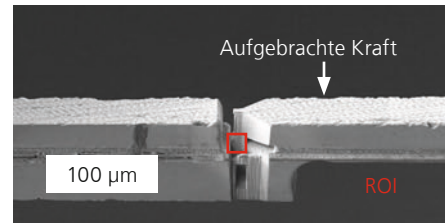
On-chip-Verdrahtungsebenen (Back-End of Line: BEoL) von Mikroelektroniktechnologien bestehen aus immer feineren Strukturen unterschiedlichster Materialien, wie Kupfer oder nanoporösen Dielektrika. Das führt zu größeren Herausforderungen an deren mechanische Stabilität und damit deren Zuverlässigkeit unter verschiedensten Lasten, wie Chip Package Interaction (CPI). Neue Methoden zur Untersuchung dieser feinen Strukturen sind die Röntgenmikroskopie und die darauf aufbauende 3D-Nano-Röntgentomografie (nanoXCT). Letztere eignet sich mit ihrer Auflösung von 50 nm perfekt für in-situ nanoXCT-Rissexperimente zur Analyse von Schwachstellen im BEoL. Bild 1 zeigt eine mittels PlasmaFIB hergestellte komplexe Hebel-basierte Push-to-pull-Probe, die in der nanoXCT einen Riss in der region of interest (ROI) im BEoL unter Zugbelastung einbringt. Während des Experiments kann die Rissausbreitung in der ROI mit hoher Auflösung in 2D und 3D beobachtet und verstanden werden. Auf Basis solcher komplexen nanomechanischen in-situ nanoXCT-Workflows können zukünftig stabilere Mikrochip-Technologien für herausfordernde Anwendungen wie den Automobilbau entstehen.

Rissidentifizierung in Back-End of Line (BEoL)-Stacks

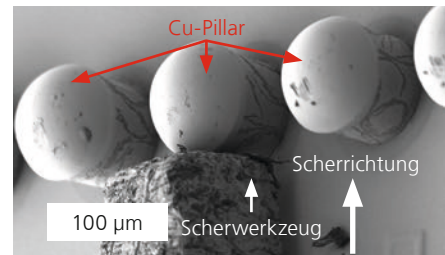
In der Industrie ist die Untersuchung der Stabilität von on-chip Lötkegeln (solder bumps) und Kupfer-Pillar-Geometrien bereits etabliert. Speziell jedoch für die darunter liegenden rissgefährdeten BEoL-Stacks existieren kaum vergleichbare Standards. Am Fraunhofer IKTS wurde nun eine Methode adaptiert, um die Rissentstehung und -ausbreitung in Kupfer-

Pillar/BEoL-Systemen zu beobachten. Zunächst werden zur Bewertung der mechanischen Stabilität von BEoL-Stacks externe Kräfte auf die Kupfer-Pillar ausgeübt. Dies erfolgt durch Scherbelastung mit einem in-situ (Bild 2) oder ex-situ Nanoindenter-System (Bild 3a). Ein an der Probe angebrachter Sensor erkennt akustische Emissionen (AE) und misst so während des Scherexperiments akustische Wellen, die auf eine Schädigung hinweisen (Graphik). Die viel höhere zeitliche Auflösung der AEMessungen im Vergleich zu den Piezosensoren des Indenters ermöglicht einen genaueren Einblick in den Schädigungsprozess. Anschließend werden die entstandenen Schäden mit den Methoden der Nanoanalytik, wie der Nano-Röntgen-Computertomographie (nanoXCT, Bild 3b, c) und der Rasterelektronenmikroskopie (REM, Bild 2) weiterführend untersucht. Die Ergebnisse erlauben ein besseres Verständnis des Ursprungs und der Ausbreitung von Schäden im BEoL-Stapel. Die nanoXCT-Schadensanalyse des in den Bildern dargestellten Beispiels zeigt, dass der BEoL-Stack nicht nur lokal delaminiert, sondern dass sich Risse horizontal entlang der Schichten ausbreiten, die mit anderen optischen Messmethoden nicht nachweisbar wären. Genauere Einblicke in das Rissverhalten bieten zusätzliche in-situ Scherversuche an Kupfer-Pillar in der nanoXCT und im SEM.

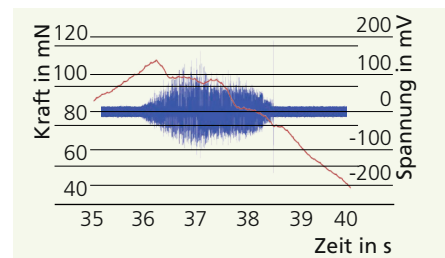
Diese Untersuchungen werden zukünftig die Analyse von BEoL-Strukturen ergänzen und die Rissausbreitung exakter charakterisieren. Das bringt entscheidende Vorteile für die Zuverlässigkeitsbewertung.



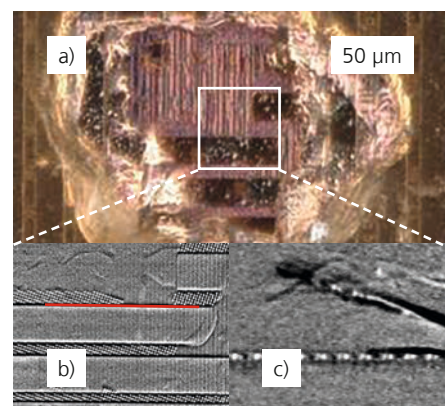
Push-to-pull-Probengeometrie für in-situ nanoXCT-nanomechanische Tests an BEoL-Struktur (präpariert via Plasma-FIB).



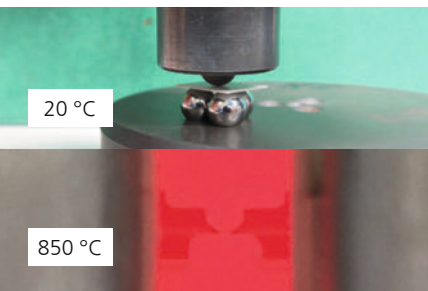
In-situ-REM-Scherungsexperiment.



Kraftverlaufskurve eines Pillar-Abscherexperiments (rot) mit parallel detektierter akustischer Emission (Piezospaltung des Sensors, blau).



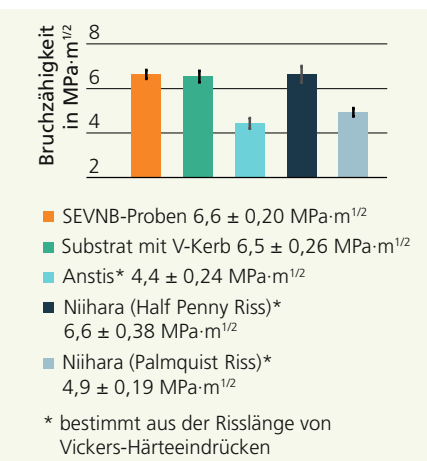
nanoXCT eines Scherexperiments: Übersicht im optischen Mikroskop (a), Details mit unterliegender Risslage (b), virtueller Querschnitt (c).



B3B-Test bei 20 °C und 850 °C.



Bestimmung der Festigkeit von 90 µm dickem 3YSZ-Substrat im Zugversuch.



Vergleich der Bruchzähigkeit gemessen an gekerbtem Biegestab (SEVNB), gekerbtem Substrat (250 µm) und bestimmt anhand der Risslänge von Vickers-Härteeindrücken.

Bestimmung der Festigkeit und Bruchzähigkeit von dünnen Keramiks substraten

Dr. Clemens Steinborn, Dr. Wieland Beckert

In der Leistungselektronik und in SO(F)C finden verstärkt Substrate aus Si_3N_4 -, AlN- und ZrO_2 -Werkstoffen Anwendung. Neben der Wärmeleitfähigkeit ist die mechanische Stabilität bei thermozyklischer Belastung eine wesentliche Voraussetzung für eine hohe Lebensdauer der Systeme und die Miniaturisierung von Schaltkreisen und Baugruppen. Zur Bewertung und Qualitätssicherung der Substrate werden daher Kennwerte wie Festigkeit, Bruchzähigkeit und deren Streuung ermittelt. Bei dünnen Substraten ($d < 0,4$ mm) kann der standardisierte 4-Punkt-Biegeversuch für die Festigkeitsbestimmung aufgrund starker Durchbiegungen nicht ohne aufwendige Korrekturen ausgewertet werden. Alternative Verfahren wie Ring-on-Ring- oder B3B-Test bieten eine hohe Flexibilität hinsichtlich der Probengröße. Zudem werden die Ergebnisse nicht durch die Qualität der Probekanten beeinflusst. Nachteilig ist das geringe belastete Volumen, das nur einen Bruchteil der Probe umfasst und so tendenziell zu hohe Festigkeitswerte ermittelt. Zur Berechnung der Festigkeit wird eine FEM-Auswertung benötigt, die die Spannungsverteilung in der Probe liefert. Eine weitere Möglichkeit zur Festigkeitsbestimmung von Substraten ist der Zugversuch, mit dem ein höheres Probenvolumen geprüft wird (Bild 2). Die Güte der Messwerte wird dabei wesentlich durch Probenvorbereitung und -einbau in die Prüfmaschine bestimmt. Ein Vergleich zwischen B3B-Test und Zugversuch zeigte unter Berücksichtigung der belasteten Volumina konsistente Ergebnisse. Damit sind beide Verfahren für die Prüfung dünner Substrate geeignet. Durch Integration des B3B-Aufbaus in eine Universalprüfmaschine mit Ofen kann die Festigkeit von 3YSZ-Substraten sogar bei hohen Einsatztemperaturen bis 1000 °C gemessen werden (Bild 1). Der Bruchzähigkeitswert beschreibt die Toleranz der Substrate gegenüber

Fehlstellen im Material. Die Bestimmung erfolgt an Proben mit spitzem Kerb, der einen für das Material kritischen Riss darstellt. Am Fraunhofer IKTS wurde eine Methode erarbeitet, mit der der Anriss in bis zu 90 µm-dünne Substratproben eingebracht werden kann (Bild 3). Nach Vermessung des Kerbs mit dem Stereomikroskop wurden die dünnen Proben dem Biegeversuch unterzogen. Anhand der Geometriedaten und der ermittelten Bruchkraft wurde die Bruchzähigkeit berechnet. Ein am IKTS durchgeführter Vergleich der Bruchzähigkeit von wärmeleitfähiger Si_3N_4 -Keramik, gemessen an gekerbten Substratproben ($d = 250$ µm, ISO 21113) und 3 x 4 x 45 mm Biegebruchstäben (SEVNB nach DIN EN ISO 23146) offenbarte eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse. Eine Bestimmung der Bruchzähigkeit über Härteeindrücke ist nur dann möglich, wenn die vorliegende Rissgeometrie und die anzuwendende Auswertgleichung bekannt sind (Graphik unten). Die durchgeführten Vergleiche zeigen neue Optionen der Bestimmung mechanischer Substratkennwerte. Mit den am Fraunhofer IKTS verfügbaren und speziell auf keramische Substrate angepassten Prüfmethoden können Hersteller und Anwender die Qualität von keramischen Substraten unterschiedlicher Dicke einfach und effektiv bewerten.

Leistung- und Kooperationsangebot:

- Entwicklung neuer Prüfkonzepte, Validierung der Prüfaufbauten und Belastungsregime über begleitende Simulation
- Bestimmung der Festigkeit, Bruchzähigkeit und Härte von Substraten
- Fraktografie: Untersuchung der bruchauslösenden Defekte
- Ermittlung thermo-physikalischer, elektrischer und dielektrischer Kennwerte

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.

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.

Automotive Thüringen

BfR-Kommission für Risikoforschung und Risikowahrnehmung (RISKOM)

biosaxony e. V.

Bundesverband Energiespeicher e. V. (BVES)

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

Carbon Composites e. V. (CCeV)

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. (DGO)

Deutsche Gesellschaft für Kristallographie e. V. (DGK)

Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM)

Deutsche Gesellschaft für Membrantechnik e. V. (DGMT)

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

Deutsche Glastechnische Gesellschaft e. V. (DGG)

Deutsche Keramische Gesellschaft e. V. (DKG)

Deutsche Phosphor Plattform

Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.	Fördergesellschaft Erneuerbare Energien (FEE)
Deutsche Plattform NanoBioMedizin	Förderkreis Abgasnachbehandlungstechnologien für Dieselmotoren e. V. (FAD)
Deutsche Thermoelektrik-Gesellschaft (DTG)	Forschungsgemeinschaft der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V.
Deutscher Hochschulverband (DHV)	Forschungsnetzwerk Mittelstand AIF e. V.
Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. (DVS)	Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e. V.
DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO)	Fraunhofer-Allianz Batterien
DIN-Normenausschuss Informationstechnik und Anwendung (NIA)	Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz
DRESDEN-concept e. V.	Fraunhofer-Allianz Chemie
Dresdner Fraunhofer-Cluster Nanoanalytik	Fraunhofer-Allianz Energie
Dresdner Gesprächskreis der Wirtschaft und der Wissenschaft e. V.	Fraunhofer-Allianz SysWasser
ECPE European Cluster for Power Electronics	Fraunhofer-Forschungsfeld Leichtbau
EIT Health	Fraunhofer-Kompetenzfeld Additive Fertigung
Energy Saxony e. V.	Fraunhofer-Geschäftsbereich Adaptronik
Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS)	Fraunhofer-Netzwerk Nanotechnologie FNT
Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V. (EFB)	Fraunhofer-Netzwerk Numerische Simulation von Produkten, Prozessen
European Powder Metallurgy Association (EPMA)	Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS
Expertenkreis Hochtemperatursensorik in der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V.	Gemeinschaft Thermisches Spritzen e. V. (GTS)
Expertenkreis Keramikspritzguss (CIM) in der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. (DKG)	Gemeinschaftsausschuss Hochleistungskeramik der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. und der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V.
Fachverband Biogas e. V.	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) e. V.
Fachverband Pulvermetallurgie	Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung e. V. (GFE)
Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum e. V.	Gesellschaft für Korrosionsschutz e. V. (GfKORR)
	HERMSDORF e. V.

HYPOS Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e. V.	Organic Electronics Saxony e. V.
HySON – Förderverein Institut für Angewandte Wasserstoff- forschung Sonneberg e. V.	Ostthüringer Ausbildungsverbund e. V. Jena
InDeKo Innovationszentrum Deutschland Korea	ProcessNet – eine Initiative von DECHEMA und VDI-GVC
InfectoGnostics Forschungscampus Jena e. V.	QBN Quantum Business Network
Initiative Erfurter Kreuz e. V.	Rail.S e. V.
Innovations-Institut für Nanotechnologie und korrelative Mikroskopie – INAM e. V.	Regionale Aktionsgruppe Saale Holzland e. V.
Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA)	Silicon Saxony e. V.
Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gGmbH	smart³ e. V.
International Microelectronics and Packaging Society, IMAPS Deutschland e. V.	SmartTex-Netzwerk
International SOS GmbH	Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk e. V. (THEEN)
International Zeolite Association	Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff- Forschung e. V. (TITK)
JenaVersum e. V.	Treffpunkt Keramik
KMM-VIN (European Virtual Institute on Knowledge-based Multifunctional Materials AiSBL)	TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V.
Kompetenzzentrum Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen/ Thüringen e. V. (LRT)	TWI Innovation Network
Kompetenzzentrum nanoeva®	Thüringer Wasser-Innovationscluster
Materialforschungsverbund Dresden e. V. (MFD)	VDMA Arbeitsgemeinschaft Medizintechnik
medways e. V.	VDMA Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.
Meeting of Refractory Experts Freiberg e. V. (MORE)	Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)
microTEC Südwest e. V.	Verein für Regional- und Technikgeschichte e. V. Hermsdorf
Nachhaltigkeitsabkommen Thüringen	Wachstums kern smood® – smart neighborhood
NAFEMS – International Association Engineering Modelling	Wind Energy Network Rostock e. V.
OptoNet 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

20 Jahre Treffpunkt Keramik in Dresden

Der Treffpunkt Keramik bleibt fester Bestandteil der Öffentlichkeitsarbeit des Instituts. Insgesamt nutzen mehr als 70 Partner diese Plattform, um ihre Leistungsangebote mit Exponaten und Informationsmaterial neuen Anwendern in Industrie und Forschung vorzustellen. Die Kooperation mit der »Ceramic Applications« des Göller Verlags ist dabei eine effektive Verbindung von Wissenschaft und Kommunikationspraxis.

Bedingt durch die erfolgreiche Akquisition von Großprojekten wird die bisherige Fläche des Treffpunkt Keramik als Logistikfläche benötigt. Nach einer aufwändigen Umgestaltung der Verkehrsflächen präsentiert sich die Ausstellung deshalb nun über drei Etagen im Zentrum des Instituts. In Verbindung mit moderner Präsentationstechnik ist sie ein Highlight bei allen Institutsführungen, Seminaren und Tagungen sowie bei Gesprächsrunden der Mitarbeitenden. So werden Kaffeepausen zukünftig zu kleinen Weiterbildungen und Markterkundungen. Rohstofflieferanten sind ebenso zu finden wie Zulieferer von Maschinenteknik. Den Schwerpunkt bilden aber weiterhin Bauteilhersteller und die Forschungshighlights des Fraunhofer IKTS. Additiv gefertigte Bauteile in Oxid- und Nichtoxidkeramik werden ebenso präsentiert wie Werkstoffverbunde.

Auf Wunsch schließt sich hierzu die Besichtigung der entsprechenden Labore an. Anlagen von mehr als 10 Herstellern werden für neueste Anwendungen von der Schmuckindustrie bis zur Fusionstechnik erprobt.

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.

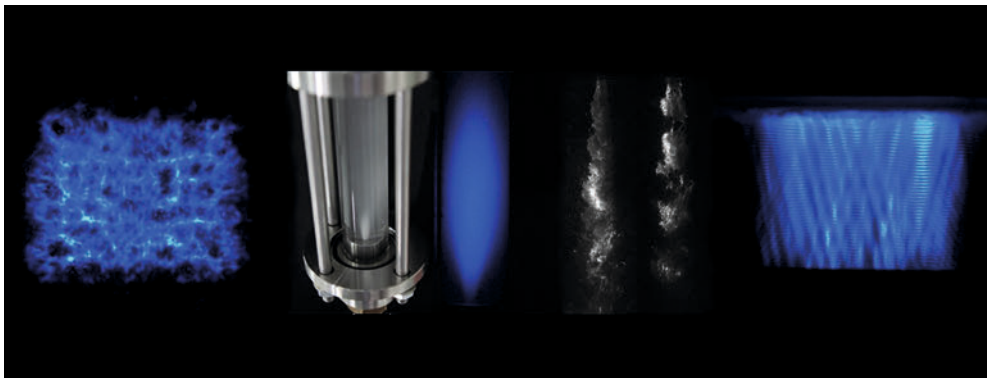
Natürlich fehlen auch nicht Exponate aus der Energie- oder Wasserstofftechnologie. Auch nach 20 Jahren Treffpunkt Keramik in Dresden springt die Faszination des Werkstoffs auf die Gäste über.

Im Jahr 2023 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) in Präsenz stattfinden. Inhouse-Schulungen bei Unternehmen sind aber ebenfalls eine Option.



Treffpunkt Keramik im Fraunhofer IKTS in Dresden-Gruna.

Center for Energy and Environmental Chemistry Jena (CEEC)



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

Das Center for Energy and Environmental Chemistry Jena (CEEC) ist ein interfakultäres Zentrum, welches das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena (FSU) betreibt. Das CEEC bündelt die Aktivitäten zur Energiewandlung, Energiespeicherung und zur technischen Umweltchemie der beiden Forschungseinrichtungen. Wesentliche Schwerpunkte bilden dabei elektrochemische Energiespeicher und deren Materialien, insbesondere Keramiken und Polymere, Energiewandler wie Solarzellen, sowie innovative Verfahren der Wasser- und Abwasserbehandlung. Im CEEC sind derzeit 13 Professuren der FSU und fünf Abteilungen aus dem Fraunhofer IKTS vertreten, darunter auch die Fraunhofer ATTRACT-Gruppe »CAV-AQUA« unter der Leitung von Dr. Patrick Bräutigam. Neben dem Institutsneubau in Jena, der seit 2015 genutzt wird, sind auch Labore und Technika zur Batterieherstellung und Membrantechnik am IKTS-Standort Hermsdorf Teil des Zentrums. Das CEEC ist für das Fraunhofer IKTS die strategische Kooperationsplattform mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena insbesondere auf dem Gebiet der Grundlagenforschung. Über das Zentrum werden zahlreiche gemeinsame Master- und Promotionsarbeiten abgewickelt, gemeinsame Veranstaltungen angeboten, Forschungsvorhaben initiiert und Großgeräte genutzt. Der deutschlandweit einzigartige Masterstudiengang »Chemie – Energie – Umwelt«, in dem das IKTS mit seinen Forschungsthemen besonders prominent vertreten ist, wird ebenfalls über das CEEC betreut und verantwortet. Einen Schwerpunkt der Zusammenarbeit bildet dabei der Lehrstuhl »Technische Umweltchemie«, den

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

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

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

Kontakt

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



Namen, Daten, Ereignisse

Eine Übersicht über Publikationen, Patente und das wissenschaftliche Engagement der IKTS-Mitarbeitenden im Jahr 2022 finden Sie auf der Webseite

www.ikts.fraunhofer.de/de/daten2022



- Erteilte Patente
- Patentanmeldungen
- Buch- und Zeitschriftenbeiträge
- Vorträge und Poster
- Lehrtätigkeiten
- Mitarbeit in Gremien und Fachausschüssen
- Dissertationen
- Abschlussarbeiten

Veranstaltungen und Messen im Jahr 2023

Aktuelle Termine finden Sie auf unseren Webseiten.

Tagungen und Events

DKG-Jahrestagung

27.–29.3.2023, Jena/Hermsdorf

Vorschüler entdecken Zustandsüberwachung

17.4.2023, Dresden-Klotzsche

Girls' Day: »Werde Physik- und Chemielaborantin für einen Tag!«

27.4.2023, Hermsdorf und Dresden-Gruna

Juniordoktorprogramm: »Kleine Detektive: Mit Wirbelstrom auf Fehlersuche«

27.4. und 25.5.2023, Dresden-Klotzsche

NDT4INDUSTRY: Testing and monitoring of nuclear facilities – current NDT developments

3.5.2023, Online

SBS4 International Sodium Battery Symposium

4.–5.9.2023, Dresden-Gruna

NDT4INDUSTRY: Testing technology for biological materials

20.9.2023, Online

Dresden Battery Days

25.–27.9.2023, Dresden-Gruna

Fortbildungsseminare und Workshops

DGM-Seminar: Keramische Werkstoffe – Eigenschaften und industrielle Anwendungen

3.–4.5.2023, Dresden-Gruna

Weitere Informationen finden Sie unter

www.ikts.fraunhofer.de/de/kommunikation/veranstaltungen

Messen und Ausstellungen

ICACC

22.–27.1.2023, Daytona

SPIE.PhotonicsWest

31.1.–2.2.2023, San Francisco
German Pavillon

FILTECH

14.–16.2.2023, Köln

TOGC 2023 – Transportation Oil & Gas Congress

20.–21.2.2023, Istanbul

LOPEC

28.2.–2.3.2023, München
Gemeinschaftsstand OES e. V.

Rad&Schiene

1.–3.3.2023, Dresden

Tausendwasser

15.–16.3.2023, Berlin

IDS

14.–18.3.2023, Köln

Schall 23

21.–22.3.2023, Wetzlar



Hannover Messe

17.–21.4.2023, Hannover
Gemeinschaftsstände »Das ist Thüringen« und
»Forschung für die Zukunft«

Bonding

18.–20.4.2023, Dresden

JEC

25.–27.4.2023, Paris
Gemeinschaftsstand SAXONY!

Sensor und Test

9.–11.5.2023, Nürnberg

Rapidtech

9.–11.5.2023, Erfurt
Gemeinschaftsstand Fraunhofer Kompetenzfeld Additive
Fertigung

Control

9.–12.5.2023, Stuttgart
Gemeinschaftsstand Fraunhofer-Geschäftsbereich Vision

DACH-Jahrestagung

15.–17.5.2023, Friedrichshafen

20. Tagung Schweißen in der maritimen Technik und im Ingenieurbau

24.–25.5.2023, Hamburg

ZfP im Eisenbahnwesen

tbd., Erfurt

GIFA

12.–16.6.2023, Düsseldorf
Gemeinschaftsstand BDG Bundesverband der Deutschen
Gießerei-Industrie e. V.

EES Europe

14.–16.6.2023, München

Erfurter Energiespeichertage

20.–21.6.2023, Erfurt

DWA-Landesverbandstagung Sachsen/Thüringen

6.9.2023, Radebeul

V2023

19.–21.9.2023, Dresden

EuroPM

1.–4.10.2023, Lissabon

Formnext

7.–10.11.2023, Frankfurt
Gemeinschaftsstand Fraunhofer Kompetenzfeld Additive
Fertigung

FAD-Konferenz

8.–9.11.2023, Dresden

Compamed

13.–16.11.2023, Düsseldorf
Gemeinschaftsstand Fraunhofer-Gesellschaft e. V.

Offshore Energy

28.–29.11.2023, Amsterdam

Hagener Symposium

30.11–1.12.2023, Hagen

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

Anfahrt zum Fraunhofer IKTS

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

So erreichen Sie uns in Dresden-Gruna

Straßenverbindung

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

Nahverkehr

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

Flugverbindung

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





So erreichen Sie uns in Dresden-Klotzsche

Straßenverbindung

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

Nahverkehr

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

Flugverbindung

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



So erreichen Sie uns in Hermsdorf

Straßenverbindung

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

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

Nahverkehr

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

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-Gruna

Redaktion/Layout

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit/Marketing

Druck

ELBTAL Druckerei & Kartonagen Kahle GmbH

Bilder

Fotograf Jürgen Lösel, Dresden
Fraunhofer IKTS

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.
© Fraunhofer IKTS, Dresden 04/2023

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 Forchheim

Äußere Nürnberger Strasse 62, 91301 Forchheim

Standort Berlin

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

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

Batterie-Innovations- und Technologie-Center BITC

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

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