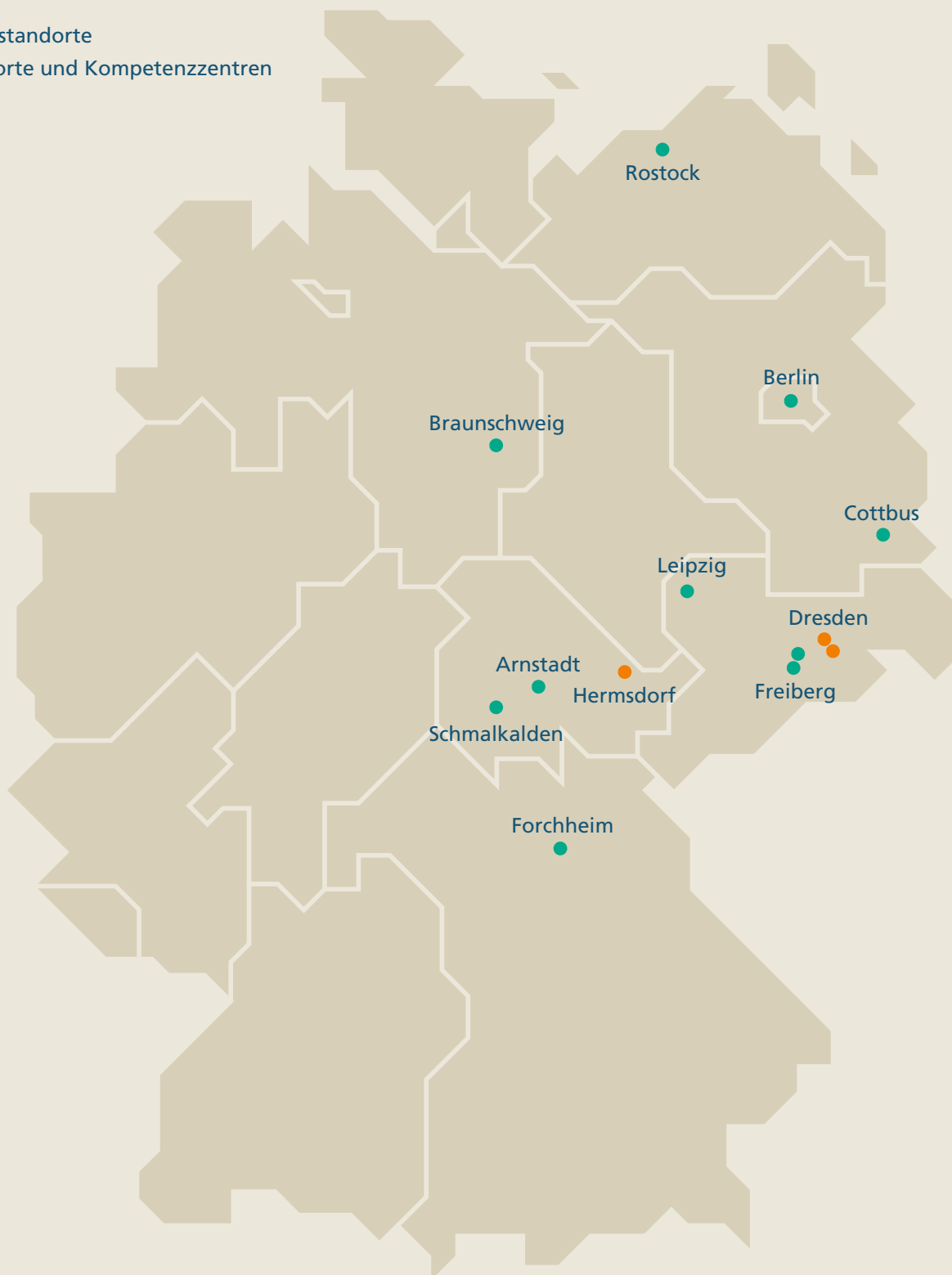


Jahresbericht
2023/24

● Hauptstandorte

● Standorte und Kompetenzzentren



Standorte des Fraunhofer IKTS.

Titelbild:

Demonstrationsanlage zur CO₂-freien Stromerzeugung mit Ammoniak in Hochtemperatur-Brennstoffzellen (SOFC).

Jahresbericht 2023/24

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

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

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

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

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



www.linkedin.com/company/fraunhoferikts

www.instagram.com/fraunhoferikts

www.youtube.com/fraunhoferikts



Vorwort



Liebe Freunde und Partner des IKTS,

wir blicken erneut auf ein überaus erfolgreiches Jahr mit weiterem gesunden Wachstum zurück. Aufgrund der nach wie vor schwierigen SAP-Einführung auf Fraunhofer-Ebene liegen uns zwar zum Berichtszeitpunkt noch keine abschließenden betriebswirtschaftlichen Zahlen vor, wir gehen aber von Rekordwerten aus: Bei einem ausgeglichenen Betriebsergebnis hat unser Gesamthaushalt die 90 Mio. € Marke überschritten. Besonders erfreulich ist, dass wir hierbei unsere Industrieerträge deutlich auf nun etwa 39 % steigern konnten, was unsere nach dem Fraunhofer-Modell geforderte Industrierelevanz bestätigt. Auch konnten wir wieder über 11 Mio. € in die kontinuierliche Modernisierung unserer Ausstattung investieren. Diese Ausstattung und vor allem unser hervorragendes IKTS-Expertenteam stehen Ihnen gerne für gemein-

same Projekte zur Verfügung. Unsere Kompetenzen umfassen die gesamte Wertschöpfungskette der technischen Keramik bis in den Upscaling-Bereich und der zerstörungsfreien Prüftechnologien für die Prozessüberwachung.

Trotz des herausfordernden politischen Umfeldes, das eine abnehmende Planungssicherheit verursacht (z. B. unerwartete Reduktion der Bundesförderung im Batteriebereich), sehen wir auch für das laufende Jahr eine stabile Ertragslage mit weiterhin wachsendem Industrieertrag. Wir werden auch dieses Jahr unserer Vorwärtsstrategie treu bleiben und wie noch nie in unsere Zukunftstechnologien investieren. Einen wichtigen Schwerpunkt wird hierbei erneut die Energie- und Umwelttechnologie bilden. Insbesondere das Thema der Erzeugung von grünem Wasserstoff und grünem Synthesegas werden wir weiter ausbauen. An unserem Standort in Arnstadt wird im

Rahmen eines großen Industrieprojekts eine Pilotanlage zur Herstellung von Hochtemperatur-Elektrolyse-Stacks aufgebaut, die uns erlaubt weitere strategische Projekte zur Entwicklung von Elektrolyse- und Brennstoffzellensystemen durchzuführen. Auch unsere Batterieforschung werden wir konsequent weiterentwickeln und neben Lithium-Ionen-Batterien insbesondere das Thema Natrium-Batterien weitertreiben.

Unsere starke Ausrichtung auf nachhaltige Energietechnologien möchten wir auch an unseren Standorten demonstrieren. In Hermsdorf engagieren wir uns im TRIDELTA CAMPUS Hermsdorf e. V. für die Entwicklung der Region, die industriell durch zahlreiche Keramikunternehmen geprägt wird. Hier ist mit unserer Unterstützung durch das Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk (ThEEN) ein Transformationskonzept zum energetischen Umbau erstellt worden, um die Unternehmen langfristig mit sicherer, bezahlbarer, emissionsfreier Energie zu versorgen. Die geplante Umsetzung des Konzepts eröffnet Chancen für das Fraunhofer IKTS, unsere neuen Technologien zur Energiewandlung und -speicherung im Reallabormaßstab zu etablieren. In Dresden erarbeiten wir darüber hinaus zusammen mit unseren Fraunhofer-Partnerinstituten am Fraunhofer-Institutszentrum Dresden (IZD) ein »Energiecampuskonzept«.

Unter den vielfältigen Themen, die wir im Bereich der Kreislauftechnologien und des Recyclings bearbeiten, spielt das Thema »Wasser« eine prominente Rolle. Ein besonders schöner Erfolg ist hier Prof. Michael Stelter mit der Einwerbung eines BMBF-Zukunftsclusters »ThWIC« (Thüringer Wasser-Innovationscluster) im Gesamtumfang von 45 Mio. € bei einer Laufzeit von 9 Jahren gelungen.

Hervorheben möchte ich auch noch die Erweiterung unserer keramischen Werkstoffcharakterisierung und Bauteilprüfung. Unsere exzellente Ausstattung konnten wir um die chemische Analytik erweitern, die wir am Standort Hermsdorf etabliert haben. Wir sind damit in der Lage, die Zusammensetzung, Dotierungen, Spurenbestandteile und Verunreinigungen von Pulvern, Suspensionen und Bauteilen durch chemischen Aufschluss und optische Emissionsspektroskopie quantitativ zu bestimmen. Das spielt unter anderem bei der Entwicklung von Funktionskeramiken und in der Qualitätssicherung bei der Fertigung keramischer Bauteile eine große Rolle.

Auch unsere zwei neuen Ausgründungen, auf die wir stolz sind und die unsere Transferorientierung untermauern, sollen noch Erwähnung finden: Mit der AMAREA Technology GmbH wird das von uns im Bereich des 3D-Drucks entwickelte Multi-Material-Jetting-Verfahren (MMJ) kommerzialisiert. Die Nicoustic AS basiert auf unserer Ultraschall-Technologie und bietet innovative Lösungen im Bereich der Füllstandsermittlung von Feststoffen und Flüssigkeiten in Druckbehältern, z. B. in der chemischen Industrie an.

Schließlich habe ich noch eine sehr traurige Nachricht. Am 17.2.2024 ist unser Gründungsdirektor Prof. Waldemar Hermel im Alter von 86 Jahren verstorben. Mit größtem Einsatz hat Waldemar Hermel die Gründung des Fraunhofer IKTS im Januar 1992 betrieben und das Institut bis 2004 sehr erfolgreich geleitet. Er hat das IKTS hervorragend aufgestellt und ein herausragendes Team zusammengestellt, von dem wir bis heute profitieren. Ihm und diesem Team ist die Initiierung der Erfolgsgeschichte des IKTS zuzuschreiben. Wir als Fraunhofer IKTS und ich persönlich haben ihm viel zu verdanken. Neben seiner wissenschaftlichen Kompetenz ist besonders seine menschliche Wärme und Kollegialität zu betonen. Er war eine herausragende Persönlichkeit mit höchster sozialer Kompetenz. Wir werden ihn sehr vermissen.



Empfang anlässlich des 80. Geburtstag von IKTS-Gründungsdirektor Prof. Waldemar Hermel. Im Bild v.l.n.r.: Ehefrau Gisela Hermel, Dr. Michael Zins, Dr. Christian Schubert, Prof. Alexander Michaelis, Dr. Gert Leitner, Prof. Waldemar Hermel, Claus Richter und Dr. Udo Gerlach.

Im Bericht finden Sie weitere Highlights und Entwicklungstrends aus unseren Geschäftsfeldern.

Im Namen des gesamten IKTS-Teams wünsche ich Ihnen viel Vergnügen beim Durchblättern des Berichts und gute Projektideen. Wir freuen uns auf die Zusammenarbeit.

Ihr,

Alexander Michaelis
April 2024

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 Interview	22
Kohlenstoff im Kreislauf	22
Pflanzenanbau in kontrollierter Umgebung	26
Werkstoffe und Verfahren	28
Porenkeramiken für optische Feuchtesensorik	28
Langlebige keramische Wärmetauscherwaben für Abluftreinigungsanlagen	29
Supraschmierung für Keramikgleitlager auf Siliciumnitrid-Siliciumcarbid-Basis	30
Cobaltfreie Hartmetall-Diamant-Komposite	31
Selektives Lasersintern zur Herstellung komplexer SiSiC-Keramik	32
Effizienter Vieldrahtsägeprozess für Substrate aus oxidischen Hochleistungskeramiken. . .	33
Energie	34
Studie zur dezentralen Energieversorgung für die Landwirtschaft und den ländlichen Raum	34
Ammoniak zur effizienten CO ₂ -freien Stromerzeugung	35
Dynamik der alkalischen Wasserelektrolyse	36
Festelektrolyt-Substrate für Natrium-Batterien	37
Kompositelektrode und Schichtoxide: Potenziale heben für Natrium-Batterien	38
Sicherung kritischer Rohstoffe für die E-Mobilität. Das METALLICO-Projekt	39
Multimodale Analytik und automatisierte Bewertung der Kathodenqualität.	40
Wasser	41
Entfernung von PFAS mit keramischen Adsorbentien und Ultraschall	41
Effiziente Fertigung modularer Stacks aus Siliciumcarbidmembranen	42
Potenziale energie- und nährstoffreicher Prozesswässer für die Kreislaufwirtschaft	43
Entfernung von Arsen und Fluorid aus Bergbauwasser im Untertage-Technikum	44

■ Umwelt- und Verfahrenstechnik	45
Recycling von Polycarbonaten durch Pyrolyse	45
KI-basierte Flammendiagnostik für Partialoxidationsprozesse	46
Degradationsverhalten eisenbasierter Fischer-Tropsch-Katalysatoren	47
Wassersparende Herstellung von Soda mittels elektrochemischer Membranverfahren ..	48
Spin-off POXOS® bringt Membrananlagen für Sauerstoff an den Markt	49
KI-gesteuerte Biogaserzeugung	50
Standardisierte Bewertung der Wirkung von Nährstoff-Rezyklaten auf das Pflanzenwachstum	51
■ Elektronik und Mikrosysteme	52
Nachhaltige Elektronik: Evaluierung der Degradation von Verkapselungsmaterial für die Leistungselektronik	52
Geometrisch hochkomplexe keramische Sensorsysteme (Sensortriade)	53
ProPlug – Integrierte Schnittstellen für den funktionalisierten Leichtbau	54
■ Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung	55
Ausschussfreie Umformprozesse durch optisches Inline-Monitoring	55
Integrierte Überwachung langlebiger Leichtbau-Fahrzeugmodule	56
■ Maschinenbau und Fahrzeugtechnik	57
Diamant-SiC-Komposite für hochbelastete Lager und Dichtungen	57
Keramisches Tesla-Ventil	58
Wirtschaftlichere Fertigung von Siliciumnitrid-Bauteilen über Spritzgießen	59
CFK-Spalttöpfe in energieeffizienten Hochleistungspumpen	60
■ Bio- und Medizintechnik	61
Neuartige biogene Bau- und Konstruktionsmaterialien zur CO ₂ -Fixierung	61
KI-generiertes individuelles Fingergelenkimplantat	62
AGEUM – Analytiktechnikum bewertet Gesundheitsrisiken von Umweltverschmutzung ..	63
■ Material- und Prozessanalyse	64
Systematische Schadensanalyse von keramischen Komponenten	64
Bruchzähigkeit von 3Y-TZP-Keramik – Messung mit der CNB-Methode	65
Simulation thermischer Eigenschaften von Diamant-SiC-Kompositen	66
Hochauflösende Charakterisierung von beschichteten Batteriepulvern	67
■ Kooperationsausbau durch Mitgliedschaften	68
Namen, Daten, Ereignisse	75
Veranstaltungen und Messen im Jahr 2024	76
Anfahrt zum Fraunhofer IKTS	78
Kontakt	81

Das Fraunhofer IKTS im Profil



Kurzporträt

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

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 unikatlen Eigenschaften

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

Werkstoffe

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

Verfahrenstechnik

Auf dem Gebiet der komplexen keramikbasierten Systeme für energieeffiziente Trennverfahren, chemische Stoffumsetzung oder Wertstoffrückgewinnung gehören wir zu den weltweit führenden Forschungseinrichtungen. Unsere Ansätze basieren dabei auf der nachhaltigen Nutzung von Ressourcen und geschlossenen Stoffkreisläufen. In modernsten Labor- und Pilotanlagen können wir relevante Kenngrößen für diese Prozesse 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 ver-

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

Projektmanagement

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

Standortübergreifendes Qualitätsmanagement

Qualität, Nachvollziehbarkeit, Transparenz und Nachhaltigkeit gehören für uns zu den wichtigsten Instrumenten, um Partnern und Kunden valide und reproduzierbare Forschungsergebnisse 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. Annegret Potthoff / Dr. Johannes Pötschke

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

Umwelt- und Verfahrenstechnik

Nanoporöse Membranen

Dr. Hannes Richter

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

Hochtemperaturseparation und Katalyse

Dr. Jörg Richter

- Hochtemperaturmembranen und -speicher
- Katalyse und Materialsynthese

Kreislauftechnologien und Wasser

Dr. Burkhardt Faßbauer / Dr. Marcus Weyd

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

Energie- und Verfahrenstechnik

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

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

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

Stellvertretende Institutsleiter

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

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

- Chemische und Strukturanalyse
- Hartmetalle und Cermets
- Dünnschicht-Technologien

Korrelative Mikroskopie und Materialdaten

Prof. Dr. Silke Christiansen

- Korrelative Mikroskopie
- Korrelative Spektroskopie

Energiesysteme

Werkstoffe und Komponenten

Dr. Mihails Kusnezoff

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

Stationäre Energiespeicher

Dr. Matthias Schulz

- Keramische Elektrolyte und Elektroden
- Zellkonzepte und Prototypen

Energiespeicher und Elektrochemie

Dr. Mareike Partsch

- Zellentwicklung und Test
- Recycling und Grüne Batterie
- Prozessentwicklung und Prozessüberwachung

Freie Universität Berlin

Institut für Experimentalphysik
 Prof. Dr. Silke Christiansen

Friedrich-Schiller-Universität Jena

Institut für Technische Umweltchemie
 Prof. Dr. Michael Stelter

Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Fachbereich SciTec – Werkstofftechnik
 Prof. Dr. Ingolf Voigt

Technische Universität Bergakademie Freiberg

Technische Chemie
 Prof. Dr. habil. Martin Bertau
 Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen
 Prof. Dr. Martin Gräbner

Elektronik/Mikrosystem- und Biomedizintechnik

Intelligente Materialien und Systeme

Dr. Holger Neubert

- Multifunktionale Werkstoffe und Bauteile
- Angewandte Werkstoffmechanik und Festkörperwandler

Hybride Mikrosysteme

Dr. Uwe Partsch

- Dickschichttechnik und funktioneller Druck
- Mikrosysteme, LTCC und HTCC
- Funktionswerkstoffe für hybride Mikrosysteme
- Systemintegration und AVT
- Keramische Folien

Elektronikprüfung und Optische Verfahren

Dr. Mike Röllig

- Optische Prüfverfahren und Nanosensorik
- Speckle-basierte Verfahren
- Zuverlässigkeit von elektronischen Mikrosystemen

Prüf- und Analysesysteme

Prof. Dr. Henning Heuer

- Elektronik für Prüfsysteme
- 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

Das Fraunhofer IKTS in Zahlen

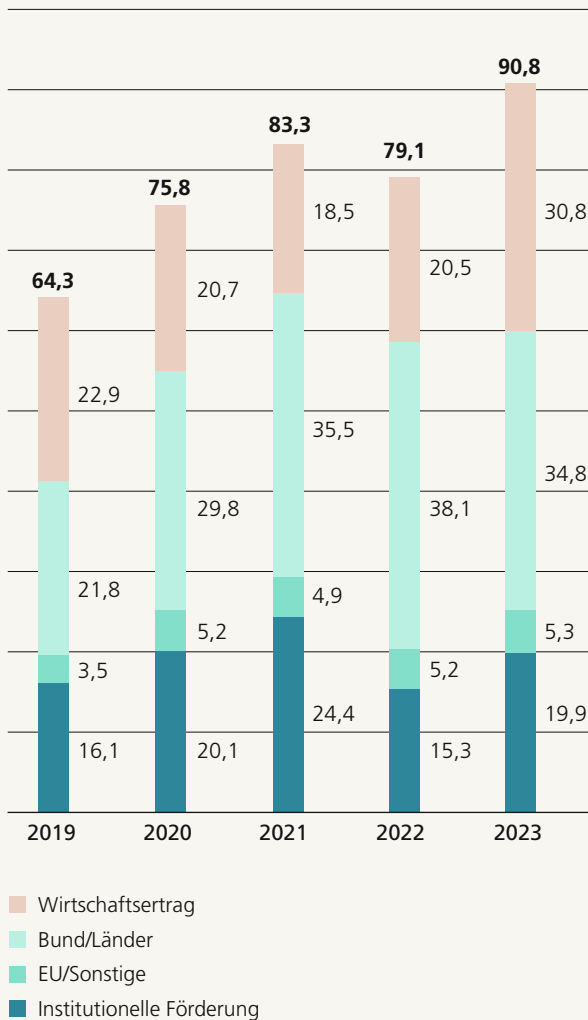
Haushalt und Erträge

Das Institut blickt auf ein sehr erfolgreiches Jahr 2023 zurück. Schwerpunkte der Projektarbeit liegen in der Energie- und Umwelttechnik sowie im Geschäftsfeld Wasser. Der Gesamthaushalt ist auf einen Rekordwert von 90,8 Mio. € gewachsen. Der Haushalt setzt sich aus 11,7 Mio. € für Investitionen und 79,1 Mio. € für den Betrieb zusammen. Die teilweise stark gestiegenen Kosten für Energie, Personal und Verbrauchsmaterial konnten im Hinblick auf die Gemeinkostenstruktur weitgehend ausgeglichen werden. Die geänderte Kostenstruktur konnte durch das erreichte Wachstum in den geplanten Grenzen stabilisiert werden.

Das Volumen der Industrieprojekte stieg 2023 um mehr als 10 Mio. € auf eine Bestmarke von 30,8 Mio. €. Erstmals erreicht dabei das Stammhaus in Dresden mit seinen Außenstellen den Spitzenwert. 18,4 Mio. € entsprechen einem Wirtschaftsfaktor von 41,9 % des Betriebshaushalts. Auch die Kostenstellen IKTS Hermsdorf und IKTS Dresden-Klotzsche erreichen mit 37,8 % bzw. 31,3 % sehr gute Werte. Die Ausrichtung auf strategische Industriethemen und die Investition in neue Infrastruktur hat zu dem gewünschten Wachstum geführt. Der Rückgang der öffentlichen Projekte konnte so kompensiert werden. Insbesondere die strategischen Investitionsmittel der Länder haben dieses Ziel extrem unterstützt. Insgesamt sind 16,7 Mio. € für Projekte und den jeweiligen Standortausbau zur Verfügung gestellt worden. Mehr als 3 Mio. € wurden in Kleinbaumaßnahmen an den Standorten investiert.

Die öffentlichen Erträge liegen mit 34,8 Mio. € um 3,3 Mio. € unter dem Vorjahresniveau. Das Volumen ist aber genau wie die erreichten 5,3 Mio. € bei den EU-Erträgen auf einem sehr guten Niveau. Bei vielen öffentlichen Projekten bereiten reduzierte Förderquoten zunehmend Probleme, da Grundfinanzierung nicht zum Ausgleich der Deckungslücken verwendet werden darf. Die Ausgangslage für das Folgejahr ist sehr positiv, da in den strategischen Themen noch hohe Projektvolumen verfügbar sind. Die aktuelle politische Situation lässt aber vermuten, dass es 2025 deutlich schwerer werden wird, die strategischen Themen zu bearbeiten. Ein weiteres Wachstum in den Industriebereichen wird deshalb angestrebt. Die Planungen für die Folgejahre sehen hier hohe Investitionen vor.

Entwicklung des Gesamthaushalts des Fraunhofer IKTS (in Millionen Euro) in den Haushaltsjahren 2019 bis 2023*



Personalentwicklung

Insgesamt werden an den IKTS-Standorten 832 Mitarbeitende beschäftigt. Trotz der angespannten Arbeitsmarktlage konnten Mitarbeitende im wissenschaftlichen Bereich und für die Verwaltung gewonnen werden. Die Relevanz der Forschungsthemen in Verbindung mit modernen Arbeitsbedingungen lockt zur Arbeit am Fraunhofer IKTS. Wesentlich zum Wachstum beigetragen haben auch die Erweiterungen an den Außenstellen in Freiberg (Fraunhofer THM, Forschungsgruppe Kohlenstoff-Kreislauf-Technologien KKT), Forchheim und Arnstadt. Strategisch werden diese Standorte auch 2024 weiter durch Anmietungen gestärkt. Work-Live-Balance und Homeoffice bleiben Kriterien, die an Bedeutung stark gewinnen. In allen Bereichen wählen Mitarbeitende Teilzeitmodelle. Unsere Bereitschaft, Verträge nach individuellen Bedürfnissen anzupassen, ist ein entscheidender Grund für den Start und Verbleib am Fraunhofer IKTS.

Mit mehr als 50 betreuten Promotionen leistet das Institut einen wichtigen Beitrag zur Ausbildung der zukünftigen Führungskräfte. Vereinbarungen für den Ablauf der Promotion mit konkreten Zielen und Zeitplänen dienen dazu, die Promotion bei Fraunhofer attraktiv zu gestalten. Die Forschungsinfrastruktur am Fraunhofer IKTS belegt auch im internationalen Vergleich einen Spitzenplatz. Zunehmend erfolgen aber auch Ausbildungen in Lehrberufen. Mit der gezielten Förderung versucht das Fraunhofer IKTS, seinen eigenen Nachwuchs auszubilden und zu binden.

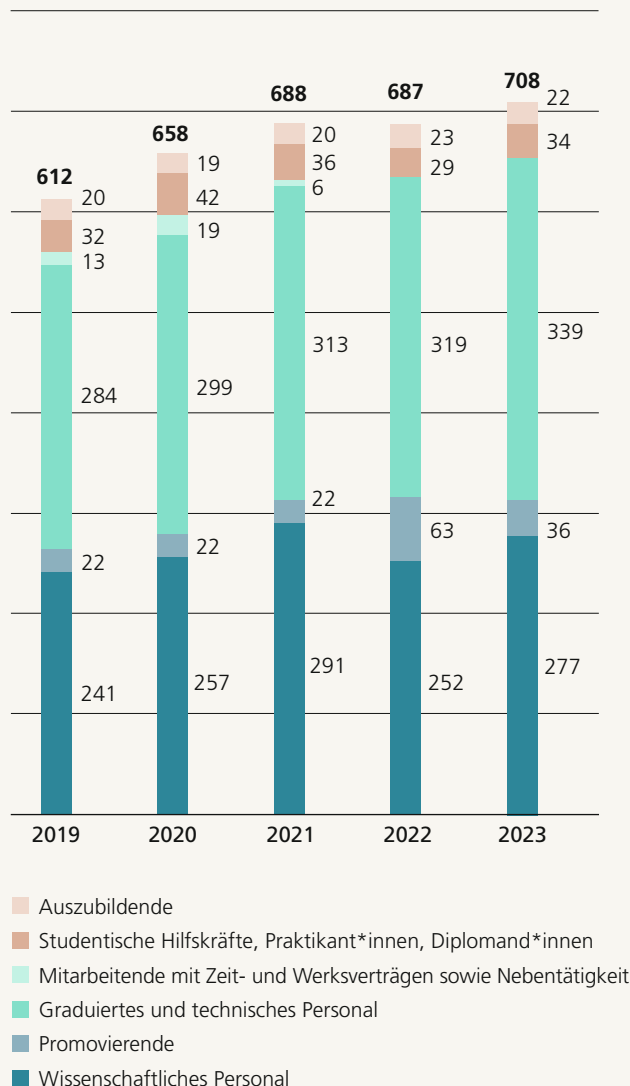
Der Arbeitgeber Fraunhofer IKTS ist im Markt weiterhin gut positioniert. Trotzdem bleibt die Akquise von Mitarbeitenden im wissenschaftlichen und zunehmend auch im administrativen

Bereich eine der großen Aufgaben. Eine enorme Herausforderung ist weiterhin die Einführung von SAP. In allen Bereichen bleibt eine zusätzliche Belastung bestehen. Arbeitsabläufe müssen angepasst werden, ohne kurzfristige Effizienzsteigerungen zu ermöglichen. Aufgaben müssen zwischen Verwaltung und Forschungsgruppen neu verteilt werden.

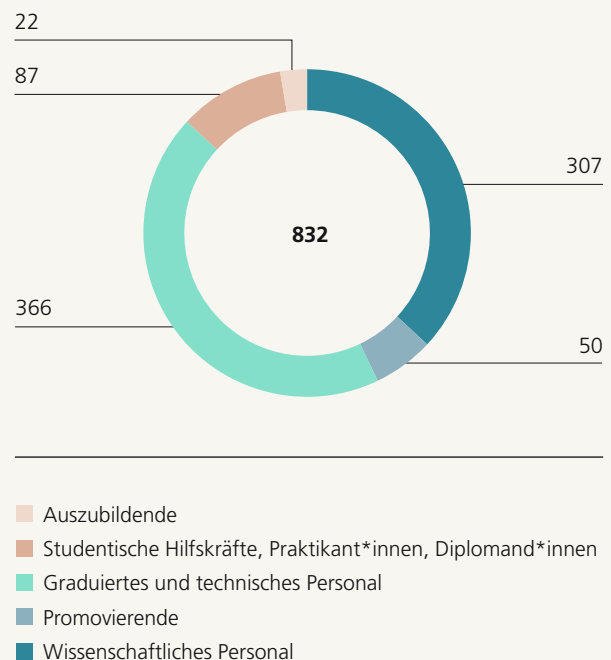
Erweiterung der Infrastruktur

Die Forschungsinfrastruktur ist in den letzten Jahren sehr schnell gewachsen. Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit werden zunehmend stärker bewertet. Umfassende Analysen haben geholfen, den Energieverbrauch am Institut erheblich zu verringern. Das Ziel der Folgejahre wird es sein, diese Entwicklung zu verstetigen. Umfangreiche Maßnahmen wurden 2023 im Rahmen eines Pilotprojekts untersucht. Für 2024 müssen nun Finanzierungen gefunden werden, um diese Maßnahmen umzusetzen. Dabei besteht die besondere Herausforderung in der Sicherstellung solcher Maßnahmen in den Gebäuden der Außenstellen und in der Vernetzung der Personalkapazität der Standorte.

Entwicklung des Personalbestands des Fraunhofer IKTS – Beschäftigtenzahl 2019 bis 2023, Vollstellenäquivalente Personalstruktur



Beschäftigte des Fraunhofer IKTS in 2023, Anzahl Personen



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
IAB – Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH, Weimar
Institutsdirektor

Dr. habil. Martin Gude
Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft, Erfurt
Leiter der Abteilung 2
»Bauen, Wohnen und Stadtentwicklung«

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
Rauschert Heinersdorf-Pressig GmbH, Pressig
Leiter Rauschert TechCenter Dresden

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

Dr. Hans-Heinrich Matthias
TRIDELTA GmbH, Hermsdorf
Geschäftsführer

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

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

Dr. Patrick Pertsch
PI Ceramic GmbH, Lederhose,
Geschäftsführer

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

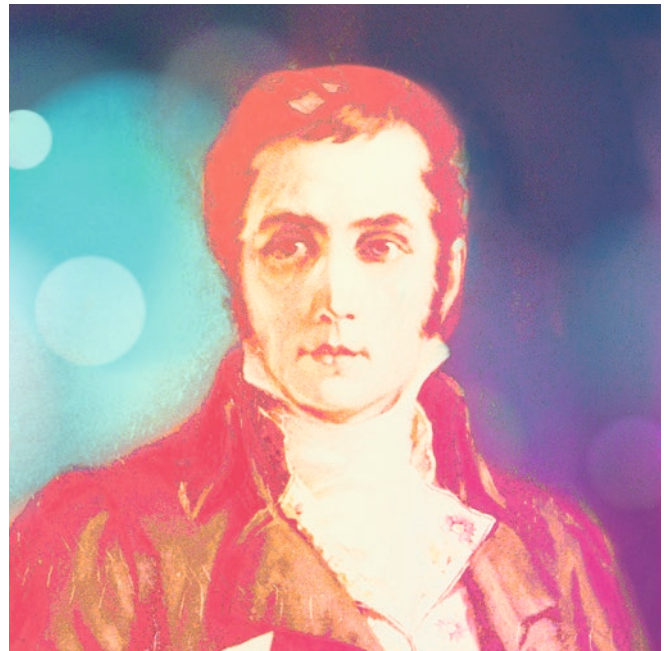
Die Fraunhofer-Gesellschaft

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.



Joseph von Fraunhofer.

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.

Retrospektive

Das Fraunhofer IKTS präsentierte 2023 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.

1. Januar 2023

Kohlenstoffrecycling am Standort Freiberg

Mit der Integration der Freiburger Forschungsgruppe Kohlenstoff-Kreislauf-Technologien KKT ins Fraunhofer IKTS will das Institut weitere Synergien in den Elektrolyse-, Wasserstoff- und Power-to-X-Technologien heben und nachhaltige Kohlenstoffquellen für die Kreislaufwirtschaft erschließen. Kohlenstoff ist ein zentraler Grundstoff unzähliger Produkte unseres täglichen Lebens. Am neuen Standort in Freiberg werden chemische Recyclingverfahren wie die Pyrolyse oder Gasifizierung optimiert und im großtechnischen Maßstab erprobt. Diese Recyclingprozesse sollen zukünftig mit der Hochtemperatur-Elektrolyse und der Fischer-Tropsch-Synthese, beides Kerntechnologien am Fraunhofer IKTS, kombiniert werden, um neue Rohstoff- und Energieressourcen für eine grüne Industrie bereitzustellen.

8. Januar 2023

Forschungspartnerschaft für nachhaltige Schifffahrt und Energie

Prof. Alexander Michaelis, Institutsleiter des Fraunhofer IKTS, hat in Las Vegas ein Memorandum of Understanding mit der Korea Shipbuilding and Offshore Engineering (KSOE) Co, LTD und dem europäischen SOC-Produzenten ELCOGEN unterzeichnet. Die Partner vereinbaren darin eine enge Entwicklungszusammenarbeit in den Bereichen Wasserstoff und Brennstoff-/Elektrolysezellen.

1. Februar 2023

Spin-off AMAREA Technology GmbH gegründet

(Bild oben)

Der Multi-Material-3D-Druck mit Hochleistungswerkstoffen erlaubt es, funktionalisierte oder funktionell gradierte Produkte innerhalb eines einzigen Prozesses ressourcenschonend zu drucken – individuell, schnell und kostensparend. Die Techno-



logie wurde am Fraunhofer IKTS entwickelt und in Projekten mit Industriekunden erfolgreich demonstriert. Im Februar 2023 gründeten die Entwickler die AMAREA Technology GmbH, um die Multi-Material-Jetting-Technologie zu kommerzialisieren und die 3D-Drucker in die Serie zu überführen.



15. März 2023

Messen: hier trafen Sie unsere Mitarbeiter*innen

(Bild mitte)

Insgesamt 43 Messeauftritte im In- und Ausland spiegelten die Vielfalt des Fraunhofer IKTS und der Einsatzgebiete keramischer Komponenten, Systeme und zerstörungsfreier Prüftechnologien. Die übergreifenden Schlüsselthemen dabei waren Effizienz steigern, Ressourcen schützen und Kreisläufe schließen.

Lösungen zur Wasseraufbereitung demonstrierte das Institut auf der TausendWasser in Berlin und zur HANNOVER MESSE. Durch die Kombination moderner UV-Dioden und zellulärer Funktionskeramiken lassen sich z. B. in Kläranlagen stark verdünnte, gelöste chemische Mikropartikel wie Glyphosat, Bisphenol A, Medikamenten- und Kosmetikrückstände energieeffizient aus dem Wasser eliminieren.

Gemeinsam mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena setzte das Institut ebenfalls in Hannover einen weiteren Fokus auf Natrium-Ionen-Batterien. Mit Exponaten und in Vorträgen zeigten die Partner die in Thüringen und Sachsen etablierten Kompetenzen für die Kommerzialisierung dieser nachhaltigen Batterien aus einheimischen, gut verfügbaren Rohstoffen entlang der »Neuen Via Regia für Batterien« auf. Aktuell bedürfen diese der strategischen Koordination und Förderung. Im Ausblick ließe sich damit innerhalb von fünf Jahren eine industrielle Massenproduktion von Natrium-Ionen-Batterien in Deutschland aufbauen.

Auf einer der weltgrößten Messen für Filtrations- und Separationstechnik **FILTECH** stellte das IKTS u. a. Kohlenstoffmembranen vor, die CO₂ aus Industriegasen mit Konzentrationen über 97 % abtrennen können. Dieses lässt sich als Rohstoff beispielsweise für nicht-fossile Treibstoffe oder Chemikalien weiterverwerten. Weitere Lösungen vom Material bis zum System für die Energiewende zeigte das Institut auf der **European Hydrogen Week** in Brüssel und der **ees Europe**.

Innovative Systeme für die Zustandsüberwachung und zerstörungsfreie Prüfung lernten Besucher*innen u. a. auf der **CONTROL** und **JEC World** kennen. Highlight auf der **AeroNDT** in Südkorea war EddyCus® MPECS flex. Das Gerät lässt sich bspw. auf Flugzeugstrukturen platzieren und prüft vor Ort 2,5D-gekrümmte CFK-Oberflächen. Damit lassen sich z. B. durch Vogelschlag verursachte Delaminationen frühzeitig erkennen.

Auch im medizinischen Bereich ermöglichen IKTS-Entwicklungen eine präzise Diagnostik und individualisierte, schonende Behandlungen, etwa im Bereich der Dentaltechnik, der Kleingelenkprothetik oder der instrumentellen Medizin. Auf der **IDS**, **formnext** und **Compamed** wurden IPUclean, FingerKit und ClickKit-Well vorgestellt.

17. März | 27. April 2023

Schau rein! und Girls'Day – Beruf: Chemie- und Physikalaborant*in

(Bild oben)

Was bedeutet es, im Labor einer Forschungseinrichtung zu arbeiten? Am 17. März und am 27. April tauchten Dresdner Schüler*innen im Rahmen der »Woche der offenen Unternehmen Sachsen« bzw. des bundesweiten Girls'Day am Fraunhofer IKTS einen Tag in den Laboralltag ein. Sie lernten den Beruf Chemie- und Physikalaborant*in kennen, durften sich selbst ausprobieren und erhielten von ausgebildeten Azubis und unserem Recruiting-Team spannende Insights zur Ausbildung am Fraunhofer IKTS.



27.–30. März 2023

Jahrestagung der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V.

Im Frühjahr 2023 traf sich die Keramik-Community zur Jahrestagung der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. an der Ernst-Abbe-Hochschule Jena und in Hermsdorf. Über 300 Teilnehmende nutzten die Gelegenheit für das persönliche Netzwerken und besuchten das dreitägige Vortragsprogramm. Im Rahmen einer Industrieexkursion öffneten die Hightech-Unternehmen des Tridelta Campus Hermsdorf e. V. ihre Türen. Die Nachwuchskeramiker*innen lieferten sich einen intensiven Vortragswettbewerb und bei einer Podiumsdiskussion diskutierten Fachleute aus Politik, Wirtschaft und Forschung über Chancen und Risiken für die Keramik-Branche im Kontext der Energiewende.



29. März 2023

Prof. Michaelis erhält Rieke-Ring der DKG

(Bild unten)

Prof. Alexander Michaelis wurde mit dem Rieke-Ring der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. für sein langjähriges Engagement für die DKG geehrt. Die Verleihung erfolgte im Rahmen der DKG-Jahrestagung in Jena.



17. April 2023
Willkommener Forschungsnachwuchs
(Bild oben)

Es ist schon eine kleine Tradition, dass die IKTS-Arbeitsgruppe »Systeme für Zustandsüberwachung« Vorschüler ans Institut einlädt. In vielen kleinen Experimenten erfuhren die Kinder, wie Monitoringsysteme dabei helfen, die Sicherheit für Mensch und Umwelt, aber auch die Lebensdauer von Anlagen zu erhöhen.

Im Rahmen des Juniordoktorprogramms experimentierten Schüler*innen der 3. bis 5. Klasse mit Wirbelstrom und untersuchten verschiedene Metalle auf Fehler, die man mit bloßem Auge nicht sehen kann. Sie fanden kleine Risse oder auch winzige Veränderungen im Metall, die später vielleicht dazu führen, dass ein Bauteil oder Gerät kaputtgeht.

Unter dem Motto »Wissenschaft zum Anfassen« schnupperten Grundschüler in verschiedene Abteilungen am Fraunhofer IKTS und erlebten so die Vielschichtigkeit der Tätigkeiten an einem Forschungsinstitut hautnah: vom wissenschaftlichen Arbeiten über unterstützende Arbeiten in Labor und Werkstatt bis hin zu Verwaltungsaufgaben.

3. Mai 2023
Kerntechnik und Batterien sind Themen bei Online-Seminarreihe NDT4INDUSTRY

Die Online-Seminarreihe NDT4INDUSTRY stellt aktuelle Entwicklungen der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) für die Industrie vor. Im Mai ging es darum, wie mit Hilfe neuester Ultraschall-, Wirbelstrom-, Akustik- und Röntgentechnik kerntechnische Anlagen im Betrieb überwacht und geprüft werden können und welche Möglichkeiten das IKTS bietet, um den Rückbau kerntechnischer Anlagen zu unterstützen. Im Seminar im November standen Batterien im Fokus. Vorgestellt wurden Monitoringsysteme, die eine fehlerfreie Fertigung von Batterieelektroden sicherstellen. Diese können an verschiedenen Stellen in die Produktionslinie integriert werden, so dass sich Prozesse wie Mischen der Elektro-

denmasse, Beschichtung, Trocknung oder Kalandrieren kontinuierlich überwachen lassen. Die virtuelle Laborführung am Fraunhofer THM in Freiberg zeigte eine Pilotlinie, in der das IKTS neue Materialien, Herstellungs- und Überwachungstechnologien für die Batterieelektrodenproduktion testet.

3. Juni 2023
Industrieerleben

Zur Veranstaltung »INDUSTRIEERLEBEN« konnten Besuchende die Unternehmen am Industriestandort Erfurter Kreuz näher kennenlernen. Auch das Batterie-Innovations- und Technologie-Center BITC öffnete seine Labore und Technika für die interessierte Öffentlichkeit und bot Einblicke in eine hochmoderne Forschungseinrichtung. Bei Führungen durch das Institut erklärten Forschende, wie Energiespeicher in komplexen Anlagen getestet werden und wie dadurch die Produktion von Batterien optimiert wird. Zudem gab es exklusive Einblicke in aktuelle Forschungsprojekte im Bereich der Wasserstofftechnologien.



Foto: Fraunhofer, Fotograf: Andreas Rudolph

7. Juni 2023
Spatenstich für das neue Institutsgebäude des Fraunhofer ZESS

(Bild mitte)

Bereits am 2019 fiel der Startschuss für das Fraunhofer-Zentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS. Im Beisein vom Niedersächsischen Minister für Wissenschaft und Kultur Falko Mohrs und Dr. Thorsten Kornblum, Oberbürgermeister der Stadt Braunschweig, fand nun am 7. Juni 2023 der Spatenstich für das neue Institutsgebäude am Forschungsflughafen Braunschweig statt. Forschende der beteiligten Fraunhofer-Institute sollen dort ab 2025 die nötige Infrastruktur vorfinden, um die Entwicklung und Erprobung neuartiger Energiespeicher vom Prototyp bis zur Industrialisierung voranzutreiben.

20. Juni 2023

abonocare® – nachhaltiges Nährstoffrecycling aus organischen Reststoffen

Im Wachstumskern abonocare® haben Unternehmen und Forschungseinrichtungen gemeinsam Technologien für ein intelligentes und nachhaltiges Nährstoffrecycling organischer Reststoffe im Sinne der Bioökonomie erprobt. Ihr Ziel: eine wirtschaftliche Kreislaufwirtschaft, in der aus biogenen Abfällen wieder Ressourcen werden. Zum Projektabschluss stellten die Partner der Öffentlichkeit ihre Entwicklungen vor und diskutierten die Verwertungs- und Anwendungspotenziale neuartiger Düngerprodukte, Aufbereitungstechnologien und gesellschaftliche Rahmenbedingungen.

1. Juli 2023

Wissenschaftsnacht TU Ilmenau

Tausende Gäste strömten am 1. Juli zur Ilmenauer Wissenschaftsnacht auf den Campus der Technischen Universität, wo auch das Fraunhofer IKTS im Foyer des Fraunhofer IDMT vertreten war. In einer interaktiven Präsentation konnten sich Besucher*innen über das Thema Wasserstoff informieren und mehr über die Produktionsforschung an Energiespeichern erfahren.

4. Juli 2023

Eröffnung des Hightech-Incubators

Mit dem »Hightech Incubator« Programm können Startups am Tridelta Campus Hermsdorf e. V. von erstklassiger Unterstützung profitieren. Gründer*innen werden u. a. von den Campus Business Angels beraten. Teil dieses Mentoring-Teams ist auch Prof. Ingolf Voigt, stellvertretender Institutsleiter und Standortleiter Hermsdorf. Der offizielle Startschuss für das Programm wurde am Fraunhofer IKTS begangen, denn hier bereiten IKTS-Forschende mit Unterstützung des Hightech Incubators die Ausgründung POXOS® für den Vertrieb von Sauerstoffgeneratoren vor.

6. Juli 2023

ThWIC-Kickoff

Mit einer zweitägigen Kick-Off-Veranstaltung fand das erste Bündnistreffen der Projektpartner im ThWIC – Thüringer Wasser-Innovationscluster in Jena statt. Hauptziel der Veranstaltung war die Vernetzung der Teilprojekte und Partner im Cluster. Abgerundet wurde das Treffen mit einer Abendveranstaltung im Botanischen Garten. Ziel des Clusters ist es, Impulse zur Lösung globaler Wasserprobleme zu setzen und die Vorteile des Thüringer Mittelstands zu nutzen, um Spitzenforschung schneller in die gesellschaftliche Anwendung zu bringen.

31. August 2023

Treffpunkt Keramik auf drei Etagen

Der »Treffpunkt Keramik« am Standort Dresden-Gruna ist seit 20 Jahren fester Bestandteil der Öffentlichkeitsarbeit des IKTS. Er zeigt das Themenspektrum des Instituts und ist damit ein wichtiger Programmpunkt bei Führungen, Kundenbesuchen und Konferenzen. Zudem präsentieren mehr als 70 Partner aus Industrie und Forschung im Rahmen der Kooperation mit der »Ceramics Applications« des Göller Verlags dort ihr Leistungsangebot. Nach einem aufwändigen Umbau wurde der »Treffpunkt Keramik« am 31. August im Rahmen einer Mitarbeitenden-Veranstaltung feierlich neueröffnet.



4.–5. September 2023

International Sodium Battery Symposium SBS4

(Bild oben)

Natriumbatterien sind eine vielversprechende Alternative zu Lithiumzellen. Mehr als 120 internationale Expert*innen kamen Anfang September nach Dresden, um sich über etablierte und neuartige Natrium-basierte Batteriekonzepte auszutauschen – von den Grundlagen und Aktivmaterialien über Zellkonzepte bis hin zu Systemen sowie Tests, Märkten und Anwendungen. Zur begleitenden Industrie- und Posterausstellung präsentierten Unternehmen und Forschende ihre neusten Entwicklungen.

19. September 2023

Pressefrühstück: Keramiktechnologien für die Bioökonomie

Vitamine vom Dach? Welche Technologien es in Indoor-Farmen und Gewächshäusern braucht für ein effizientes und kompaktes Gießwasser- und Nährstoffrecycling, Wärme- und Feuchtmanagement, für Belichtung und Sensorik, das erläuterte Prof. Michael Stelter, stellvertretender Institutsleiter am Fraunhofer IKTS und Inhaber des Lehrstuhls für Technische Umweltchemie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena, beim Pressefrühstück



des Fraunhofer-Institutszentrums Dresden am 19. September. Die dafür nötigen Komponenten und das System-know-how gibt es bereits am IKTS. Ein interdisziplinäres Team arbeitet nun daran, diese zu einem automatisierten und volldigitalisierten Gesamtsystem zu integrieren.

**25.–27. September 2023
Dresden Battery Days**

(Bild oben)

Zur 4. Ausgabe der Dresden Battery Days trafen sich etwa 70 internationale Expert*innen für elektrochemische Energiespeicher und diskutierten die nötigen »Schritte zu einer nachhaltigen und zirkulären Batteriewertschöpfungskette«. Zirkuläre Prozesse, Digitalisierung und Recycling standen bei der zweitägigen Konferenz im Mittelpunkt der Vorträge und Diskussionen.



Foto: CATL

**24. Oktober 2023
High-End-Testzentrum für langlebige Batterien**

(Bild unten)

Seit 2020 kooperiert das Fraunhofer IKTS am Standort Arnstadt mit dem chinesischen Batteriehersteller Contemporary

Amperex Technology GmbH (CATL). Gemeinsam wurde im Projekt »BattLife« ein Testzentrum aufgebaut, in dem Modelle zur Berechnung der Lebenszeit von Batterien erstellt werden. Nach dem erfolgreichen Projektabschluss konnte bei einem Festakt die weitere Zusammenarbeit im Folgeprojekt »Batt-Force« gefeiert werden. Im gemeinsamen High-End-Testzentrum soll die Batterieproduktion weiter optimiert und die Lebensdauer von Batterien, insbesondere für den Automobilsektor, verlängert werden.

**1. Dezember 2023
Niederländische Delegation besucht IKTS**

Als Teil einer Delegationsreise besuchten niederländische Expert*innen aus der Photovoltaik-Industrie (PV) das Fraunhofer IKTS zu einem Deutsch-Niederländischen Netzwerktreffen im Bereich Solar-Photovoltaik. Organisiert wurde die Veranstaltung von der niederländischen Botschaft mit Unterstützung der niederländischen Regierung und des Freistaats Sachsen, um sächsische und niederländische Unternehmen zu vernetzen und dabei die neuesten Entwicklungen der PV-Branche zu erörtern sowie Ideen auszutauschen.

**7. Dezember 2023
Belgisch-Sächsisches Vernetzungstreffen zur Kreislaufwirtschaft**

Belgische und sächsische Akteure aus Industrie, Forschung und Wirtschaftsförderung diskutierten auf einer Netzwerkveranstaltung am Fraunhofer IKTS in Dresden vielversprechende Recyclingtechnologien, Kompetenzen und Rahmenbedingungen »auf dem Weg zu einer dekarbonisierten und zirkulären Industrie«. Im Fokus standen die Vernetzung und mögliche Kooperationen. Organisiert wurde das Treffen von der Wallonia Export & Investment Agency, hub.brussels, Energy Saxony e. V. und dem Fraunhofer IKTS – mit freundlicher Unterstützung durch die Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH.

9. Dezember 2023

Beste Physiklaborantin in Sachsen und Auszeichnung für duale Ausbildung am IKTS

Anabell Zeller, die ihre Ausbildung zur Physiklaborantin am Fraunhofer IKTS in Dresden-Klotzsche absolvierte, wurde von der IHK Dresden als Kammerbeste ausgezeichnet. Mit ihrem hervorragenden Abschluss schloss sie zudem auch als beste Absolventin ihres Fachs im Freistaat Sachsen ab. Neben den Jungfacharbeiter*innen wurden auch Ausbildungsbetriebe für ihre überdurchschnittlich gute duale Berufsausbildung geehrt. Das Fraunhofer IKTS am Standort Dresden-Klotzsche erhielt zum wiederholten Male das Prädikat »Ausgezeichneter Ausbildungsbetrieb«.

17. Januar 2024

Industrietag der Kompetenzcluster »Recycling & Grüne Batterie« (greenBatt) und »Batterienutzungskonzepte« (BattNutzung)

Etwa 100 interessierte Partner aus Industrie und Forschung folgten der Einladung der zwei Kompetenzcluster »greenBatt« und »BattNutzung« nach Dresden und informierten sich über die wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse der Clusterprojekte. Als Teil des Dachkonzepts Forschungsfertigung Batterie wurden in den vergangenen drei Jahren wissenschaftliche Fragestellungen rund um eine nachhaltige und lebenszyklusorientierte Gestaltung von Lithium-Ionen-Batterien sowie Konzepte für deren Nachnutzung und das Recycling erforscht.



24. Januar 2024

Fraunhofer-Präsident Prof. Hanselka auf Dialogtour

(Bild unten)

Auf seiner Dialogtour durch Deutschland besuchte der neue Fraunhofer-Präsident Prof. Holger Hanselka Mitte Januar das Fraunhofer-Institutszentrum Dresden. IKTS-Institutsleiter Prof. Alexander Michaelis begleitete ihn auf einer Labortour

durchs Fraunhofer IKTS. Dr. Stefan Rothe stellte die am IKTS entwickelte Elektrolyse- und Brennstoffzellen-Technologien vor. Dr. Lars Schubert demonstrierte die Drucktanküberwachung mit Ultraschall zur sicheren Wasserstoff-Speicherung. Um Power-to-X-Technologien sowie die Direktreduktion von Stahl mit Wasserstoff ging es bei Dr. Matthias Jahn und seinem Team. Daniela Herold stellte die Natrium-Festkörperbatterie für die stationäre Energiespeicherung vor.



20. Februar 2024

Center für deutsch-koreanische Forschungskooperation eingeweiht

(Bild oben)

Mit einer Feierstunde wurde das »Germany-Korea Technology Cooperation Center for Global Value Chains« am Fraunhofer IKTS in Dresden-Klotzsche eröffnet. Gemeinsam mit dem Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT) betreibt das Fraunhofer IKTS zukünftig das Center, das als Koordinierungsstelle für FuE-Kooperationen zwischen Fraunhofer-Instituten, Universitäten und Unternehmen aus Deutschland sowie koreanischen Forschungs- und Industriepartnern fungiert. Gemeinsam werden Technologiebedarfe und Programme der Technologieförderung für Projekte in beiden Ländern identifiziert, die Projektanbahnung unterstützt und der Technologietransfer vorbereitet. Prof. Ingolf Voigt, stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer IKTS, wurde als IKTS-Vertreter in das Korea-Germany Future Technology R&D Planning Committee berufen.

Aus den Geschäftsfeldern des Fraunhofer IKTS



Im Interview Seite 22–27

Kreislaufwirtschaft, nachhaltige Energieversorgung und industrielle Transformation sind aktuelle gesamtgesellschaftliche Herausforderungen. Das Fraunhofer IKTS arbeitet 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.

In zwei Interviews beleuchten wir technologische Ansätze zur zirkulären Wertschöpfung und Steigerung der Ressourceneffizienz in einer post-fossilen, nachhaltigen Wirtschaft.



Werkstoffe und Verfahren Seite 28–33

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.



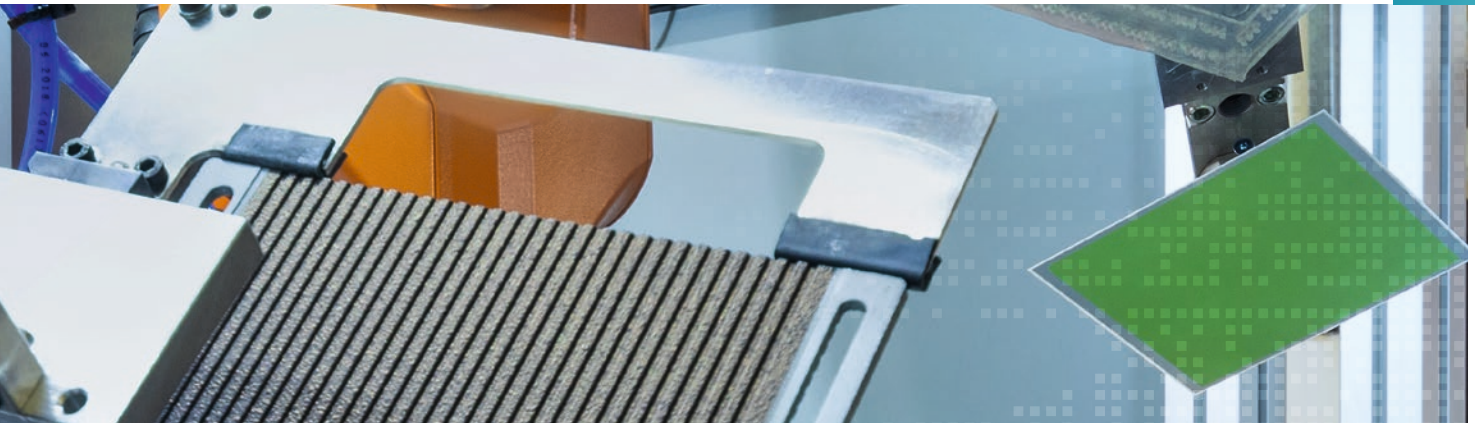
Energie Seite 34–40

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.



Wasser Seite 41–44

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.



Umwelt- und Verfahrenstechnik Seite 45–51

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.



Elektronik und Mikrosysteme Seite 52–54

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.



Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung Seite 55–56

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 57–60

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.



Bio- und Medizintechnik Seite 61–63

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.



Material- und Prozessanalyse Seite 64–67

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.

Kohlenstoff im Kreislauf

Interview mit Prof. Martin Gräbner,
PD Dr. Matthias Jahn, Dr. Hannes Richter,
Dr. Jörg Richter und Prof. Michael Stelter

Kohlenstoff (oder C wie carbon) hat einen schlechten Ruf. Andererseits ist Kohlenstoff allgegenwärtig. Er ist das Atom des Lebens und prägt unsere gesamte Wirtschaft. Kohlenstoff ist Teil unserer DNA, der Lebensmittel, die wir essen und der Produkte, die wir täglich benutzen. Kohlenstoff ist Teil der Kraftstoffe, die unsere Fahrzeuge und Fabriken antreiben oder Wohnungen heizen, und der Materialien, die wir zum Bau unserer Städte verwenden. In der Industrie ist Kohlenstoff Energieträger und Rohstoff zugleich – die gesamte organische Chemie und die nachgelagerten Wertschöpfungen, darunter die Baustoff- und Kunststoffindustrie, basieren auf Kohlenstoff.

In der Natur fließt Kohlenstoff kontinuierlich zwischen der Atmosphäre, dem Ozean, der Vegetation und der Erdkruste. Erst der Mensch hat den Kreislauf seit der industriellen Revolution durch die Nutzung der fossilen, endlichen Kohlenstoffquellen Erdöl, -gas und Kohle aus dem Gleichgewicht gebracht. Wird fossiler Kohlenstoff verbrannt, reagiert er mit Sauerstoff. Es entsteht Kohlendioxid (CO₂). Diese Emissionen aus den Abgasen der Industrie oder der Mobilität an Land, in der Luft und auf See haben dazu geführt, dass die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre in den letzten 150 Jahren mehr als verdoppelt wurde – mit gravierenden Auswirkungen auf das Klima.

Die daraus abgeleiteten Ziele, auf die auch die Forscher*innen am Fraunhofer IKTS hinarbeiten, sind vielfältig: Es gilt, weitere klimaschädliche Emissionen gänzlich zu vermeiden, um die menschlichen Auswirkungen auf das Klima zu reduzieren. Gleichzeitig müssen die endlichen Ressourcen unserer Erde geschützt werden. Um den Kohlenstoffbedarf für die täglich genutzten Produkte und Kraftstoffe in unserer modernen Gesellschaft klimaneutral zu decken, bedarf es alternativer regenerativer Kohlenstoffquellen – sowie Prozesstechnik, mit der sich eine nachhaltige Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft realisieren lässt, die den Kohlenstoff, der bereits im Umlauf ist, wieder und wieder nutzt (CCU, Carbon Capture and Utilization: Kohlenstoffabtrennung und -nutzung).

Welche nachhaltigen Kohlenstoffquellen gibt es?

M. Gräbner: Ich denke, wenn wir Kohlenstoff jenseits der fossilen Träger als Basis für Kraftstoffe oder für die chemische Industrie zur Verfügung stellen wollen, dann haben wir die folgenden Möglichkeiten: Erstens kann CO₂ – als energetisch schlechteste Form des Kohlenstoffs – mit hohem Aufwand

über Direct Air Capture aus der Atmosphäre gewonnen werden. Besser aber nutzt man unvermeidbare industrielle Punktquellen. Zweitens lässt sich biogener Kohlenstoff aus Biomasse nutzen, noch bevor er oxidiert wird. Drittens können wir sogenannten anthropogenen, also vom Menschen gemachten Kohlenstoff aus Kunststoffen zurückholen, indem wir Abfallströme chemisch recyceln.

M. Stelter: Kohlenstoffkreisläufe sind komplex, müssen kreativ gedacht werden. Damit der vorhandene Kohlenstoff zirkulieren kann, setzen wir am Fraunhofer IKTS auf vielfältige Technologien für zukunftsweisende Nutzungskonzepte.

Durch die Elektrifizierung mit regenerativen Quellen und den Ausbau der Wasserstoff-Infrastruktur konnten bereits erhebliche Emittenten energetisch umgerüstet werden, z. B. Bereiche der Stahlindustrie. Wo wird CO₂ langfristig unvermeidbar bleiben und warum? Wie ließe sich der Kohlenstoff darin nutzen?

H. Richter: Insgesamt sind in Deutschland rund 30 % der industriellen CO₂-Emissionen prozessbedingt, darunter die Emissionen der Kalk- und Zementindustrie. Hier werden zwei Drittel des CO₂-Ausstoßes nicht vermeidbar sein. Diese kommen aus dem Kalkstein, einem Carbonat, selbst. Kalk ist zwar auch eine fossile Kohlenstoffquelle, als Grundstoff für die Zementherstellung in der Baustoffindustrie jedoch nicht wegzudenken.

M. Jahn: Daher verfolgen wir den Ansatz, unvermeidbare CO₂-Emissionen aus Abgasen direkt dort abzutrennen, wo sie entstehen. Das CO₂ lässt sich vor Ort für Synthesen nutzen oder über eine Gaspipeline zu Raffinerien und Chemieanlagen transportieren, wo es stofflich verwertet werden kann. Im Rahmen des BMBF-Projekts **Colyssy** zeigten wir z. B. direkt im Kalkwerk einen Weg dafür auf: Keramische Filterkerzen entstauben das Abgas zunächst. Anschließend kann das CO₂ durch keramische Membranen abgetrennt und in einem Hochtemperatur-Elektrolyse-Reaktor (SOEC) mit 10 kW-Leistung bei über 750 °C in Kohlenmonoxid umgewandelt werden. Derselbe Reaktor erzeugt gleichzeitig aus Wasserdampf Wasserstoff. Kohlenmonoxid und Wasserstoff ergeben zusammen Synthesegas. Betrieben wird der Elektrolyse-Reaktor mit regenerativ erzeugtem Strom. In einem nachgeschalteten, ebenfalls am IKTS entwickelten Fischer-Tropsch-Reaktor überführen wir das Synthesegas in flüssige Kohlenwasserstoffe und Wachse bzw. synthetisches Rohöl, sogenanntes SynCrude. Mit dem CO₂ aus allen deutschen Kalk- und Zementwerken ließe sich ein Drittel des Naphtha-Bedarfs in Deutschland und die Hälfte des Kerosinbedarfs als Sustainable Aviation Fuel (SAF) decken.

J. Richter: Im BMBF-WIR-Projekt **Grüner Kalk** untersuchen wir einen alternativen Weg. Ein Ofen zum Kalkbrennen wird nicht mehr mit Erdgas, sondern elektrisch beheizt, sodass im

V.l. oben n.r. unten: Fanny Pohontsch im Gespräch mit Prof. Michael Stelter, Dr. Jörg Richter, Prof. Martin Gräbner, PD Dr. Matthias Jahn und Dr. Hannes Richter.



Grunde reines CO₂ produktinhärent entsteht. Durch eine nachgeschaltete Methanisierung mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff und einer angeschlossenen Methanpyrolyse fällt Kohlenstoff am Ende der Prozesskette in elementarer Form an und gelangt eben nicht als CO₂ in die Atmosphäre. Der bei der Pyrolyse aus dem Methan erzeugte Wasserstoff wird in die Methanisierungs-Reaktion zugeführt. Das CO₂-intensive Kalkbrennen könnte mit diesem Verfahren CO₂-neutral werden. Nimmt der Kalk dieses CO₂ beim Aushärten auf, entsteht sogar eine CO₂-Senke.

H. Richter: Der Einsatz der keramischen Membranen, wie eben geschildert, kann als Abtrenntechnologie für Prozessgase generell ein Game-Changer sein. Aktuell wird in der Industrie wie auch in einigen Biogasanlagen großtechnisch die Aminwäsche eingesetzt, um CO₂ aus Gasströmen abzuscheiden. Sie wirft gleichzeitig viele Fragen hinsichtlich der Zusammensetzung des Rauchgases oder der Haltbarkeit der Aminlösung selbst auf, und sie hat grundlegend einen hohen zusätzlichen Energiebedarf. Auch Polymermembranen kommen in kleinem Maßstab zum Einsatz. Unser Fokus liegt auf keramischen Membranen, die im Vergleich zu den Polymermembranen extreme Temperaturen vertragen und bei einer CO₂-Abtrennrage von 98 % gegen verschiedene NebenkompONENTEN im Abgas, wie Stickoxide oder Schwefeloxide, stabiler sind. So ließe sich der Abgasstrom nicht nur hochselektiv, sondern auch chemikalienfrei aufreinigen. Für eine Nullemission ließen sich die Membranen mit einer kleinskaligen Adsorption koppeln. Mehrere Studien belegten bereits:

»Membranverfahren sparen gegenüber klassischen Abtrennverfahren 80 % Energie.«

J. Richter: Das ist vorteilhaft, da viele Nutzungswege auf elektrischen Strom zurückgreifen, der idealerweise regenerativ erzeugt ist. Jede Energieeinsparung hilft an dieser Stelle sofort

dem gesamten System. Erneuerbare Energie muss ausreichend verfügbar sein, um die angedachten Systeme zu betreiben und daraus beispielsweise grünen Wasserstoff für die Folgesynthesen zu erzeugen, in Deutschland oder europa- und weltweit.

Wie kann Biomasse als nachhaltige Kohlenstoffquelle nutzbar gemacht werden?

M. Stelter: Eines vorweg: Als interessante Biomasse betrachten wir grundsätzlich landwirtschaftliche, aber auch kommunale und industrielle organische Abfall- und Reststoffe, also beispielsweise Pflanzenreste oder Gülle. Es darf keine Konkurrenz zu Anbauflächen für die Lebensmittelproduktion entstehen. Aus einer Biogasanlage erhalten wir fermentativ erzeugtes Biogas, das sich aus rund 40 % biogenem CO₂ und 60 % Methan zusammensetzt. Bislang entweicht das wertvolle CO₂ ungenutzt. Häufig wird das Methan aufgereinigt und in das Erdgasnetz eingespeist, wenn keine ausschließliche Strom- und Wärmenutzung erfolgt. Laufen die Einspeisevergütungen in den nächsten Jahren schrittweise aus, funktioniert dieses Geschäftsmodell nicht mehr. Dann braucht es Ideen, um landwirtschaftliche Betriebe weiterhin wirtschaftlich betreiben zu können. Daher lohnt es sich, über eine stoffliche Nutzung des gesamten Gases aus den Biogasanlagen nachzudenken. Ein Ansatz hier wäre es, Treibstoff für Nutzfahrzeuge, wie Traktoren, herzustellen. Das ließe sich mit einer kleinen, modularen Membrananlage realisieren, in der das verfügbare Methan direkt aufgereinigt wird.

H. Richter: Das ist teils auch Gegenstand des EU-Projekts **METHAREN**. Darin wollen wir neue kosteneffiziente Verfahren an Biogasanlagen demonstrieren, die die Kohlenstoff-Umwandlungsrate von Biomasse zu Methan auf 80 % steigern. Das hieße im Umkehrschluss, dass sich die CO₂-Emissionen an Biogasanlagen halbierten. Das wäre ein großer Hebel, um den Gasbedarf in Europa importunabhängig zu decken. In Turin, Italien, steht dafür eine Pilotanlage, in der auch unsere keramische Membrantechnologie zum Einsatz kommen soll. Bereits in einem anderen Projekt **Innomem** zeigten wir, dass unsere neuartigen Zeolithmembranen ausgezeichnete Trennleistungen in dieser Anwendung erbringen.

M. Jahn: Wenn wir bei der post-fossilen Energiebereitstellung sind, gehen Forschung und Entwicklung auch dahin, eine wetterunabhängige, dezentrale stabile Stromversorgung zu gewährleisten, indem die Biogasanlage mit einem Hochtemperatur-Festoxid-Brennstoffzellensystem (SOFC) gekoppelt wird. Konventionelle Blockheizkraftwerke (BHKW) arbeiten in der Regel mit Gasmotoren, die einen elektrischen Wirkungsgrad von 40 % aufweisen. Ein großer Teil des Energiepotenzials, das in der Biomasse steckt, bleibt ungenutzt. SOFC-Systeme sind mit 60 % deutlich effizienter. Grundsätzlich ist neben der Strombereitstellung auch immer die Nutzung der Wärme für eine möglichst hohe Gesamtausnutzung der Energie zu berücksichtigen. Da die Festoxidzellen sowohl als Brennstoffzellen als auch als Elektrolysezellen betrieben werden können, werden die Investitionskosten durch den Ausbau von Elektrolysekapazitäten mittel- bis kurzfristig stark sinken. Alternativ zur Bereitstellung von Strom und Wärme über die Brennstoffzelle kann das Biogas auch zu Synthesegas reformiert und wie im vorherigen Beispiel über die Fischer-Tropsch-Synthese zunächst dezentral in SynCrude und anschließend zentral in Raffinerien zu SAF und Naphtha umgewandelt werden.

»Mit dem synthetischen Öl aus biogenen Abfällen steht uns ein hochwertiges Rohprodukt aus regionaler Erzeugung zur Verfügung.«

Das ist vorteilhaft für die Aufbereitung. Evaluiert wurde das Konzept bereits in einer Biogasanlage in Thallwitz bei Leipzig.

Ab welcher Anlagengröße lohnt sich das?

M. Jahn: Unseren Berechnungen und techno-ökonomischen Bewertungen zufolge kann der Einsatz bereits an einer durchschnittlichen deutschen Biogasanlage mit einer Leistung von 500 kW sinnvoll sein. Zu beachten gilt: Wo erfolgt die Aufbereitung, wo die Nutzung? Die Region um Leipzig mit großem Flughafen, Landwirtschaft und dem Chemiepark in Leuna ist eine Beispielregion, in der eine neue Wertschöpfungskette etabliert werden kann.

M. Gräbner: Mit der TU Freiberg setzen wir gegenüber der genannten Fischer-Tropsch-Route auf Methanol-basierte Prozesse, um regenerative Kraftstoffe zu erzeugen. Im letzten Quartal produzierten wir in einer Großversuchsanlage bereits 55 000 Liter grünes Benzin auf Basis von Bio-Methanol. Das Produkt ist seit Weihnachten 2023 nach DIN EN 228 zertifiziert,

REACH-registriert und kann als E10 getankt werden. Das ist ein riesiger Meilenstein, der im Verbundprojekt **DeCarTrans** erreicht wurde.

M. Stelter: Das heißt doch, dass regionale Biomasse dafür genutzt werden könnte, Kraftstoffe dezentral herzustellen, um eine kleine Region direkt zu versorgen?

M. Gräbner: Das wäre der nächste Skalierungsschritt. Die Zielmarke, auf die unser Industriepartner CAC Engineering GmbH hinarbeitet, liegt bei 250 000 t Benzin im Jahr. Damit wären in einer industriellen Anlage Herstellungskosten von unter einem Euro pro Liter erreichbar. Wir werden ergänzend allerdings erneuerbare Energie aus energiebegünstigten Ländern in Form von Wasserstoff und seinen Derivaten importieren müssen, wenn wir die Kosten geringhalten wollen, und dazu zählt der Kohlenstoffträger Methanol. Wichtig dabei ist natürlich, dass das Methanol aus CO₂ aus der Luft oder eben biogenen Quellen synthetisiert wurde, damit wir eine Kreislaufschißung erreichen. Methanol ist so schön flexibel, dass wir es erstens als Kraftstoff für die energetische Nutzung in die bestehende Infrastruktur einbringen und zweitens stofflich als Rohstoffbasis für die chemische Industrie anbieten können. Dafür wären lediglich geringe Prozessänderungen in denselben Anlagen notwendig, um von Methanol-to-Gasoline z. B. auf Methanol-to-Jet, wie in unserem Verbundprojekt **EwOPro**, oder Methanol-to-Chemicals umzustellen. Hierbei erhalten wir Chemieprodukte, wie den Kunststoff Polypropylen, der schon heute auf Methanolbasis erzeugt wird – allerdings stammt das Methanol aus Kohle. Der Import von regenerativ erzeugtem Methanol hingegen kann zu einer nachhaltigen Kohlenstoffbilanz der Chemieindustrie beitragen.

M. Jahn: In Chile begleiten wir im BMBF-Projekt **Power-to-MEDME-FuE** beispielsweise aktuell den Aufbau einer Pilot-Produktionsstätte für Methanol. Im Rahmen des Projekts wird in einem Folgeprozess Dimethylether (DME) erzeugt, welches zum einen direkt als Ersatz für Diesel, aber auch als Trägermedium für den Transport von Wasserstoff genutzt werden kann. Bei der Rückumwandlung von DME in Wasserstoff wird CO₂ freigesetzt. Wird dieses dort auch direkt abgetrennt und in das Exportland, in diesem Fall Chile, zurückgebracht, kann der Kohlenstoffkreislauf weitgehend geschlossen werden. Nur eine geringe Menge CO₂ muss dann aus der Luft zusätzlich abgeschieden werden.

J. Richter: Methanol ist als flüssiger Wasserstoffträger auch für die Schifffahrt interessant, die bisher ein gewaltiger fossiler CO₂-Emittent ist. Über das Methanolreforming lässt sich Methanol mit Wasser zu Wasserstoff und CO₂ reformieren. Wird ein Membranreaktor als Reformier eingesetzt, können Wasserstoff und CO₂ direkt während dieser Reaktion voneinander getrennt werden. Wasserstoff treibt das Schiff an, während CO₂ verflüssigt an Bord in den freiwerdenden Methanol-

tanks gebunkert wird. In dieser reinen Form lässt es sich an Land erneut für die Methanolherstellung nutzen. Es entsteht ein geschlossener CO₂-Kreislauf. Im EU-Projekt **HyMethShip** übernehmen wir dafür die Prozess- und Reaktorauslegung sowie die Ausstattung dieser Reaktoren mit Membranen und Katalysator.

Bleiben wir bei der anthropogenen, vom Menschen gemachten Kohlenstoffquelle – Kunststoff. Welche Verfahren kommen hier zum Einsatz?

M. Gräbner: Bislang landet in Deutschland über die Hälfte aller kunststoffhaltigen Abfälle in der Müllverbrennung. Das sind über drei Millionen Tonnen im Jahr, bislang nicht oder nur unter großem Aufwand bearbeitbare Verbundwerkstoffe oder Mischkunststoffe. Der darin enthaltene Kohlenstoff entweicht dabei als klimaschädliches CO₂ in die Atmosphäre. Durch chemisches Recycling, wie der Pyrolyse und der Gasifizierung, halten wir den Kohlenstoff dagegen nahezu vollständig im Kreislauf. Abfälle lassen sich damit in ihre kleinsten Baueinheiten aufknacken. Wir untersuchen dies im Fraunhofer-Leitprojekt **Waste4Future**. Die im nächsten Schritt präzise zusammensetzbaren Recycling-Produkte sind qualitativ nicht von einem neuen fossilen Produkt zu unterscheiden. Die Gasifizierung ermöglicht es uns sogar, Kohlenstoff auch aus kritischen, z. B. chlorkontaminierten, Stoffen zurückzuholen. Dazu zählt Polyvinylchlorid (PVC) aus den 90er Jahren, das z. B. mit Blei und Brom versetzt ist. Die Rückläufer – Bodenbeläge, Fensterrahmen, Kabelisolationen – werden heute zum Teil in Kalkbrennöfen durchgeföhren, in denen das Chlor als Salz absorbiert wird. Mit der Gasifizierung lässt sich sowohl Chlor als Salzsäure gewinnen und in die Chlorproduktion zurückführen, als auch Kohlenstoff als Kohlenmonoxid. Außerdem treten keine Rauchgase und Filterstäube auf wie bei einer Verbrennung. Es müssen keine Aschen als Sondermüll deponiert werden. Wir verschlacken die Stoffe zu einem glasartigen Material, in dem gefährliche Schwermetalle oder giftige Mineralstoffgemische sicher eingebunden sind. Körnig aufgemahlen kann es dann der Baustoffindustrie als Sandersatz dienen. Prinzipiell sind wir in den Anlagen aber flexibel, was die Einsatzstoffe betrifft. So lässt sich Biomasse nicht nur in der Biogasanlage aufspalten, sondern auch in der Pyrolyse zu wertvollem Koks umwandeln.

Das erfordert doch sehr viel Energie?

M. Gräbner: Um eine kontinuierliche industrielle Pyrolyse oder Gasifizierung betreiben zu können, muss der Müll zwingend homogenisiert werden. Metallteile, mineralische Elemente und Feuchtigkeit können aber schon mit einfacher Verfahrenstechnik abgetrennt werden, was den weiteren Aufwand und Energieeinsatz insgesamt deutlich reduziert. In einem Gasifizierungsprozess wird dann typischerweise etwa nur ein Fünftel der eingesetzten Energie als Wärme freigesetzt. Da wir die gesamte Wertschöpfungskette inklusive aller Nebenströme

betrachten, wie den Schlacken, steigern wir damit auch die Ressourceneffizienz. Entsorgungskosten reduzieren sich, nichts geht verloren oder landet auf einer Deponie. Damit ist diese Herangehensweise energetisch deutlich günstiger, als CO₂ aus der Luft einzufangen, nachdem die wertvollen Kohlenstoffträger verbrannt wurden.

All diese Szenarien konkurrieren um dieselben Kohlenstoffquellen. Werden diese nicht versiegen, wenn wir als Gesellschaft weniger Kunststoffprodukte nutzen und das begrenzte Biomassepotenzial erschöpft ist?

M. Gräbner: Deshalb ist es so wichtig, Kohlenstoffe im Kreislauf zu halten, indem wir die kohlenstoffhaltigen Bestandteile im Abfall besser verwerten und daraus wieder hochwertige Ausgangsmaterialien für die Industrie herstellen.

»Kohlenstoff wird in einer defossilisierten Wirtschaft das bestimmende Element sein, um die notwendigen Mengen an regenerativen Kraftstoffen und nachhaltigen Chemieprodukten bereitzustellen.«

Ohne CO₂ aus der Atmosphäre wird es langfristig kaum gelingen. Denn theoretisch würde die gesamte Abfallmenge, die heute in deutschen Müllverbrennungsanlagen landet, lediglich dafür ausreichen, gerade so die chemische Industrie mit Kreislauf-Kohlenstoff zu versorgen. Daher muss zunächst in jedem Fall auch CO₂ an jeglichen Punktquellen abgefangen und als Energie- und Stoffträger zugelassen werden – bevor es eben in der Atmosphäre verdünnt und dann teuer abgetrennt werden muss.

M. Jahn: Ja, Kohlenstoff wird ein knappes Gut. Für den Umbau der Anlagen braucht es regulatorische Anreize, wie die Quotenregelung für die Zumischung von grünem Kerosin, also SAF. Unseren Kundinnen und Kunden bieten wir an, die Nutzungspfade unter ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten zu analysieren. So lässt sich die sinnvollste Variante ermitteln, die sich über kurz oder lang rechnen wird – wirtschaftlich und für das Klima.

Pflanzenanbau in kontrollierter Umgebung

Interview mit Dipl.-Ing. (FH) Nico Domurath

Am Fraunhofer IKTS forschen Menschen mit dem Antrieb, ganzheitliche ökonomische und nachhaltige Systeme und Dienstleistungen für die Praxis zu entwickeln. Um die komplexen Fragestellungen unserer Zeit zu verstehen und beantworten zu können, schöpfen sie Innovationskraft aus der interdisziplinären Zusammenarbeit.

Einer von ihnen ist der Agrarexperte Nico Domurath. Sein Technikum in Dresden-Gruna ist leicht zu finden. Aus dem Sichtfenster der Labortür erstrahlt violettes Licht. Installiert ist dieses in kompakten, verglasten Versuchsanlagen, in denen auf mehreren Etagen Pflanzen gedeihen. Es duftet aromatisch nach Basilikum. Die Indoor-Farm am Keramikinstitut: ein ganz besonderes Beispiel für fachübergreifende Expertise.

Herr Domurath, welche Forschungsfrage wollen Sie als Gartenbauingenieur am »Keramikinstitut« lösen?

Mein Fokus liegt auf dem Anbau von Pflanzen unter kontrollierten Bedingungen, auch bekannt als **CEA, Controlled Environment Agriculture**. Dies umfasst hauptsächlich den Gewächshausgartenbau und das Vertical Farming. Die Branche erlebt aktuell eine zunehmende Dynamik. Angesichts der UN-Nachhaltigkeitsziele streben wir eine biobasierte Wirtschaft an, die natürliche Stoffkreisläufe nutzt, dabei natürliche Ressourcen schützt und den Bedarf einer wachsenden Weltbevölkerung decken kann. Sind es heute acht Milliarden Menschen, werden es bis 2050 über zehn Milliarden sein, die mit Nahrung und Rohstoffen versorgt werden müssen – davon 80 % in Großstädten. CEA-Systeme betrachten wir als Teil der technischen Infrastruktur, die die Lebensmittelproduktion und Bioökonomie schultert. Sie bieten optimale Wachstumsbedingungen für Pflanzen oder Organismen, um z. B. eine gesunde Ernährung zu sichern: In Gewächshäusern oder vertikalen Farmen lässt sich »indoor« jedes Klima der Welt unabhängig von Jahreszeiten und Standort erzeugen. Das verspricht ganzjährige Erträge in konstanter Qualität und Menge. Tomaten, Salate und Kräuter, zum Beispiel, oder proteinreiche Gemüse müssen nicht mehr frühreif geerntet und tagelang über tausende Kilometer aus dem trockenen Süden oder gar Übersee in unseren Supermarkt transportiert werden. Das reduziert Emissionen und auch den virtuellen Wasser- und Landverbrauch. Pflanzenanbau in kontrollierter Umgebung ist also ein großer Hebel für den ökologischen Fußabdruck und die dezentrale Bedarfsdeckung für Ernährung und Bioökonomie. Analysen verdeutli-

chen allerdings: Damit sich das Konzept CEA rentiert, besteht erheblicher Entwicklungsbedarf. Wir wollen die drängenden Herausforderungen gezielt mithilfe unserer robusten keramischen und diagnostischen Komponenten und Technologien lösen.

Wie ließe sich die Effizienz von Anlagen für den Pflanzenanbau in kontrollierter Umgebung optimieren? Welchen Ansatz verfolgen Sie?

»Wir denken, dass sich der Stand der Technik mit einem integrierten, interdisziplinären Systemansatz auf ein neues Level heben lässt.«

Im Fraunhofer IKTS verfügen wir über jahrzehntelanges Know-how in der Energie- und Umwelttechnik, Photonik, Sensorik und Prüftechnik. All das wollen wir auf CEA-Infrastrukturen bzw. die Bedürfnisse der Pflanzen, die Wärme, Licht, Wasser und Nährstoffe brauchen, anwenden. Die vertikalen Pflanzschränke sind unsere Versuchsstände. Hier führen wir unser Technologieportfolio für diesen spezifischen Einsatz zusammen. Die Wechselwirkungen und die Balance zwischen Wassernutzung, Nährstoffproduktion und Energie betrachten wir dabei ganzheitlich. Wir verknüpfen Prozesse, wie z. B. den Wasserhaushalt mit dem Wärmemanagement, und wollen Kreisläufe schließen. Heute ist der kontrollierte Anbau technisch noch so komplex, dass wir hier große Chancen für Effizienzsprünge sehen. Je nach Einsatzszenario sind unterschiedlich skalierte und komplexe Systeme sinnvoll.

Welche Komponenten und Technologien entwickeln und kombinieren Sie? Wie gelingt das Zusammenspiel?

Ob unsere Berechnungen auch praktisch funktionieren, das erproben und entwickeln wir gezielt langfristig. Wir wollen da hinkommen, dass selbst das Wasser, das die Pflanze transpiert, zurückgewonnen wird. Für die Medienaufbereitung steht uns unsere Membrantechnik zur Verfügung, bei der Wasser z. B. mittels keramischer Nanofilter und AOP, advanced oxidation processes, aufbereitet wird. Gleichzeitig ermitteln Sensoren, welche Nährstoffe noch darin enthalten sind und welche, in unserem Fall als hydroponische Lösung, wieder zugeführt werden müssen. Mit den von uns vorgesehenen Optimierungen sind 80 bis 100 g Salatertrag pro Liter Wasser realistisch, also doppelt so viel wie in bisherigen vertikalen Farmen. Für Salat im Freiland wird – je nach geografischer Breite – mit 5 bis 20 g pro Liter gerechnet.

Wir setzen auf intelligente Werkstoffe, wie durchströmbare Formkörper aus innovativen Zeolith-Keramiken.

»Unsere große Stärke ist es, technische Herausforderungen direkt über Funktionalitäten im Material lösen zu können.«

Die Zeolithe dienen gleichzeitig als Latentwärme- und Wasserspeicher: Nehmen die Zeolithe Wärme auf, geben sie gespeichertes Wasser durch Verdunstung ab. Nehmen sie später wieder Feuchtigkeit auf, geben sie Wärme ab. Durch die präzise Steuerung des Luftstroms in den Anlagen könnten sie tagsüber überschüssige Wärme speichern und bei Bedarf nachts wieder abgeben. Damit ließen sich energie- und wartungsintensive, externe Kompressionskältemaschinen oder fossile Heizungen ersetzen. Wir gehen noch einen Schritt weiter und möchten die gesamte regelbare Belichtungstechnik in ein mit dem Wärme- und Feuchtigkeitskomplex integriertes Energiemanagement einbinden. Denn wo Licht ist, da ist auch Wärme. Indem wir die Pflanzenbelichtung pulsweitenmoduliert gestalten und Photonenaufnahme und Elektronenabgabe synchronisieren, ließe sich der Energiebedarf für die Belichtung um 30 bis 50 % senken.

Um zu ermitteln, ob es den Pflanzen gut geht und wie produktiv sie sind, könnten verschiedene biochemische und physikalische Sensoren aus dem Haus zum Einsatz kommen. Sie überwachen den Nährstoffgehalt, Umgebungsparameter bis hin zu Pflanzenpathogenen. Mit integrierten optischen Verfahren, wie der Laser-Speckle-Photometrie, ließe sich das Wurzelwachstum oder der Reifegrad beurteilen. Wir wollen diese vielfältigen IKTS-Technologien als modulares, skalierbares System orchestrieren, und zwar vollständig digitalisiert für den automatisierten bis hin zum autonomen Betrieb. Damit könnten im Endeffekt CEA-Anlagen so klein und kompakt gebaut werden, dass sie sich praktisch überall aufstellen lassen, sogar in direkter Nähe zu den Verbraucher*innen. Die agrarwirtschaftliche Produktion könnte dann an Orten stattfinden, die dafür bisher nicht nutzbar waren.

Jedes Szenario – z. B. zukünftige Indoor-Farmen in Ballungsgebieten oder auch inmitten eines Industriegebiets – erfordert doch sicher eine variierte »Konfiguration«?

Das Konzept ist gut geeignet, um es mit gewerblichen, industriellen oder urbanen Infrastrukturen zu verknüpfen. Unser Ziel ist es, diese Anlagen bestmöglich in das jeweilige Umfeld zu integrieren. Deshalb setzen wir auf den modularen Ansatz. Das klingt nach einem immensen Technologieeinsatz. Doch diesen validieren wir von Anwendungsfall zu Anwendungsfall anhand von Wirtschaftlichkeitsanalysen und Ökobilanzen. Wir schauen



uns beispielsweise die in der Umgebung anfallenden Stoff- und Medienströme respektive Standort-Schnittstellen an: Wie sind die Lichtverhältnisse? Lassen sich regenerative Energiequellen koppeln und wie gehen wir damit um, wenn kein Wind weht und Wolken den Himmel bedecken? Kann ich Abwärme aus Serverfarmen einfangen oder eigenen Überschuss an einen nebenstehenden Produktionsbetrieb abgeben? Kann ich gar deren emittiertes CO₂ direkt nutzen, und wie muss dieses gegebenenfalls wieder aufkonzentriert und gereinigt werden?

Wie steht es um die zugeführten Nährstoffe, wie Phosphor und Stickstoff – woher stammen sie und welchen Entwicklungsbedarf gibt es an dieser Stelle?

Wie sich Nährstoffe aus organischen Reststoffströmen zurückgewinnen lassen, ist ein Schwerpunkt, der uns am IKTS schon lange bewegt. Wir setzen auf Biomasse, wie Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen oder Gärresten aus Biogasanlagen. Um die Nährstoffe zu separieren, kommen keramische Membranen zum Einsatz. An der Stelle sei auf den Wachstumskern abonocare® verwiesen. Wir testen hier in unseren Vertical-Farming-Versuchsständen z. B., wie gut die sogenannten Rezyklate aus den Biomassen von den Pflanzen aufgenommen werden. Denn die rohen Rezyklate schmecken ihnen zu dem Zeitpunkt häufig noch nicht. Phosphor neigt dazu, Allianzen mit anderen Stoffen einzugehen. Die Wurzeln können es schwer aufnehmen. Also müssen diese Phosphate gezielt konditioniert werden. Das Gleiche bei Stickstoff: In organischen Düngern muss dieser Nährstoff erst aus Komplexverbindungen gelöst werden. In der Natur geschieht dies im Boden automatisch. Das ist ein mikrobiologischer Prozess. Für ein Nährlösungssystem, wie es bei uns implementiert ist, müssen dafür gezielt Nischen geschaffen werden. Hier bieten keramische Aufwuchskörper als Substrat eine Heimstätte.

Welche nächsten Schritte sind geplant?

Unser langfristiges Ziel ist eine »Toolbox«, die Nutzer*innen in die Lage versetzt, sie an jegliche Art von Indoor-Farm anzuschließen. Das können vertikale Pflanzschränke sein, wie wir sie nutzen, bis hin zu Gewächshäusern in verschiedenen Größen und Formen, jeweils optimal ausgelegt auf die genannten oder weitere mögliche Schnittstellen. Wir wollen für den kontrollierten Anbau den Weg zu einer ökonomischen und ökologischen dezentralen Selbstversorgung ebnen, für eine gesicherte gesunde Ernährung und als Säule der Bioökonomie.

Porenkeramiken für optische Feuchtesensoren

Dr. Stefanie Hildebrandt, Dr. Daniela Haase,
Dipl.-Krist. Jörg Adler, Dipl.-Ing. (FH) Jörn Augustin,
Dipl.-Ing. (FH) Georg Lautenschläger, Dr. Stefan Helbig

In der Bauwirtschaft werden viele Materialien, wie Estriche, in feuchtem Zustand eingebaut und verarbeitet. Überschüssiges Wasser, das für den Abbindeprozess nicht erforderlich ist, muss in einem definierten Zeitregime an die Umgebungsluft abgegeben werden. Zur Überwachung der Trocknungszeiten im Bauwerk ist ein genaues und einfaches Monitoring des Wassergehalts nötig, um z. B. eine vorzeitige Belegung der Estrichböden und damit Bauschäden zu verhindern. In der Produktion kann auf diese Weise der Energie- und Ressourcenverbrauch reduziert sowie Wartezeiten im Baubetrieb verkürzt werden.

Messprinzip: Erfassung des feuchteabhängigen Lichtdurchgangs durch das keramische Porengerüst

Am Fraunhofer IKTS werden Feuchtesensoren auf Basis poröser Keramiken entwickelt, bei denen die verbesserte Lichtleitung von mit Wasser gefüllten Poren ausgenutzt wird. Die Lichtleitung nimmt beim Trocknen ab und ist unempfindlich gegenüber Salzgehalten im Wasser.

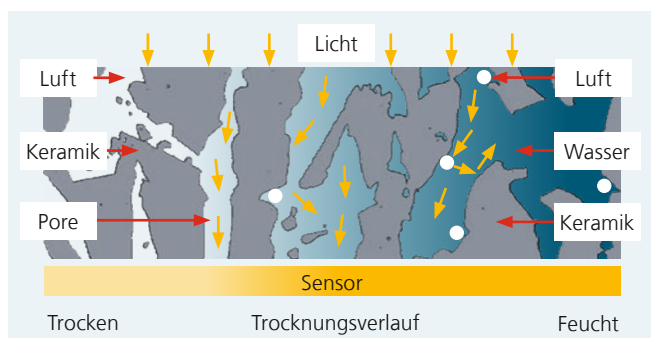


Bild 1: Schema der optischen Feuchtemessung durch Lichtleitung (Lichtbeugung, -streuung und -reflexion) in poröser Keramik im trockenen und feuchten Zustand.

Maßgeschneiderte Porenkeramik

Die Feuchtemessung setzt voraus, dass die Feuchte im Baumaterial (z. B. Calcium-Sulfat-Estrich) und in der Porenkeramik ähnlich sind. Die porösen Sensor-Keramiken müssen daher auf die Estriche in Porengrößen und Porosität abgestimmt werden. Hierzu werden die Baustoffe hinsichtlich dieser Eigenschaften analysiert und zusätzlich die Feuchtespeicherfunktion ermittelt.

Entsprechend den Anforderungen des Baustoffs werden dann die keramischen Rohstoffe, die geeignete Formgebung und die Sinterschritte aufeinander abgestimmt.

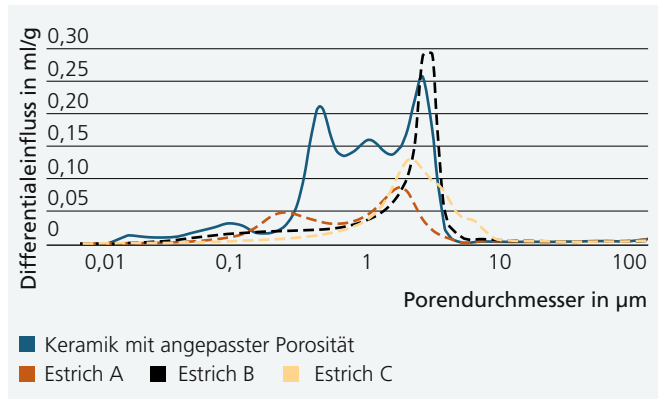


Bild 2: Maßgeschneiderte poröse Keramik im Feuchtesensor, angepasst auf die realen Porengrößen des Estrichs (als Beispiel Calcium-Sulfat-Estriche A, B, C).

Die Sensoren wurden im Labormaßstab und in anwendungsrelevanten Estrichflächen in Calcium-Sulfat-Estrichen getestet. Für Estrichböden, deren Porenstruktur mit der Porenkeramik gut erfasst wurde, konnte das Feuchtemonitoring bis zum Erreichen der Belegreife sehr gut nachvollzogen werden.

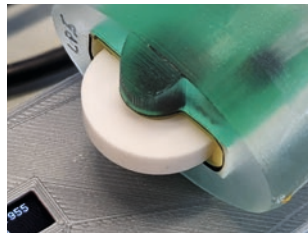


Bild 3: Lichtoptischer Feuchtesensor-Prototyp zur Messung in CaSO_4 -Estrichen (Sensor und Porenkeramik).

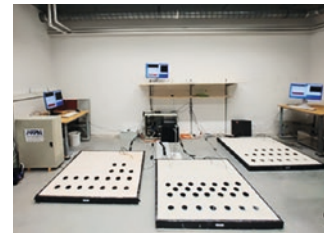


Bild 4: Versuchsaufbau: Estrichflächen mit eingebauten Sensoren und Messwert-erfassung (Quelle: MFPA).

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Charakterisierung der Mikrostruktur und Porosität von Baustoffen, Böden, anorganischen Werkstoffen
- Herstellung von Keramiken, die mikro- und makrostrukturell auf den zu untersuchenden Werkstoff angepasst sind
- Untersuchung des Trocknungsverlaufs und Monitoring über lichtoptische Messung an keramischen Scheiben

Die Arbeiten fanden in Kooperation mit der MFPA Weimar und dem BV Gips e. V. im Rahmen des AIF/IGF-Projekts 20936 BR statt.

Langlebige keramische Wärmetauscherwaben für Abluftreinigungsanlagen

Dr. Uwe Petasch, Dipl.-Ing. (FH) Stephanie Schlotza,
M.Sc. Lasse Fabian Köhl, Dipl.-Krist. Jörg Adler

Die regenerative thermische Oxidation (RTO) ist ein Abgasreinigungsverfahren, das in industriellen Anlagen zur Minderung von Kohlenwasserstoffemissionen eingesetzt wird. Dazu werden die Abgase in Oxidationsreaktoren auf hohe Temperaturen erhitzt, bei denen die enthaltenen flüchtigen organischen Verbindungen (Volatile Organic Compounds, VOC) mit Sauerstoff umgesetzt werden. Zur regenerativen Wärmerückgewinnung werden vielfach keramische Waben als Wärmeübertrager (Regeneratoren) eingesetzt. Diese sind in Wabenbetten angeordnet, die abwechselnd vom gereinigten heißen Abgas durchströmt und vorgewärmt werden und nach Umkehrung der Strömungsrichtung die aufgenommene Wärmeenergie auf das kalte ungereinigte Abgas übertragen. Bei Abgastemperaturen von 800–900 °C und ausreichender VOC-Konzentration wird ein autothermer Betrieb der RTO-Anlage durch eine selbsterhaltende Verbrennung der organischen Verbindungen im Abgas ermöglicht.

Aufgrund seiner hohen thermischen und chemischen Beständigkeit wird Tonerdeporzellan häufig als Werkstoff für keramische Wärmetauscher eingesetzt. Trotz der guten mechanischen Festigkeit führen hohe Temperaturunterschiede im Wärmetauscherbett und häufige Temperaturwechsel jedoch zu einer Degradation der Waben. Untersuchungen am Fraunhofer IKTS an gealterten Waben haben gezeigt, dass sich durch Rissbildung an der inneren Oberfläche die Porosität des Wabenmaterials erhöht. Dadurch können sich vermehrt Zersetzungsprodukte an der Oberfläche ablagern. In der Folge sinkt die Effizienz der Wärmeübertragung deutlich und der Grenzwert für die Kohlenwasserstoffemissionen kann nicht mehr sicher eingehalten werden.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Vorhabens »LanRTO« zur Entwicklung langlebigerer Abluftreinigungsanlagen wurde am Fraunhofer IKTS an Werkstoffen und Verfahren zur Oberflächenstabilisierung keramischer Wabenkörper geforscht. Ziel war es, deren Degeneration und den damit verbundenen Performanceverlust im RTO-Prozess zu verringern. Gemeinsam mit dem Projektpartner Relox Anlagen GmbH wurde an der Ver-

besserung des RTO-Verfahrens gearbeitet, um zukünftige Grenzwertanforderungen bei Dauermessungen sicher einhalten zu können.

Hierzu wurden Schutzschichten aus Glasurmaterialien zur Versiegelung und Oberflächenstabilisierung des Keramikmaterials sowie ein geeignetes Beschichtungsverfahren zur Nachbehandlung handelsüblicher Keramikwaben entwickelt. Die homogensten Schichten mit guter Schichtanbindung zum Substrat und Schichtdicken im Bereich von 35–70 µm wurden mit Glasuren erreicht, deren Einbrenntemperatur unterhalb des Erweichungspunkts der Keramikwaben liegt. Durch die Schutzschichten wird die Oberflächenporosität des Wabenmaterials verringert und die Rissbildung in der Wabenoberfläche minimiert. Außerdem besitzen die Glasuren durch ihr Erweichungsverhalten bei höheren Temperaturen ein Potenzial zum Ausheilen von Rissen in der Schicht. Nach realen Tests beschichteter Waben im RTO-Prozess konnte keine die Performance beeinträchtigende Adsorption von Kohlenwasserstoffen und Zersetzungsprodukten aus dem Abgas festgestellt werden.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung von keramischen Wärmespeichermaterialien mit applikationsorientierten Eigenschaften
- Entwicklung von Verfahren zur Werkstoffmodifizierung und Oberflächenbeschichtung
- Charakterisierung von Wabensubstraten und Wärmespeichermaterialien hinsichtlich chemischer, mechanischer und thermischer Eigenschaften



Bild 1: Keramische Wärmeträger aus Tonerdeporzellan mit Glasurbeschichtung vor (rechts) und nach (links) Einsatz im RTO-Prozess.

Gefördert durch:

 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages

Supraschmierung für Keramikgleitlager auf Siliciumnitrid-Siliciumcarbid-Basis

Dr. Eveline Zschippang, Dr. Mathias Herrmann, Dr. Tobias Amann*, Dr. Andreas Kailer* (*Fraunhofer IWM)

In technischen Prozessen und Systemen geht ca. 20 % der Energie infolge von Reibung verloren. Reibung zu minimieren ist daher ein wesentlicher Baustein zur Erhöhung der Energieeffizienz. Um Reibverluste signifikant zu senken, arbeiten Forschende der Fraunhofer-Institute IKTS, IWM, IWS und IPA im Fraunhofer-internen Projekt »SupraSlide« daran, die Supraschmierung vom Labormaßstab in Maschinenelemente zu übertragen. Bei einer Supraschmierung ist die Reibung extrem gering mit einem Reibungskoeffizient μ kleiner als 0,01. Keramiken aus Siliciumnitrid (Si_3N_4) und Siliciumcarbid (SiC) sind korrosionsbeständig, verschleißfest und haben eine hohe thermische Belastbarkeit – sie sind daher ein idealer Werkstoff für Gleitlager. Am Fraunhofer IKTS wurden Si_3N_4 - und Si_3N_4 -SiC-Keramiken entwickelt und deren Oberflächen durch Läppen und Polieren modifiziert. Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene Gefüge- und Werkstoffzusammensetzungen realisiert und deren tribologische Eigenschaften am Fraunhofer IWM getestet. Dort konnte im Modellversuch unter Verwendung wasserbasierter Schmiermittel Supraschmierung nachgewiesen werden. Zudem konnte gezeigt werden, dass bereits eine geläppte Oberfläche ausreichend glatt ist, um Supraschmierung zu erzielen – ein großer Vorteil für die industrielle Umsetzung. Besonders erfolgversprechend waren dabei Komposit-Werkstoffe aus Si_3N_4 mit SiC-Partikelverstärkung. Bild 1 zeigt die Oberfläche des Si_3N_4 -Werkstoffs mit SiC-Verstärkung nach dem tribologischen Test (Kugel-3-Platten), auf der die Einglättung deutlich zu erkennen ist. Mit verschiedenen Detektoren wurden die einzelnen Phasen ermittelt und die Topologie beurteilt. Es kommt unter den Testbedingungen zu keinem selektiven Verschleiß der Phasen SiC, Si_3N_4 oder der Korngrenzphase. Am Fraunhofer IKTS wurden aus den entwickelten Si_3N_4 -SiC-Werkstoffen Prüfkörper hergestellt, um diese unter praxisnahen Prüfbedingungen am Gleitpad-Tribo-meter zu testen. Unter Verwendung wasserbasierter Schmiermittel konnte für die Si_3N_4 -basierten Werkstoffe Supraschmierung erzielt werden. Die Paarung Si_3N_4 -SiC (Gleitpad) /SSiC (Ring) zeigte im durchgeführten Versuchsfeld in großen Bereichen Supraschmierung mit Reibwerten $< 0,01$ (Bild 2). Die vielversprechenden Ergebnisse zeigen: Verschleißfeste Keramiken haben das Potenzial, eine neue Generation von Gleitlagern zu schaffen, die eine deutliche Energieeinsparung, geringeren Verschleiß und damit eine höhere Lebensdauer ermöglichen.

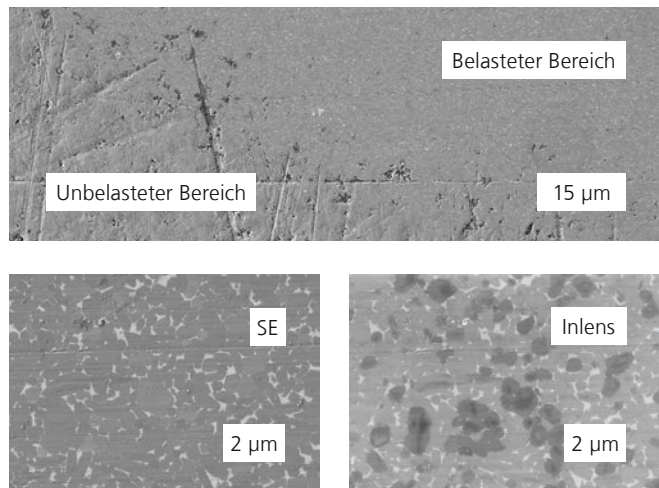
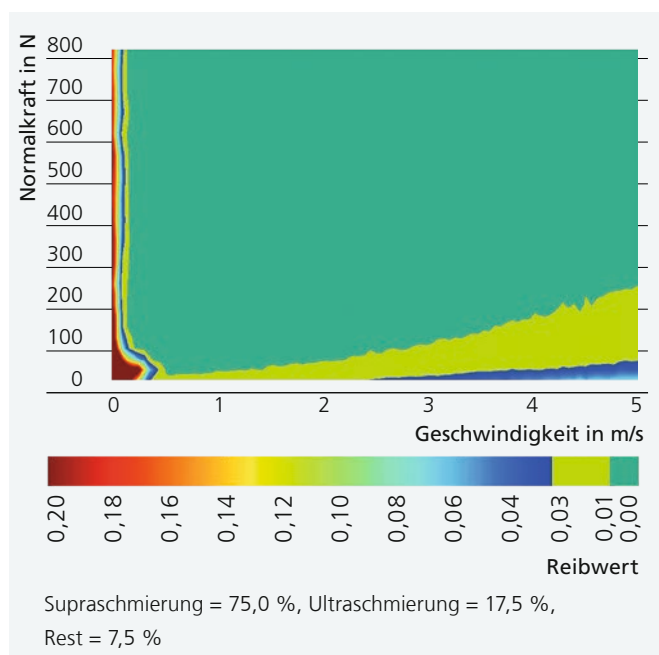


Bild 1: REM-Bild des Si_3N_4 -Werkstoffs mit SiC-Verstärkung nach dem Test: (oben) geringe Vergrößerung, (unten) Bild der beanspruchten Oberfläche mittels SE- (l.) und Inlens -Detektor (r.).



Nachgewiesene Supraschmierung (75 %) für die Paarung Si_3N_4 -SiC (Gleitpad) /SSiC (Ring).

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung von Keramiken zur Anwendung als Lagerwerkstoff
- Charakterisierung und Schadensanalyse von Werkstoffen und Bauteilen

Cobaltfreie Hartmetall-Diamant-Komposite

Dr. Johannes Pötschke, M.Sc. Mathias von Spalden

Vor 100 Jahren wurde Hartmetall entwickelt. Heute kommt es in zahlreichen Industriebranchen zum Einsatz und wird in seiner Relevanz mit Stahl und Beton verglichen. Dies verdankt Hartmetall seiner einzigartigen Kombination aus dem harten keramischen Wolframcarbid (WC) und dem bruchzähen metallischen Cobalt (Co) als Matrix. Durch Variation der WC-Korngröße und des Co-Anteils können die Eigenschaften über einen weiten Bereich dem Einsatzzweck angepasst werden. Für die Versorgung der europäischen Industrie mit Hartmetall ist die Verfügbarkeit von Cobalt und Wolfram von strategischer Bedeutung. Beide Rohstoffe wurden daher von der EU sowohl hinsichtlich der Versorgungslage als auch der wirtschaftlichen Relevanz als kritische Rohstoffe (critical raw material, kurz: CRM) eingestuft. Dieser Status wird vor allem für Co durch den hohen Bedarf für Lithium-Ionen-Akkus verschärft. Der Großteil der benötigten Rohstoffe stammt dabei aus Ländern außerhalb der EU mit instabilen, repressiven politischen Systemen und damit einhergehenden oft menschenunwürdigen und umweltschädigenden Abbaubedingungen – was die Rohstoffversorgung unsicher macht. Um unabhängiger von Staaten außerhalb der EU zu werden, ist neben einer Steigerung der Förderung der Ausgangsstoffe in der EU und einer höheren Recyclingrate die Substitution die dritte wichtige Säule. Ein Ansatz zur Reduzierung des Rohstoffbedarfs ist die Erhöhung der Lebensdauer der Hartmetallerzeugnisse. Insbesondere im Rahmen der Energiewende kommen vermehrt hochfeste, schwer zu bearbeitende Werkstoffe im Bereich der Energiegewinnung und des Leichtbaus zum Einsatz, die herkömmliche WC-Co-Hartmetalle an ihre Grenzen bringen. Im M-ERA.NET Projekt »NovCom«, co-finanziert durch das Sächsische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst SMWK (FKZ: 100406144), hat das Fraunhofer IKTS Co-freie Hartmetall-Diamant-Komposite (diamond enhanced cemented carbides, kurz: DECC) entwickelt, die einen weiteren Schritt in Richtung Rohstoffunabhängigkeit der EU erlauben. Durch die extreme Härte und hohe Wärmeleitfähigkeit von Diamant sollen die Eigenschaften des neuartigen Komposits die herkömmlicher Hartmetalle übertreffen. Damit die Diamantstruktur bei der für Hartmetall benötigten Sinter Temperatur stabil bleibt und nicht in Graphit zerfällt, müsste ein Höchstdruckverfahren zum Einsatz kommen. Eine wirtschaftliche Produktion wäre damit nicht möglich. Die Umwandlung in Graphit zu verhindern, ist daher die größte Herausforderung bei der Entwicklung von DECC.

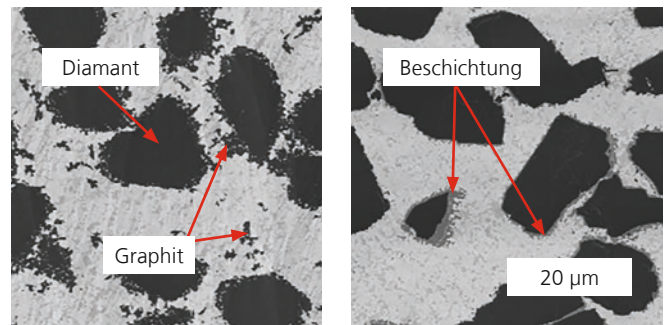


Bild 1: Vergleich von DECC. Links: Cobalt-Binder + Diamant unbeschichtet, rechts: Angepasster Binder + Diamant beschichtet.

Ein entscheidender Schritt war hierbei die Verringerung der Sinter Temperatur und -zeit mittels der am Fraunhofer IKTS verfügbaren field assisted sintering-Technik (FAST). In Kombination mit einem neu entwickelten Co-freien Bindersystem und beschichteten Diamantkörnern wurde die Bildung von Graphit wirksam unterdrückt. Dabei kamen nur kommerziell erhältliche Ausgangsstoffe und etablierte pulvermetallurgische Verfahren zum Einsatz, sodass eine einfache Integration in bestehende industrielle Prozesse möglich ist. Derzeit wird gemeinsam mit GeniCore Sp. z o.o., einem Entwickler von Sinteranlagen, und dem Werkzeughersteller HTM High Technology Machines Sp. z o.o. an der Implementierung und Validierung für Werkzeuge in der Zerspanungstechnik gearbeitet. Weiteres Potenzial bieten die Entwicklung endkonturnaher Sinter teile sowie die funktionelle Gradierung.



Bild 2: Werkzeug mit Filzüberzug aus Graphit während des FAST-Prozesses.

STAATSMINISTERIUM
FÜR WISSENSCHAFT
KULTUR UND TOURISMUS

Freistaat
SACHSEN

 GeniCore
Genius at the Core

 HTM
High Technology Machines

Selektives Lasersintern zur Herstellung komplexer SiSiC-Keramik

Dr. Steffen Kunze, Dipl.-Ing. Christian Berger,
Dr. Alexander Füssel, Dipl.-Krist. Jörg Adler

Selektives Lasersintern (LS) oder auch Laser Powder Bed Fusion (LPBF) ist im Kunststoff- und Metalldruck als Standardverfahren etabliert. Beim Lasersintern werden Materialien in einem Pulverbett durch einen Laser punktuell verbunden. Am Fraunhofer IKTS wurde das Verfahren aus dem Kunststoffdruck nun für die Herstellung siliciuminfiltrierter Siliciumcarbidkeramiken (SiSiC) adaptiert. Bislang findet das Lasersintern keine technische Verwendung zur Herstellung von Siliciumcarbidkeramik (SiC), da SiC nicht schmelzbar ist und bei hohen Temperaturen passivierende Oxidschichten bildet. Zur Lösung dieser Herausforderung hat das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit dem Projektpartner ESK-SiC GmbH besonders feine und gut verarbeitbare SiC-Pulver mit runden Partikeln entwickelt. Diese sind hoch fließfähig und damit optimal für pulverbettbasierte Fertigungsverfahren geeignet. Die SiC-Pulver werden anschließend mit einem speziellen Novolak beschichtet. Dieses Phenolharz ist thermoplastisch schmelzbar und kann mittels eines Härters auch in ein Duromer überführt werden.

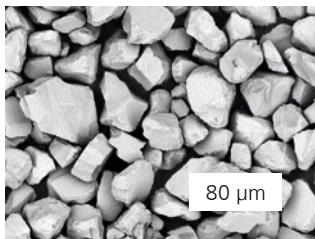


Bild 1: REM-Aufnahme des verrundeten SiC-Pulvers.

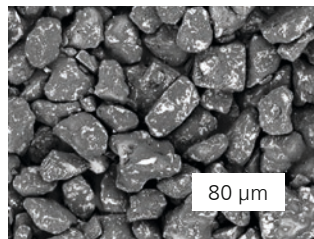


Bild 2: SiC-Pulver mit Novolak-Beschichtung (dunkle Bereiche).

Derartig präparierte SiC-Pulver lassen sich mit kostengünstigen, für den Polymerdruck ausgelegten Anlagen mit Diodenlaser (Leistungen kleiner 5 W) verarbeiten. Die Temperaturen während des Prozesses erweichen nur den Kunststoff und verbinden so die einzelnen beschichteten SiC-Körner miteinander. Eine Oxidation der SiC-Oberfläche findet dabei nicht statt. Um möglichst dichte Grünkörper zu erzeugen, wurden die Prozessparameter der Lasersinterung optimiert. Die eingetragene Energiedichte und die Bautemperatur während des Lasersinterns erwiesen sich als die wesentlichen Prozessfaktoren zur

Erhöhung der Gründichte. Es konnten so polymer gebundene SiC-Grünkörper mit einer Dichte von $1,3 \text{ g/cm}^3$ hergestellt werden, die ausreichend stabil für die weiteren Bearbeitungsschritte sind. Im Anschluss an die additive Formgebung lassen sich derartig hergestellte Bauteile durch eine konventionelle Pyrolyse und Silicierung in siliciuminfiltriertes Siliciumcarbid überführen.

Erste Anwendungen in Gasbrennern

Das Lasersintern eignet sich insbesondere zur Herstellung filigraner Bauteile mit engen Toleranzen. Mit dem Verfahren wurden am Fraunhofer IKTS erste offenzellige SiSiC-Bauelemente für Anwendungstests bei der Promeos GmbH hergestellt. Diese Bauteile (Bild 4) bewirken in Gasbrennern eine Homogenisierung des Wärmestrahlungsbildes und erhöhen die Emission der Infrarotstrahlung, was den Wirkungsgrad für Trocknungsprozesse erhöht. Die Oxidationsstabilität der Bauteile ist mit der konventionell hergestellter SiSiC-Bauteile vergleichbar. Aufgrund der erzielten hohen Weibull-Festigkeit von bis zu 266 MPa bei einem Weibull-Modul von 21 ist das Verfahren geeignet, um zukünftig auch strukturkeramische Anwendungen, wie etwa keramische Spiegelträger oder Wärmetauscher, zu adressieren.

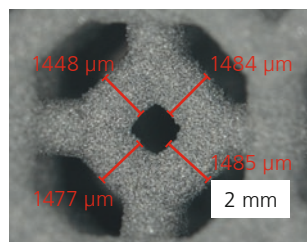


Bild 3: Detail des Druckbildes (grün).



Bild 4: SiSiC-Brennergeometrie.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung von additiven Herstellungsverfahren für keramische Werkstoffe
- Individuelle Pulveraufbereitung und Beschichtung
- Konstruktion, Optimierung und Herstellung komplexer additiv hergestellter Bauteile
- Thermische Prozessentwicklung

Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Verbundprojekt AMSIC (03XP0270D).

Gefördert durch:

 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages



Effizienter Vieldrahtsägeprozess für Substrate aus oxidischen Hochleistungskeramiken

M.Eng. Andreas Frickel, M.Sc. Lea Schmidtner,
Dr. Oliver Anspach (PV Crystalox), Dr. Sabine Begand

Das Vieldrahtsägen ist ein gängiges Trennverfahren aus der Siliciumwafer-Produktion, mit dem es möglich ist, aus einem Rohling Hunderte bis mehrere Tausend Wafer in einem einzigen Sägelaufl herzustellen. Man unterscheidet zwischen dem Diamantdrahtsägen, bei dem die Abrasivkörner im Draht gebunden sind und dem Slurry-Drahtsägen, bei dem eine Abrasivkorn-Suspension auf ein Drahtfeld aufgetragen wird. Das Werkstück wird gegen das sich bewegende Drahtfeld gedrückt, wodurch in mehreren Schnittpalten gleichzeitig Material abgetragen wird.

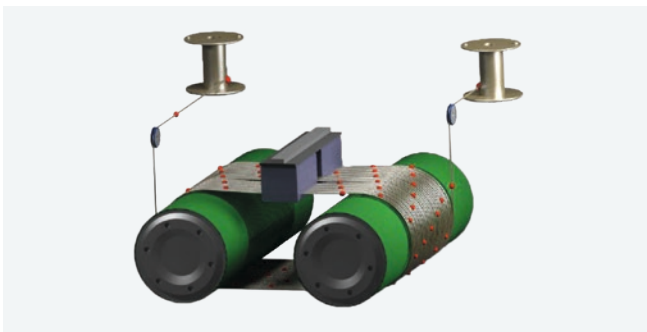


Bild 1: Aufbau einer Vieldrahtsäge.

Im Projekt »SliCer« wurden feinkörnige Hochleistungskeramiken mittels Slurry-Drahtsägen bearbeitet. Zusammen mit der Firma PV Crystalox Solar plc untersucht das Fraunhofer IKTS das Sägeverhalten an Al_2O_3 -, MgAl_2O_4 - und ZrO_2 -Keramiken, um besonders dünne Scheiben und Ringe für Elektronik, Optik und Messtechnik mit hoher Präzision und Effizienz herzustellen. Vorherige Arbeiten beschreiben erste Wechselwirkungen zwischen Sägeparametern und den resultierenden Bauteileigenschaften [1]. Ausgehend von diesen Arbeiten wurden im »SliCer« Projekt zusätzlich Geometrie und Eigenspannung umfassend charakterisiert. Darüber hinaus untersuchten die Projektpartner verschiedene Maßnahmen, um die Maßhaltigkeit zu verbessern: Variation der Slurry-Temperatur und Drahtgeschwindigkeit, Einsatz von unterschiedlichen Fixiermaterialien sowie angepasste Vorschubgeschwindigkeiten über den Bauteilquerschnitt. Anhand von Laserscanningaufnahmen konnte die Geometrie

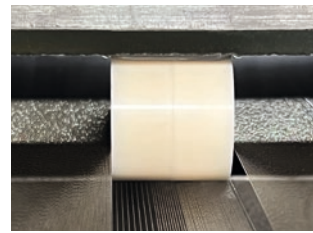


Bild 2: Sägeinnenraum während des Vieldrahtsägens von gesinterten Al_2O_3 -Ronden.

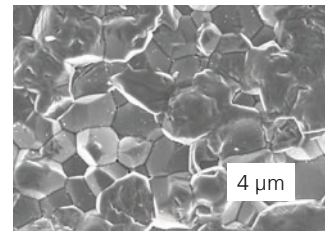


Bild 3: Topografie von trennwälgeplapten Al_2O_3 -Scheiben. Trans- und interkristallines Bruchverhalten.

von mehreren nebeneinander liegenden Scheiben erfasst und mit den Sägeprozessparametern in Verbindung gebracht werden (Bild 4). In allen Versuchen war der Ein- und Aussägebereich bei der Erzielung von gleich dicken und ebenen Bauteilen die größte Herausforderung. Die intrinsische Härte und der Gefügestand (Korngröße, Porenanteil) des zu schneidenden Materials beeinflussten die Abtragsmechanismen maßgeblich. Die Drahtfeldauslenkung ist hier ein Maß für den Sägewiderstand und die Sägefähigkeit.

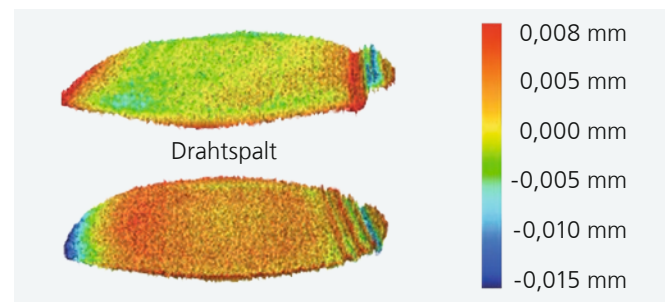


Bild 4: Laserscanningmikroskopisches Höhenprofil: Kurzzeitige Instabilitäten wirken sich stark auf die Oberflächenstruktur aus.

Feinkörnige Al_2O_3 -Keramik erfährt in der Bauteilmitte bei einer Vorschubgeschwindigkeit im 10er $\mu\text{m}/\text{min}$ -Bereich eine Drahtfeldauslenkung von 4–8 mm. MgAl_2O_4 dagegen zeigt bei doppelter Vorschubgeschwindigkeit kaum eine Auslenkung. Die Projektergebnisse zeigen, dass Slurry-Drahtsägen von Hochleistungskeramiken im Vergleich zur konventionellen Herstellroute eine Einsparung von Anlagen, Personal und Material erwarten lässt und das Potenzial hat, Scheiben mit einer Dicke von unter 100 μm in einer hohen Stückzahl zu fertigen.

Literatur

[1] Schmidtner; L., Multi-Wire Sawing of translucent Alumina Ceramics, 2020.

Studie zur dezentralen Energieversorgung für die Landwirtschaft und den ländlichen Raum

Dipl.-Ing. (FH) Nico Domurath,
Dipl.-Ing. Björn Schwarz, Dr. Laura Nusch

Im Auftrag des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie LfULG untersuchten die Fraunhofer-Institute IKTS und IVI die Voraussetzungen und Möglichkeiten für eine erweiterte dezentrale Erzeugung, Wandlung, Speicherung und Verteilung erneuerbarer Energien im ländlichen Raum. Landwirtschaftliche Betriebe spielten hierbei eine zentrale Rolle, denn sie verfügen in der Regel über ein großes Potenzial an wichtigen Ressourcen wie Biomasse, Dach- und Freilandflächen für Photovoltaik- und Windkraftanlagen sowie eine Anbindung an Strom- und ggf. Gasnetze. Die Studie wurde in enger Abstimmung mit einem Fachbeirat aus Wirtschaft und Wissenschaft erstellt.

Zunächst wurden verfügbare Technologien zur Erzeugung, Wandlung, Speicherung und Aufbereitung von erneuerbarer Energie recherchiert sowie die betrieblichen Voraussetzungen zum Einsatz dieser erfasst. Hieraus ließen sich acht geeignete Verfahrensansätze als Schlüsseltechnologien identifizieren. Acht sächsische Landwirtschaftsunternehmen unterschiedlicher Struktur und Größe wurden anhand einer Auswahlmatrix ausgewählt und der Einsatz der identifizierten Schlüsseltechnologien in diesen Betrieben simuliert. Die jeweiligen Jahresflüsse von Energie und Energieträgern, welche intern im Betrieb und extern im ländlichen Raum zur Verfügung stehen, wurden sowohl für den Ist-Zustand (ohne Schlüsseltechnologie) als auch für den Soll-Zustand (mit Schlüsseltechnologie) bilanziert und in Energieflussdiagrammen (Bild 1) visualisiert. Daraus wurden die jeweils auftretenden CO₂-Emissionen abgeleitet sowie die Energie-Gestehungskosten für die einzelnen Verfahrensbeispiele berechnet. In einem weiteren Schritt wurden aus den Detailbetrachtungen drei besonders vielversprechende Technologiepfade ausgewählt und diese jeweils einem Beispielunternehmen für eine weitergehende Bewertung zugeordnet. Diese Technologiepfade sind:

1 Wasserstoff-Produktion als Systemdienstleistung

Das Technologiekonzept basiert auf dem Ausbau der Photovoltaik auf Marginalflächen. Die zu leistende externe Energie-

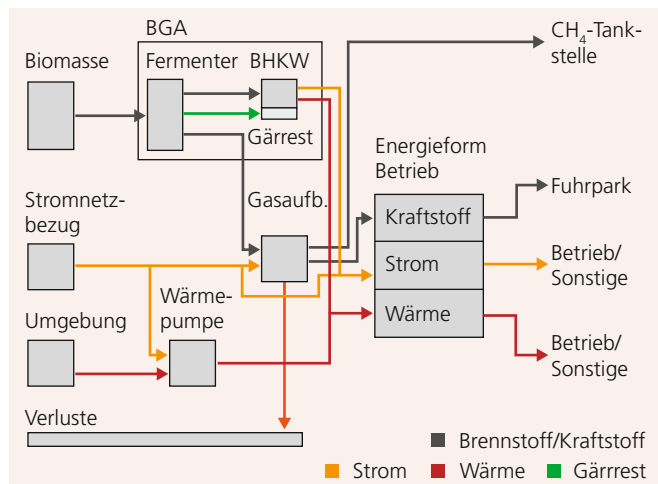


Bild 1: Beispielhaftes Energieflussdiagramm für die Schlüsseltechnologie Methanherzeugung und weitere Nutzung.

bereitstellung soll im netzdienlichen Betrieb entweder Strom direkt einspeisen oder in Zeiträumen mit erhöhter Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien den PV-Strom zur Wasserstoffgewinnung nutzen. Die geplante Anlagengröße auf einer weiterhin landwirtschaftlich zu nutzenden Fläche und das flexible Geschäftsmodell, das sich an Erzeugung und Bedarf im Gesamtnetz orientiert, stellen einen Neuwert mit starkem Modellcharakter dar.

2 Methan-Einspeisung in das Hochdruckgasnetz

Die kontinuierliche Bereitstellung von aufbereitetem Methan bietet eine Handlungsoption für bestehende Biogasanlagen, um über das Erdgasnetz sowohl lokale als auch überregionale Nutzer zu erreichen und damit wirkungsvoll Erdgas zu ersetzen.

3 Stromspeicherung und -management mittels Lithiumfreier Batterie

Die Einführung eines stationären Batteriespeichers auf Basis der umweltschonenden Na/NiCl₂-Technologie wurde durch die dynamische Simulation von Strombedarf und erneuerbarer Stromproduktion theoretisch realisiert.

Fazit

Die ausgewählten Technologiepfade bieten Lösungsansätze für eine resilientere, netzdienliche und zunehmend stärker defossilisierte Wirtschaft durch den Einsatz neuer Technologien, die Anpassung an landwirtschaftliche Produktionsabläufe und die Reflexion infrastruktureller Gegebenheiten.

Ammoniak zur effizienten CO₂-freien Stromerzeugung

Dr. Laura Nousch, Dipl.-Ing. (FH) Daniela Herold,
Dipl.-Ing. Mathias Hartmann

Am Fraunhofer IKTS werden Systeme zur effizienten Strom- und Wärmeversorgung auf Basis von Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) entwickelt. Heute sind diese Geräte für Erdgas ausge- reift und auf dem Markt erhältlich.

Um CO₂-Emissionen bei der Wandlung zu Strom und Wärme weiter abzusenken, kommen kohlenstofffreie Brennstoffe wie Ammoniak in Betracht. Für die energetische Nutzung von alternativen Brennstoffen müssen SOFC-Systeme auf diese neuen Brennstoffe angepasst werden und es ergeben sich im Vergleich zu den konventionellen Systemen andere Randbedingungen. Besonderes Augenmerk muss dabei auf die Brenngasaufbereitung (Cracken), die Systemintegration und das thermische Management in den Systemen gelegt werden.

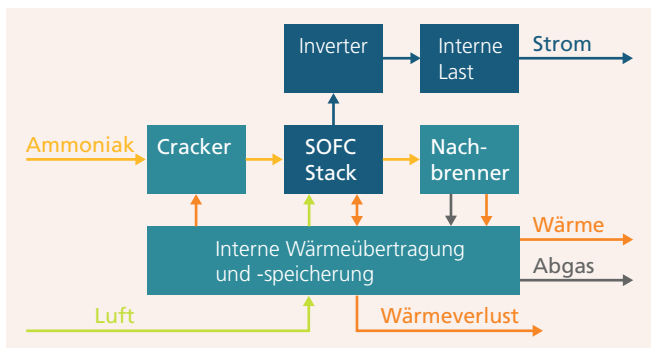


Bild 1: Prinzipschema eines Ammoniak-SOFC-Systems.

Demonstrationsanlage mit der IKTS-Stacktechnologie

Die erste systemnahe Ammoniak-SOFC-Demonstrationsanlage in der Leistungsklasse von 1 kW_{el} wurde am Fraunhofer IKTS aufgebaut und wird seit August 2023 erfolgreich betrieben. In den Testreihen wird vor allem das Verhalten des Crackers, das Wärmemanagement und das Zusammenspiel mit dem SOFC-Stack untersucht. Gasanalysen geben Aufschluss über den Umsatzgrad des Ammoniaks bei unterschiedlichen Cracker-Bedingungen und dessen Einfluss auf den Gesamtprozess.

Am Demonstrator konnte die grundlegende Eignung von SOFC-Systemen für die Nutzung von Ammoniak als Brennstoff nachgewiesen werden. Die Performance des SOFC-Systems im Ammoniak-Betrieb ist vergleichbar der im Wasserstoffbetrieb.



Bild 2: NH₃-SOFC-Demonstrationsanlage.

Der am Fraunhofer IKTS entwickelte SOFC-Stack bietet durch die hohen Betriebstemperaturen und die robuste Bauweise viele Freiheitsgrade für einen effizienten Betrieb mit Ammoniak. Durch teilweise Stack-internes Cracken können zukünftig noch effizientere Systeme realisiert werden.

Systemoptimierung

Mit der Demonstrationsanlage und den begleitenden Analysen ist der Baustein für die Entwicklung eines integrierten, optimierten SOFC-Systems auf Basis von Ammoniak gelegt. Im nächsten Schritt arbeitet das Team an einer stärkeren thermischen Integration der Bauteile und am Ausgleich von Wärmequellen und -senken im System, um den elektrischen Wirkungsgrad auf Systemebene weiter zu erhöhen. Kundenspezifische Ammoniak-Systementwicklungen in einem weiten Leistungsbe- reich für unterschiedliche Anwendungen sind damit möglich.



Bild 3: Demonstrationsanlage mit SOFC-Stack und Nachbrenner (TOX).

Dynamik der alkalischen Wasserelektrolyse

Dr. Karl Skadell, M.Sc. Jakob Scholl,
Dr. Mihails Kusnezoff

Durch den Ausbau schwankender erneuerbarer Energien und einer wachsenden Anzahl an »Prosumern« (Erzeuger und Verbraucher gleichzeitig) kommt die klassische, stationäre Betriebsweise des Energienetzes an ihre Grenzen. Es bedarf zunehmend dynamisch regelbarer elektrochemischer Verfahren zur Energiespeicherung. Auch die Wasserelektrolyse, als zukunftssträchtige grüne Energiespeicherlösung, muss ausreichend dynamisch sein – eine Herausforderung für die Industrie. Dabei gilt es, verschiedene Prozesse mit ganz unterschiedlichen zeitlichen Dimensionen (mal kontinuierlich, mal diskontinuierlich) zu betrachten:

- Elektrochemische Transienten im Millisekunden-Bereich
- Lastwechsel des Elektrolyseurs im Sekunden-Bereich
- Kalt- und Warmstarts im Minuten- bis Stunden-Bereich
- Degradationsverhalten im Tages- bis Jahres-Bereich

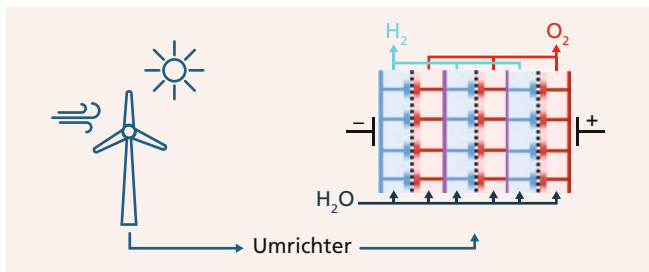


Bild 1: Dynamik erneuerbarer Energien setzt Rahmen für den Elektrolysebetrieb.

In Wissenschaft und Industrie herrscht die Annahme, dass für die volatile Energieerzeugung nur die PEM (Proton Exchange Membrane)-Wasserelektrolyse aufgrund höherer Dynamik in Frage kommt. Meist findet die alkalische Elektrolyse bei der Konzeption von Elektrolyseur-Anlagen keine Berücksichtigung, obwohl andere Indikatoren (z. B. Gasreinheit, Lastwechselzeit) dafür sprechen würden. Untersuchungen des Fraunhofer IKTS am Wasserstoffanwendungszentrum WaTH in Arnstadt belegen jedoch, dass die alkalische Wasserelektrolyse durchaus den Transienten der volatilen erneuerbaren Energien folgen kann. Mit diesem Wissen arbeiten die Forschenden nun daran, einen optimierten Stack für eine dynamische Betriebsweise zu entwickeln.

Für die wissenschaftliche Analyse wurde eine elektrochemische Testzelle mit 100 cm² Aktivfläche sowie ein automatisierter Teststand für die alkalische Wasserelektrolyse entwickelt. Das Versuchsprotokoll in Bild 2 beschreibt die Widerstands- und Spannungsdegradation der Zelle.

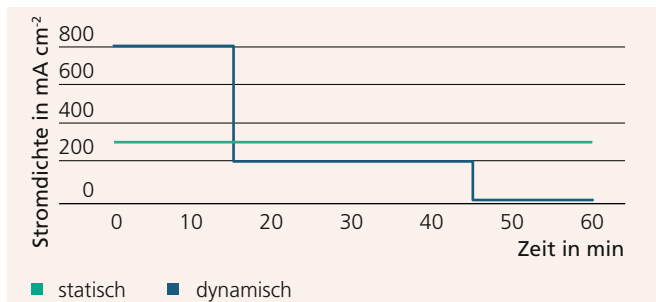


Bild 2: Ein dynamisches und ein statisches Versuchsprotokoll mit gleichem Ladungsübertrag.

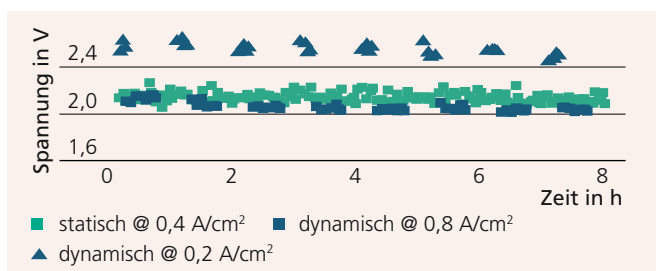


Bild 3: Spannungsantwort auf Stromdichten für dynamische und statische Experimente.

Das katalysatorfreie System zeigt starke Effizienzverluste über 0,4 A/cm². Innerhalb der acht Zyklen wurde aber keine Degradation sichtbar. Die Impedanzspektroskopie zeigt jedoch, dass sich der Widerstand für die Elektronentransferreaktion verringert. Die damit einhergehende Aufrauung der Oberfläche spricht für eine größere Anzahl an reaktiven Zentren. Diese entstehen bei einer dynamischen Prozessführung, obwohl die gleiche Anzahl an Ladungsträgern wie bei der statischen Referenz übergeht. Das deutet auf harsche Bedingungen an der Elektrodenoberfläche hin, die zur Delamination oder anderen Degradationsphänomenen führen können.

In Zukunft wird der Einfluss weiterer Betriebsbedingungen, wie Temperatur, Elektrolyt-Volumenstrom oder auch Bipolarplatten-Geometrie auf die Dynamik in der alkalischen Elektrolyse untersucht. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Reinheit der hergestellten Gase im dynamischen Prozess. Ziel ist es, ein 100-kW-Stack-Design zu entwickeln, das für eine dynamische Betriebsweise optimiert ist.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Festelektrolyt-Substrate für Natrium-Batterien

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

Auf Natrium (Na) basierende Batteriekonzepte gelten mit ihrer guten und umweltfreundlichen Rohstoffverfügbarkeit als kostengünstige Alternativen zu Lithium-Batterien. Eine vielversprechende Technologie ist die Natrium-Festkörperbatterie. Im Gegensatz zu herkömmlichen Akkumulatoren werden die Elektroden hier durch einen festen keramischen Ionenleiter und nicht durch einen flüssigelektrolytgetränkten Separator getrennt. Aufgrund dichter Gefügestrukturen und einer Redoxstabilität ist eine sichere Verwendung von metallischem Natrium als Anode möglich. Dies ermöglicht höhere theoretische Energiedichten als in kommerziellen Li- oder Na-Ionenakkumulatoren. Aus der stationären Energiespeicherung bei 300 °C in Natrium-Schwefel- und ZEBRA-Batterien sind die oxidischen Keramiken Beta-Aluminat und NASICON als prominente Kandidaten für geeignete Na-Festelektrolyte bekannt. Am Fraunhofer IKTS wurden neuartige glaskeramische Festelektrolyte, sogenannte Natriumselektedsilikate (NaRSiO) entwickelt, die über die Pulverroute prozessiert werden können. Sie weisen mit 1050 bis 1120 °C eine geringere Sintertemperatur als Beta-Aluminat (> 1600 °C) und NASICON (> 1230 °C) auf. Im Fokus der Forschung steht die Realisierung dünner gesinteter NaRSiO-Substrate für den Einsatz in Natrium-Batterien.

Am Fraunhofer IKTS sind Glasschmelzen sowie diverse Mühlen für die Herstellung des Pulvers im Kilogrammabmaß verfügbar. Es wurden NaRSiO-Materialien mit der leitfähigen Phase $Na_5RSi_4O_{12}$ (R = Yb, Y, Gd, Sm) synthetisiert, wobei sich die verschiedenen Seltenerdelemente unterschiedlich auf die Ionenleitfähigkeiten auswirken (Tabelle).

Ionenleitfähigkeiten von NaRSiO-Substraten bei 30 °C				
σ , mS cm ⁻¹	NaYbSiO	NaYSiO	NaGdSiO	NaSmSiO
Pellet (1500 µm)	0,3	0,2	2,1	1,5
Folie (350 µm)	0,2	1,5	1,7	2,1

Die NaRSiO-Proben weisen vergleichbar hohe Leitfähigkeiten auf wie die bereits etablierten Beta-Aluminat und NASICON. Die Zyklierung einer Vollzelle mit einer gesinterten NaGdSiO-Folie als Separator zeigt einen hohen Kapazitätserhalt über 100 Zyklen.

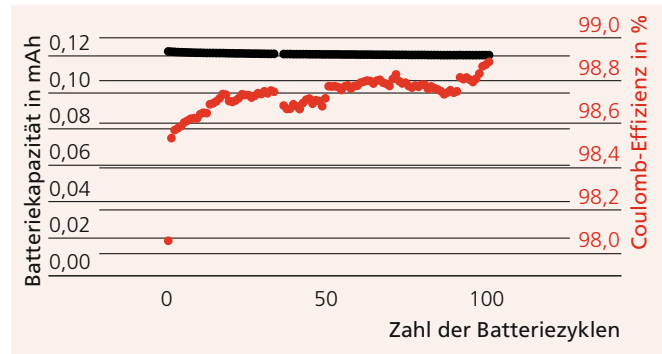


Bild 1: Zyklierung einer Vollzelle mit NaGdSiO-Festelektrolyt bei 30 °C.

Zur Herstellung dünner Substrate wurde die Foliengießtechnik genutzt, mit der eine Folie von ca. 200 µm Dicke und mehreren Metern Länge realisiert werden konnte. Die Folie wurde in kleinere Formate getrennt, um aus Gründen der mechanischen Stabilität jeweils zwei Folien miteinander zu verpressen. Für die Messungen wurden kreisrunde Folien mit einem Durchmesser von 20 mm ausgestanzt und gesintert. Trotz der Schwierigkeiten beim Sintern dünner keramischer Substrate, die sich in Verwölbung oder Rissen zeigen, können ebene und dichte Substrate mit guter Oberflächenqualität und Ionenleitung (Tabelle) hergestellt werden.

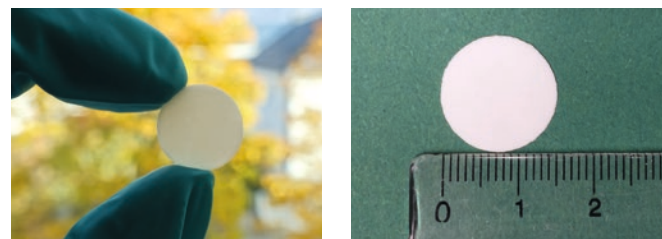


Bild 2: Querschnittsfläche von NaSmSiO-Substrat im Rasterelektronenmikroskop (oben), Aufnahmen des Festelektrolyts (unten).

Das Fraunhofer IKTS entwickelt neuartige Na-Batteriekonzepte und unterstützt Unternehmen bei der Materialsynthese sowie der Herstellung dünner ionenleitender Substrate durch Foliengießtechnologie bzw. Schichten über Dickschichttechnik.



Kompositelektrode und Schichtoxide: Potenziale heben für Natrium-Batterien

Dr. Cornelius Dirksen, Dr. Matthias Schulz,
M.Sc. Micha Philip Fertig, Prof. Michael Stelter

Die Entwicklungsarbeit an Natrium-Ionen-Batterien hat in den letzten Jahren erheblich an Fahrt aufgenommen und etabliert sich in der Forschungslandschaft zunehmend neben klassischen Lithium-Ionen-Zellkonzepten. Na-basierte-Batterien versprechen im Vergleich zu Li-basierten Systemen einige Vorteile, wie z. B. besser verfügbare und kostengünstigere Rohstoffe. Zudem sind viele Fertigungsmethoden der Li-Ionen-Technologie auf die Na-Ionen-Zellen übertragbar.

Kompositelektrolyte basierend auf Na-β"-Aluminat

Oxidische Festkörperelektrolyte aus Na-β"-Aluminat sind aufgrund ihrer ausgezeichneten Na-Ionen-Leitfähigkeit in Hochtemperatur-Natrium-Batterien, vornehmlich Na/NiCl₂ und NAS[®], bereits seit Jahrzehnten Stand der Technik. Bedingt durch sein Bruchverhalten ist das Material jedoch nicht mit der Li-Ionen-Zellproduktion vereinbar. In Kooperation mit dem Fraunhofer IAP entwickelt das Fraunhofer IKTS einen Kompositelektrolyten, der die hohe ionische Leitfähigkeit und chemische Beständigkeit des Na-β"-Aluminats mit den Vorteilen von Polymerelektrolyten, wie Flexibilität und Prozessierbarkeit vereint. Die Vorteile aus zwei Welten werden so kombiniert, um Na-β"-Aluminat für All Solid State-Zellen nutzbar zu machen. Die ionische Leitfähigkeit des entwickelten Prototypen (Bild 1) liegt bereits vielversprechend im Bereich von 10⁻⁴ S cm⁻¹.



Bild 1: Polymer-Na-β"-Aluminat Kompositelektrolyt.
(Quelle: Fraunhofer IAP).

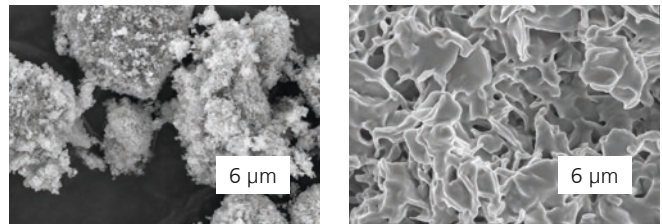


Bild 2: REM-Aufnahme von Na-β"-Aluminat-Partikeln (links) und einem PEO-Na-β"-Aluminat Kompositelektrolyts (rechts).

Schichtoxide als nachhaltiges Aktivmaterial

Neben dem Elektrolyten werden auch neuartige Kathodenformulierungen zur Verwendung mit Festkörperelektrolyten entwickelt. Als Aktivmaterial dient das Schichtoxid Na_xMn_yO₂. Schichtoxide bieten im Vergleich zu anderen Stoffklassen Vorteile, wie den Verzicht auf kritische Rohstoffe, hohe Arbeitspotenziale oder die Prozessierbarkeit an Luft. Die Zyklenstabilität der Schichtoxide konnte auf rund 100 Zyklen erhöht werden durch Dotierungen und ein innovatives Syntheseverfahren im Pulsationsreaktor, entwickelt in Zusammenarbeit mit der Firma IBU-tec. Gleichzeitig wurde bewusst auf die oft übliche Beimischung von Nickel- oder Cobaltoxiden verzichtet.

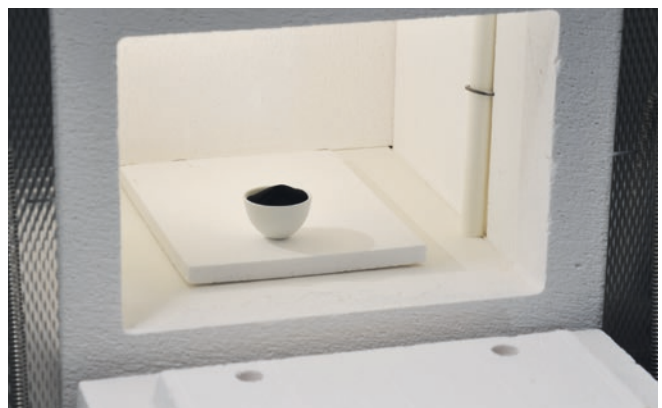


Bild 3: Aktivmaterial nach der Kalzination in einem Ofen.

Durch die vorgestellten Arbeiten an Elektrolyten und Aktiv- bzw. Kathodenmaterial wurden in den letzten Jahren am Fraunhofer IKTS die Grundlagen dafür gelegt, produktnahe All Solid State-Na-Ionen-Batterien zu entwickeln. In den nächsten zwei Jahren sollen diese nun realisiert werden.

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Unterstützung im Rahmen der Förderinitiative Batterie 2020 (FKZ: 03XP0522A und 03XP0404D).

Sicherung kritischer Rohstoffe für die E-Mobilität. Das METALLICO-Projekt

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

Sicherung der Rohstoffbasis für die Bereitstellung der Lösungen von morgen

Für die Defossilisierung des Verkehrssektors muss die Verfügbarkeit der dafür benötigten Rohstoffe sichergestellt werden. Fast alle dieser Rohstoffe sind als kritisch eingestuft. Die Batterieindustrie verzeichnet seit Jahren einen wachsenden Rohstoffbedarf und ist anfällig für Versorgungsrisiken, auch wenn tragfähige Wertschöpfungsketten aufgebaut werden und Abfallverwertung sowie Recycling eine zentrale Rolle spielen.

Die Elektromobilität hat der Batterietechnik, einem strategischen Schlüsselsektor der Europäischen Union (EU), in den letzten Jahren weiteren Auftrieb gegeben. Die überwiegende Mehrheit der Elektrofahrzeuge arbeitet mit Lithium-Ionen-Batterien, die Metalle wie Nickel, Kobalt, Kupfer, Mangan und natürlich Lithium enthalten. Weltweit kommen diese Batteriemetalle hauptsächlich aus Australien, Chile, China, der Demokratischen Republik Kongo und Südafrika. Vor diesem Hintergrund entwickelt das mit knapp 12 Mio. € ausgestattete METALLICO-Projekt (ID-Finanzhilfvereinbarung: 101091682) für die EU eine Strategie, wie die Versorgungssicherheit mit heimischen Rohstoffen sichergestellt werden kann. Das Konsortium von 20 Partnern aus neun europäischen Ländern besteht zur Hälfte aus Unternehmen, was für die technische Umsetzung der Verfahren maßgeblich ist. Das Projekt bringt Vertreter der gesamten Wertschöpfungskette (einschließlich Bergbau und Produktion) zusammen, um mit Rohstoffen aus primären und sekundären Quellen neue Verfahren zur Herstellung von Batteriematerialien zu testen. Die Entwicklung moderner, kosteneffizienter Verfahren mit heimischen Rohstoffen sichert nicht nur die Versorgung Europas. Als Novum verfolgt METALLICO einen Zero-Waste-Ansatz. Mit fünf neuen Verfahren sollen Produktionsabfälle bei der Herstellung von Batteriematerialien verringert und unvermeidbare Reststoffe vollständig verwertet werden. Die Prozesse werden im Hinblick auf ihre Nachhaltigkeit bewertet. Ziel des Projekts ist es, in vier verschiedenen Case Studies zu untersuchen, wie die kritischen Metalle Lithium, Kobalt, Kupfer, Mangan und Nickel nachhaltig produziert und zurückgewonnen werden können. Hierzu werden die fünf METALLICO-Prozesse an verschiedenen Industriestandorten vom Labormaßstab bis

in den Industriemaßstab hochskaliert. Die in den Case Studies zu neuen Produkten verwerteten Reststoffe werden in der Batterie-, Zement-, Lack- und Keramikindustrie bewertet und validiert. Dies ist ein wichtiger Schritt zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft, denn die Produkte müssen den Anforderungen der Märkte entsprechen und in die Wertschöpfungsketten zurückgeführt werden können.

Das Fraunhofer IKTS konzentriert sich im Projekt auf die Pilotanlagenvalidierung des Verfahrens zur Lithiumgewinnung und Geopolymerherstellung. Die Kooperation mit dem Institut für Technische Chemie der TU Bergakademie Freiberg ermöglicht die selektive Gewinnung von Lithium mit dem patentierten COOL-Verfahren. Ausgangsmaterial sind Lithiumerze, wie Spodumen. Auf eine Wärmebehandlung folgt dabei die Laugung mit überkritischem CO₂. Nach der darauf folgenden Elektrolyse und Kristallisation kann Lithiumcarbonat in Batteriequalität selektiv gewonnen werden. Mit dem lithiumfreien Rückstand, der in der Filtrationsstufe anfällt, werden Geopolymere hergestellt, also CO₂-freie Bindemittel, die Zement ersetzen können. Die Zementherstellung ist weltweit für 8 % der CO₂-Emissionen verantwortlich. Im Projekt wird die Verwendung dieser silikatischen Reststoffe als Baumaterial bewertet. Dies ist der Schlüsselschritt zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft nach dem Null-Abfall-Prinzip. Das Verfahren wird in Spanien unter Beteiligung der *G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH*, *IDENER* und *CETAQUA water technology center* auf TRL 7 hochskaliert und getestet.



Bild 1: Autoklavenanlage am Fraunhofer-Technologiezentrum Hochleistungsmaterialien THM in Freiberg.

Multimodale Analytik und automatisierte Bewertung der Kathodenqualität

M.Sc. Rajkumar Kolan, M.Sc. Dennis Possart, M.Sc. Andre Borchers, Dr. Gihoon Cha, Dr. Berik Uzakbauly, Dr. Sabrina Pechmann, Prof. Silke Christiansen

Für eine beschleunigte Batterieentwicklung verfolgt das Fraunhofer IKTS einen automatisierten Ansatz zur Bewertung der Kathodenqualität mit maschinellem Lernen (ML). Mit diesem soll eine enge Rückkopplung zwischen Komponentenentwicklung, Zelldesign, Charakterisierung und Datenanalyse gewährleistet werden. Das ML-Modell wird so trainiert, dass es die verschiedenen Kathodenkomponenten identifiziert und klassifiziert: NCM (Nickel-Kobalt-Mangan, Aktivmaterial), leitfähige Additive, Poren und Binder. Dies hilft, die einzelnen Komponenten schneller und systematischer zu optimieren und damit die Gesamtleistung der Batterien zu verbessern. Für einen robusten ML-Trainingsdatensatz werden 60 Bilder mit unterschiedlichen Auflösungen aus einer FIB-REM-Tomographie extrahiert. Dies wird durch sequenzielles Schneiden mit dem fokussierten Ionenstrahl und Bildgebung mittels Rasterelektronenmikroskop realisiert. Auf Basis der Bilder werden dann die volumetrischen Daten rekonstruiert. Eingesetzt wird hierbei ein U-Netz basiertes Segmentierungsmodell, um die definierten Klassen innerhalb des Kathoden-REM-Bildes zu unterscheiden. Um eine genaue Identifizierung der Komponenten zu gewährleisten, benötigt ein Segmentierungsnetz Trainingsdaten. Die manuelle Annotation hochauflösender Bilder ist jedoch sehr arbeitsintensiv. Mit Hilfe inkrementellen Lernens soll dieses Problem gelöst werden. Hierfür wird zunächst ein Grundmodell auf einem ersten Datensatz trainiert und verwendet, um Vorhersagen für Rohbilder zu treffen. Die Vorhersagen werden dann manuell überprüft und korrigiert, um die Grundannotationen zu erstellen. Dieser Prozess wird wiederholt und erweitert den Datensatz schrittweise. In diesem Fall werden insgesamt 60 REM-Bilder mit unterschiedlicher Auflösung annotiert und in Teilmengen aufgeteilt: 45 zum Trainieren, 15 zur Validierung und 5 zum Testen. Dabei werden die Trainingsbilder in Patches (256 x 256 Pixel) aufgeteilt, gemischt und in einer Stapelgröße von 16 verwendet. Das Training wird für 50 Epochen fortgesetzt und für jedes Modell der Dice-Wert als statistisches Maß für die Ähnlichkeit zwischen den Ergebnissen des Algorithmus und den Referenzdaten berechnet. Das Modell mit dem höchsten Dice-Wert während der Validierung wird für die Tests ausgewählt. Bild 1 zeigt eine Modellbewertung anhand von Testbildern und ungesehenen Daten zur Beurteilung des Modells.

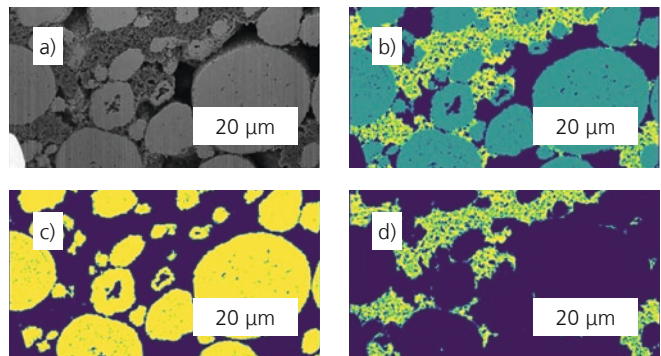


Bild 1: Modellvorhersagen mit ungesehenen Daten, a) Ungesehene Daten, b) Modell-Vorhersage, c) Aktivmaterial, d) Binder.

Die Performance des automatisierten Kathodenbewertungsmodells auf dem Testdatensatz hat vielversprechende und überzeugende Ergebnisse erzielt, wie die Tabelle zeigt.

Klassenspezifische Dice Scores and mittlerer Dice Score

Test Bild	Dice Poren	Dice Partikel	Dice Binder	Mittlerer Dice
NMC_1	0,84	0,98	0,82	0,88
NMC_2	0,96	0,97	0,85	0,93
NMC_3	0,96	0,97	0,88	0,94
NMC_4	0,91	0,92	0,82	0,88
NMC_5	0,94	0,95	0,50	0,80

Nach den Vorhersagen für Testdaten werden klassenspezifische Masken analysiert, um Instanzen zu zählen und Größen zu messen. So lassen sich statistische Daten wie Größenverteilungen und Klassenverhältnisse ermitteln. Dabei lässt sich beispielsweise feststellen, ob NCM-Partikel während der Herstellung zerbrochen sind (Bild 2). Die Integration von maschinellem Lernen in die Kathodencharakterisierung und -optimierung bietet eine effiziente automatisierte Lösung für die Optimierung von Energiespeichersystemen. Dieser Ansatz hat das Potenzial, die Batterieindustrie zu revolutionieren, indem er Forschenden und Industriefachleuten ein wertvolles Werkzeug für eine schnellere und kostengünstigere Entwicklung von Energiespeicherlösungen an die Hand gibt.

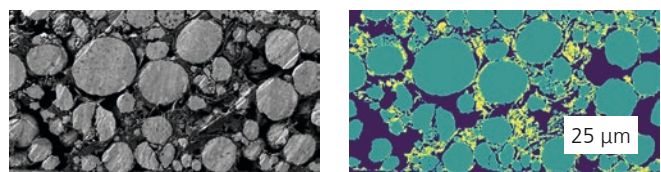


Bild 2: Modellvorhersage für den Testdatensatz mit der NCM-Partikelgrößenverteilung nach Analyse der verbundenen Komponenten: links Rohbild des Tests, rechts Multiklassen-Vorhersagemasken: Grün (NCM-Partikel), Gelb (Bindemittel), Dunkelviolett (Poren).

Entfernung von PFAS mit keramischen Adsorbentien und Ultraschall

Dr. Patrick Bräutigam, M.Sc. Maximilian Dommke,
Dr. Thomas Kutschin

PFAS (Per- und Polyfluoralkylsubstanzen) sind eine Klasse von synthetischen Verbindungen, die in zahlreichen Branchen und Anwendungen eingesetzt werden. Sie sind wasser- und öl-abweisend sowie chemisch wie thermisch hoch stabil. Diese Beständigkeit gegenüber thermischen, chemischen und biologischen Reaktionen und ihre hohe Mobilität in der Umwelt führen jedoch dazu, dass sich verschiedene PFAS in Menschen, Tieren und der Umwelt anreichern, weshalb sie auch als Ewigkeitschemikalien bekannt sind.

Die Verbindungen Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) und Perfluorooctansäure (PFOA) zählen zu den ersten PFAS, die in großem Umfang verwendet und anschließend durch den Gesetzgeber reguliert wurden. Vor dem Hintergrund neuer Vorschriften und Grenzwerte für PFOA und PFOS wurden neue PFAS eingeführt. Ein solcher Ersatz ist GenX (Hexafluorpropylenoxid-Dimersäure, HFPO-DA), das heute anstelle von PFOA zur Herstellung von Fluoropolymeren wie Teflon verwendet und häufig in Gewässern in der Nähe von vermuteten PFAS-Ursprungsquellen gefunden wird.

In einer gemeinsamen Studie mit der Technischen Universität München hat das Fraunhofer IKTS erstmals den Abbau der Chemikalie GenX mit hochfrequentem Ultraschall untersucht und mit dem Abbau von PFOA und PFOS verglichen. Erste Ergebnisse zeigen: Wenn der Prozess weiter optimiert wird, könnte die Ultraschalltechnologie als robuste, einfach anzuwendende und additivfreie Methode zur Behandlung hochgradig kontaminierter PFAS-Ströme eingesetzt werden.

Ein weiterer Forschungsfokus am IKTS ist die Anreicherung dieser Verbindungen. IKTS-Forschende entwickeln hierfür Adsorbentien auf Basis poröser keramischer Materialien, die für die jeweiligen Schadstoffe (Einzelstoffe und Stoffgruppen) maßgeschneidert werden können. Zukünftig sollen die Adsorbentien Schadstoffe auch wieder desorbieren können und schaltbar sein, so dass man zwischen Ad- und Desorption über externe Initiatoren wechseln kann. So müssten die Adsorbentien nicht aus dem Prozess entfernt, sondern könnten langfristig alternierend betrieben werden.

Die Entfernung von PFAS durch Ultraschall und schaltbare, keramische Adsorbentien ist ein vielversprechender Ansatz für den Umgang mit diesen persistenten, anthropogenen und häufig gesundheitsschädlichen Chemikalien. Am Fraunhofer IKTS sollen die Verfahren in Zusammenarbeit mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena und industriellen Stakeholdern weiterentwickelt werden.



Bild 1: Keramische Adsorbentien zur Entfernung von Mikroschadstoffen (Quelle: Jens Meyer, Friedrich-Schiller-Universität Jena).

Literatur

Nebojša Ilić et al. (2023): Ultrasonic degradation of GenX (HFPO-DA) – Performance comparison to PFOA and PFOS at high frequencies, 10.1016/j.cej.2023.144630.

Effiziente Fertigung modularer Stacks aus Siliciumcarbidmembranen

Dipl.-Ing. Michael Stahn, Dipl.-Umweltwiss. Christian Pflieger, Dipl.-Ing. Heike Heymer

Getauchte Membranmodule ermöglichen eine besonders energieeffiziente Betriebsweise, da keine Pumpen zur Überströmung der Membranoberfläche benötigt werden. Diese Membrantechnologie nutzt Unterdruck auf der Permeatseite, um die Durchströmung zu gewährleisten und ist insbesondere für die Wasseraufbereitung interessant. Die Triebkraft ist jedoch limitiert, somit müssen Membranen mit hohen spezifischen Permeatflüssen eingesetzt werden. Hierfür eignen sich keramische Membranen aus Siliciumcarbid (SiC), da sie Permeatflüsse von bis zu 10 000 l/(m² x h x bar) aufweisen können. Das Ziel im Verbundprojekt »SiCaM« (FKZ: 2019 FE 9064) war das effektive Fertigen flächiger SiC-Membranen sowie deren Kontaktierung und Einbindung in Membranstacks mit hoher Packungsdichte. Zwei Trägergeometrien wurden betrachtet: Mehrkanalplatten sowie gewellte Membranelemente – beide wurden mit einer Membranschicht auf der Außenseite versehen.

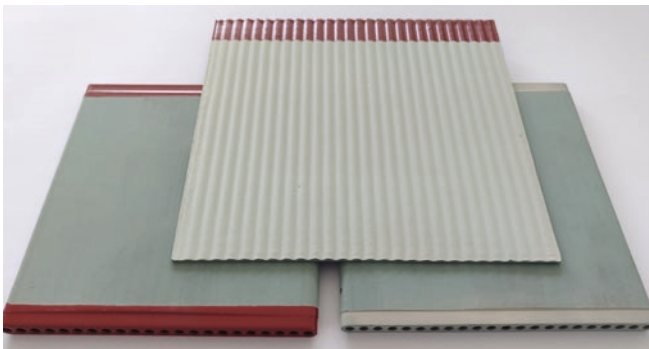


Bild 1: Mehrkanalplatten und gewelltes Membranelement.

Ein Vergleich beider Trägergeometrien zeigt Vor- und Nachteile auf: Während die extrudierten Mehrkanalplatten eine bessere Skalierbarkeit und höhere Bauteilfestigkeit aufweisen, sind die aus gegossenen Folien laminierten, gewellten Membranelemente mit geringerem Materialeinsatz herstellbar und versprechen eine höhere Packungsdichte. Die Projektpartner fokussierten sich auf die stabileren Mehrkanalplatten sowie auf die Möglichkeit, einzelne Platten flexibel auszuwechseln. Dies stellt hinsichtlich Form- und Maßhaltigkeit entsprechende Anforderungen an die Kontaktbereiche.

Das maschinelle Nachbearbeiten erwies sich als die beste Lösung unter dem Aspekt einer wiederverwendbaren Kontaktierung mit Anschlussstücken an den Stirnseiten.

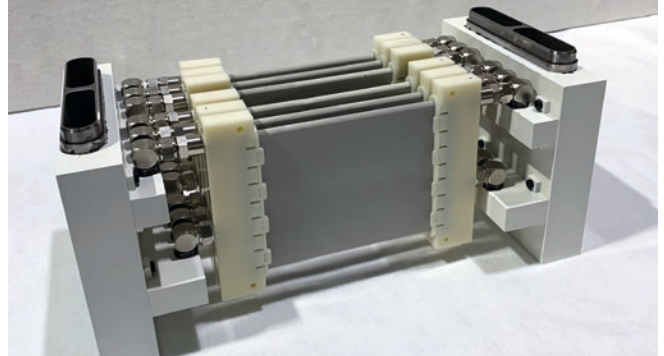


Bild 2: Demonstrator mit eingesetzten Mehrkanalplatten.

Im Rahmen des Projekts konnte die Beschichtungstechnologie auf Mehrkanalplatten bis zu 50 cm Länge übertragen werden. Simulationen zum Stofftransport halfen die Konstruktion anzupassen und permeatseitige Druckverluste zu minimieren.



Bild 3: Mehrkanalplatte nach Filtrationsversuch mit Hefesuspension.

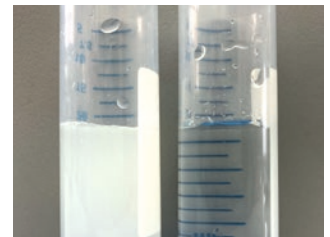


Bild 4: Ausgangslösung und Permeat.

Die Membranen wurden mit unterschiedlichen Wässern erprobt. Filtrationsversuche mit einem typischen Modellabwasser (Hefesuspension, 10,5 g/l, Bild 3/4) zeigten eine einfach zu entfernende Deckschicht und einen vollständigen Rückhalt der Hefezellen. Die Filtration definierter Dextranlösungen und die Analyse des Rückhalts durch Gelpermeationschromatografie (0,3 g/l, MW ca. 500 000 Da, gelöst in UO (entsalztem)-Wasser) ergaben Trennleistungen vergleichbar zu industriell verfügbaren röhrenförmigen Membranen im Cross-Flow-Betrieb.

Getauchte Membranmodule mit Mehrkanalplatten auf SiC-Basis sind daher eine vielversprechende Alternative für Trennprozesse mit hoher Energieeffizienz.

Potenziale energie- und nährstoffreicher Prozesswässer für die Kreislaufwirtschaft

Dipl.-Ing. Björn Schwarz, Dipl.-Ing. Marc Lincke

In vielen Industriebetrieben fallen Prozesswässer in erheblichen Mengen und großer Variation an Inhaltsstoffen an. Insbesondere in der Nahrungsmittelverarbeitung und vermehrt in den neuen Industriezweigen der Bioökonomie sind diese Prozesswasserströme mit organischen Komponenten belastet, die der Umwelt schaden können. Gleichzeitig stellen diese aber auch ein ungenutztes Potenzial für die Energiegewinnung und die Wiederverwendung des Wassers dar. Im Rahmen mehrerer Forschungs- und Industrieprojekte hat das Fraunhofer IKTS spezifische Verfahrenskombinationen zur Energiegewinnung und Aufbereitung diverser Wässer entwickelt und erprobt.

Eine wichtige Verfahrensstufe stellt dabei die anaerobe Abwasserbehandlung mit Biogaszeugung dar. Vorteilhaft ist dabei ein Biomasserückhalt z. B. im Expanded Granular Sludge Bed Reaktor (EGSB). Hohe Konzentrationen an Salzen und Nährstoffen erschweren generell den Stoffumsatz, da sie die beteiligten Mikroorganismen hemmen. Gleichzeitig sind einige dieser Nährstoffe Wertstoffe, die im Sinne der Kreislaufwirtschaft zurückgewonnen werden sollten.



Bild 1: EGSB-Versuchsanlage des Fraunhofer IKTS.

Die IKTS-Arbeitsgruppe »Biomassekonversion und Nährstoffrecycling« führt im Labor und kleintechnischen Maßstab Versuche zur Prozessoptimierung der Biogaszeugung in einer

eigens entwickelten EGSB-Versuchsanlage durch. Die Anlage ist ausgestattet mit fortschrittlicher Prozessüberwachung und -steuerung, spezieller Reaktorgestaltung sowie einer automatischen Dosierung von Hilfsstoffen und ermöglicht so eine systematische Prozessentwicklung. Bisher erreichte Parameter sind: Leitfähigkeit bis 27 mS/cm, Schlammbelastung bis 0,4 kg CSB/(kg oTR*d), 4 Tage hydraulische Verweilzeit.

Neben der biologischen Stufe werden auch die vor- und nachgelagerten Behandlungsstufen betrachtet und optimiert. Hier kommen zum Beispiel physikalisch-chemische Prozesse wie keramikbasierte Membranfiltration, chemische (Fällung, Extraktion), thermische (Strippung, Verdampfung) sowie oxidative Verfahren (Photokatalyse, Elektrolyse) zur Reduktion von Nähr- bzw. Störstoffen zum Einsatz. Mit Hilfe praxisrelevanter Fällungs- und Flockungsverfahren sowie Entwässerungsaggregaten können einzelne oder mehrere Komponenten aus der Flüssigphase abgetrennt werden.

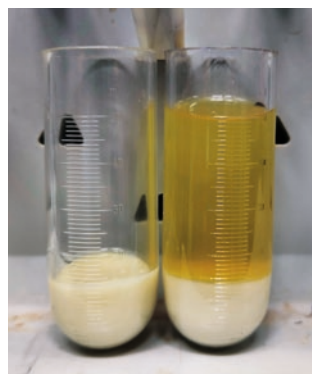


Bild 2: Abtrennung von Calciumphosphat aus Prozesswasser, Zentrifugation.



Bild 3: Abtrennung von Calciumphosphat aus Prozesswasser, Kammerfilterpresse mit Feststoffplatte.

Sowohl die Inputströme als auch die Abläufe des Prozesses werden analytisch bewertet. Neben der herkömmlichen Analytik zur Beurteilung der Prozessstabilität wird auch die Konzentration an gelösten Stör- und Nährstoffen ermittelt. Dies ist die Basis für eine optimale Strategie zur Nährstoffrückgewinnung oder Salz Entfernung. Prozesswässer können so gezielt abgereichert werden, um in der Vergärungsstufe oder nachgelagerten Prozessen weniger Probleme zu bereiten (z. B. Hemmung der Biologie oder wilde Ausfällung). Zum anderen können Wertstoffe (z. B. Phosphor oder Stickstoff) zurückgewonnen werden, die beispielsweise als Pflanzendünger wieder in den Wirtschaftskreislauf gegeben werden können. Die Wirkung solcher Produkte auf Pflanzen wird ebenfalls am Fraunhofer IKTS untersucht.

Entfernung von Arsen und Fluorid aus Bergbauwasser im Untertage-Technikum

Dipl.-Chem. Hans-Jürgen Friedrich

Sachsen gehört seit Jahrhunderten zu den bedeutendsten Erzbergbauregionen Europas. Globale technologische Trends, aber auch geopolitische Faktoren sorgen dafür, dass das Interesse an einheimischen Rohstoffen wieder steigt. Allerdings hat der Bergbau inzwischen ein massives Akzeptanzproblem. Noch vor den meist gut sichtbaren Eingriffen in die Landschaft sind die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt diejenigen, die den Aufwand für die Nachsorge für lange Zeit bestimmen. Man nennt sie daher auch »Ewigkeitslasten« des Bergbaus. Häufig anzutreffende Schadstoffe in Bergbau- und Stollenwässern sind As, Ni, Cd, Zn, Mn, Fe, aber eben auch F, SO₄ sowie fallweise U, Cl und organische Stoffe.

Im WIR! – recomine Verbundprojekt »TERZINN« will das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Unternehmen am Modellstandort Zinnerzgrube Ehrenfriedersdorf demonstrieren, dass es möglich ist, solche Auswirkungen mittels eines zu entwickelnden »Werkzeugkastens« modernster Grubenwasserbehandlungsverfahren zu vertretbaren Kosten zu beherrschen. Aus der Grube werden jährlich mehr als 1 t Arsen, ca. 50 t Fluorid sowie weitere Schadstoffe emittiert. Ca. 4 % der Arsen-Fracht der Elbe lässt sich diesem Bergwerk zuordnen. Allerdings stellt das Grubenwasser bei einer jährlichen Abflussmenge von ca. 3 Mio. m³/a auch eine regional bedeutende Wasserressource dar, die angesichts regionaler Wasserknappheit zunehmend in den Fokus rückt.

Im Verbund werden sowohl »low cost«-Verfahren für die Arsenentfernung als auch Verfahren zur weitergehenden Reinigung des Wassers entwickelt. Das Fraunhofer IKTS-Team konzentriert sich auf Letzteres und nutzt hierfür vorrangig elektrochemische Membranverfahren. Mit diesen lässt sich nicht nur Arsen entfernen, sondern im Unterschied zu den anderen Verfahren auch Schadstoffe wie Fluorid, Mangan oder Sulfat, die einer höherwertigen Verwendung, z. B. als Trinkwasser, entgegenstehen. Auch die Weiterbehandlung als Speisewasser für die Wasserstoffherstellung mittels Elektrolyse wird betrachtet. Dazu benötigt man größere Mengen an sehr reinem Wasser, in dem Arsen und Fluorid nicht enthalten sein dürfen.

Die bisherigen Untersuchungen zeigten, dass sich die elektrochemischen Verfahren unter klassischen Laborbedingungen sehr gut für die Abtrennung von Arsen und weiteren Schadstoffen eignen (Bild 1).

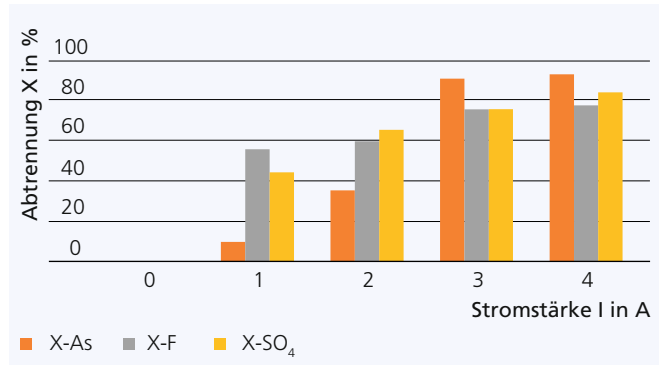


Bild 1: Schadstoffabtrennung aus Grubenwasser.

Allerdings bestehen zwischen Laborerprobung und Praxis erhebliche Unterschiede. So beträgt die Grubenwassertemperatur beispielsweise konstant nur 7 °C, was es erforderlich macht, die Verfahren daran anzupassen. Aus diesem Grund wurde ein Untertage-Technikum im Tiefen Sauberger Stollen in 100 m Tiefe errichtet und im Juli 2023 in Betrieb genommen (Bild 2). Erste Erfahrungen zeigen, dass der Energiebedarf bei gleicher Reinigungsleistung etwa 20 % höher liegt als im Labor und dass die Wartungszyklen etwas kürzer sind.

Mit dem Untertage-Technikum verfügt das Fraunhofer IKTS nun über eine weitere unikale Forschungsinfrastruktur. Ein Folgeprojekt zur Pilotierung ist bereits bewilligt.



Bild 2: Untertage-Technikum.

Recycling von Polycarbonaten durch Pyrolyse

Dr. Philipp Rathsack, Dr. Jörg Kleeberg,
Prof. Martin Gräbner

Im Projekt »PC2Chem« wird am Fraunhofer IKTS gemeinsam mit dem Projektpartner Covestro AG ein Verfahren zum chemischen Recycling von Polycarbonaten (PC) entwickelt. Hierfür wird am Standort Freiberg in der Gruppe »Kohlenstoff-Kreislauf-Technologien« ein Pyrolyseverfahren optimiert, dessen Produkte durch Covestro AG aufgereinigt werden, um diese wieder für Neusynthesen einzusetzen.

Mechanisches Recycling ist nicht immer möglich

Nicht alle Kunststoffe können durch mechanisches Recycling wiederverwertet werden. Zu diesen Kunststoffen zählt Polycarbonat (PC), ein technischer Thermoplast. Dieser wird in zahlreichen Anwendungen mit besonderen mechanischen oder optischen Anforderungen eingesetzt, z. B. als Gehäuse von elektronischen Geräten, in verschiedenen Bauteilen von Kraftfahrzeugen oder als transparente Scheiben. Wird PC aus Abfallströmen mechanisch recycelt, verliert es durch die thermische Belastung bei wiederholter Extrusion die geforderten Eigenschaften. Dadurch sinken Materialqualität und Anwendbarkeit signifikant. Gemäß der Abfallhierarchie werden daher alternative Verfahren gesucht, um die unter Energie- und Ressourcenaufwand synthetisierten Strukturen weitestgehend zu erhalten.

Durch Pyrolyse, die thermische Zersetzung unter Sauerstoffausschluss, werden die chemischen Bindungen in Polymeren gebrochen. Bei Kondensationspolymeren, zu denen Polycarbonat zählt, entstehen die Bindungsbrüche bevorzugt an funktionellen Gruppen und es werden Gemische der ursprünglichen Monomere oder strukturell eng verwandter Moleküle erzeugt. Bei geeigneter Prozessführung entstehen hinreichend einfache Gemische mit hohen Ausbeuten dieser werthaltigen Moleküle. Der Ansatz steht im Gegensatz zur Verölung, bei der Kunststoffe pyrolytisch in Gemische von Kohlenwasserstoffen aufgespalten werden. Für die Neusynthese von Kondensationspolymeren wie PC müssten die funktionellen Gruppen dann aber in mehreren Syntheseschritten wieder neu eingeführt werden. Daher ist der Weg über die Monomere für diese Art von Polymeren effizienter und der Recyclingkreislauf gemäß der Forderung der Abfallhierarchie kleiner. Somit können Energie und wertvolle stoffliche Ressourcen eingespart werden.

Upscaling der Pyrolyse

Im Projekt »PC2Chem« wird die Pyrolyse von PC-Blends mit Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) untersucht, da diese eine große PC-Abfallfraktion darstellen. Der Pyrolyseprozess erlaubt es nun, aus diesem Material die Monomere Phenol und Bisphenol-A aus PC und Styrol aus ABS herzustellen. Diese chemischen Verbindungen stellen werthaltige Ausgangsstoffe für die Polymerproduktion oder andere Produkte der chemischen Industrie dar.



Bild 1: Pyrolyse-Drehrohrofen im Technikumsmaßstab mit eigens konzipierter und gebauter Kondensationsanlage im Vordergrund.

Ziel ist die detaillierte Untersuchung der Pyrolyse verschiedener Polycarbonate im Technikumsmaßstab. Hierfür werden experimentelle Untersuchungen in einer Labor-Pyrolyse-Anlage und in einem kontinuierlich arbeitenden Pyrolyse-Drehrohrofen durchgeführt, um die Prozessparameter für eine maximale Ausbeute an werthaltigen Produkten zu ermitteln. Die Experimente im Pyrolyse-Drehrohrofen werden im Maßstab von einigen Kilogramm pro Stunde durchgeführt. Um die flüssigen Produkte zu gewinnen, wurde im Rahmen des Projekts eine Kondensationsanlage konzipiert und aufgebaut. In mehreren Versuchsfahrten konnten erfolgreich Pyrolyseöle hergestellt werden. Diese nutzt der Projektpartner Covestro AG zur Entwicklung des Downstream-Verfahrens.

KI-basierte Flammen- diagnostik für Partial- oxidationsprozesse

M.Sc. Mohsen Gharib, Prof. Martin Gräbner,
Prof. Andreas Richter

Die optische Flammendiagnostik bietet ein großes Potenzial für die Kontrolle und Optimierung von (Partial-)Oxidationsprozessen, bspw. in der chemischen Industrie, der Metallurgie und der Glasindustrie. Die aus den hohen Bildauflösungen und Bildwiederholungsraten moderner Hochgeschwindigkeitskameras resultierenden großen Datenströme verhindern jedoch bisher eine direkte Auswertung der Daten, sodass diese nur eingeschränkt für die Flammenüberwachung oder Prozessoptimierung eingesetzt werden können. Das Fraunhofer IKTS hat daher mit der Entwicklung KI-basierter Modelle begonnen, um in Echtzeit Flammen zu analysieren. Dies ermöglicht neue Konzepte zur Online-Prozessüberwachung und -optimierung sowie verbesserte Sicherheitskonzepte.

Die experimentellen Referenzdaten resultieren aus Messkampagnen unter Einsatz der an der TU Bergakademie Freiberg betriebenen Multi-Feed-Versuchsanlage. Eine optische Sonde ermöglicht die In-situ-Flammenaufzeichnung. Für die Entwicklung der optischen Werkzeuge wurden die Flammen verschiedener gasförmiger, flüssiger und fester Einsatzstoffe mithilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera vermessen. Die Bildwiederholungsrate lag bei 1000 Hz.

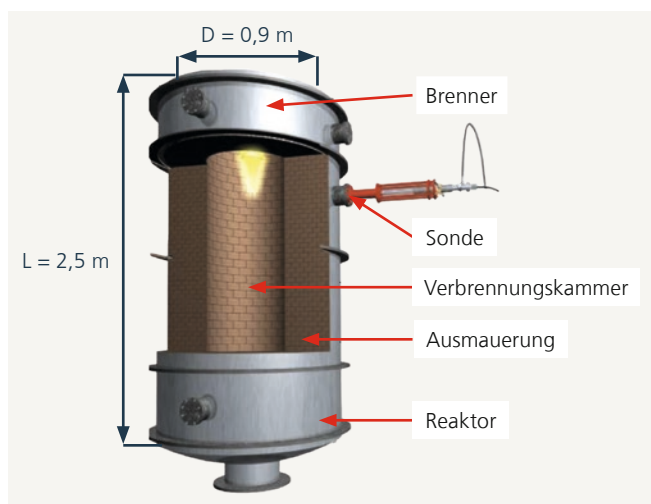


Bild 1: Multi-Feed-Versuchsanlage mit optischem Sondensystem.

Da eine Auswertung dieser Daten in Echtzeit aufgrund der hohen Datenraten mit konventionellen Bildanalysetools nicht möglich ist, wird ein KI-gestütztes Analysewerkzeug entwickelt. Dieses basiert auf einem neuronalen Netzwerk, das im Vorfeld mithilfe von Trainingsdaten vorkonditioniert und anschließend zur Onlineanalyse der Bilddaten aus der Flammenmessung eingesetzt wird. Das Tool ist in der Lage, verschiedene Flammenmerkmale wie Länge, Breite, Mittelpunkt und Zündpunkt der Flamme mit einer bemerkenswert schnellen Verarbeitung (5000 Bilder in nur 2 Sekunden) zu bestimmen.

Die extrahierten Merkmale spielen eine wesentliche Rolle bei der Kontrolle und Optimierung des Prozesses. Die Implementierung eines Flammenzündpunktdetektors, der speziell für die Analyse der Flammenstabilität entwickelt wurde, ermöglicht bspw. eine verbesserte Prozesssteuerung und -absicherung. Dabei legt das Modell einen Schwellenwert fest, der zwischen einer stabilen und einer instabilen Flamme unterscheidet.

Das entwickelte Echtzeit-Flammenüberwachungssystem ermöglicht eine schnelle und präzise Flammenüberwachung in verschiedenen Hochtemperaturprozessen und soll neben dem Einsatz in technischen Versuchsanlagen zukünftig in unterschiedliche industrielle Prozesse integriert werden.

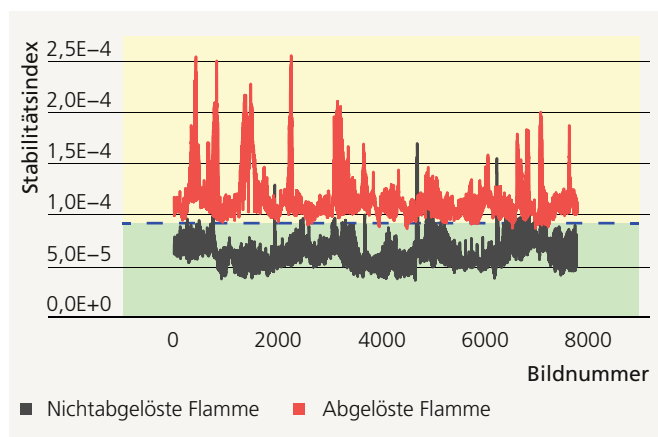


Bild 2: Echtzeit-Flammenüberwachung, dargestellt über den Stabilitätsindex. Oben: instabile Dieselflamme, unten: stabile Feststoffflamme. Die blaue Linie markiert das vom KI-Modell ermittelte Stabilitätskriterium.

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.



Degradationsverhalten eisenbasierter Fischer-Tropsch-Katalysatoren

M.Sc. Sascha Tim Bredow, Dr. Erik Reichelt,
PD Dr. Matthias Jahn

Die Transformation der chemischen Industrie hin zur Klimaneutralität stellt alle Akteure vor Herausforderungen. Im vergangenen Jahr war die chemische Industrie aufgrund der überwiegenden Nutzung fossiler Ausgangsstoffe weltweit für etwa 935 Mt CO₂-Äquivalente (ca. 2,5 %) an direkten Emissionen verantwortlich. Teil der Transformation des Industriesektors ist die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft, bei der CO₂ nicht mehr als Abfallprodukt, sondern als wertvoller Rohstoff angesehen wird. Aus diesem Grund erfährt die bereits seit etwa 100 Jahren bekannte Fischer-Tropsch-Synthese (FTS) gerade eine Renaissance. Mit dieser Reaktion kann aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid, dem sogenannten Synthesegas, eine ganze Bandbreite werthaltiger Kohlenwasserstoffe hergestellt werden. Unter dem Oberbegriff »Power-to-X« wird Synthesegas auf Basis elektrolytischer Verfahren aus elektrischer Energie, CO₂ und Wasser erzeugt. Die Fischer-Tropsch-Synthese eröffnet so einen nachhaltigen Erzeugungspfad für bisher fossil erzeugte chemische Produkte.



Bild 1: Reaktorteststand zur Durchführung der Degradationsuntersuchungen.

Am Fraunhofer IKTS sind insbesondere eisenbasierte FT-Katalysatoren Forschungsgegenstand. Denn anders als cobaltbasierte Katalysatoren können diese nicht nur Paraffine und Olefine, sondern auch hochwertige sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe, hauptsächlich Alkohole, erzeugen. Darüber hinaus ist Eisen kostengünstiger und kann im Gegensatz zu Cobalt unter weniger kritischen Bedingungen gefördert werden. Die eigentliche aktive Phase eisenbasierter Katalysatoren ist ein komplexes Gemisch verschiedener Eisencarbide und -oxide, sodass die Beeinflussung und Beschreibung des Produktspektrums sehr komplex ist, zumal unter Reaktionsbedingungen auch Änderungen der Phasenzusammensetzung auftreten können.

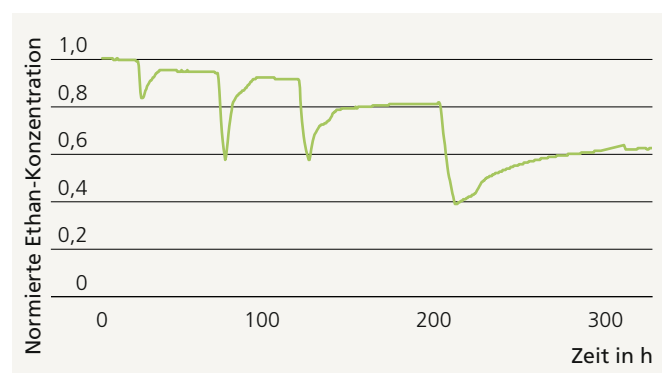


Bild 2: Abnahme der Katalysator-Performance während eines beschleunigten Alterungsversuchs anhand der Konzentration des Produkts Ethan.

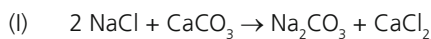
Mithilfe selektiver Synthesestrategien wurden am Fraunhofer IKTS spezifische aktive Eisencarbide hergestellt und hinsichtlich ihrer katalytischen Aktivität und ihres Langzeitverhaltens (> 1000 h) untersucht. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts »SOC-Degradation 2.0« (FKZ: 03SF0621C) konnten Katalysatoreigenschaften identifiziert werden, die für die Fischer-Tropsch-Synthese höherer Alkohole vorteilhaft sind und die Katalysatorstabilität sowie die Standzeiten stark erhöhen. Neben Langzeituntersuchungen kamen hierbei auch Versuche zum Einsatz, die eine beschleunigte Alterung der Katalysatoren ermöglichten.

Die Ergebnisse liefern ein besseres Verständnis für die Zusammenhänge zwischen Katalysatorzusammensetzung, -degradation und -performance. Auf dieser Basis sollen nun widerstandsfähigere Katalysatoren entwickelt werden, die längere Standzeiten bei optimierter Performance hinsichtlich der Produktzusammensetzung ermöglichen.

Wassersparende Herstellung von Soda mittels elektrochemischer Membranverfahren

Dipl.-Chem. Hans-Jürgen Friedrich

Soda und Natron gehören zu den unverzichtbaren anorganischen Basischemikalien. Sie finden in vielen Bereichen des täglichen Lebens (Waschmittel, Lebensmittel) sowie in zahlreichen Industriesektoren (z. B. Glas- und Papierherstellung) Einsatz. In Deutschland wurden zuletzt jährlich mehr als 1,2 Mio. t davon hergestellt, weltweit sind es ca. 35 Mio. t. Die Herstellung erfolgt entweder auf Basis von natürlich vorkommendem Trona (USA) oder über das Solvay-Verfahren auf Basis der Rohstoffe Salzsole, Koks und Kalkstein (I).



Zusätzlich wird beim Solvay-Verfahren Ammoniak als Überträger für Chlorid (Cl) und Hydrogenkarbonat (HCO_3) benötigt. Tabelle 1 gibt die Rohstoffbedarfe und Emissionen wieder.

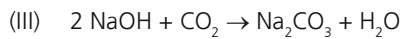
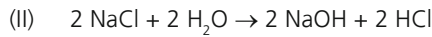
Emissionen beim Solvay-Verfahren (Angaben nach Umweltbundesamt/VCI/CSD)

Stoff	Emissionen kg/t	Emissionen t/a
CO_2	800	1 200 000
Cl	564	677 000
NH_3	1,5	1200
Abfallsole (m^3)	9,4	12 500 000

Mindestens ebenso bedeutsam wie die hohen CO_2 -Emissionen sind in diesem Kontext auch die großen Mengen hochsaliner Abwässer in Form von $\text{NaCl}/\text{CaCl}_2$ -Ablaugen, die beim Solvay-Verfahren entstehen. Diese führen zu einer Versalzung der Vorfluter mit zahlreichen weiteren negativen Konsequenzen, wie Fischsterben bei Niedrigwasser und erhöhten Temperaturen.

Im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Verbundprojekt »GreenSoda« (FKZ: 03EE5121A) unter Beteiligung u. a. der CIECH Soda Deutschland GmbH (CSD) in Stassfurt wird deshalb ein alternatives Verfahren zur Erzeugung von Soda entwickelt und erprobt. Kernprozess ist eine elektrochemische Prozessroute mit einer bipolaren Elektrodialyse. Bild 1 zeigt einen Laborversuchsstand als vier-Kreissystem. Die elektrochemische Prozessroute ermöglicht die Spaltung von Salzlösungen in die korrespondierenden Säuren

und Laugen, im Falle von NaCl -Solen also die Spaltung in HCl und NaOH gemäß (II). NaOH wird nachfolgend mit CO_2 carbonisiert (III).



Das CO_2 wird dabei aus Verbrennungsgasen, aber auch aus Vergärungsprozessen (Biogasherstellung) gewonnen. Gegenwärtig gelingt es unter Laborbedingungen, auf Basis von Stassfurter Rohsole eine ca. 20-%ige Sodalösung zu erzeugen.



Bild 1: Bipolare Elektrodialyse zur Spaltung von Salzsole.

Für diese Produktionsroute wird weder Kalkstein noch Ammoniak benötigt. Es fallen damit auch keine CaCl_2 -Abfallsolen mehr an. Der Prozess stellt nun sogar eine CO_2 -Senke dar. Das Fraunhofer IKTS hat gemeinsam mit CIECH Soda Deutschland ein Patent auf diesen Prozess angemeldet.

Als nächstes sind die Erprobung im Technikumsmaßstab unter Verwendung von gereinigtem CO_2 aus Verbrennungsprozessen und Untersuchungen zu adaptierten thermischen Aufbereitungsprozessen geplant. Letztere werden von einem weiteren Verbundpartner übernommen.

Spin-off POXOS® bringt Membrananlagen für Sauerstoff an den Markt

Dr. Ralf Kriegel, Dr. Robert Hoffmann,
B.Eng. Robert Diener, M.A. Friedbert Maul

Das Fraunhofer IKTS-Spin-off POXOS® (Pure Oxygen On Site) bietet die Entwicklung, den Bau und Verkauf von Membrananlagen zur bedarfsgerechten Herstellung von reinem Sauerstoff (> 99,8 Vol.-% O₂) vor Ort. Die Technologie basiert auf MIEC-Membranen (Mixed Ionic Electronic Conductor). Ihre Durchlässigkeit für O₂ beruht auf der kombinierten Leitfähigkeit für Oxidationen und elektronischen Ladungsträgern bei hoher Temperatur. Die Erzeugung von Sauerstoff direkt beim Endnutzer ist vor allem bei kontinuierlichem Bedarf und geringen bis mittleren Durchsätzen wettbewerbsfähig. Bisher wird dafür die Druckwechseladsorption (PSA – Pressure Swing Adsorption) eingesetzt. Sie erreicht bei einem Energiebedarf von > 0,9 kWh/Nm³ O₂ jedoch nur eine Reinheit von 95 Vol.-% O₂ im Produktgas. Einen ähnlichen Energiebedarf hat tiefkaltes Flüssig-O₂ (Liquid Oxygen oder LOx; > 0,81 kWh/Nm³ O₂). LOx wird durch kryogene Luftzerlegungsanlagen (LZA) hergestellt, die typischerweise Gase hoher Reinheit liefern. Energetisch effizient sind diese Anlagen aber nur bei sehr hohen Gasdurchsätzen (z. B. Stahlwerken). Viele Gaskunden werden deshalb aufwändig mit LOx oder Druckgasflaschen beliefert. Bei geringem O₂-Bedarf sind die Preise entsprechend hoch.

Hier setzt die geplante Ausgründung des Fraunhofer IKTS an: POXOS®-Generatoren benötigen für die O₂-Herstellung nur etwa 25 % der Elektroenergie einer PSA-Anlage oder von LOx. Zusätzlich wird allerdings Hochtemperatur-Prozesswärme benötigt. Brenngase sind pro kWh jedoch deutlich günstiger als Strom und in vielen Fällen können beim Anwender vorhandene, preiswerte Schwachgase zur Beheizung genutzt werden (z. B. Klärgas, Deponiegas, Biogas, Gichtgas oder Grubengas). Da die Energiekosten einen Großteil der Betriebskosten der POXOS®-Generatoren ausmachen, sind gegenüber einer O₂-Versorgung mit PSA oder einer Belieferung deutlich geringere laufende Kosten möglich. Legt man diese mit der Abschreibung der erforderlichen Investition auf die produzierte O₂-Menge um, so ergeben sich sehr niedrige O₂-Preise. Auch die CO₂-Emissionen von POXOS® sind bis zu 60 % niedriger als bei PSA-Generatoren oder der LZA. Dies liegt einerseits am geringeren Strombedarf, andererseits an niedrigeren CO₂-Emissionen pro kWh für Brenngase im Vergleich zum deutschen Strommix.

Markteinstieg in der Abwasser-Ozonung

Die Entfernung von Mikroschadstoffen oder Spurenstoffen (z. B. Arzneimittel, Pestizide etc.) aus dem Abwasser erfordert zunehmend eine Ausstattung der Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe. In dieser wird unter anderem die Ozonung eingesetzt, bei der die Spurenstoffe mit Ozon (O₃) oxidativ ge crackt und beseitigt werden. Die Kosten für den einhergehenden Sauerstoffbedarf können mit POXOS®-Generatoren um bis zu 80 % reduziert werden. Das liegt auch daran, dass das aus dem Abwasser austretende Off-Gas einen hohen O₂-Gehalt aufweist und dem POXOS®-Generator wieder zugeführt werden kann. Abhängig vom O₂-Preis, den Preisen für Strom und Wärme und der Beheizungsart (elektrisch oder Klärgas-Verbrennung) amortisieren sich die POXOS®-Generatoren in ca. drei Jahren.

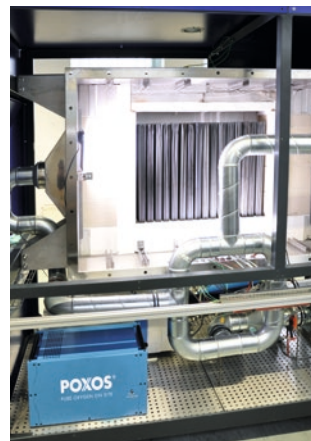


Bild 1: Das Vorserienmodul bei der Assemblierung.



Bild 2: membO₂-Anlage beim internen Transport am Fraunhofer IKTS in Hermsdorf.

Teststellung im Klärwerk

Seit September 2023 ist ein rein elektrisch betriebenes Vorseriengerät im Referenzbetrieb am Gemeinschaftsklärwerk Bitterfeld-Wolfen (GKW BiWo) im Einsatz. Anfänglich kam es zu Überhitzungen des Container-Innenraums. Nach dem Ausschleusen der heißen Abluft läuft das Gerät stabil. Regelmäßige An- und Abschaltungen haben keinen Einfluss auf die Betriebssicherheit und auch ein Abfall des O₂-Durchsatzes konnte bisher nicht detektiert werden. Der Test demonstriert die zuverlässige Funktionsfähigkeit der POXOS®-Generatoren und ist ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zur Marktreife. Das Vorhaben EXIST-Forschungstransfer: poXGen wird im Rahmen des EXIST-Programms durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und den Europäischen Sozialfonds gefördert.

POXOS
PURE OXYGEN ON SITE

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

EXIST
Forschungstransfer
mit der Marktreife

ESF
Europäischer Sozialfonds
für Deutschland

Europäische
Union

Zusammen
Zukunft
Gesellschaft

KI-gesteuerte Biogaserzeugung

Dr. Stefan Dietrich, Dr. Frank Duckhorn,
Dipl.-Ing. Anne Deutschmann

Für eine wirtschaftliche und an den aktuellen Energiebedarf angepasste Biogasproduktion ist eine dynamisch gesteuerte Substratzufuhr erforderlich. Hierfür wird die zukünftige Gasproduktion anhand verschiedener Prozessparameter prognostiziert und die sog. Fütterung der Biogasanlage entsprechend variiert. Die Prognose basiert dabei nicht nur auf Daten zu Substrateigenschaften und -mengen, sondern berücksichtigt auch den fluiddynamischen Zustand im Fermenter. Bisher erfolgt die Steuerung der Rührtechnik und die Anpassung der Prozessparameter lediglich auf Basis der anfallenden Biogasmenge. Der Wechsel der Beladungsraten macht jedoch eine Anpassung von Laufzeit und Mischintensität der Rührtechnik erforderlich.

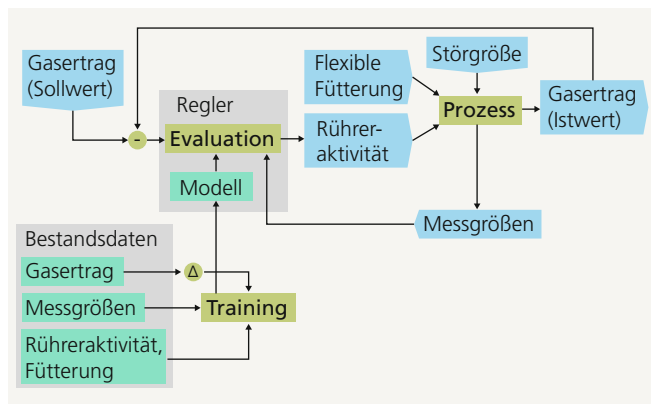


Bild 1: Prozessmodell und Trainingskonzept für den KI-Regler.

Entwicklung des KI-Reglers

Im Rahmen des BMEL/FNR-Verbundvorhabens »Sens-O-Mix« wurde ein KI-basierter Regler entwickelt und erprobt, der einen automatisierten und an die flexible Fütterung angepassten Rührbetrieb ermöglicht (Bild 1). Da Ansätze wie das Reinforcement Learning aufgrund langer Reaktionszeiten schwierig umzusetzen sind, wurde ein Regler auf Basis neuronaler Netze gewählt. Er beruht auf statistischen Prozessmodellen, die mit Bestandsdaten der Forschungsbiogasanlage der Universität Hohenheim generiert wurden. In die Modelle fließen Fütterungs- und Sensordaten, die Rührleistung sowie der zurückliegende Biogasertrag ein. Die Grundfunktionalität des KI-Reglers zielte zunächst auf die Steuerung des Mischprozesses im

Fermenter ab. Anhand der Vorgabe des zukünftigen Soll-Biogasertrags ermittelt der KI-Regler die zukünftige Soll-Rührleistung. Die Input-Daten für den KI-Regler umfassen Ergebnisse der stofflichen, rheologischen und granulometrischen Substratcharakterisierung sowie Daten der Rührwerkssteuerung. Derzeit wird der KI-Regler erweitert auf die Steuerung des Gesamtprozesses der flexiblen Biogasproduktion. Dazu werden neben den vorgenannten Parametern auch Modelle der prädiktiven Fütterung und die sich im Fermenter ausbildenden fluiddynamischen Eigenschaften berücksichtigt.

Training, Validierung und Praxisbetrieb des KI-Reglers

Das Training und die Validierung des KI-Reglers gewährleisteten zuverlässige Vorhersagen der Rührparameter in Abhängigkeit von Substratqualität und -quantität sowie des gewünschten Gasertrags. Zunächst wurden hierfür Modelle in Form neuronaler Netze anhand von realer Versuchsdaten sowie dem prognostizierten zukünftigen Gasertrag trainiert. Daraus wurden die zukünftige mittlere Rührleistung sowie die Aktivität der Rührwerke über einen Zeitraum von 18 Stunden abgeleitet. Erprobt wurden verschiedene rekurrente (RNN) als auch konvolutive neuronale Netze (CNN). Das CNN lieferte hierbei die zuverlässigsten Prognosen.

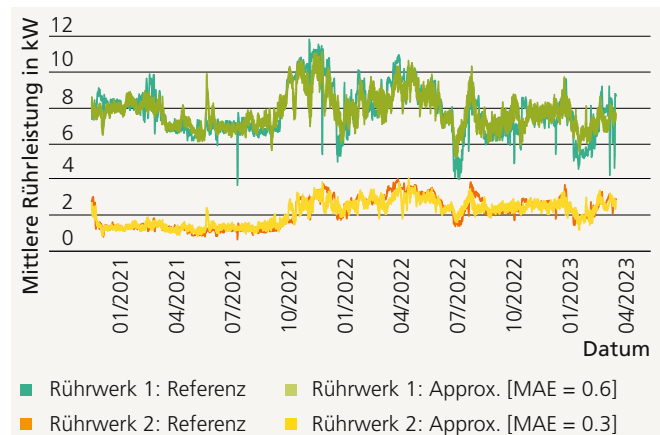


Bild 2: Ergebnisse zur Vorhersage der Rührleistung.

Nach erfolgreichem Initialtest wurde der Regler von August bis Dezember 2023 zielführend im regulären Betrieb der Forschungsbiogasanlage der Universität Hohenheim eingesetzt und validiert. Der entwickelte KI-Regler soll künftig auf weiteren Biogasanlagen implementiert und optimiert werden, wobei der Fokus auf der Minimierung des Rührerenergie-Bedarfs und der Vermeidung von Schwimmschichten liegt.

Standardisierte Bewertung der Wirkung von Nährstoff-Rezyklaten auf das Pflanzenwachstum

Dipl.-Ing. (FH) Nico Domurath, Dipl.-Ing. Marc Lincke

Die Verknappung von Ressourcen und landwirtschaftlichen Flächen sowie eine wachsende Weltbevölkerung sind globale Herausforderungen, die eine neue, nachhaltige Wertschöpfung erfordern. Regional verfügbare Nährstoff-Rezyklate könnten in der Landwirtschaft große Mengen an konventionellen Phosphor- oder Stickstoffdüngern ersetzen. Im Kontext der pflanzlichen Produktion sind hierfür vorab Nährstoffverfügbarkeitstests und Toxizitätsuntersuchungen der aus Reststoffen, wie z. B. Klärschlammaschen oder Gällen, gewonnenen Rezyklate essenziell. Die Interaktion zwischen Substrat, zugegebenen Nährstoffen und Pflanzen sowie eventuellen anthropogenen Verunreinigungen werden in standardisierten Pflanzenwachstumstests beschrieben. Etablierte praxisnahe Testverfahren sind Topfversuche im Gewächshaus bzw. Freilandversuche, die jedoch viel Zeit erfordern (bis zu mehreren Wachstumsperioden). Durch nicht beeinflussbare Wachstumsbedingungen, wie Lichtintensität, Bodenbeschaffenheit oder Wettereinfluss sind die Ergebnisse jedoch oft schlecht interpretierbar und ein statistischer Vergleich unterschiedlicher Versuche damit nicht möglich.

Für eine schnelle und reproduzierbare Bewertung von Vorprodukten, Rezyklaten und Düngerprodukten wurden in den Projekten DreiSATS und NutriTest standardisierte Teststände zur Durchführung jahreszeitenunabhängiger, reproduzierbarer Pflanzenversuche entwickelt und aufgebaut. Darüber hinaus wurden standardisierte Untersuchungsmethoden entwickelt, die sowohl ein projektbegleitendes Screening als auch reproduzierbare Ergebnisse für Produktdefinition und Qualitätsmonitoring ermöglichen – unabhängig von Vegetationsperioden, Wettereinflüssen und Standortbedingungen. Die Versuchstände erlauben die gezielte Kontrolle bzw. Regelbarkeit der einflussreichen Wachstumsparameter Lichtintensität, Photoperiode, Temperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit. Einflüsse auf das Pflanzenwachstum können somit auf die Wirkung der Düngemittel bzw. Rezyklate bezogen und statistisch ausgewertet werden.



Bilder 1-4: Versuchstände zur Prüfung von Rezyklaten (links oben: Verträglichkeitsprüfung Mais; links unten: Nährstoffverfügbarkeit von Phosphor-Rezyklaten; rechts oben: Salzverträglichkeitsprüfung; rechts unten: Verträglichkeitsprüfung Flüssignährstoff-Rezyklat).

Während des Wachstums werden die Pflanzen mit dem zu prüfenden Material in verschiedenen Düngerstufen versorgt. Fehlende Nährstoffe werden über entsprechende Nährlösungen bedarfsgerecht zugeführt. Die Untersuchungsdauer beträgt zwischen zwölf und 22 Wochen. Die üblicherweise von Böden sowie dem darin befindlichen Mikrobiom ausgehende Pufferwirkung kann bei Bedarf durch ein inertes und nährstoffarmes Spezialsubstrat weitestgehend reduziert werden.

Am Versuchsende wird neben der Eignungsprüfung auch die Düngerwirkung der Nährstoff-Rezyklate im Vergleich zu konventionellen mineralischen Düngern angegeben als Mineraldüngeräquivalent für die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor.

Leistungs- und Kooperationsangebote

- Standardisierte Bewertung sowie Beratung zum Einsatz von Rezyklaten und Düngerprodukten
- Entwicklung von Verfahren zur Gewinnung von Nährstoff-Rezyklaten aus organischen Reststoffen
- Bewertung organischer Reststoffe hinsichtlich einer stofflichen und energetischen Verwertung

Nachhaltige Elektronik: Evaluierung der Degradation von Verkapselungsmaterial für die Leistungselektronik

Dr. Michael Schneider, Dipl.-Ing. (FH) Uta Gierth,
Dr. Paul Gierth, Dr. Lars Rebenklau

Zuverlässigkeit durch Schutz der Elektronik

Nachhaltigkeit wird durch zuverlässige Langlebigkeit von Produkten erzielt. Dazu werden in der Leistungselektronik empfindliche Komponenten durch isolierende Verkapselungswerkstoffe geschützt. Für diese gelten strenge Anforderungen, die sowohl in Abhängigkeit zu den extrinsischen (Einsatzbedingungen) als auch den intrinsischen Bedingungen (Betriebsparameter) stehen. Leistungselektronische Komponenten kommen insbesondere in der Elektromobilität, Industrieelektronik und Energietechnik zum Einsatz.

Unter harschen Einsatzbedingungen (z. B. offshore) erfordert die Zuverlässigkeit der aktiven Elektronik hochwertige Verkapselungswerkstoffe, die zudem gut verfügbar, preisgünstig und leicht zu verarbeiten sind. Diese Werkstoffe selbst müssen auf Grund ihrer Schutzfunktion vor hohen elektrischen Spannungen ebenfalls langzeitstabil sein. Kompositwerkstoffe aus hochverfüllten Epoxidpolymeren, die mittels Thermotransfermolding leistungselektronische Komponenten verkapseln, sind derzeit am vielversprechendsten in der Anwendung.

Detaillierte Kenntnisse über die Degradationsmechanismen und -kinetik von Verkapselungswerkstoffen sind essenziell für das Verständnis der Zuverlässigkeit und Lebensdauer von Leistungsbaugruppen.

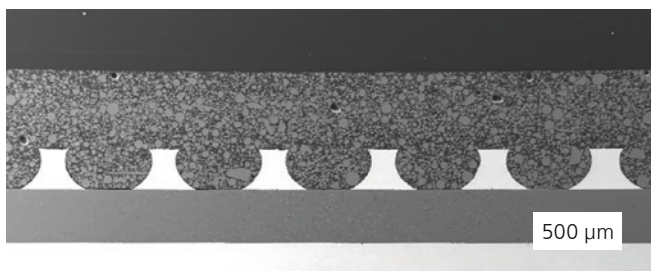


Bild 1: Materialgraphischer Querschnitt eines einseitig verkapselten Kupfersubstrats.

Neuer Ansatz zur Charakterisierung der Materialien

Bisher wurden häufig optische oder mechanische Prüfverfahren zur Untersuchung von Verkapselungen eingesetzt. Hochverfüllte Epoxidharzkomposite sind jedoch optisch intransparent und mechanische Tests bauteilerstörend.

Als alternative Untersuchungsmethode bietet sich die zerstörungsfreie Impedanzspektroskopie an. Bei dieser erlauben sogenannte Ersatzschaltbilder, die gemessenen Spektren als Ausdruck eines temporären Degradationszustands zu interpretieren. Aus der zeitabhängigen Wiederholung der Messungen (Monitoring) lässt sich die Degradationskinetik ermitteln und, mit Einschränkungen, eine Lebensdauerabschätzung treffen.

Der hohe spezifische Widerstand der Verkapselung und die zur Messung zur Verfügung stehenden miniaturisierten Strukturen erfordern eine präzise Stromsignalerfassung im Bereich Picoampere. Zu deren Realisierung werden im Verbundvorhaben »TTM-Process Reliability« hochimpedante Messgeräte und -aufbauten mit ausreichender Abschirmung entwickelt sowie industriell transferierbare Parameter ermittelt.

In Bild 2 sind exemplarisch Impedanzspektren epoxidkompositverkapselter Kupfersubstrate dargestellt, gemessen vor (0 h) und nach einer Stunde (1 h) Exposition unter Temperatur-Druck-Feuchte-Belastung. Die frequenzabhängige Impedanzveränderung spiegelt den Degradationsprozess des belasteten Verkapselungswerkstoffs sehr eindrücklich wider und zeigt, dass sich die Impedanzspektroskopie zur zerstörungsfreien Bewertung von Verkapselungswerkstoffen eignet.

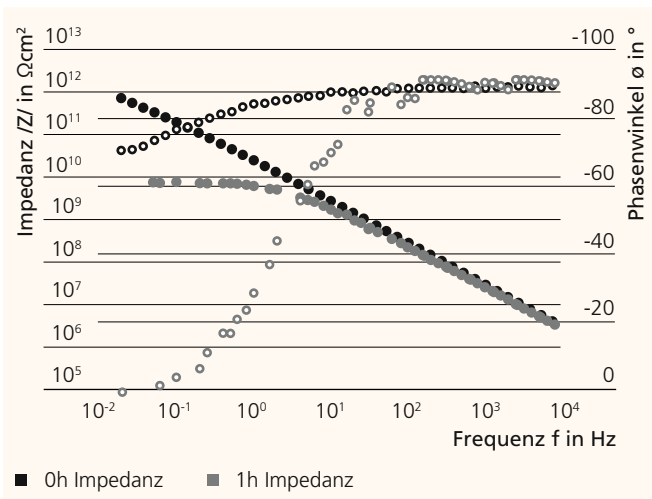


Bild 2: Impedanzmessung vor und nach Exposition.

Geometrisch hochkomplexe keramische Sensorsysteme (Sensortriade)

Dr. Lars Rebenklau, Dr. Uwe Scheithauer,
Dr. Paul Gierth, Dipl.-Ing. Eric Schwarzer-Fischer

Sensorik unter harschen Umgebungsbedingungen

Die zentralen Aufgabenstellungen in der Sensorik sind die Überwachung von Zustandsgrößen, die Konvertierung von Sensorsignalen und deren Verarbeitung sowie die Kommunikation mit übergeordneten Systemen. Hierfür ist eine an die Messaufgabe angepasste Hardware erforderlich. Diese besteht meist aus Sensorelement, Substratträger sowie einem Housing. Harsche Umgebungsbedingungen mit hohen thermischen, chemischen und/oder mechanischen Belastungen sind in nahezu allen Bereichen der Industrie eine Herausforderung. Hierbei kommen hochintegrierte sensorische Systeme mit metallischen oder polymeren Komponenten an ihre Grenzen und erschweren eine echtzeitbasierte Datenerfassung. Funktionalisierte 3D-Keramikkomponenten dagegen erfüllen die Anforderungen hinsichtlich Robustheit, Miniaturisierung und Zuverlässigkeit. Durch die gezielte Werkstoffauswahl und Kombination aus additiver Fertigung und Dickschichttechnologie vereinen sie Vorzüge, wie chemische und thermische Beständigkeit, hohe Härte, geringe Dichte oder bestimmte biologische Eigenschaften erstmals mit hochkomplexen Geometrien.

Additive Fertigung keramischer Komponenten

Additive Fertigungsverfahren ermöglichen es, geometrisch hochkomplexe und funktionalisierte Strukturen herzustellen, die sich mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht oder nur aufwendig realisieren lassen. Damit sind diese Verfahren gerade für die harten und schwer zu bearbeitenden keramischen Werkstoffe ein »Game Changer«. Die werkzeugfreie Formgebung erlaubt die Fertigung individualisierter Einzelstücke oder Kleinserien sowie schnelle Iterationszyklen in Entwicklungsprozessen. Zudem wird nahezu nur das Material verbraucht, das tatsächlich benötigt wird.

Funktionalisierung mittels Dickschichttechnik

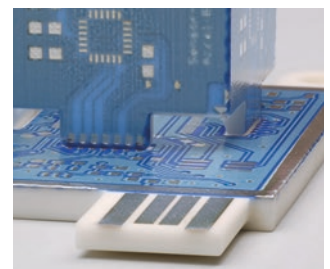
Die keramischen Komponenten werden mittels Dickschichttechnik funktionalisiert, indem pastöse Werkstoffe in einem Druckverfahren auf die Oberfläche von Substraten appliziert werden. Für die Funktionalisierung stehen sowohl Leiterzug-

materialien, Isolatoren als auch Funktionspasten zu Verfügung, die aufgedruckt und anschließend gesintert werden. Danach ist eine Bestückung mit weiteren Bauelementen oder Sensoren möglich, deren Montage in der Regel auf den Leiterbahnen erfolgt. Für die elektrische Kontaktierung der gesamten Komponente werden typische Verfahren aus der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) eingesetzt:

- Löten mit Weichloten und Hartloten
- Drahtbonden mit Aluminium- oder Kupferdrähten
- Sintermontage: Montage von Leistungshalbleitern auf Basis von Nano-Silber-Pasten
- Drahtschweißen für Hochtemperaturanwendungen



Gesamtaufbau und keramische Einzelkomponenten der Sensortriade.



Detailansicht der funktionalisierten Einzelkomponenten.

Sensortriade

Innerhalb des Fraunhofer-internen Projekts »Sensortriade« entwickelt das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit dem Fraunhofer ENAS in Chemnitz hochrobuste Sensorsysteme, mit denen die Lage- und Positionsbestimmung in drei Dimensionen möglich ist. Bisher wurden die hochpräzisen MEMS-Sensoren aus dem ENAS auf polymeren PCBs zu eindimensionalen Sensorsystemen aufgebaut und anschließend miteinander gekoppelt. Innerhalb der neuartigen patentierten Sensorsysteme erfolgt die Montage der Sensoren und Bauelemente direkt auf dem mit Leiterbahnen funktionalisierten keramischen Substrat, das infolge der additiven Fertigung orthogonal zueinander ausgerichtete Bereiche aufweist. Durch den Verzicht auf polymere Substrate kann der Platzbedarf sowie die Messunsicherheit infolge thermischer Spannungen signifikant reduziert werden.

Die symbiotische Kombination der zwei modernen keramischen Technologien »additive Fertigung« sowie »Funktionalisierung keramischer Komponenten mittels Dickschichttechnik« in einem zweistufigen Prozess ermöglicht bisher nicht erreichbare hochkomplexe Substrat-, Sensor- und Gehäusevarianten. Diese wiederum bieten Ansätze für optimierte Messverfahren für Anwendungen in harschen Umgebungsbedingungen.

ProPlug – Integrierte Schnittstellen für den funktionalisierten Leichtbau

Dr. Robert Schwerz, Dr. Mike Röllig

In Leichtbaustrukturen werden zunehmend weitere Funktionen, wie Lichtquellen, Sensoren oder Heizelemente integriert. Die bisherigen Erfahrungen zeigen jedoch, dass die elektrischen Zuführungen zur Funktionsanbindung nicht dauerhaft zuverlässig arbeiten. Das heißt, dass sowohl die elektrische und mechanische Anbindung an die Leichtbaustruktur als auch die Kabelführungen innerhalb der Komponente schlecht funktionieren. Für die erfolgreiche Akzeptanz von funktionellen Leichtbaustrukturen über den Labormaßstab hinaus müssen diese jedoch robust, langlebig und nachhaltig sein.

Der Weg zum erfolgreichen Steckersystem

Die am Fraunhofer IKTS entwickelte Lösung basiert auf einem interdisziplinären Forschungsansatz. Dieser beginnt bei der Aufbau- und Verbindungstechnik der integrierten Funktion an die Zuleitungen, setzt sich bei der eigenspannungsarmen Verlegung dieser Zuleitungen im Bauteil fort und mündet in der besonders kritischen Verbindung zwischen Funktionsformbauteil und Außenwelt – dem Steckersystem. Ein neuartiges bauteilintegriertes Stecker-Buchse-System verbindet elektrische Zuleitungen analog der Steckdosen-Spezifizierung im Wohnbereich robust und sicher. Es ersetzt bisherige Anbindungen, die meist über lose Kabel und ohne praktische Steckverbindung realisiert wurden.

Aus der Vielzahl möglicher Anwendungsfälle für eine Funktionsintegration wurde im BMBF-geförderten Projekt »ProPlug« exemplarisch ein Tankbehälter für landwirtschaftliche Medien ausgewählt. Dieser besteht aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) und muss beheizt werden, um Frostschäden am Medium zu vermeiden. Erforderlich dafür ist die funktionelle Integration von Flächenheizungen, von sensorischen Elementen zur Regelung des Heizstroms sowie eine dauerhaft robuste und zuverlässige Steckverbindung zur elektrisch-mechanischen Verbindung mit der Stromquelle und Steuerung.

Für die Heizfunktion sind nieder- und hochstromtragfähige Leiter notwendig, deren Auslegung über Simulationsbewertungen basierend auf der Finite-Elemente-Methode erfolgte, um die Durchwärmung, die notwendige elektrische Leistung und die Strukturbewertung abzuschätzen.



Bild 1: Potenzielle Einsatzszenarien für Faserverbundwerkstoffe mit integrierter Funktionalität.

Die Verbindungen zwischen Heizdraht und Stecker sind so ausgeführt, dass sie den Folgeprozess der Bauteilherstellung im Vacuum-Resin-Transfer-Molding (RTM) schadlos überstehen. Da die Harzinjektion hierbei mit 2 bar erfolgt, sind Lagefixierungen nötig, um die spätere Sollposition zu garantieren. Eigens dafür wurden spezielle äußerliche Fixierungen für die Buchse entwickelt. Erstmals konnte eine Lösung zur sicheren und langzeitzuverlässigen Kontaktierung von Funktionsbauteilen in Faserkunststoffverbund-Leichtbaustrukturen geschaffen werden.

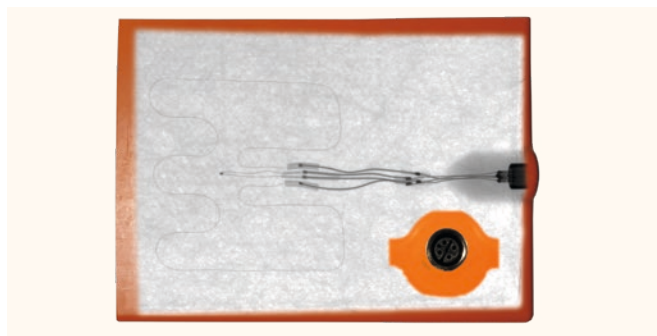


Bild 2: Röntgenaufnahme des Technologiemusters zur Funktionsintegration inkl. Heizkreislauf, Zuleitungen und ProPlug-Steckersystem.

Die Ergebnisse sind äußerst vielversprechend. Derzeit findet die Übertragung der Technologieschritte auf einen Zieldemonstrator des Tankbehälters statt.

Ausschussfreie Umformprozesse durch optisches Inline-Monitoring

Dr. Lili Chen, Dr. Ulana Cikalova, Dr. Beatrice Bendjus, Dipl.-Ing. Matthias Riemer (Fraunhofer IWU)

Ein wesentlicher Anteil des Ausschusses bei der Blechumformung ist auf chargenabhängige Schwankungen der Materialeigenschaften zurückzuführen. Reduzieren ließe sich das mit einer zeitaufwändigen manuellen Einrichtung der Prozesse bzw. einer kostenintensiven Integration von Sensorik und Aktorik in die Umformwerkzeuge. Trotz dieser Maßnahmen liegen die Ausschussquoten bei bis zu 15 %, was Kosten von etwa 300 000 € je Werkzeug verursachen kann.

Das Projekt »OptiForm« tritt an, um den materialbedingten Ausschuss auf 0 % zu reduzieren und so einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der globalen Nachhaltigkeitsziele im Bereich von Produktion und Konsum zu leisten.

Materialparameter vor dem Umformen einstellen

Der neuartige Lösungsansatz setzt bei den schwankenden Materialparametern an. Diese sollen im Walzrichtprozess, der dem Umformprozess vorgelagert ist, gezielt eingestellt werden. Diese Einstellung basiert auf einer In-Prozess-Erfassung der Materialeigenschaften mittels Laser-Speckle-Photometrie (LSP) und einer modellbasierten Regelung der Verformung durch Walzen (Bild 1). Auf eine kostenintensive Integration von Sensorik und Aktorik in die Umformwerkzeuge kann dabei verzichtet werden.

Dafür wird die LSP zur Erfassung und gezielten Einstellung des Werkstoffzustands im Walzrichtprozess weiterentwickelt und in einer am Fraunhofer IWU verfügbaren Walzrichtanlage prototypisch umgesetzt. Das LSP-Verfahren ermöglicht es, plastische Verformungen durch die Analyse des Speckle-Musters optisch zu bestimmen. Dies liefert Aussagen zum Werkstoffzustand, z. B. Rauheit und Dehnung.

Demonstrator zeigt Eignung

In ersten Versuchen wurde die LSP an Metallblechen kalibriert. Die Bewertung des Dehnungszustands über das Speckle-Muster zeigte in einem Zugversuch eine gute Übereinstimmung mit den mittels Extensometer experimentell ermittelten Werten (Bild 2). Dies ist Voraussetzung für den nächsten Schritt, bei

dem die LSP in den Umformprozess bei Bandlaufgeschwindigkeiten von bis zu 5 m/min integriert werden soll.

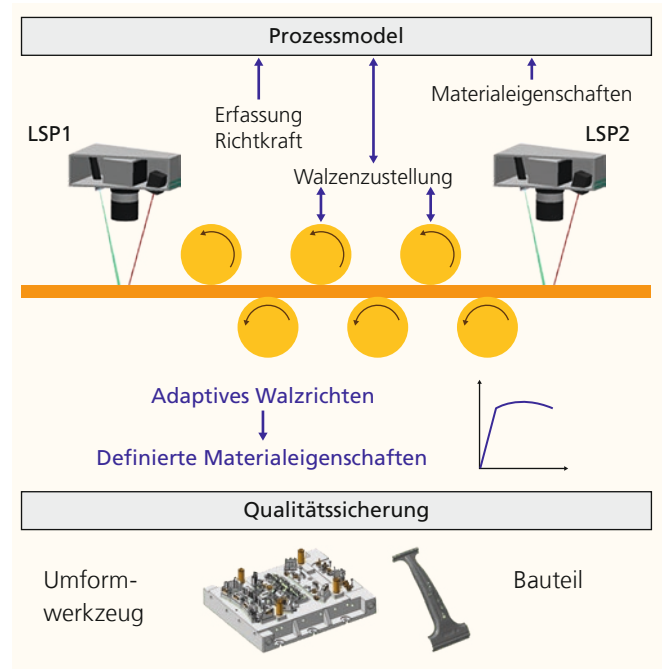


Bild 1: OptiForm – Konzept zur Reduktion von Ausschuss.

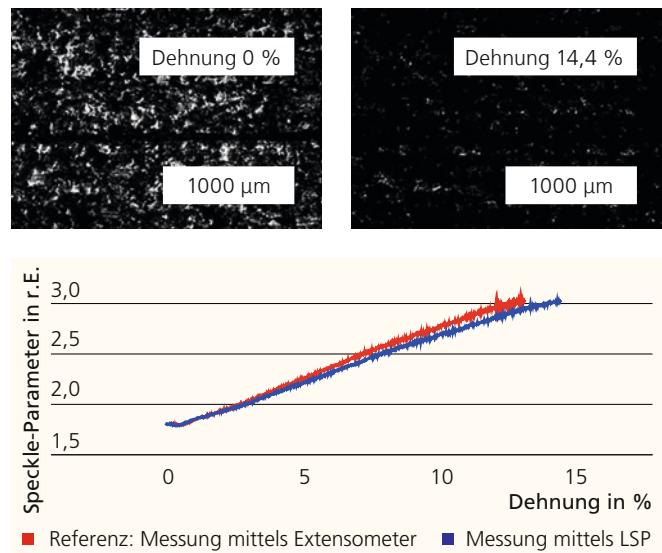


Bild 2: Kalibrierung im Zugversuch.

Das Projekt »OptiForm« wird von der Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen des Programms »Schnelle Mittelstandsorientierte Eigenforschung SME 2022« unterstützt.

Integrierte Überwachung langlebiger Leichtbau-Fahrzeugmodule

Dr. Kilian Tschöke, M.Eng. Enes Savli, Dr. Lars Schubert

Kreislaufwirtschaft für Fahrzeugkomponenten

Bis zu 20 % ihrer CO₂-Emissionen gehen bei Fahrzeugen auf den Energieeinsatz bei deren Herstellung zurück. Dies ist der linearen industriellen Fertigung (Rohstoffbesorgung – Produktion – Nutzung – Entsorgung) geschuldet. Der Energiebedarf resultiert vor allem aus einer kurzen Nutzungsdauer von ca. 15 Jahren. Voraussetzung für eine Reduzierung des Energiebedarfs ist eine möglichst lange Werterhaltung eingesetzter Rohstoffe und Komponenten, bspw. durch wiederverwendbare Teile.

Langlebige Komponenten aus kohlenstofffaserverstärkten Verbundstoffen

Langlebige Werkstoffe, wie kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe, sind hochbelastbar und damit für die mehrmalige Wiederverwendung bestens geeignet. Das ist über eine zirkuläre Wertschöpfungskette möglich, in der Einzelbauteile nach dem ersten Lebenszyklus geprüft und, falls erforderlich, überarbeitet werden.

Dafür entwickelte das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit der INVENT GmbH in einem ersten Schritt beispielhaft eine Blattfeder aus Faserverbundwerkstoff mit neuartigem Anbindungs- und Sensorkonzept. Ein in den Materialverbund integriertes Sensornetzwerk (Bild 1, Mitte) erfasst dabei kontinuierlich Daten. Sowohl im Betrieb als auch am Lebensende kann so der Zustand der Feder ganzheitlich beschrieben werden.

Integriertes Sensornetzwerk

Die mit dem Sensornetzwerk erfassten Daten werden über ein Diagnosesystem ausgewertet. Dieses wurde am Fraunhofer IKTS entwickelt. Das Messverfahren selbst ist im Structural Health Monitoring (SHM) bereits etabliert und basiert auf dem aktiven Acousto-Ultrasonic-Verfahren. Hierbei werden elastische Wellen im Bereich des Ultraschalls durch piezoelektrische Wandler in das Bauteil eingebracht und auch detektiert. Ein Abgleich der Messdaten mit einem im Vorfeld aufgezeichneten Referenzzustand ermöglicht dann die Identifizierung von Sensorpfaden, auf denen sich eine Veränderung ergab.

Visualisiert man die Signalabweichungen, können die Messsignale grafisch interpretiert werden (Bild 1 unten).

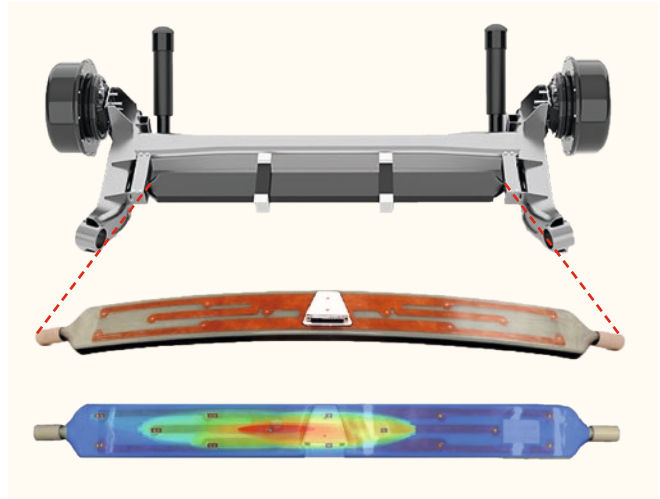


Bild 1: Blattfeder aus Faserverbundmaterial mit integriertem, innovativem Sensornetzwerk. Oben: Schema des Einbauzustands (Quelle: EDAG Engineering Group AG). Mitte: Aufnahme einer Blattfeder mit integriertem Sensornetzwerk. Unten: Visualisierung einer Schadensdetektion auf einer Blattfeder im Laborversuch.

Mit dieser Strukturüberwachung lässt sich der Bauteilzustand der Feder über den gesamten Lebenszyklus hinweg bewerten. Eine als unbeschädigt diagnostizierte Blattfeder kann auch über ihre Lebenszeit hinweg sicher und nachhaltig genutzt werden.

Das kreislaufgerechte Konzept kann auch auf andere Fahrzeugkomponenten übertragen werden und so Weiterentwicklungen im Automobilbau und der Luftfahrt anstoßen. Geplant ist eine kreislauffähige E-Fahrzeugplattform, mit der sich zukünftig Entwicklungskosten und -risiken senken lassen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Diamant-SiC-Komposite für hochbelastete Lager und Dichtungen

Dr. Björn Matthey, Dr. Steffen Kunze,
Dr. Mathias Herrmann

In Pumpen eingesetzte Werkstoffe sind anspruchsvollen industriellen Bedingungen ausgesetzt. Oftmals werden korrosive Medien gefördert, die zusätzlich auch abrasive Partikel enthalten. Benötigt werden mechanisch hoch belastbare Werkstoffe, die diesen tribologisch-chemischen Systemanforderungen gerecht werden.

Das Fraunhofer IKTS entwickelt für derartige Anwendung Diamant-Siliciumcarbid-Komposite. Diese sind aufgrund der hohen Härte der Diamantphase und der hervorragenden chemischen Beständigkeit von Diamanten und Siliciumcarbid für den Einsatz unter harschen Bedingungen, wie etwa in Lagern und Dichtungen von Pumpen, bestens geeignet. Der Werkstoffverbund findet insbesondere dann Verwendung, wenn eine Wartung äußerst aufwändig ist und sehr hohe Standzeiten gefordert werden, wie im Tiefseebereich oder in der Chemieindustrie.

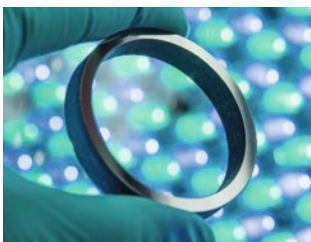


Bild 1: Dichtung mit polierter Diamant-SiC-Oberfläche.

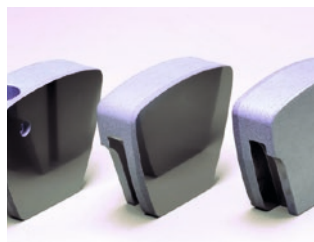


Bild 2: Gleitlagerpads mit Diamant-SiC-Oberfläche.

Werkstoffkonzepte

Diamant-SiC-Verbunde sind aufgrund ihrer hervorragenden Verschleißbeständigkeit jedoch sehr aufwändig zu bearbeiten. Ein Forschungsschwerpunkt im Fraunhofer IKTS sind daher Bauteilkonzepte, die eine kostengünstige Fertigung selbst komplexer Bauteile aus Diamant-SiC ermöglichen. Eine Methode hierfür ist, mittels einer Gradierung den Diamantverbund nur in den hochbelasteten Funktionsflächen konventioneller SiC-Bauteile einzubringen. Dies ist zum einen durch Doppelpressen erreichbar. Dabei wird ein Diamantgranulat auf ein bereits verdichtetes SiSiC-Granulat gepresst. Zum anderen können die Oberflächen bereits silicierter oder gesinterter Carbidkeramiken

mittels Schlickertechnologie beschichtet werden. Die auf diese Weise hergestellten diamanthaltigen Zonen lassen sich vor der Flüssigphasensilicierung noch gut bearbeiten. Nach dem Brennprozess weist der gebildete Diamant-SiC-Verbund eine Härte von bis zu 48 GPa (HK2) auf. Die carbidischen Grundmaterialien lassen sich hingegen nach dem Brennprozess mit etablierten Verfahren bearbeiten. Für die Funktion notwendige Bauteilmaße können auf diese Weise mikrometergenau umgesetzt werden.

Durch das Press- bzw. Schlickerverfahren lassen sich Diamantgehalte von ca. 50 Vol.-% in den Funktionsflächen applizieren. Der niedrige Siliciumgehalt von unter 5 Vol.-% garantiert auch in basischen Medien und unter hydrothermalen Bedingungen eine hohe Korrosionsbeständigkeit. Tribologische Tests bestätigen den SiC-gebundenen Diamantwerkstoffen ein Verschleißverhalten ähnlich dem von extrem harten polykristallinen Diamanten (PKD). Im BMBF-Projekt »SubSeaSlide« wurden Lager und Dichtungen mit dem Diamant-SiC-Komposit an die Unternehmen EagleBurgmann Germany GmbH & Co. KG, Miba Industrial Bearings GmbH und Sulzer AG geliefert. Die industriellen Tests und Anwendungen zeigen vielversprechende Ergebnisse und belegen das hohe Potenzial dieser Werkstoffklasse.

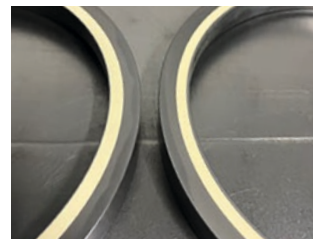


Bild 3: Gleitlager mit Diamant-Intarsie im Grünzustand.

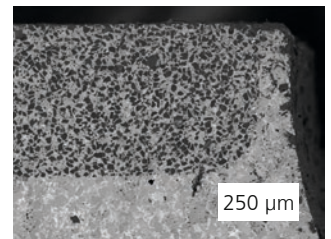


Bild 4: FESEM-Aufnahme der Diamant-SiC-Intarsien.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung von funktionsoptimierten Diamant-Verbundwerkstoffen
- Anwendungsnahe Tests der thermischen, chemischen und tribologischen Werkstoffcharakteristika
- Prozessentwicklung bis zur Herstellung von Pilotbauteilen

Die Projektpartner danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Unterstützung des Verbundprojekts »SubSeaSlide« (FKZ: 03SX508F).

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Keramisches Tesla-Ventil

Dr. Uwe Scheithauer, Dipl.-Ing. Eric Schwarzer-Fischer,
Dipl.-Ing. Lion Sano

Für nahezu alle Prozesse, bei denen Fluide definiert zu- oder abgeführt werden, sind Ventile unerlässlich. Eine besondere Ausführung stellt dabei das Tesla-Ventil dar. Dieses passive, fluidische Ventil wurde 1916 von Nikola Tesla zum Patent angemeldet. Im Gegensatz zu üblichen Ventilen ist das Tesla-Ventil eine Art Rückschlagventil ohne bewegliche mechanische Teile.

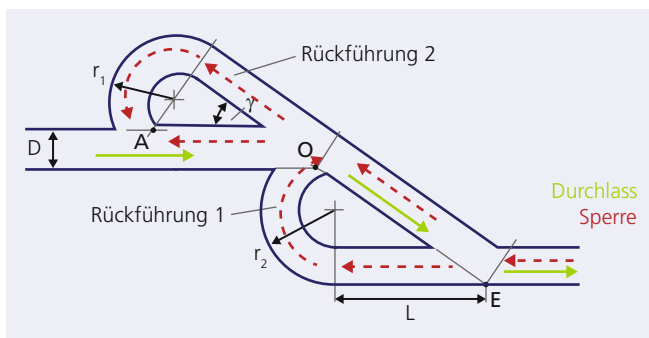


Bild 1: Schematischer Aufbau eines Tesla-Ventils.

Keramische Tesla-Ventile

Keramische Werkstoffe besitzen herausragende thermische, chemische und mechanische Eigenschaften und sind deshalb z. B. für Verbrennungsprozesse hochinteressant. Bei der Verbrennung von Gasen (z. B. Erdgas oder Wasserstoff) zur Wärmeerzeugung oder innerhalb einer Brennkammer für Raumfahrtantriebe ist ein Rückschlag der Verbrennung in das Zuleitungssystem und den Vorrattank der Fluide unbedingt zu vermeiden. Gerade für Raumfahrtanwendungen, bei denen während der Startphase hohe mechanische Belastungen auftreten, sind Ventilausführungen ohne bewegliche Teile aufgrund der Robustheit hochattraktiv.

Diodizität

Die wesentliche Kenngröße eines Tesla-Ventils ist die Diodizität. Diese beschreibt den Quotienten der Druckverluste der Strömungen in Gegenrichtung und Durchflussrichtung und ist abhängig vom Volumenstrom. Beim Tesla-Ventil wird eine möglichst hohe Diodizität angestrebt, indem durch geometrisch komplexe Kanäle ein geringer Druckverlust in Durchflussrichtung und ein hoher Druckverlust in Gegenrichtung realisiert wird. Letzteres wird z. B. durch Verschlaufung und Rückführung der Fluide gegen die eigentliche Strömung erreicht.

CerAMufacturing = Additive Fertigung von Keramiken

Additive Fertigungsverfahren (Additive Manufacturing, AM) eröffnen völlig neue Möglichkeiten bei der geometrischen Gestaltung von Bauteilen – gerade bei sehr harten und damit schwer zu bearbeitenden keramischen Werkstoffen. Für die Auslegung von Tesla-Ventilen kann durch AM die dritte Dimension erschlossen werden. Hierdurch kann die Diodizität signifikant gesteigert werden. Aktuelle Arbeiten am Fraunhofer IKTS fokussieren das Bauteildesign und die Strömungssimulation, um die Diodizität und Herstellbarkeit der keramischen Tesla-Ventile weiter zu verbessern.

Sehr gute Oberflächeneigenschaften

Der Strömungswiderstand wird u. a. durch die Reibung des Fluids an der Wand beeinflusst und ist damit signifikant von der Oberflächenrauheit abhängig. Mittels CerAM VPP (Vat-Photopolymerization, Unterart der Stereolithographie) hergestellte Komponenten aus Al_2O_3 weisen auch auf doppelt gekrümmten Oberflächen Ra-Werte unter $2 \mu m$ auf und sind damit zirka eine Größenordnung besser als metallische AM-Bauteile ($Ra > 20 \mu m$). Erreicht wird dies durch feinere keramische Pulver ($< 1 \mu m$) sowie die Diffusionsprozesse während der nachgelagerten Sinterung der Bauteile.



Bild 2: Frontansicht des Tesla-Ventils mit Einlass für Gegenströmung im Vordergrund.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Design und Simulation geometrisch hochkomplexer Bauteile für verschiedenste Anwendungen
- Auswahl geeigneter keramischer, hartmetallischer oder gläserner Werkstoffe gemäß Anwendungsszenario
- Auswahl geeigneter additiver oder konventioneller Fertigungsverfahren gemäß den Anforderungen des Bauteildesigns
- Fertigung von Einzelstücken bis prototypische Serienfertigung

Wirtschaftlichere Fertigung von Siliciumnitrid-Bauteilen über Spritzgießen

Dr. Axel Müller-Köhn, Dr. Tassilo Moritz,
Dr. Rolf Wagner (Rauschert Heinersdorf-Pressig
GmbH), Dr. Jürgen Hennicke (FCT Systeme GmbH)

Die Prozesskette zur Herstellung keramischer Bauteile beinhaltet eine Vielzahl von Einzelschritten, die die Leistungsfähigkeit der Produkte erheblich beeinflussen und spezifische Produktionskosten verursachen. Zur Entwicklung eines wirtschaftlicheren Produktionswegs müssen einerseits mögliche Kostenverursacher identifiziert und andererseits Kompromisse bei den Zielwerten eingegangen werden. Am Beispiel eines Turbinenrads (Bild 1) werden für komplexe, großvolumige Siliciumnitrid-Bauteile Impulse für wirtschaftlichere Prozessschritte gegeben.

Bereits bei der Rohstoffauswahl und -aufbereitung können die Kosten gezielt beeinflusst werden. Bei der Rohstoffaufbereitung werden die keramischen Pulver zunächst mit Sinteradditiven in Kugelmahlverfahren vermischt und zerkleinert und anschließend bindemittelfrei sprühgranuliert. Durch Optimierung der Rohstoffauswahl und der Mahlbedingungen (Chargengröße, Mahlkugeln, Befüllung) sind erhebliche Kosteneinsparungen möglich, z. B. durch verkürzte Mahlprozesse sowie Einsparungen bei Energieverbrauch und Betriebsmitteln.



Bild 1: Gesintertes Siliciumnitrid-Turbinenrad.

Beim Spritzgießen von Bauteilen wird ein hoher Anteil organischer Bindemittel benötigt. Ein Vorteil wachshaltiger Bindemittelsysteme ist die Möglichkeit der mehrstufigen Entbinderung. Im Isopropanol-Bad löst sich z. B. Paraffin sehr gut auf. Restliche organische Bestandteile werden thermisch ausgebrannt. Durch diese mehrstufige Entbinderung lassen sich auch dicke Wandstärken, wie sie beispielsweise bei einem Turbinenrad vorkommen, umwandeln. Zudem eignen sich diese Feedstock-Formulierungen für lange Fließwege und Kombinationen von dünn-

und dickwandigen Bereichen. Das keramische Spritzgießen ermöglicht damit die Herstellung endkonturnaher Bauteile mit einem hohen Grad an Materialeffizienz im Vergleich zur Grünbearbeitung gepresster Rohlinge.

Eigenschaften gesinteter Turbinenräder

	1750 °C, 20 bar	1860 °C, 50 bar
Entbinderung	Kombiniert, N ₂	Kombiniert, N ₂
Sinterdichte	3,24 g/cm ³	3,25 g/cm ³
Ra-Wert	0,99 µm	2,16 µm
3-Punkt-Biegefestigkeit	910 MPa	950 MPa
Weibull modulus	11	13

Als Alternative zu etablierten Luftentbinderungsverfahren arbeitet das Fraunhofer IKTS an effizienteren kombinierten Brennverfahren, die bei Siliciumnitrid unter Stickstoff durchgeführt werden. Für die Turbinenradgeometrie konnte gezeigt werden, dass bei einer kombinierten Entbinderung von Extraktion und thermischer Zersetzung große Wanddickenunterschiede realisierbar sind. Typischerweise werden Siliciumnitrid-Werkstoffe bei über 1800 °C und einem hohen überlagerten Gasdruck von 50 bar Stickstoff gesintert, um eine gute Verdichtung zu ermöglichen. Auch in Versuchen mit niedrigeren Prozessdrücken von 20 bar und Temperaturen von 1750 °C zeigten die gesinterten Werkstoffe gute mechanische Eigenschaften. Zukünftig könnten somit auch größere bzw. wirtschaftlichere Öfen für die Serienproduktion eingesetzt werden.

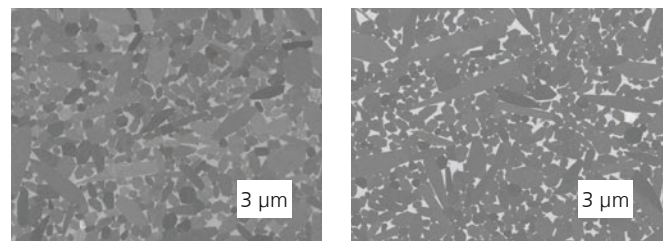


Bild 2: Mikrostruktur der gesinterten Turbinenräder bei 1750 °C und 20 bar links bzw. 1860 °C und 50 bar rechts.

Bislang waren die hohen Kosten für die Herstellung von Siliciumnitrid-Bauteilen eines der Hindernisse für eine breitere Nutzung des Materials. Durch günstigere Produktionskosten können neue Anwendungsfelder erschlossen werden, die bisher nicht zugänglich waren. Das Projekt »FlexHY« wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert (FKZ: 19I21003G).

CFK-Spalttöpfe in energieeffizienten Hochleistungspumpen

Dipl.-Ing. Till Schulze, Prof. Henning Heuer,
Dipl.-Ing. (FH) Christian Pilz, Dipl.-Ing. (FH) Matthias Pooch, M. Sc. Martin Schulze

Zur Förderung aggressiver und gefährlicher Chemikalien werden magnetgekoppelte Kreiselpumpen eingesetzt. Ein sogenannter Spalttopf befindet sich zwischen den Magnetreihen und trennt den Antrieb vom Fördermedium. Während des Betriebs der Pumpe werden durch Rotation Wirbelströme in die Spalttopfstruktur induziert. Da sich bei metallischen Töpfen durch die hohe elektrische Leitfähigkeit Wirkungsgradverluste von 10 bis 15 % ergeben, werden diese zunehmend durch CFK-Konstruktionen ersetzt. Die verringerte Wirbelstrominduktion aufgrund geringerer Leitfähigkeit wird weitestgehend durch größere Wandstärken kompensiert, die wiederum benötigt werden, um dem enormen Druck von bis zu 120 bar standzuhalten. Ziel der Arbeiten am Fraunhofer IKTS war es, den Spalttopf so zu dimensionieren, dass einerseits die Wirbelstromverluste weiter minimiert und andererseits die geforderten Festigkeiten bei reduzierter Wandstärke gewährleistet werden.

Zur elektromagnetischen Simulation der Wirbelströme im CFK wurde zunächst die elektrische Leitfähigkeit der verwendeten Gewebebänder an einem Prüfstand der TU Dresden ermittelt. Wichtige Kenngrößen der Komponenten (Koerzitivfeldstärken und B-H-Kurven) wurden Datenblättern entnommen und in das Simulationsprogramm Ansys Maxwell eingepflegt. Es folgte eine Simulation mit einer typischen Pumpendrehzahl von 3600 min⁻¹.

Iterativ wurden nun der Lagenaufbau des Materials verändert und die entstehenden Wirbelstromverluste simuliert.

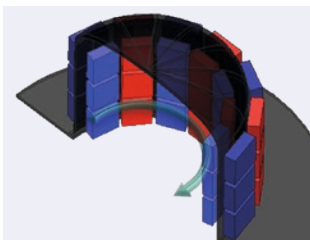


Bild 1: Spalttopf mit zwei Magnetreihen.

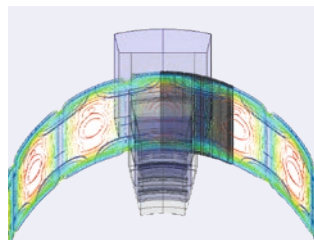


Bild 2: Wirbelstromsimulation in der Spalttopfstruktur.

Zusammen mit dem Kooperationspartner Connova AG wurde so eine optimierte CFK-Struktur entwickelt, die eine Wirbelstromreduktion um ca. 95 % ermöglicht. Messungen an einem Ersatzmodell der optimierten und der klassischen Struktur bestätigten das Ergebnis. Der Skin-Effekt besagt, dass sich Wirbelströme u. a. bei hoher Leitfähigkeit an der Oberfläche ausbreiten. Dieser Effekt zeigte sich im klassischen Aufbau deutlicher als im optimierten Material. Dadurch wurden die verdeckten Lagen im optimierten Scan sichtbar (Bild 3).

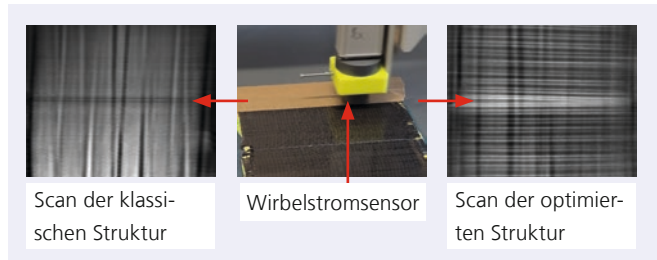


Bild 3: Wirbelstromscans vom klassischen und optimierten Ersatzmodell.

Validiert wurde die Simulation an Messungen realer Spalttöpfe. Hierzu wurde ein Prüfstand aufgebaut, der die Last der Pumpe durch eine Wirbelstrombremse aufbringt, einen schnellen Wechsel von Spalttöpfen ermöglicht und über mehrere Getriebe-stufen typische Betriebsdrehzahlen zulässt. Verglichen wurden drei Spalttöpfe, bestehend aus reinem CFK, nicht leitfähigem GFK und aus der optimierten Struktur. In jedem Prüfkörper wurden an gleichen Positionen Spulen implementiert, um die Wirbelstromverluste zu bewerten. Die Sensorsignale der Spulen und die Leistungsaufnahme des Motors wurden bei Versuchen in definierten Drehzahlbereichen der Spalttöpfe ausgewertet. Die Messungen bestätigten die Simulationen qualitativ.

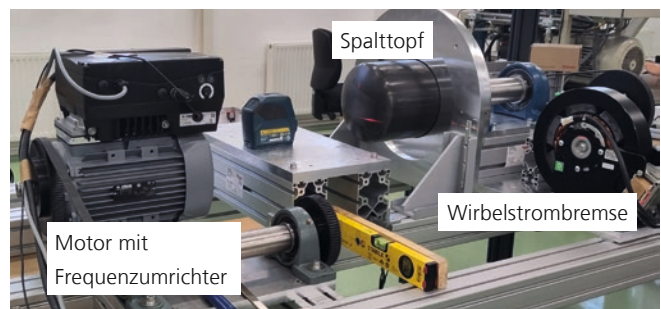


Bild 4: Aufbau des Prüfstands.

Zukünftig sollen die Spalttöpfe auch für höhere Drehzahlen, bspw. für gasförmige Fördermedien, qualifiziert werden.

Neuartige biogene Bau- und Konstruktionsmaterialien zur CO₂-Fixierung

Dr. Matthias Ahlhelm, Dipl.-Ing. Peter Schmieder,
Dr. Ulla König, B.Sc. Marleen Dietze,
Dipl.-Ing. Olena Reinhardt, Prof. Michael Gelinsky

Lebende (Bau-)Materialien (LBM) können Kohlendioxid (CO₂) gezielt aufnehmen und dieses in Carbonat bzw. Kalk (Calciumcarbonat, CaCO₃) umwandeln. Das benötigte CO₂ kann dabei sowohl aus der Atmosphäre aufgenommen als auch industriellen Prozessen entzogen werden. In den LBM enthaltene Mikroorganismen, wie Cyanobakterien, nutzen das CO₂ zur Calciumcarbonat-Mineralisierung (MICP = microbially induced calcium carbonate precipitation).

Für die Mineralisierung und Verfestigung des Kalks zu biogenen Strukturen ist ausreichend Licht und Feuchtigkeit Voraussetzung. Denn nur so können die Mikroorganismen Photosynthese und damit MICP betreiben. Der biogene Kalk dient als Binderkomponente zwischen ausgesuchten Füll- und Zuschlagstoffen und bildet so die Grundlage für nachhaltige Bau- und Konstruktionsmaterialien. Diese können zukünftig, je nach Umsetzung, zu Land und zu Wasser verwendet werden. Perspektivisch sind auch Anwendungen im Weltraum denkbar.

Die Spielräume für diese vielseitigen Materialien und Materialkombinationen sind groß. Sie adressieren die essenziellen gesellschaftlichen Themen zur Treibhausneutralität in der Industrie, nachhaltiges Wirtschaften in Kreisläufen, Energie, Umwelt und Gesundheit.

Herstellung von Living Building Materials

Im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts »BioCarboMin« (FKZ: 13XP5162A) und des Fraunhofer-internen Projekts »BioCarboBeton« ist es gelungen, solch biogen verfestigte Strukturkörper herzustellen.

Erstmals können über die IKTS-Erfindung Gefrierschäumung, einfache Gusstechnologien oder auch additive Fertigung (AM) Strukturen hergestellt werden, die ein Überleben der Bakterien ermöglichen. Die durch Chlorophyll verursachte Grünfärbung beweist, dass die Mikroorganismen in der Struktur lebendig sind (Bild 1).



Bild 1: »Lebende« geschäumte Strukturkörper.

Die gewählten Materialien und das Design der Strukturen sowie optimierte Mineralisierungsparameter (Belichtung, Temperatur und Feuchtegehalt) versetzen die lebenden Bakterien in die Lage, Calciumcarbonat bis hin zu verfestigten Komponenten zu bilden (Bild 2, 3). Zudem kann eine Art Premix hergestellt werden, der durch Mischen mit Lösungsmittel, wie Wasser, als potenzieller »biogener Mörtel« verwendet werden kann.



Bild 2: Verfestigter biogener »Porenstein«.

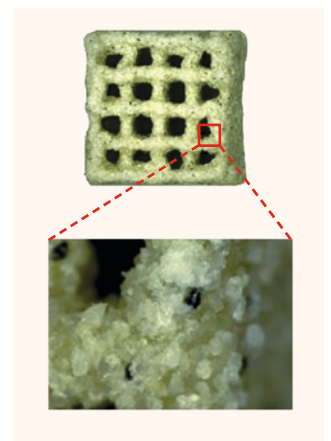


Bild 3: Verfestigte AM-Struktur (Quelle: TU Dresden).

In naher Zukunft soll das Überleben der Mikroorganismen gezielt gesteuert werden. Bisher werden die biogenen Komponenten durch Mikroorganismen erzeugt, die am Ende des Mineralisierungsprozesses absterben und als unbedenkliche Biomasse vorliegen. Der entwickelte Ansatz stellt eine Alternative zu konventionellen Zement- und Betonmischungen dar, bei deren Herstellung typischerweise tonnenweise CO₂ aus dem Brennen von abgebautem fossilem Kalk erzeugt wird. Diese neuen biogenen Bau- und Konstruktionsmaterialien mit nachhaltiger CO₂-Fixierung tragen daher doppelt zur CO₂-Reduktion bei: während der Herstellung und während des Gebrauchs.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



KI-generiertes individuelles Fingergelenkimplantat

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

Patientenindividuelle Gelenkimplantate versprechen eine bessere Passgenauigkeit und damit eine bessere Funktionalität sowie eine höhere Lebensdauer als konventionelle Implantate. Besonders für Kleingelenke, bei denen die Möglichkeiten zur Remobilisierung aktuell begrenzt sind und die Versteifung die Standardtherapie ist, versprechen individuelle Implantate eine bessere Versorgung und mehr Lebensqualität für die Patienten.

Die Fraunhofer-Institute IKTS, MEVIS, IAPT, ITEM und IWM haben im Projekt »FingerKit« eine autonome Prozesskette vom Implantatdesign über die Herstellung individueller Implantate bis hin zur normgerechten Prüfung entwickelt.



Bild 1: Individuelles, keramisches Mittelfingergrundgelenk. (Foto: Jürgen Scheere)

Shape-Model, Implantatdesign und Simulation

Auf der Grundlage klinischer 2D-Röntgenbilder und 3D-CT-Aufnahmen hat das Fraunhofer MEVIS 3D-Shape-Modelle der Knochenstruktur erzeugt. Darauf aufbauend generierte das Fraunhofer IAPT KI-basiert individuelle Implantatdesigns. Mittels Parametrisierung und Simulation erstellte das Fraunhofer IWM ein Modell zur Zuverlässigkeitsvorhersage der Implantate.

Near-Net-Shape-Schlickerguss für patientenspezifische Fingergelenkimplantate

Keramiken besitzen exzellente mechanische Eigenschaften und sind zudem hoch verschleißbeständig sowie biokompatibel. Sie sind daher verträglicher als Metall- und Kunststoff-Implantate, bei denen es zu Abrieb kommen kann. In der Hüftendoprothetik haben sich besonders Dispersionskeramiken wie Aluminiumoxid-verstärktes Zirkonoxid (ATZ) etabliert.



Bild 2: Fingergelenkimplantat aus ATZ-Keramik mit osseointegrativem Schaft und polierter Artikulationsfläche. (Foto: Jürgen Scheere)

Mittels Schlickerguss wurden am Fraunhofer IKTS patientenindividuelle Fingergelenkimplantate aus dem etablierten oxidkeramischen Implantatwerkstoff ATZ in einem Arbeitsschritt gefertigt. Im Gegensatz zur konventionellen Fertigung mittels Fräsen ist beim Schlickerguss keine zusätzliche Nachbearbeitung der osseointegrativen Oberfläche des Schaftes nötig. Es wurde eine Kreuzstruktur mit einer Höhe von 200 µm realisiert, deren Oberfläche wiederum eine Rauheit von Ra 12,5 µm aufweist, um eine optimale Zelladhäsion zu ermöglichen.

Durch das einfach zu skalierende Gleitschleifen und -polieren des Implantats wird eine hohe Güte der Artikulations- und Kontaktfläche erzeugt, Materialabrieb vermieden und eine hohe Robustheit erreicht. Die mechanische Belastbarkeit der Implantate von bis zu 3500 N übertrifft die in vivo auftretenden Belastungen im implantierten Zustand von etwa 500 N um ein Vielfaches.

Die Prozesskette vom KI-basierten Implantatdesign zur Near-Net-Shape-Fertigung von ATZ zeigt großes Potenzial, den Ansatz individueller Implantate auf andere Kleingelenke zu erweitern.

Eigenschaften des individuellen Fingergelenkimplantats aus ATZ-Keramik

Design	Individuell, KI-generiert aus 2D-Röntgendaten
Dichte	> 99,9 % theoretische Dichte
Artikulationsfläche	Poliert, Ra 0,08 µm
Osseointegrativer Schaft	Makro: Netzstruktur, Höhe 200 µm, Mikro: Ra 12,5 µm
Biologische Kompatibilität	Sehr gut
Bruchkraft (in Anlehnung an ISO 14801)	3500 N

AGEUM – Analytiktechnikum bewertet Gesundheitsrisiken von Umweltverschmutzung

Dr. George Sarau, Dr. Arslan Usman, Dr. Mustafa Kocademir, Dr. Hyoungwon Park, Dr. Sabrina Pechmann, Prof. Silke Christiansen

Im Analytiktechnikum für Gesundheits- und Umweltforschung (AGEUM) am Standort Forchheim des Fraunhofer IKTS bieten neuartige, hochmoderne Mikroskopie- und Spektroskopietechniken starke Charakterisierungs- und Datenanalysekapazitäten zur Bewertung potenzieller Gesundheitsrisiken durch Umweltverschmutzung. Umweltfaktoren wie Smog, Mikro-/Nanoplastik, Bremsstaub oder Reifenabrieb (Ultrafeinstaub) zeichnen sich durch eine hohe Partikelheterogenität und eine starke Komplexität ihrer biologischen Wechselwirkungen mit lebenden Organismen aus. Daher wird ein komplementärer, multimodaler und skalenübergreifender Analyseansatz verfolgt. Röntgenfluoreszenz (XRF)-Mikroskopie bietet eine hohe Elementempfindlichkeit bis hinunter zum Kohlenstoff, variable Messpunktgrößen (100 μm für statistisch signifikante großflächige Scans, $\sim 15 \mu\text{m}$ für räumlich detaillierte Elementverteilungen) und einen zusätzlichen Transmissionsdetektor zur Abbildung interner Strukturen. XRF identifiziert und quantifiziert Elemente in Umweltproben, in der Regel Pulver und Luftfilter (Bild 1).

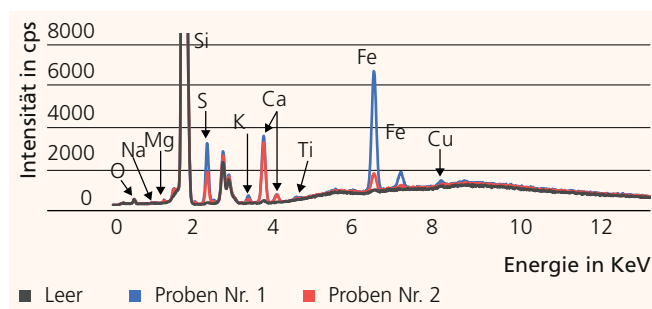


Bild 1: XRF von Quarzfiltern, die städtischer (Probe 1), ländlicher (Probe 2) und keiner Umweltverschmutzung (Leer) ausgesetzt waren, mit mehr Eisen (Fe) und Schwefel (S) in der Stadt aufgrund verstärkter menschlicher Aktivität.

Die integrierte Plattform mit Coherent Raman Scattering (CRS), Second Harmonic Generation (SHG), Fluoreszenz (FL) und Fluoreszenz Lifetime Imaging Mikroskopie (FLIM) bietet einen hohen Durchsatz, eine hohe Auflösung und die nicht-invasive Partikeldetektion in komplexen biologischen Matrizen auf Zell-, Organ- und Kleintierebene. Mittels CRS, stimulierter

Raman-Streuung (SRS) und kohärenter Anti-Stokes-Raman-Streuung (CARS) können chemisch verschiedene Partikel (Plastik, Kohlenstoff-, Metalloxid-basiert) und biologische Komponenten (Lipide, Proteine, Kollagen) identifiziert werden, ohne die Proben zu beeinträchtigen. Diese hohe Sensitivität kann in Kombination mit maschinellem Lernen dazu verwendet werden, Partikel zu lokalisieren, zu zählen und nach Größe und Form zu klassifizieren – trotz komplexer biologischer Zusammenhänge (Bild 2). CRS kann direkt auf pathologische Proben angewendet werden, um die Anhäufung von Partikeln in Organen und Körperflüssigkeiten mit den klinischen Daten der Patienten zu korrelieren.

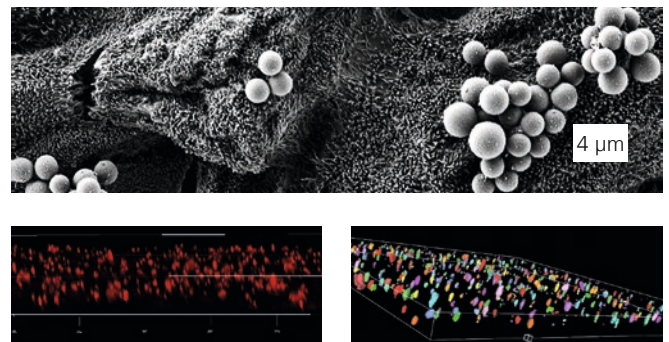


Bild 2 oben: Das REM-Bild zeigt Polystyrol (PS)-Partikel, die auf Calu-3-Lungenzellen liegen. Unten links: 3D-Verteilung der PS-Partikel in und auf den Zellen, gemessen mit SRS. Rechts: Maschinelles Lernen zeigt Anzahl, Größe, Form der Partikel.

Ergänzend können mit der Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie (FTIR) Schwingungsmodi gemessen werden, die mit Änderungen des Dipolmoments verbunden sind. FTIR ermöglicht so labelfreie, hyperspektrale Infrarot-Bildgebung mit hohem Durchsatz und hoher Empfindlichkeit für die schnelle Charakterisierung und Quantifizierung von Umweltpartikeln in komplexen biologischen Systemen. Insgesamt werden diese drei Instrumente neue Erkenntnisse über die Verteilung und das Eindringen von Partikeln in verschiedene Organismen liefern und so die möglichen Auswirkungen von Umweltverschmutzungen auf die menschliche Gesundheit aufklären.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- S2-Biolabor für die Probenvorbereitung mit Kryo-Workflow
- XRF zur Elementaranalyse
- Integrierte konfokale Mikroskop-Plattform für labelfreie chemische Bildgebung und molekulares Fingerprinting
- FTIR für die hyperspektrale chemische Bildgebung
- Rasterelektronenmikroskop (REM) mit hochauflösendem In-Operando-Nano-CT für 2D- und 3D-Bildgebung

Systematische Schadensanalyse von keramischen Komponenten

Dr. Mathias Herrmann, Dr. Björn Matthey,
Dr. Sören Höhn

Die systematische Schadensfallanalyse wird zum Beispiel eingesetzt, um das Versagen von Systemen zu verstehen (z. B. den Bruch des Aquadom in Berlin, die Zugunglücke in Eschede oder Garmisch-Partenkirchen) und diese Systeme sicherer zu machen. Angewendet auf keramische Komponenten kann sie helfen, Schwachstellen in der Produktion oder im Design aufzuspüren und entsprechende Anpassungen vorzunehmen bzw. Maßnahmen zur Qualitätssicherung (einschließlich zerstörungsfreier Prüfung) zu etablieren. Darüber hinaus hilft die Analyse dabei, geeignete Werkstoffe auszuwählen bzw. Werkstoffe für die geforderten Beanspruchungen zu ertüchtigen.

Das Fraunhofer IKTS hat langjährige Erfahrungen mit der Analyse von Ausfallursachen keramischer Komponenten. Diese basieren auf einem umfassenden Werkstoff-Know-how und ausgefeilten analytischen Möglichkeiten, die sowohl neuen Werkstoff- und Komponentenentwicklungen als auch der Vermeidung von Ausfällen in der Industrie zugutekommen.

Insbesondere bei mechanischer, thermomechanischer, korrosiver oder auch elektrischer Belastung ist die fraktographische Untersuchung der Bruchflächen ein wesentliches Werkzeug, um die Ausfallursache zu erkennen bzw. einzugrenzen. Bild 1 zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Bruchfläche eines SiC-Bauteils mit einem inneren Kanal, die unter chemischer/thermischer Belastung entstanden ist. Die Analyse hat gezeigt, dass die primäre Versagensursache nicht der chemische Angriff war, sondern dass durch Oberflächenbearbeitung erzeugte Defekte das Festigkeitsniveau herabgesetzt haben – die im Ergebnis der Analyse durch eine optimierte Bearbeitung vermieden werden konnten.

Mitunter muss geklärt werden, warum es bei einzelnen Werkstoffchargen zu erhöhten Ausfällen kommt. In diesem Fall ist neben der eigentlichen Defektanalyse eine systematische, statistisch abgesicherte Gefügeanalyse notwendig, um die relative Häufigkeit der identifizierten Defekte bestimmen und damit Unterschiede in den Chargen verifizieren zu können. Die relevanten Defekte sind oft die »Nadel im Heuhaufen«. Um sie zu finden, müssen große Bereiche zuverlässig analysiert werden.

Hierfür bieten sich auf die Messfläche bezogene Verteilungen an, da diese die Häufigkeit der Defekte im Volumen widerspiegeln. Ein Beispiel zeigt Bild 2. Hier ist die Porenverteilung in Wälzkörpern von drei Chargen dargestellt. Eine Charge weist ein ungenügendes tribologisches Verhalten auf. Erst die Analyse einer mehrere Millimeter großen Fläche erlaubt die sichere Unterscheidung zwischen den Qualitäten.

Das Fraunhofer IKTS bietet die Schadensanalyse von keramischen Komponenten an und erarbeitet gemeinsam mit seinen Partnern Strategien zur Schadensvermeidung durch Technologie-, Werkstoff- oder Designanpassung oder die Einführung von qualitätssichernden Maßnahmen.

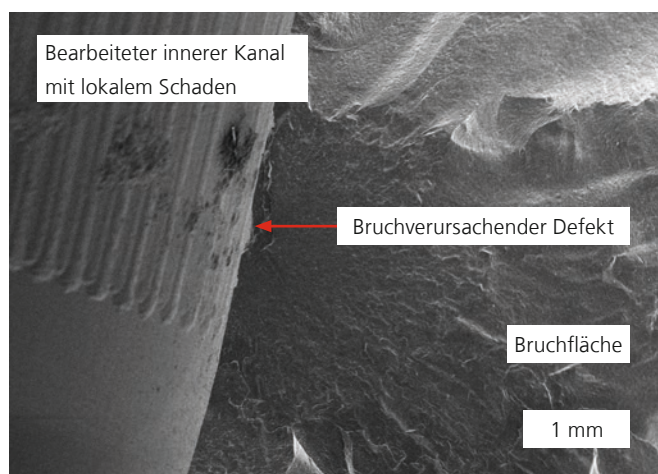


Bild 1: REM-Bild einer Bruchfläche eines SiC-Bauteils.

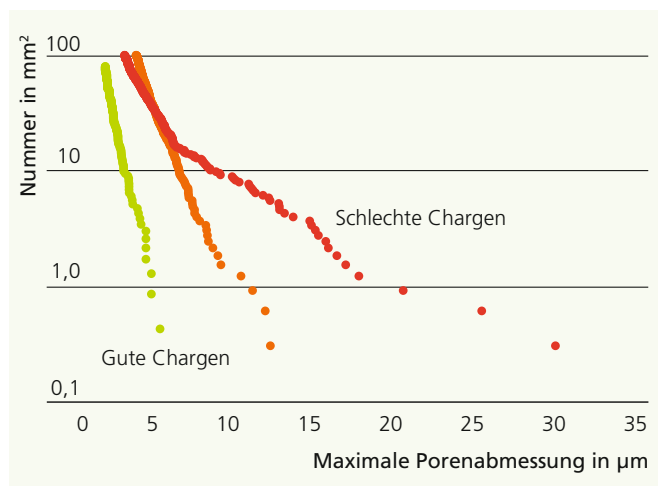


Bild 2: Flächenbezogene Porenverteilung von drei Si_3N_4 -Wälzkörperchargen.

Bruchzähigkeit von 3Y-TZP-Keramik – Messung mit der CNB-Methode

Prof. Bogna Stawarczyk (Ludwig-Maximilians-Universität München), Prof. Jürgen Geis-Gerstorfer (Universitätsklinikum Tübingen), Dr. Sabine Begand

Bei der Charakterisierung der Bruchzähigkeit (K_{Ic}) von feinkörnigen Zirkoniumdioxid-Polykristallen werden verschiedene genormte, mechanische Messmethoden eingesetzt, z. B. die Verfahren Single-Edged Precracked Beam (SEPB), Single Edge V-Notched Beam (SEVNB), Surface Crack in Flexure (SCF) und Chevron-Notch Beam (CNB). Literaturdaten zeigen, dass die Bruchzähigkeit von 3Y-TZP (mit 3 Mol-% Y₂O₃-dotiertes tetragonales polykristallines Zirkonoxid) im Bereich von 4,4–6,6 (13,6) MPa√m gemessen wurde, wobei die Unterschiede in Standardabweichung und Varianz zu groß sind [1]. Bisher fehlt also eine robuste Testmethode zur Bestimmung der Bruchzähigkeit der feinkörnigen Dentalkeramik 3Y-TZP. Aus diesem Grund beteiligte sich das Fraunhofer IKTS als eines von zehn Testlaboren an einem Ringversuch, der die Robustheit der CNB-Testmethode und die Auswirkung von Verarbeitungs- und Testvariationen auf die Bruchzähigkeit einer 3Y-TZP Keramik untersuchte. Bei der CNB-Methode wird der Testkörper mit einer Kerbe versehen, um dann mit zunehmender Belastung den zu untersuchenden Bruch zu erzeugen. Der Ringversuch wurde gemäß ISO 24370:2005 unter Verwendung einheitlicher 3Y-TZP-Probekörper mit den Abmessungen 3 x 4 x 45 mm³ durchgeführt. Die teilnehmenden Labore legten ein Standardarbeitsverfahren mit engen Verarbeitungstoleranzen fest und die Daten wurden mittels Einweg-ANOVA und anschließendem Tukey-HSD-Test analysiert. Es wurden 95 %-Konfidenzintervalle (CI) berechnet ($p < 0,05$). Ein vorausgehender Ringversuch, an dem das IKTS auch beteiligt war, betrachtete bereits weitere Variationen der Prüfbedingungen hinsichtlich der CNB-Kerbung, der Lagerungsbedingungen und des Prüfmediums.

Im Ergebnis aller Labore konnte die Bruchzähigkeit von 3Y-TZP mit $K_{Ic} = 4,48 \pm 0,11$ MPa√m für die Standardverarbeitungstoleranz gemessen werden. Die Anwendung des Standardarbeitsverfahrens erhöhte die Anzahl der gültigen Tests und verringerte die Standardabweichung. Präparationsparameter wie Kerbversatz und -geometrie hatten einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse. Auch das verwendete Prüfmedium beeinflusste den K_{Ic} -Wert. So wurde unter Wasser eine reduzierte Bruchzähigkeit von $3,71 \pm 0,52$ MPa√m gemessen.

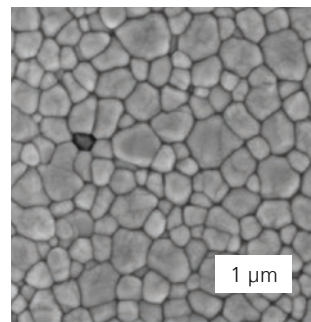


Bild 1: REM-Aufnahme einer 3Y-TZP Keramik.

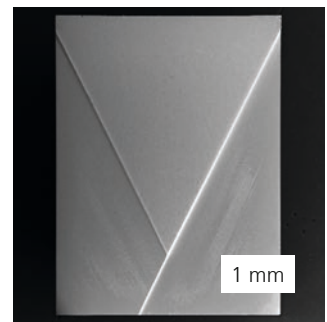


Bild 2: REM-Aufnahme eines gebrochenen Chevron-Kerbs.

Durch definierte Toleranzen bei der Präparation und Prüfung und die enge Anlehnung an das Verfahren nach ISO 24370:2005 ist eine hochpräzise Bewertung der Bruchzähigkeit von 3Y-TZP mit geringen Datenschwankungen möglich. Zudem zeigen die Versuche, dass eine standardisierte Kerbform mit definierter Vorspannung wichtig ist und als Prüfmedium Öl spezifiziert werden sollte, um jeglichen Einfluss von Fremdstoffen zu vermeiden. Die übereinstimmenden Ergebnisse der Labore des Ringversuchs zeigen, dass die CNB-Methode bei Einhaltung der Prüfparameter ein zuverlässiges Verfahren der Bruchzähigkeitsprüfung von 3Y-TZP ist. [2]

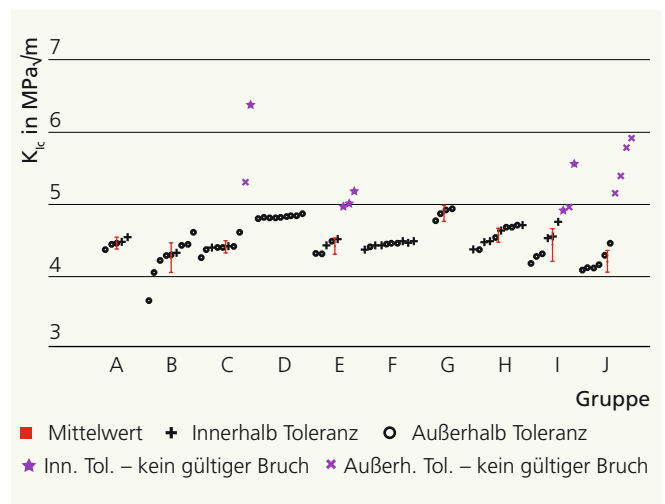


Bild 3: K_{Ic} in Öl, Einzelwerte und Mittelwert.

Literatur

- [1] R. Belli et al. (2018): Fracture toughness testing of biomedical ceramic-based materials using beams, plates and discs, 10.1016/j.jeurceramsoc.2018.08.012.
- [2] S. Begand et al. (2022): Fracture toughness of 3Y-TZP ceramic measured by the Chevron-Notch Beam method: A round-robin study, 10.1016/j.dental.2022.05.001.

Simulation thermischer Eigenschaften von Diamant-SiC-Kompositen

Dr. Björn Matthey, Dipl.-Phys. Jakob Schöne,
Dr. Wieland Beckert, Dr. Mathias Herrmann

Diamant zeichnet sich sowohl durch die höchste Härte als auch die höchste Wärmeleitfähigkeit unter allen Werkstoffe aus. Werkstoffe mit hohen Diamantanteilen haben daher ein hohes Anwendungspotenzial für Komponenten zur Kühlung von Leistungselektroniken, Lasern oder zur Prozesskühlung. Der am Fraunhofer IKTS entwickelte Siliciumcarbid gebundene Diamantwerkstoff vereint die exzellenten thermischen Eigenschaften mit der Möglichkeit, komplexe Komponenten herzustellen. Da der Werkstoff in seinem Gefüge insbesondere in Hinsicht auf die Korngrößenverteilung der Diamantphase sehr variabel zusammengesetzt werden kann, sind bisher vor allem Zusammenhänge zwischen den maximalen Diamantkorngrößen und der Wärmeleitfähigkeit bekannt [1]. Um die optimale Kornzusammensetzung und damit die gewünschten Eigenschaften zu realisieren, sind jedoch viele aufwändige und kostenintensive Prozessschritte erforderlich. Neue Methoden für ein virtuelles Werkstoff-Design mittels gezielter Gefügesimulation sollen diesen Prozess vereinfachen.

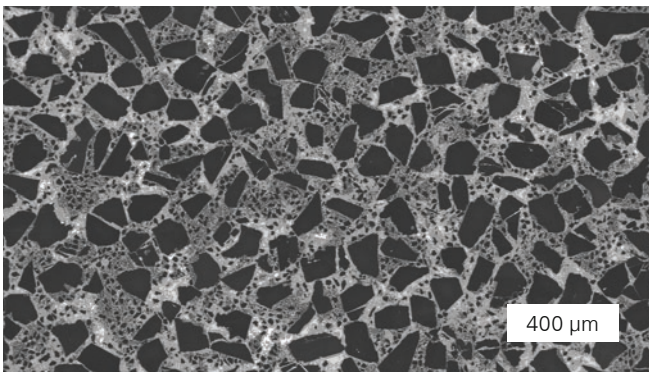


Bild 1: Gefüge eines hochwärmeleitfähigen Diamant-SiC-Kompositwerkstoffs.

Virtuelles Werkstoff-Design

Zur künstlichen Generierung von Diamant-Si-SiC-Strukturen wurde ein Workflow entwickelt, der sowohl kommerzielle Software als auch Open-Source-Software kombiniert. Die synthetisch erstellten geometrischen Grundstrukturmodelle können über eigene Import-/Export-Filter zur weiteren Verarbeitung

und physikalischen Analyse flexibel in ein breites Spektrum weiterer Modelltools exportiert werden. Der etablierte Workflow erlaubt die Erzeugung synthetischer Strukturmodelle mit einer realistischen Morphologie und variabel einstellbaren Volumenanteilen von Diamant, Si und SiC. Die vorhergesagte Wärmeleitfähigkeit zeigt eine gute Übereinstimmung mit den vermessenen Strukturen [1].



Bild 2: Künstlich generiertes 3D-Gefüge eines Diamant-SiC-Komposits als Grundlage für die Simulation der thermischen Eigenschaften.

Auf Basis dieser Arbeiten für Diamant-SiC können weiterführende 3D-Strukturmodelle und -analysen für eine Vielzahl anderer Werkstoffe durchgeführt werden, etwa für Hartmetalle und andere konventionelle keramische Werkstoffe. Neben den thermischen Eigenschaften können auch weitere physikalische Kennwerte, wie elastische und elektrische Eigenschaften simuliert werden. Perspektivisch besteht das Ziel, mittels synthetischer Struktur-Analyse-Verfahren simulationsbasiert entsprechend vorgegebener Eigenschaftsspezifikation maßgeschneiderte Materialstrukturen abzuleiten.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Analyse der Mikrostruktur von keramischen Gefügen
- Erzeugung von synthetischen Modellgefügen mit einer realistischen Morphologie
- Messung, Simulation und Korrelation einer Vielzahl physikalischer Eigenschaften

Literatur

[1] Matthey, B., Kunze, S., Kaiser, A., & Herrmann, M. (2023). Thermal properties of SiC-bonded diamond materials produced by liquid silicon infiltration. *Open Ceramics*, 100386.

Hochauflösende Charakterisierung von beschichteten Batteriepulvern

Dr. Sören Höhn, Dipl.-Ing. Kerstin Gnauck,
Dr. Mandy Höhn, M.Sc. Jean Philippe Beaupain

Die Entwicklung und Fertigung zuverlässiger und langlebiger Batterien sind für den Erfolg der Elektromobilität unerlässlich. Am Fraunhofer IKTS werden Materialien und Technologien entwickelt, die höchsten Anforderungen an Energie- und Leistungsdichten von Batterien gerecht werden. Die Beschichtung von Aktivmaterialien mittels Atomlagenabscheidung (ALD) und Sprühtrocknung ist ein Schlüsselschritt zur Erweiterung der Langlebigkeit und Energiedichte von Batterien. Wenige Nanometer dünne Schutzschichten, bspw. aus Al_2O_3 oder LiTaO_3 , verbessern die Grenzflächeneigenschaften der Aktivmaterialien, indem ungewollte Zersetzungsreaktionen zwischen den Batteriekomponenten minimiert werden. Zur Präparation und Charakterisierung dieser dünnen Schichten wird ein am Fraunhofer IKTS entwickelter Workflow genutzt, der inerten Bedingungen für den kompletten Analyseprozess garantiert (Bild 1).

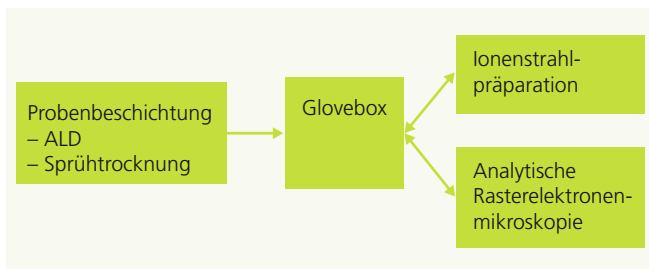


Bild 1: Workflow zur Probenherstellung und Charakterisierung unter inerten Bedingungen.

Mit am Fraunhofer IKTS etablierten ionenstrahlbasierten Präparationsmethoden werden großflächige Gefügebereiche artefaktfrei als Querschnitt präpariert. Dabei verhindert die In-situ-Probenkühlung mit flüssigem Stickstoff das Erwärmen der Proben.

Die präzise geschnittenen Batteriepulverpartikel werden im Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop (FE-SEM) abgebildet und charakterisiert. Bild 2 zeigt Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt-Oxid (NMC)-Pulverpartikel, die mit einer ca. 40 nm dünnen Al_2O_3 -Schicht im ALD-Verfahren beschichtet wurden. Um ultradünne Schichten im FE-SEM kantenscharf und oberflächensensitiv abzubilden und zu charakterisieren, muss bei niedrigen Beschleunigungsspannungen gearbeitet werden. Damit ist das

Wechselwirkungsvolumen der Primärelektronen mit der Probe so gering, dass Partikel und Beschichtung zuverlässig analysiert werden können.

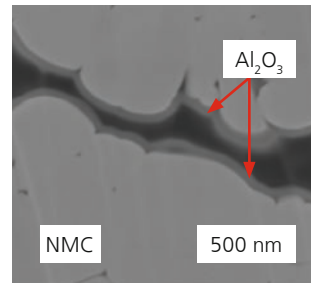


Bild 2: FE-SEM-Aufnahme von mittels ALD mit Al_2O_3 beschichteten NMC-Granalien.

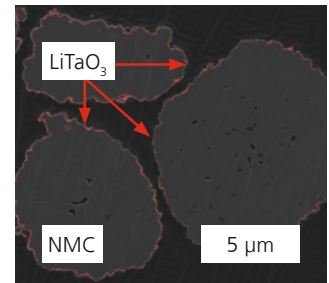


Bild 3: FE-SEM-Aufnahme mit überlagertem EDX-Tantal-Signal von mittels nass-chemischer Sprühtrocknung LiTaO_3 beschichteten NMC-Partikeln.

Für die Charakterisierung mittels energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX) kommt bei der Niederspannungsmikroskopie ein fensterloser SDD-Detektor zum Einsatz. Dieser zeichnet sich durch hohe Signalintensitäten und hohe Sensitivität aus. Damit ist es beispielsweise möglich, die homogene Verteilung einer wenige Nanometer dünnen LiTaO_3 -Schicht auf NMC-Partikeln mittels EDX-Mapping abzubilden (Bild 3).

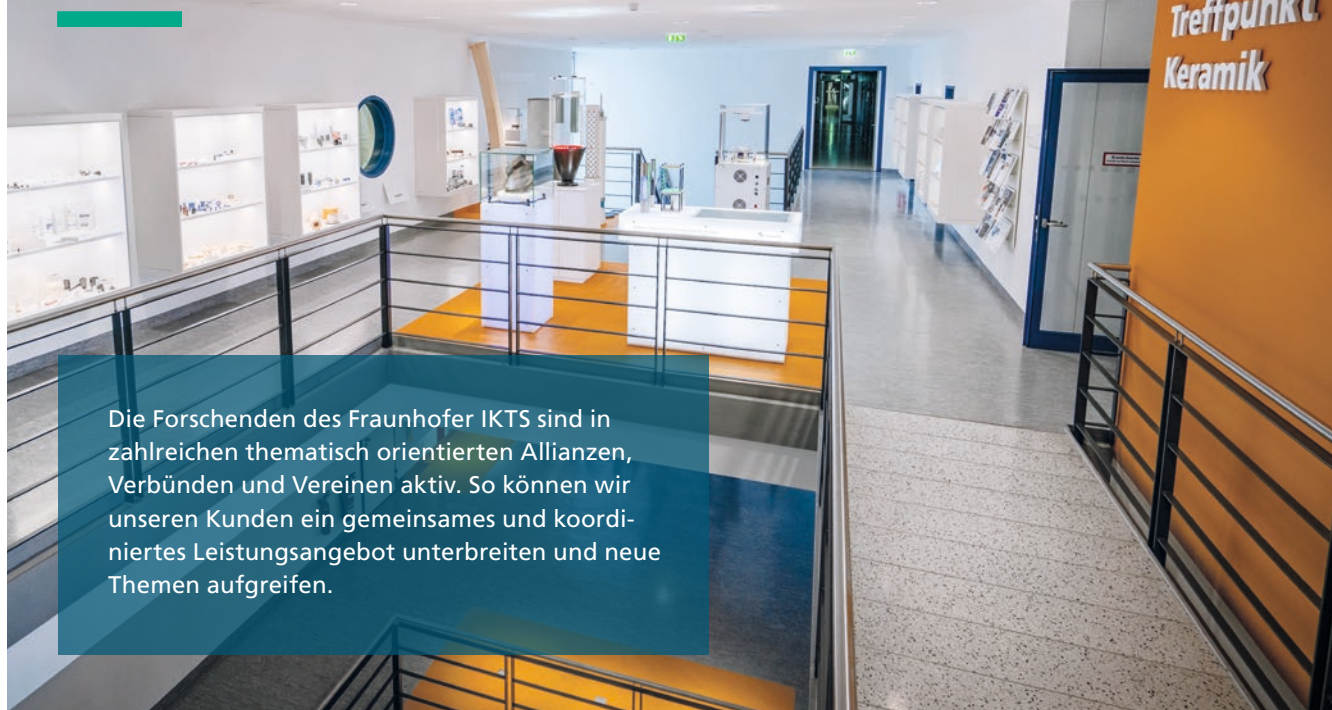
Für weiterführende Schichtanalysen (z. B. Schichthaftung, atomarer Aufbau) steht am Fraunhofer IKTS zudem ein hochauflösendes Transmissionselektronenmikroskop (HR-TEM) zur Verfügung. Durch die Anwendung hochentwickelter Analysemethoden trägt das Fraunhofer IKTS entscheidend dazu bei, die Herausforderungen bei der Materialentwicklung für langlebige und leistungsstärkere Batterien zu meistern.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Pulverbeschichtung mittels Atomlagenabscheidung (ALD) und Sprühtrocknung
- Artefaktfreie Gefügepräparation von Batteriematerialien und wasserempfindlichen Proben unter inerten Bedingungen
- Hochauflösende analytische Rasterelektronenmikroskopie (FE-SEM) und Transmissionselektronenmikroskopie (HR-TEM)

Diese Arbeit wurde finanziell gefördert durch das AiF Forschungsnetzwerk Mittelstand (IGF-Vorhaben 22233 BR).

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.

Deutsche Gesellschaft für Kristallographie e. V. (DGK)	Expertenkreis Hochtemperatursensorik in der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V.
Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM)	
Deutsche Gesellschaft für Membrantechnik e. V. (DGMT)	Expertenkreis Keramikspritzguss (CIM) in der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. (DKG)
Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V. (DGZfP)	Fachverband Biogas e. V.
Deutsche Glastechnische Gesellschaft e. V. (DGG)	Fachverband Pulvermetallurgie
Deutsche Keramische Gesellschaft e. V. (DKG)	FarmTech Society (FTS) ASBL
Deutsche Phosphor Plattform	Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum e. V.
Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.	Fördergesellschaft Erneuerbare Energien (FEE)
Deutsche Plattform NanoBioMedizin	
Deutsche Thermoelektrik-Gesellschaft (DTG)	Förderkreis Abgasnachbehandlungstechnologien für Dieselmotoren e. V. (FAD)
Deutsche Industrie- und Handelskammer (DIHK), Industrie- und Forschungsausschuss	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
DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)	Fraunhofer-Allianz Chemie
DKG Anwenderkreis Additive Keramische Fertigung	Fraunhofer-Allianz Energie
DRESDEN-concept e. V.	Fraunhofer-Allianz SysWasser
Dresdner Fraunhofer-Cluster Nanoanalytik	Fraunhofer-Forschungsfeld Leichtbau
ECPE European Cluster for Power Electronics	Fraunhofer-Kompetenzfeld Additive Fertigung
EIT Health	Fraunhofer-Geschäftsbereich Adaptronik
Energy Saxony e. V.	Fraunhofer-Netzwerk Nanotechnologie FNT
Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS)	Fraunhofer-Netzwerk Simulation
Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V.	Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS
European Powder Metallurgy Association (EPMA)	Gemeinschaft Thermisches Spritzen e. V. (GTS)

Gemeinschaftsausschuss Hochleistungskeramik der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. und der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V.	medways e. V.
Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) e. V.	Meeting of Refractory Experts Freiberg e. V. (MORE)
Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung e. V. (GFE)	microTEC Südwest e. V.
Gesellschaft für Korrosionsschutz e. V. (GfKORR)	Nachhaltigkeitsabkommen Thüringen
HERMSDORF e. V.	NAFEMS – International Association Engineering Modelling
HYPOS Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e. V.	OptoNet e. V.
HySON – Förderverein Institut für Angewandte Wasserstoffforschung Sonneberg e. V.	Organic Electronics Saxony e. V.
InDeKo Innovationszentrum Deutschland Korea	Ostthüringer Ausbildungsverbund e. V. Jena
InfectoGnostics Forschungscampus Jena e. V.	ProcessNet – eine Initiative von DECHEMA und VDI-GVC
Initiative Erfurter Kreuz e. V.	QBN Quantum Business Network
Innovations-Institut für Nanotechnologie und korrelative Mikroskopie – INAM e. V.	Rail.S e. V.
Innovationszentrum Bahntechnik Europa e. V.	Regionale Aktionsgruppe Saale Holzland e. V.
Institut für Anwendungstechnik	Silicon Saxony e. V.
Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA)	smart ³ e. V.
Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gGmbH	SmartTex-Netzwerk
International Microelectronics and Packaging Society, IMAPS Deutschland e. V.	Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk e. V. (THEEN)
International SOS GmbH	Thüringer Wasser-Innovationscluster
International Zeolite Association	Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e. V. (TITK)
ISSS Geschäftsstelle IGD-R	Treffpunkt Keramik
JenaVersum e. V.	TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V.
KMM-VIN (European Virtual Institute on Knowledge-based Multifunctional Materials AiSBL)	TWI Innovation Network
Kompetenzzentrum Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen/Thüringen e. V. (LRT)	VDMA Arbeitsgemeinschaft Medizintechnik
Kompetenzzentrum nanoeva®	VDMA Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.
Materialforschungsverbund Dresden e. V. (MFD)	Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)
	Verein für Regional- und Technikgeschichte e. V. Hermsdorf
	Wachstums kern smood® – smart neighborhood
	Wind Energy Network Rostock e. V.

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Kontakt

Verbundvorsitzender

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

Stellv. Verbundvorsitzender

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

Geschäftsführung

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

Treffpunkt Keramik

Der Treffpunkt Keramik in Dresden ist weiterhin ein fester Bestandteil der Öffentlichkeitsarbeit des Instituts. 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 Exponate aus der Energie- oder Wasserstofftechnologie nicht. Auch nach 20 Jahren Treffpunkt Keramik in Dresden springt die Faszination des Werkstoffs auf die Gäste über.

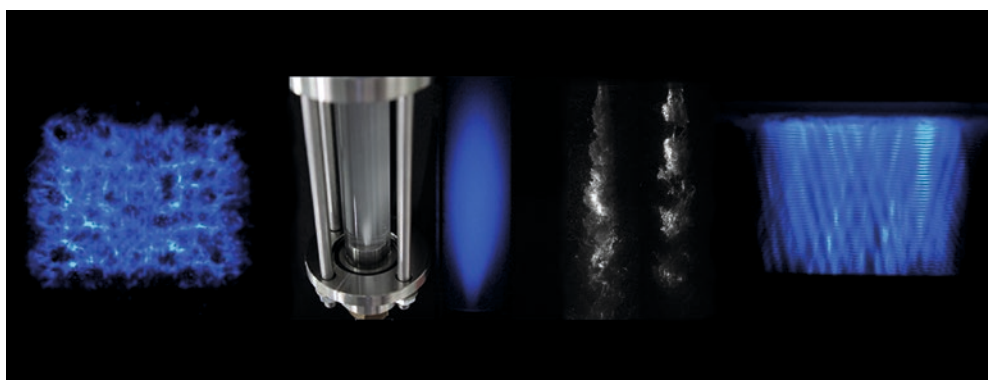
Im Jahr 2024 werden wieder Seminarveranstaltungen und Schulungen des Fraunhofer IKTS sowie der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. (DKG) und der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM) stattfinden. Inhouse-Schulungen bei Unternehmen sind ebenfalls eine Option.

Am IKTS-Standort Hermsdorf wurde im März 2024 ein weiterer »Treffpunkt Keramik« eingeweiht. In vier Vitrinen werden Exponate aus den Forschungsschwerpunkten des Standorts Oxidkeramik, Funktionskeramik, Batterie- sowie Membrantechnologie gezeigt.



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 interfacultäres 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

XIX

ECerS
CONFERENCE

2025



**XIX Conference of the
European Ceramic Society**

Save the Date

August 31 to September 4, 2025

Dresden, Germany,
International Congress Center



www.ecers2025.org

Conference topics

- S1) Innovative ceramic syntheses, processing and shaping / Ceramic coatings / Porous ceramics
- S2) Thermal processes and advanced sintering / Cold sintering
- S3) Additive manufacturing
- S4) Advanced structural ceramics and composites / Architected materials / Defense / Subsea systems
- S5) Refractories / High and ultra-high temperature ceramics / Hardmetals
- S6) Ceramics and sustainable development / Recycling
- S7) Glass-ceramics and glasses
- S8) Functional ceramics
- S9) Ceramics for energy conversion and storage, chemistry and environment / Hydrogen
- S10) (Bio)ceramics, composites and bioactive glasses for healthcare
- S11) Ceramics and construction materials for building applications / Silicate ceramics / Art + Archeology
- S12) Advanced characterization techniques
- S13) Modeling and digitalization of materials and processes
- S14) Ceramic membranes, water treatment and gas separation
- S15) Transparent ceramics
- S16) ACerS-ECerS Joint Symposium
- S17) International Sodium Battery Symposium SBS6
- S18) European-Korean Symposium
- SSC) Student Speech Contest



Deutsche Keramische
Gesellschaft e. V.



Fraunhofer
IKTS

Namen, Daten, Ereignisse

Eine Übersicht über Publikationen, Patente
und das wissenschaftliche Engagement der
IKTS-Mitarbeitenden im Jahr 2023
finden Sie auf der Webseite

www.ikts.fraunhofer.de/de/daten2023



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



Veranstaltungen und Messen im Jahr 2024

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

Tagungen und Events

Juniordoktor: »Kleine Detektive: Mit Ultraschall auf Fehlersuche«

7.3. und 18.4.2024, Dresden-Klotzsche

Workshop LithAM – Lithographische Additive Fertigung in der Praxis

12.3.2024, Dresden-Gruna

SCHAU REIN! – Woche der offenen Unternehmen Sachsen

14.3.2024, Dresden-Klotzsche

NDT4INDUSTRY: Unveiling characterization techniques for advancing biologized materials in development

17.4.2024, Online

Girls' Day

25.4.2024, Hermsdorf und Dresden-Gruna

Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft Freiberg

25.5.2024, Freiberg

Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften

14.6.2024, Dresden-Gruna

Tag der offenen Tür am Standort Hermsdorf

7.9.2024, Hermsdorf

Hartstoffe, Hartmetalle und Refraktärmetalle im Wandel der Zeit – Ehrenkolloquium für Prof. Gerhard Gille

17.9.2024, Dresden-Gruna

NDT4INDUSTRY

Oktober 2024, Online

ISPA International Symposium on Piezocomposite Applications

6.–8.11.2024, Dresden-Gruna

Symposium Korrosion in der (Leistungs-)Elektronik

28.–29.11.2024, Dresden-Gruna

Fortbildungsseminare und Workshops

DGM-Seminar: Keramische Werkstoffe – Eigenschaften und industrielle Anwendungen
25.–26.9.2024, Dresden-Gruna

DKG-Seminar: Foliengieß- und Schlitzdüsenverfahren
6.–7.11.2024, Hermsdorf

Messen und Ausstellungen

KarriereStart
19.–21.1.2024, Dresden

SPIE.PhotonicsWest
27.1.–1.2.2024, San Francisco (USA)

ICACC
30.–31.1.2024, Daytona (USA)

IWA Outdoor Classics
29.2.–3.3.2024, Nürnberg

JEC
5.–7.3.2024, Paris (FRA)

LOPEC
6.–7.3.2024, München

Spin2030 Wissenschaftsfestival
8.–9.3.2024, Dresden

CIPS
12.–14.3.2024, Düsseldorf

ZfP im Eisenbahnwesen
12.–14.3.2024, Erfurt

Ceramitec
9.–12.4.2024, München

Hannover Messe
22.–26.4.2024, Hannover

Bonding-Firmenkontaktmesse
23.–25.4.2024, Dresden

DGZfP-Jahrestagung
6.–8.5.2024, Osnabrück

GPEC
6.–8.5.2024, Leipzig

IFAT
13.–17.5.2024, München

WCNDT
27.–31.5.2024, Incheon (KOR)

Woche der Umwelt
4.–5.6.2024, Berlin

ACHEMA
10.–14.6.2024, Frankfurt am Main

EPHJ
11.–14.6.2024, Genf (CHE)

PCIM
11.–13.6.2024, Nürnberg

Rad+Schiene
18.–20.9.2024, Dresden

Innotrans
24.–27.9.2024, Berlin

EuroPM
29.9.–2.10.2024, Malmö (SWE)

Chillventa
8.–10.10.2024, Nürnberg

FAD-Konferenz
5.–7.11.2024, Dresden

Filtech
12.–15.11.2024, Köln

Electronica
12.–15.11.2024, München

Hydrogen Week
18.–22.11.2024, Brüssel (BEL)

Formnext
19.–22.11.2024, Frankfurt am Main

Erfurter Energiespeichertage
24.11.2024, Erfurt

Hagener Symposium
28.–29.11.2024, Hagen

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 Mügeln Straße
- 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

Union Druckerei Dresden GmbH

Bilder

Ellen Türke Fotografie, Dresden Titelbild, S. 2, 6

Fotograf Jürgen Lösel, Dresden S. 20/21, 75, 78, 79 (r.)

Fraunhofer IKTS

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

© Fraunhofer IKTS, Dresden 04/2024

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