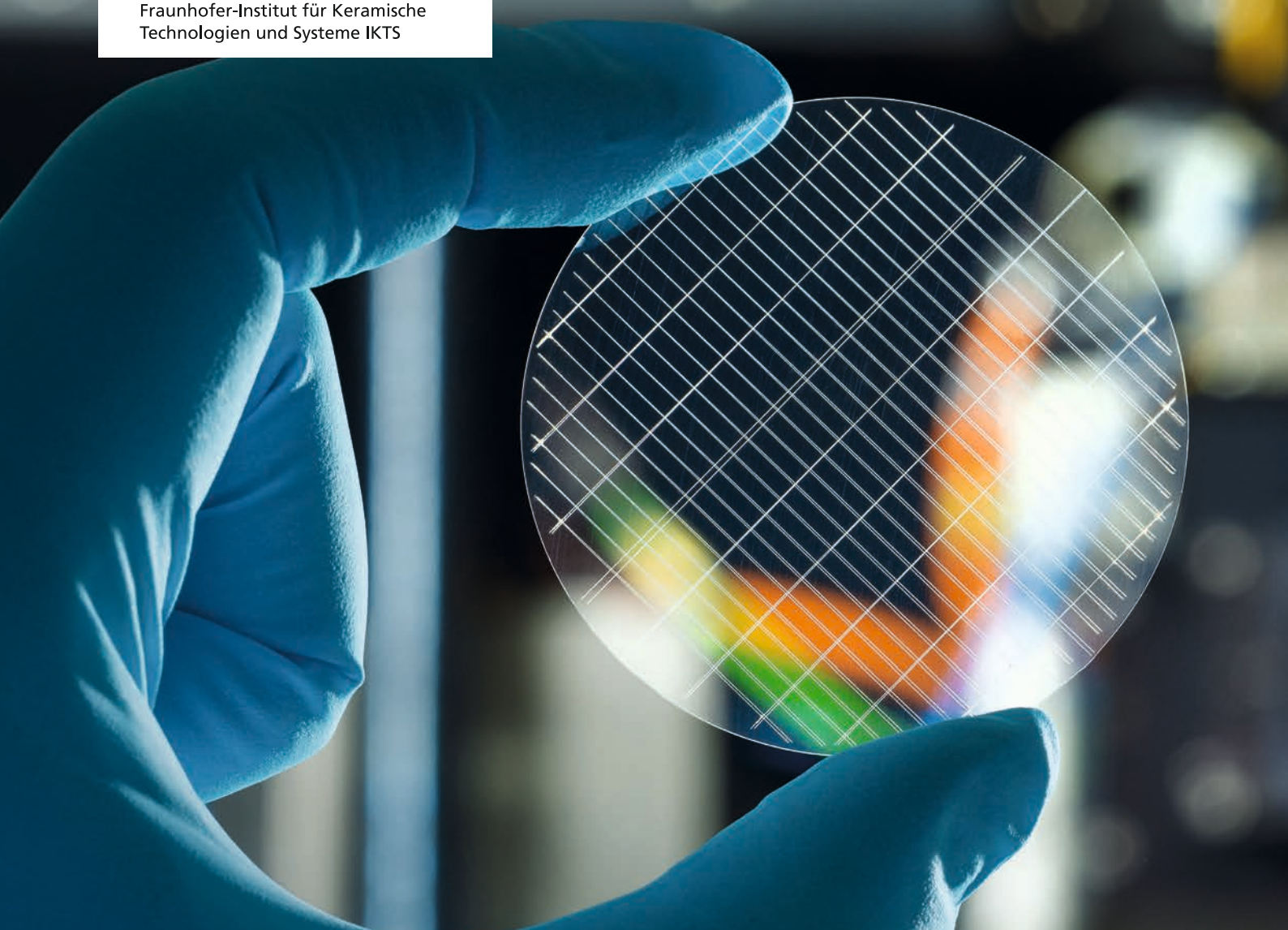




Fraunhofer
IKTS

Fraunhofer-Institut für Keramische
Technologien und Systeme IKTS

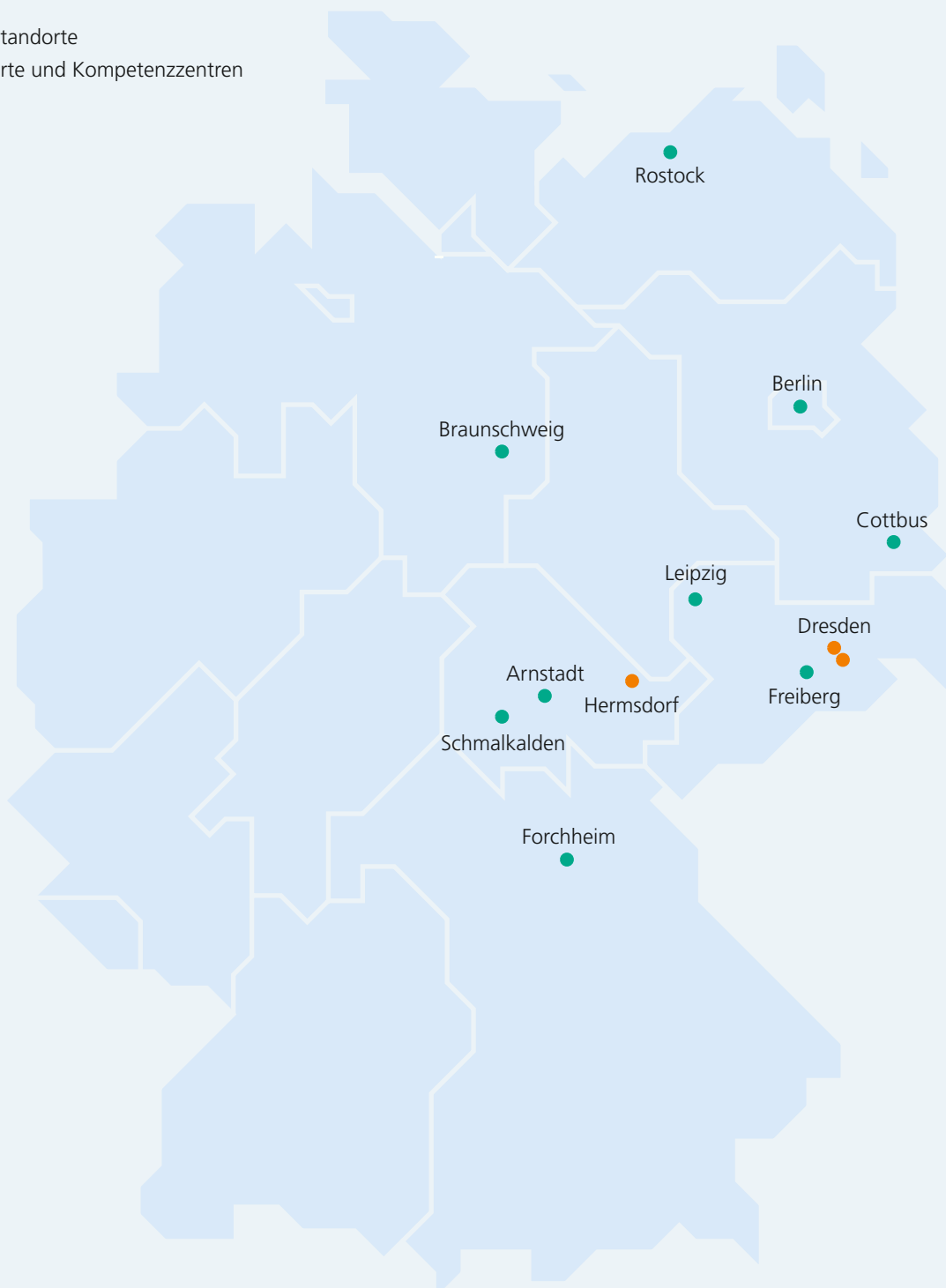


Jahresbericht 2021/22

30 Jahre
Fraunhofer IKTS

Hallo
Zukunft

- Hauptstandorte
- Standorte und Kompetenzzentren



Standorte des Fraunhofer IKTS.

Titelbild

Laserperforierte Transparentkeramik für den Einsatz in der Sensorik und Optoelektronik.

Jahresbericht 2021/22

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Winterbergstraße 28, 01277 Dresden-Gruna
Telefon +49 351 2553-7700
Fax +49 351 2553-7600

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

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

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



Vorwort



Das IKTS wird 30.

Liebe Freunde und Partner des IKTS,

dieses Mal wollen wir nicht nur auf ein erfolgreiches Jahr zurückblicken, sondern auch auf eine 30-jährige Erfolgsgeschichte: Das Fraunhofer IKTS ist mit 84 Mitarbeitenden und einem Betriebshaushalt von ca. 8 Mio. DM im Jahr 1992 gestartet. Hervorgegangen ist das IKTS aus dem renommierten Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstoffforschung ZFW der Akademie der Wissenschaften in Dresden. Der Gründungsdirektor Prof. Waldemar Hermel hat es dabei verstanden, ein hervorragendes Team zusammenzubringen, von dem das IKTS bis heute profitiert. Für mich war es ein Glücksfall, dass ich 2004 ein so gut aufgestelltes Institut übernehmen konnte. Die Mitarbeiterzahl war da schon auf 150 und der Betriebshaushalt auf rund 10 Mio. € gewachsen.

Ein wichtiger Meilenstein war dann im Jahr 2010 der Zusammenschluss mit dem Hermsdorfer Institut für Technische Keramik e. V. (HITK). Hervorgegangen aus der wichtigsten Produktionsstätte für technische Keramik der DDR, dem Kombinat Keramische Werke Hermsdorf, wurde das HITK im Jahr 1992 als selbständige, wirtschaftsnahe Forschungseinrichtung von Dr. Bärbel Voigtsberger gegründet, die ebenfalls ein tolles und äußerst erfolgreiches Team aufgestellt hat. Mit dem Zusammenschluss konnten wir zusammenbringen, was zusammengehört. Schon zu DDR-Zeiten hatte sich mit dem produzierenden Kombinat in Hermsdorf und der Dresdner Forschung eine ideale Symbiose ergeben. Einen weiteren wichtigen Schritt ist das IKTS mit der Integration des Dresdner Teils des Fraunhofer-Instituts für Zerstörungsfreie Prüfung IFZP im Jahre 2014 gegangen. Das Thema der Prüf-, Überwachungs- und damit verbundenen Digitalisierungstechnologien über den gesamten Produktlebenszyklus bietet ein enormes Potenzial für Prozess- und Produktinnovationen im Kontext des nachhaltigen Wirtschaftens.

Die genannten Integrationen haben stark zum organischen Wachstum des IKTS beigetragen. Konsequenterweise konnten wir unsere Strategie, die gesamte Wertschöpfungskette der

technischen Keramik vom Werkstoff bis zum System und wieder zurück (Recycling) abzudecken, umsetzen. Damit können wir uns als wertvoller Partner für die Keramikhersteller und die Keramikanwender anbieten.

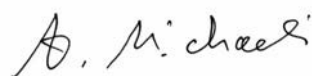
Im Berichtszeitraum haben wir mit einem Gesamthaushalt von 83,3 Mio. € und einem Betriebshaushalt von 66 Mio. € wieder neue Rekordmarken gesetzt. Unserem nun aus über 800 Mitarbeitenden bestehenden IKTS-Team und Ihnen als unseren Partnern kann ich hierfür gar nicht genug danken. Wir konnten eine Gesamtertragsquote (Drittmittel) von über 87 % erreichen. Hierbei waren wir zusammen mit Ihnen besonders bei der Einwerbung von öffentlichen Mitteln erfolgreich. Prozentual ist damit unsere direkte Industriequote (rhoWi) mit nun knapp 30 % etwas zurückgegangen. Auf eine Steigerung dieser Quote werden wir nun besonders achten. Hervorzuheben ist, dass wir sage und schreibe 18 Mio. € in unsere Ausstattung investieren konnten. Hiervon haben alle Bereiche des IKTS profitiert und damit natürlich vor allem Sie als unsere Partner, da Sie damit weiterhin auf eine hochkarätige Infrastruktur in Projekten mit uns zurückgreifen können. Gerne möchten wir Ihnen anbieten, auch zukünftig hiervon Gebrauch zu machen und wir freuen uns auf Gespräche mit Ihnen zur Identifizierung neuer Projektansätze.

Wichtige Highlights und Entwicklungstrends aus unseren Geschäftsfeldern haben wir im vorliegenden Bericht zusammengestellt. Hervorheben möchte ich hierbei die Übernahme der unter dem Markennamen »PERLUCOR®« bekannten Transparentkeramik-Fertigung von der CeramTec-Etec GmbH. Damit bündeln wir unsere jahrzehntelange Forschungskompetenz mit dem Produktions-Know-how, um neue leistungsfähigere und kostenoptimierte Produkte zu entwickeln. Außerdem sichern wir damit den vorhandenen Technologievorsprung für den Standort Deutschland. Die Fertigungslinie wird derzeit in Hermsdorf unter der Verantwortung von Dr. Sabine Begand aufgebaut. In Hermsdorf haben wir auch unser neues Technikum 4 in Betrieb genommen, das vor allem unsere Na/NiCl₂-Batterieentwicklung beherbergt. Außerdem konnten wir mit starker Unterstützung des Landes Thüringen (TMWWDG) unseren neuen Standort in Arnstadt erwerben und weiter ausbauen.

Unter der Leitung von Dr. Roland Weidl konnte in Arnstadt bereits ein schlagkräftiges Team aus 30 Mitarbeitenden aufgebaut werden. Allein für den Standort Arnstadt hat uns das Land Thüringen in den letzten zwei Jahren mit über 30 Mio. € gefördert. In enger Abstimmung mit unseren Aktivitäten in Dresden werden wir dort unsere Forschung und Entwicklung zu Lithium-Ionen-Batterien und Wasserstoff-Technologien stärken. In Sachsen konnten wir unter Leitung von Dr. Mareike Partsch das zusammen mit dem Fraunhofer IISB betriebene Fraunhofer-Technologiezentrum Hochleistungsmaterialien THM stark ausbauen. Ein Fokus liegt hier insbesondere auf dem Batterie-Recycling. Wir sind sehr froh, dass wir zur Stärkung dieser Aktivitäten Prof. Martin Bertau von der TU Bergakademie Freiberg mit an das IKTS binden konnten. Auch zukünftig möchten wir unsere jetzt schon sehr gute Zusammenarbeit mit der TUBAF weiter ausbauen. Damit können wir den für das IKTS immer wichtiger werdenden Themenkomplex der Kreislaufwirtschaft inklusive Recycling und Wasserwirtschaft weiter stärken.

Als ein besonders schönes Erfolgsbeispiel möchte ich ein Projekt aus unserer Abteilung von Jörg Adler nennen. In Zusammenarbeit mit der ESK-SIC GmbH wurde ein neues Verfahren zum SiC-Recycling entwickelt, mit dem der Energiebedarf zur Herstellung von SiC erheblich reduziert und der damit verbundene CO₂-Ausstoß um mehr als den Faktor 5 reduziert werden kann. Bei einer weltweiten Anwendung dieses Verfahrens könnte global mehr CO₂ eingespart werden als Deutschland in der gesamten Keramikbranche emittiert (> 2,6 Mio. t CO₂ p.a.). Hier spielen Ökonomie und Ökologie optimal zusammen. Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen beim Durchblättern des Berichts und gute Projektideen. Für Gespräche stehen wir jederzeit gerne bereit und das gesamte IKTS-Team freut sich auf die Zusammenarbeit.

Ihr,



Alexander Michaelis
April 2022

Inhalt

Vorwort	2
Inhalt	4
Das Fraunhofer IKTS im Profil	6
Kurzportrait	6
Organigramm	8
Das Fraunhofer IKTS in Zahlen	10
Kuratorium	12
Die Fraunhofer-Gesellschaft	13
Retrospektive	14
Aus den Geschäftsfeldern des Fraunhofer IKTS	20
Im Fokus	22
Digitale Dienstleistungen in Analytik und zerstörungsfreier Prüfung	22
Digitale Werkstoffforschung am Fraunhofer IKTS	24
Mikroelektronik-Materialien und Nanoanalytik für verbesserte Leistung und Zuverlässigkeit	26
Forschungs- und Entwicklungszentrum für Transparentkeramik	27
Industrielle Wasserstoff-Technologien Thüringen WaTTh am Standort Arnstadt ..	28
Projektgruppe »Kognitive Materialdiagnostik«	29
Werkstoffe und Verfahren	30
Direktschäumung keramischer Suspensionen	30
Zirkoncarbid – Hochtemperaturwerkstoff für Hochtechnologien	31
Herstellung von hochleistungsfähigen CNT-Keramik-Kompositen	32
Versiegelung keramischer Faserverbundwerkstoffe mittels Lasertechnologie ...	33
Energie	34
Labordemonstration eines integrierten Co-Elektrolyse-basierten PtX-Prozesses ..	34
Degradationsuntersuchungen an SOC-Stacks	35
Simulationsbasierte Analyse und wirtschaftliche Bewertung von Energiesystemen	36
Optimierung der Elektrodeneigenschaften für Lithium-Festkörperbatterien ...	37
Digitalisierte Workflows für die Gefügebewertung in der Batterieindustrie ...	38
Umwelt- und Verfahrenstechnik	39
Nährstoffrecycling durch Extraktion mit keramischen Membrankontaktoren ...	39
Charakterisierung der Gasverteilung im Blasensäulenreaktor	40
Kompositmembran zur Gewinnung nachhaltiger Lösemittel aus Melasse	41
Rekultivierungsmaterialien aus Klärschlammkomposten und Pilzmycel	42

Wasser	43
Testfeld zur Entwicklung industrieller Wasseraufbereitungsverfahren	43
Multifunktionsprüfstand zur Charakterisierung keramischer Komponenten zur Wasseraufbereitung	44
Graphen zur Spurenstoffelemination – Thüringer Forschergruppe »SoWas«	45
Hochaktive nanostrukturierte TiO ₂ -Filtrationsmembranen zur Wasserdesinfektion und Elimination von Spurenstoffen	46
Keramikelektroden und Kaltplasma – Kombination für effiziente Abwasserbehandlung	47
Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung	48
Füllstände von Behältern mit geführten Wellen präzise online bestimmen	48
Mobiles Ultraschall-Schienenprüfsystem	49
Vertikalachsenmesssystem für die Charakterisierung von Suspensionen mit Ultraschall	50
Inline-Prüfung von Elektrodenfolien für Lithium-Ionen-Batterien	51
Elektronik und Mikrosysteme	52
Gedruckte Ultraschallwandler für Bildgebung und Messtechnik	52
Ultraschall für eine schnellere und sichere Zahnwurzelbehandlung	53
Günstige Kupfer-Siliciumnitrid-Verbunde als Schaltungsträger für Leistungselektronik	54
Hochdynamische keramische Matrixheizer zur Generierung schneller Temperaturfelder	55
Mikromechanische In-situ-Experimente an Kupfer-Interconnect-Strukturen	56
Prüfmaschine für CT-Anlagen	57
Material- und Prozessanalyse	58
Untersuchung von mikroskopisch adhäsivem und kohäsivem Materialverhalten	58
Thermische Eigenschaften von Hartmetallen als Funktion des Gefüges	59
KI-basierte quantitative Analyse keramischer Gefüge	60
Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe mit Kieselalgen als Füllstoff	61
Maschinenbau und Fahrzeugtechnik	62
Polymerkeramische Wicklungsisolierungen für hochausgelastete elektrische Maschinen	62
Im Test: Sialone für innovative Fräswerkzeuge	63
Bio- und Medizintechnik	64
Hybride und abbaubare Biokeramiken als Kieferknochenimplantate	64
Dünnwandige, keramische Abutments mit hoher Festigkeit und Präzision	65
Knochenneubildung nach akuter Entzündung – Bewertung in vitro	66
Dezentrale Überwachung der Lungenventilation mit Pneumo.Vest	67
Wolframbasierte Verbundwerkstoffe für antivirale und diagnostische Anwendungen	68
Kooperationsausbau in Verbänden, Allianzen und Netzwerken	69
Namen, Daten, Ereignisse	75
Veranstaltungen und Messen im Jahr 2022	76
Anfahrt zum Fraunhofer IKTS	78

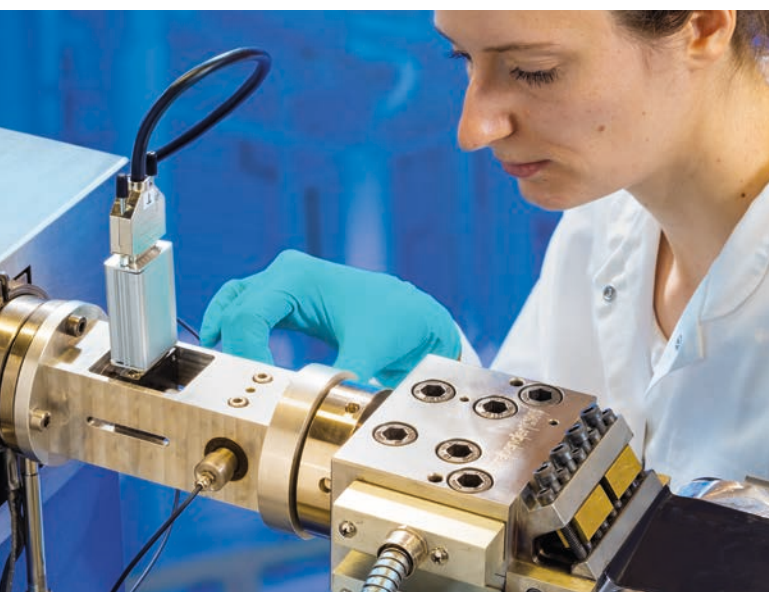
Das Fraunhofer IKTS im Profil

Kurzporträt

Seit mehr als 30 Jahren demonstriert das Fraunhofer IKTS das Potenzial keramischer Werkstoffe in einer stetig wachsenden Breite von Anwendungsgebieten. Aus den Bedarfen der neu marktorientierten Geschäftsfelder leiten sich unsere Entwicklungsarbeiten ab – ergänzt durch eine strategische Vorlauforschung auf höchstem wissenschaftlichen Niveau.

Unser Antrieb ist es, ganzheitliche Systemlösungen und Dienstleistungen zu entwickeln, aber auch spezifische Herausforderungen innerhalb der Prozesse 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 durch modernste Ausstattung auf mehr als 40 000 m², kompetente Mitarbeitende sowie ein ergebnisorientiertes Forschungsmanagement einen Anlaufpunkt für Unternehmen und Forschungspartner, um die unikalen Eigenschaften keramischer Werkstoffe für neue und verbesserte Anwendungen zu erschließen. Als besondere Kompetenzen bringen wir hierbei ein:



Werkstoffe

Wir qualifizieren Keramiken, Hartmetalle und Verbundwerkstoffe für spezifische Einsatzszenarien und beherrschen die dafür notwendigen Fertigungsverfahren auf höchstem Niveau. 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 Markteintritt 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 Prüfsysteme für die Zustandsüberwachung von Fertigungsanlagen an und sorgen damit für optimale Produktqualitäten, niedrige Prüfkosten und geringere Wartungsaufwände.

Systemdemonstration

Für energie- und verfahrenstechnische Anlagen sind wir in der Lage, eine zielgerichtete Systemdemonstration auf Grundlage der Markt- und Kundenanforderungen einerseits und der verfügbaren technologischen Optionen andererseits umzusetzen. Material- oder Technologiefragen werden auf den einzelnen Stufen der Wertschöpfungskette bearbeitet, Prototypen auf Basis einer umfangreichen Validierung und Soll-Ist-Analyse der Marktreife bewertet sowie serientaugliche Fertigungs- und Qualitätsprozesse erarbeitet. Damit qualifizieren wir uns als Komplett-Dienstleister für den gesamten Prozess der Technologieentwicklung und den schrittweisen Wissenstransfer in die Serienentwicklung 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, reproduzierbare und ressourcenschonende Forschungsergebnisse bereitstellen zu können. Wir verfügen daher über ein einheitliches Managementsystem nach DIN EN ISO 9001 sowie über ein Umweltmanagementsystem nach DIN EN ISO 14001. Darüber hinaus wird das Institut in seinen Teilbereichen nach weiteren Richtlinien zertifiziert, unter anderem nach der EN ISO 13485:2016 und regelmäßig verschiedenen industriellen Audits unterzogen.

Netzwerkbildner

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

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



Organigramm

Institutsleitung

Institutsleiter

Prof. Dr. habil. Alexander Michaelis

Werkstoffe

Nichtoxidkeramik

Dipl.-Krist. Jörg Adler

- Elektrisch funktionelle Strukturkeramik
- Carbidkeramik und Filterkeramik
- Nitridkeramik und Faserkomposite

Oxidkeramik

Dr. Sabine Begand

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

Verfahren und Bauteile

Dr. Tassilo Moritz

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

Werkstoff- und Prozesscharakterisierung

Sintern und Charakterisierung

Dr. habil. Mathias Herrmann

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

Umwelt- und Verfahrenstechnik

Nanoporöse Membranen

Dr. Hannes Richter

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

Hochtemperaturseparation und Katalyse

Dr. Ralf Kriegel

- Hochtemperaturmembranen und -speicher
- Katalyse und Materialsynthese

Kreislauftechnologien und Wasser

Dr. Burkhardt Faßauer

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

Chemische Verfahrenstechnik

PD Dr. habil. Matthias Jahn

- Modellierung und Simulation
- Systemverfahrenstechnik

Standorte und Kompetenzzentren des Fraunhofer IKTS

- Hauptsitz Dresden-Gruna, Sachsen
- Standort Dresden-Klotzsche, Sachsen
- Standort Hermsdorf, Thüringen
- Standort Forchheim, Bayern
- 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
- Projektgruppe Kognitive Materialdiagnostik, Cottbus, Brandenburg
- Fraunhofer Center for Smart Agriculture and Water Management AWAM, Porto, Portugal
- Standort Berlin, Berlin
- Batterie-Innovations- und Technologie-Center BITC, Arnstadt, Thüringen
- Wasserstoffanwendungszentrum für Industrielle Wasserstoff-Technologien Thüringen WaTTh, Arnstadt, Thüringen
- Kompetenzzentrum Foliengießtechnik, Hermsdorf, Thüringen
- Pilotierungszentrum für Pulversynthese und Extrusion, Hermsdorf
- Forschungs- und Entwicklungszentrum für Transparentkeramik, Hermsdorf, 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

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

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

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

Korrelative Mikroskopie und Materialdaten

Prof. Dr. Silke Christiansen

- Korrelative Mikroskopie

Elektronik/Mikrosystem- und Biomedizintechnik

Intelligente Materialien und Systeme

Dr. Holger Neubert

- Multifunktionale Werkstoffe und Bauteile
- Angewandte Werkstoffmechanik und Festkörperwandler

Energiesysteme

Werkstoffe und Komponenten

Dr. Mihails Kusnezoff

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

Systemintegration und Technologietransfer

Dr. Roland Weidl

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

Energiespeicher und Elektrochemie

Dr. Mareike Partsch

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

Hybride Mikrosysteme

Dr. Uwe Partsch

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

Elektronikprüfung und Optische Verfahren

Dr. Mike Röllig

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

Prüf- und 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

Friedrich-Schiller-Universität Jena

Institut für Technische Umweltchemie

Prof. Dr. Michael Stelter

Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Fachbereich SciTec – Werkstofftechnik

Prof. Dr. Ingolf Voigt

Freie Universität Berlin

Institut für Experimentalphysik

Prof. Dr. Silke Christiansen

Das Fraunhofer IKTS in Zahlen

Haushalt und Erträge

Der Gesamthaushalt des Fraunhofer IKTS übersteigt mit einem Volumen von 83,3 Mio. € das Niveau des Vorjahres um 7,7 Mio. €. Das Investitionsvolumen hat sich mit 17,7 Mio. € nochmals um 4,5 Mio. Euro erhöht. Mit enorm starker Unterstützung der Länder konnten in Thüringen 7,6 Mio. € investiert werden. In Sachsen und Bayern wurde die Infrastruktur für weitere 10 Mio. € ausgebaut. Erfreulicherweise konnte die Mehrzahl der strategischen Beschaffungsvorgänge trotz Corona umgesetzt werden. Weitere Inbetriebnahmen ziehen sich in das Jahr 2022.

Insgesamt wurden 58,9 Mio. € an externen Erträgen eingeworben. Aufgrund der schwierigen, coronabedingten Situation der Industriepartner ist der Industrieertrag nochmals um 2,2 Mio. € auf 18,5 Mio. € gesunken. Sehr erfreulich ist, dass weiterhin etwa 45 % der Aufträge für kleine und mittlere Unternehmen ausgeführt werden. In den Freistaaten Sachsen und Thüringen haben Industriepartner insgesamt Aufträge im Wert von 3,3 Mio. € platziert. Insgesamt führt die Pandemie weiterhin zu einer deutlich reduzierten Industrieprojektnachfrage und zu Verschiebungen der Starttermine. Erfreulicherweise konnten die Arbeitsgebiete und die Projektgruppen durch strategische Projekte des Bundes und der Länder weiterarbeiten und so die Grundlage für einen vielversprechenden Neustart der Themen nach der Pandemie vorbereiten. Die Infrastruktur wurde in nahezu allen Bereichen optimiert.

Aufträge aus dem Ausland gingen überproportional um 20 % auf 3,6 Mio. € zurück. Insbesondere starke Partnerländer, wie China und Österreich, sind dabei erneut mit einem Rückgang von bis zu 30 % besonders betroffen. Das Volumen verteilt sich auf 35 Länder. Industrieauslandserträge aus Großbritannien sind um mehr als 85 % zurückgegangen. Die Auswirkungen von Brexit und Pandemie müssen getrennt bewertet werden. Insgesamt steigen die Erträge aus Europa von 4,7 Mio. € auf 5,9 Mio. € an. Hierzu tragen die gesteigerten Projektvolumen in EU-Förderprogrammen entscheidend bei.

Eine weitere bleibende Herausforderung ist die unterschiedliche Kostenrechnung der verschiedenen Fördermittelgeber. Hieraus entstehen Unsicherheiten bei der Bestimmung abrechenbarer Kosten und damit bei der Finanzplanung. Die Fraunhofer-weite Einführung des ERP-Systems SAP soll hier mittelfristig helfen. Das System ist zum 10. Januar 2022 in Betrieb genommen

worden. Kunden und Lieferanten sind gefragt, Teil dieser einmaligen Digitalisierungsinitiative einer Forschungseinrichtung zu werden. Die Systemumstellung ist erwartungsgemäß eine große Herausforderung für Fraunhofer und seine Partner. Das IKTS ist gut positioniert, um die vorhandenen Anforderungen schnellstens zu erfüllen. Zusammen mit den Partnern werden wir alle Aufgaben zügig abschließen.

Personalentwicklung

Insgesamt werden an den IKTS-Standorten etwa 800 Mitarbeitende beschäftigt. Durch die familienfreundliche Ausrichtung werden die Wünsche vieler junger Mütter und Väter nach Teilzeitbeschäftigung erfüllt. Durch diese Struktur konnte die Kapazität dynamisch an die Projektaufgaben angepasst werden. Trotz Pandemie stieg der Beschäftigungsfaktor um ca. 5 %. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die verschiedenen Gruppen in der Graphik als Vollzeitäquivalente dargestellt. Die Zahl der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist um 35 Stellen auf 291 gestiegen. Ebenso ist die Anzahl der technischen Mitarbeitenden auf 315 angewachsen.

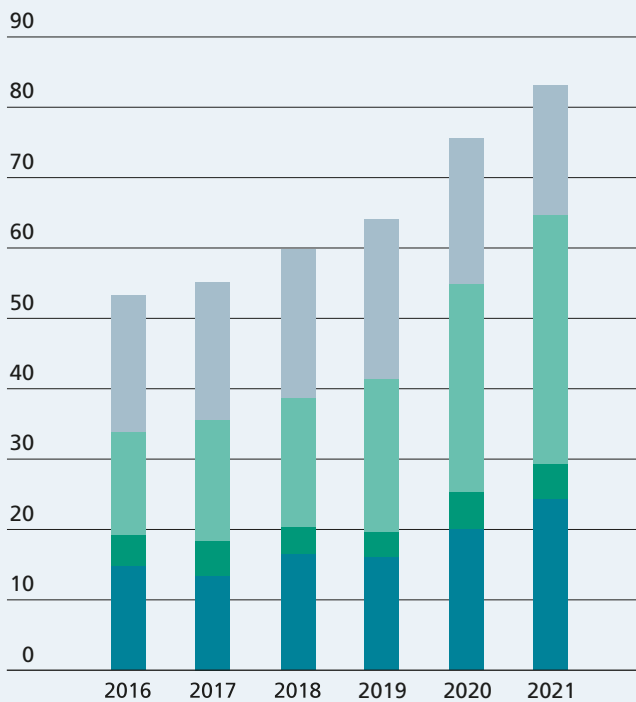
Weiterhin erfolgen die Dissertationen sowohl im Rahmen von schwerpunktmäßig ausgerichteten Doktoranden-Anstellungsverhältnissen (22) als auch im Rahmen von projektbezogenen Tätigkeiten mit hoher Industrienähe. Trotz der Arbeitsbeschränkungen durch Corona-Richtlinien wurden Studierende und Auszubildende vergleichbar zu 2020 beschäftigt. Alle Lehrveranstaltungen des IKTS konnten realisiert werden.

Der Arbeitgeber Fraunhofer IKTS ist im Markt bisher gut positioniert. Trotzdem wird die Akquisition von Mitarbeitenden im wissenschaftlichen wie im administrativen Bereich eine der großen Herausforderungen der nächsten Jahre werden.

Erweiterung der Infrastruktur

Die Erweiterung der Infrastruktur erfolgt im Rahmen der langfristigen Projekte und mit starker Unterstützung der Bundesländer Sachsen, Thüringen, Niedersachsen und Bayern. Die neuen Standorte sind im Jahresbericht ausführlich dargestellt. Die Kooperation mit anderen Fraunhofer-Instituten und Hochschulen sowie Unternehmen in verschiedenen Projektzentren bleibt ein zentrales Element der Strategie und wird weiter ausgebaut. In allen Bereichen wird der Systemansatz vorangetrieben.

Entwicklung des Gesamthaushalts des Fraunhofer IKTS (in Millionen Euro) in den Haushaltsjahren 2016 bis 2021

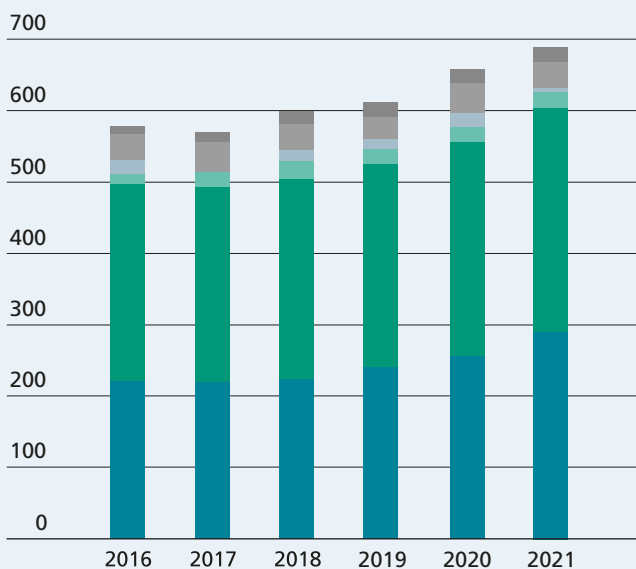


	2016	2017	2018	2019	2020	2021
■	19,6	19,6	21,2	22,9	20,7	18,5
■	14,8	17,3	18,4	21,8	29,8	35,5
■	4,4	5,1	3,8	3,5	5,2	4,9
■	14,8	13,5	16,6	16,1	20,1	24,4
=	53,6	55,5	60,0	64,3	75,8	83,3

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

Entwicklung des Personalbestands des Fraunhofer IKTS

Beschäftigtenzahl 2016 bis 2021, Vollstellenäquivalente Personalstruktur zum 31.12. des jeweiligen Jahres



	2016	2017	2018	2019	2020	2021
■	11	14	18	20	19	20
■	36	40	36	32	42	36
■	19	1	16	13	19	6
■	15	21	25	22	22	22
■	276	273	280	284	299	313
■	220	220	224	241	257	291
=	577	569	599	612	658	688

- Auszubildende
- Studentische Hilfskräfte, Praktikant*innen, Diplomand*innen
- Mitarbeitende mit Zeit- und Werksverträgen sowie Nebentätigkeit
- Promovierende
- Graduiertes und technisches Personal
- Wissenschaftliches Personal

Kuratorium

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

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

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

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

Dr. habil. Martin Gude
Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz, Erfurt
Leiter der Abteilung 3
»Energie und Klima«

Dr. Peter Heilmann
arxes-engineering GmbH, Eberswalde
Geschäftsführer

Andreas Heller
Landratsamt Saale-Holzland-Kreis, Eisenberg
Landrat

Dr. Sabine Kolodinski
GLOBALFOUNDRIES Management Services LLC & Co. KG, Dresden
Senior Staff Program Management, R&D Funding Coordination

Dr. Wolfgang Köck
Plansee SE, Reutte
Geschäftsführender Direktor

Andreas Key
Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen mbH, Erfurt
Sprecher der Geschäftsführung

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

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

Dr. Hans Heinrich Matthias
TRIDELTA GmbH, Hermsdorf
Geschäftsführer

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

Dipl.-Ing. Peter G. Nothnagel
Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Dresden
Leiter des Referats 47
»Strukturentwicklung, wirtschaftsrelevante Umwelt- und Energiefragen«

Dr. Patrick Pertsch
PI Ceramic GmbH, Lederhose, Geschäftsführer

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

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

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

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft

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

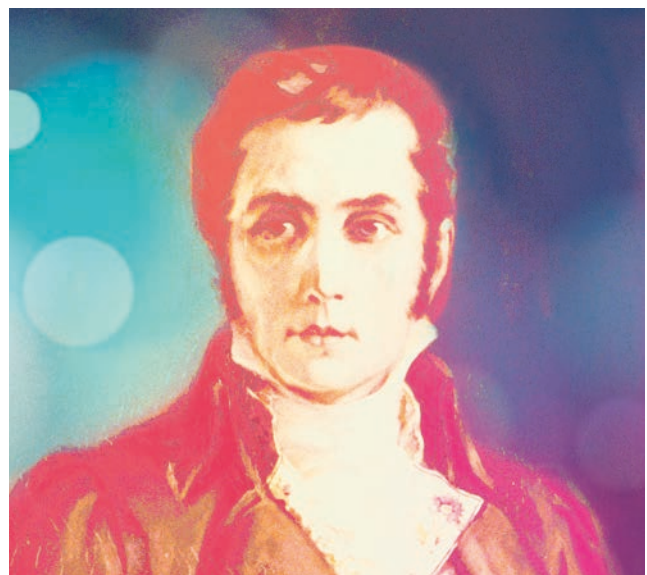
Interdisziplinäre Forschungsteams der Fraunhofer-Gesellschaft setzen gemeinsam mit Vertragspartnern aus Wirtschaft und öffentlicher Hand originäre Ideen in Innovationen um, koordinieren und realisieren systemrelevante, forschungspolitische Schlüsselprojekte und stärken mit werteorientierter Wertschöpfung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

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

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

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

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



Joseph von Fraunhofer.

Retrospektive

Aufgrund der weltweiten Coronavirus-Pandemie stellte das Fraunhofer IKTS seine Forschung und Dienstleistungen 2021 überwiegend im Rahmen digitaler Messen und Veranstaltungsformate der breiten wissenschaftlichen Öffentlichkeit vor.

3. Februar 2021 NDT4INDUSTRY – Online-Seminarreihe

(Bild links)

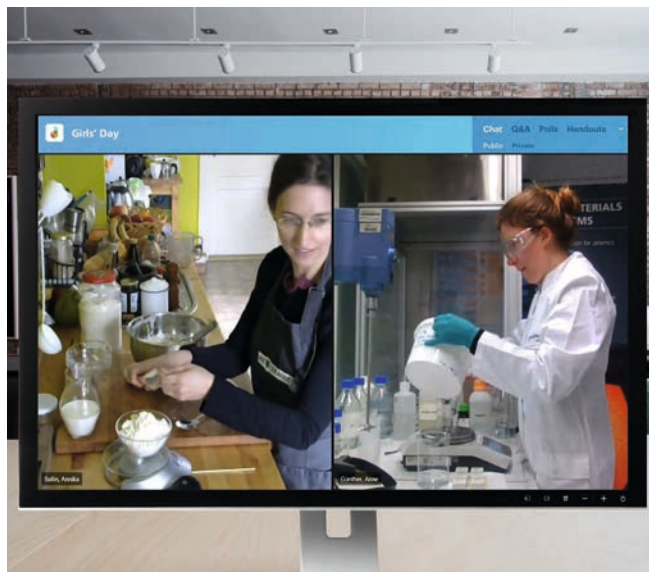
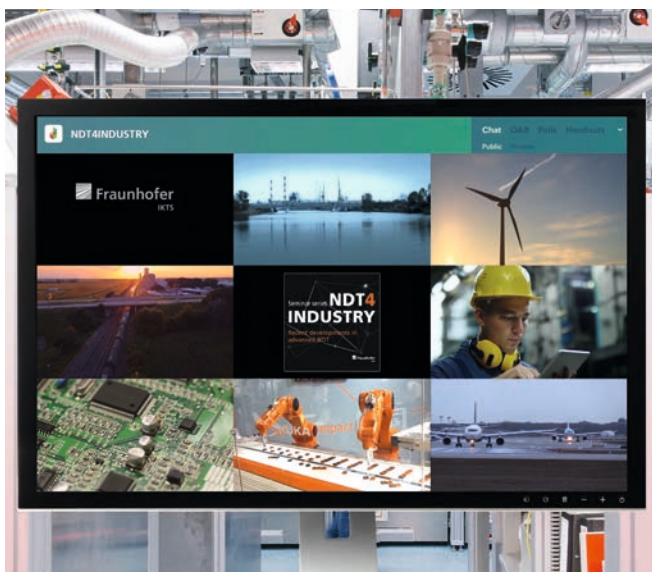
In der Online-Seminarreihe NDT4INDUSTRY präsentierte das Fraunhofer IKTS 2021 wieder neue Entwicklungen im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) und deren Nutzen für die Industrie. Als Auftakt stellte Christoph Sander im Februar ein 4-Punkt-Biegesystem vor, mit dem der Einfluss mechanischer Spannungen auf mikroelektronische Bauelemente effektiv charakterisiert werden kann. Im April widmete Dr. Frank Schubert sein Seminar den EFIT-Simulationen, die für die simulationsgestützte Optimierung von Prüfköpfen und Ultraschalleinrichtungen eingesetzt werden. Eine besondere Ausgabe erwartete das Publikum im Mai: Gemeinsam mit dem Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK) der TU Dresden stellte Dr. Jörg Opitz Ergebnisse des gemeinsamen Projekts »robust evp 4.0« vor. Im Fokus standen hybride Metallverbundstrukturen, deren Entwicklung, Fertigung, zerstörungsfreie Prüfung sowie

notwendige Schritte zur Einführung dieser Technologien in die Industrie. Dr. Malgorzata Kopycinska-Müller und Ralf Schallert zeigten im September Möglichkeiten der Optischen Kohärenztomographie (OCT) auf; einer Scanmethode, die berührungslos, zerstörungsfrei und schnell Objekte und Prozesse prüft. Im November präsentierte Dr. Bernd Köhler unkonventionelle Ultraschallmethoden, die für schwierige Prüfaufgaben entwickelt wurden. Das erfolgreiche Format wird 2022 fortgeführt. Aktuelle Themen und Termine finden Sie unter www.ndt4industry.com.

22. April 2021 Girls' Day

(Bild rechts)

Beim digitalen Girls' Day haben die teilnehmenden Schülerinnen viel über Hochleistungskeramik und die Arbeit im Labor erfahren. Bei einer Live-Schalt aus Labor und Küche demonstrierten Dr. Anne Günther und Annika Ballin den etwa 20 Teilnehmerinnen, welche Gemeinsamkeiten beim Backen und der Herstellung von Keramik bestehen. Bei der anschließenden Talkrunde mit Laborantinnen und Wissenschaftlerinnen des IKTS konnten die Schülerinnen ihre Fragen zum Arbeitsalltag an einem Fraunhofer-Institut stellen.



23. April 2021

Böttger-Plakette für Prof. Ingolf Voigt*(Bild links)*

Im Rahmen der virtuellen Jahrestagung der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. (DKG) wurde Prof. Ingolf Voigt, stellvertretender Institutsleiter und Standortleiter Hermsdorf des Fraunhofer IKTS, mit der Böttger-Plakette ausgezeichnet. Die Böttger-Plakette wird seit 1929 von der DKG für herausragende Verdienste um das Zusammenwirken von Industrie, Wissenschaft und Lehre verliehen. In seiner Funktion als Präsident der DKG beglückwünschte Institutsleiter Prof. Alexander Michaelis den Preisträger: »Die Auszeichnung ist hochverdient. Prof. Voigt ist ein herausragender Wissenschaftler, der weltweit für seine Arbeiten zur keramischen Membrantechnologie und für das gesamte Gebiet der Struktur- und Funktionskeramik bekannt ist.«

4. Mai 2021

Präsenzmessen und digitale Formate*(Bild rechts)*

Das Fraunhofer IKTS präsentierte sich 2021 auf zahlreichen digitalen Messen: So stellten Dr. Hannes Richter sowie Dr. Matthias Jahn und Gregor Herz auf der *ACHEMA Pulse* in sogenannten »Live-Pitches« die Themen »Leistungsstarke Separatoren: Kohlenstoffmembranen zur H₂- und CO₂-Abtrennung aus Gasströmen« bzw. »Hochtemperaturrelektrolyse – eine Schlüsseltechnologie für die grüne Chemieindustrie« vor. Auf der digitalen *Sensor und Test* zeigte das IKTS sein Know-how in den Bereichen Ultraschallwandler, gedruckte magnetoresistive Sensoren sowie keramische Drucksensoren für Hochtemperaturanwendungen.

Das IKTS war 2021 auch auf Präsenzmessen vertreten, u. a. auf der *Productronica*. Hier standen die Themen fotoabbildbare Dickschichtpasten für das 5G-Netz, Leistungselektronik, additiv gefertigte Komponenten und keramische Lösungen für Sensoren im Fokus. Trotz der anhaltenden Pandemie blicken die Messebranche und auch das IKTS optimistisch in die Zukunft. Präsenzmessen unter Einhaltung höchster Schutz- und Hygienestandards stehen bei den Messeplanern klar im Fokus. Das IKTS plant für 2022 u. a. Präsenzbeteiligungen auf der *HMI, IFAT, Control, JEC World, FILTECH* und *Sensor und Test*.

7. Mai 2021

ThWIC – Thüringer Wasser-InnovationsCluster in der Endrunde für Clusterwettbewerb

Mit der Clusters4Future Initiative fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung gezielt regionale Cluster, die mit Innovationen aus Spitzenforschung Herausforderungen in wichtigen Zukunftsfeldern bewältigen. Unter 117 Bewerbungen konnte sich der »Thüringer Wasser-InnovationsCluster« (ThWIC) im Mai als eine von 15 Bewerbungen durchsetzen und kann nun in eine geförderte Konzeptionsphase eintreten. Gemeinsam mit über 20 Partnern, darunter die koordinierende Friedrich-Schiller-Universität Jena, wird das IKTS im ThWIC das Thema Wasser wissenschaftlich vielseitig beleuchten und dabei sowohl die natur- als auch die gesellschaftswissenschaftliche Perspektive betrachten. Im Frühjahr 2022 werden dann die sieben Finalisten ausgewählt, deren Projektideen bis zu neun Jahre gefördert werden.





Besuch am Fraunhofer THM Freiberg. V.l.n.r.: Prof. Klaus-Dieter Barbknecht (TUBAF), Dr. Jochen Friedrich (Fraunhofer IISB), Prof. Alexander Michaelis (Fraunhofer IKTS), Dr. Mareike Partsch (Fraunhofer IKTS/THM), Staatsminister Sebastian Gemkow, Prof. Jens Gutzmer (HZDR), Prof. Johannes Heitmann (TUBAF/Fraunhofer THM) und Prof. Martin Bertau (TUBAF/Fraunhofer IKTS).

10. Mai 2021

Ehrenurkunde der Stadt Hermsdorf für Prof. Voigt

Am 10. Mai wurde Prof. Ingolf Voigt die Ehrenurkunde der Stadt Hermsdorf verliehen. Als Standortleiter des IKTS Hermsdorf und Vorstandsmitglied des TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V. habe Prof. Voigt dem Wohl und Ansehen der Stadt Hermsdorf in besonderem Maße gedient, so Bürgermeister Benny Hofmann.

7. Juni | 7. September 2021

Besuche am Fraunhofer-Technologiezentrum Hochleistungsmaterialien THM

(Bild oben)

Am 7. Juni besuchte der Sächsische Wissenschaftsminister Sebastian Gemkow das Fraunhofer-Technologiezentrum Hochleistungsmaterialien THM in Freiberg. Im Zuge eines Arbeitstreffens informierte sich der Minister über die aktuelle Forschung zum Batterierecycling und zu innovativen Halbleitermaterialien für eine verbesserte Leistungselektronik. Im September war eine Delegation aus Europaabgeordneten im Fraunhofer THM zu Gast und suchte den Austausch zum Thema Batterien. Hintergrund war die neue EU-Batterieverordnung im Rahmen des Europäischen Green Deal. Begleitet wurde dieser Termin von lokaler Presse, die die innovative Arbeit in Sachsen beleuchtete.

6. Juli 2021

abonocare®-Onlinekonferenz

Wie gelingt ein nachhaltiges und effizientes Nährstoffrecycling aus organischen Reststoffen, wie Gülle, Klärschlamm, Biomüll? Rund 100 Teilnehmende aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik informierten sich auf der abonocare®-Onlinekonferenz über

neuartige Recycling- und Kreislauftechnologien aus dem abonocare® Wachstumskern. Neben Technologien zum Phosphor- und Stickstoffrecycling wurden der rechtliche Rahmen, Betreibermodelle sowie Anwendungspotenziale neuartiger Dünger beleuchtet. Im abonocare® Wachstumskern entwickeln Unternehmen und Forschungseinrichtungen gemeinsam Technologien für ein intelligentes und nachhaltiges Nährstoffrecycling organischer Reststoffe. Ihr Ziel ist eine wirtschaftliche Kreislaufwirtschaft, in der aus Abfällen wieder Ressourcen werden.

12. Juli 2021

Kickoff WaTTh Arnstadt

(Bild unten)

Das Batterie-Innovations- und Technologie-Center BITC als Teil des Fraunhofer IKTS am Erfurter Kreuz wird um ein »Wasserstoffanwendungszentrum für industrielle Wasserstoff-Techno-



logien Thüringen« (WaTTh) erweitert. Das Land Thüringen unterstützt das Vorhaben über drei Jahre mit 6,9 Mio. €. Weitere 3,4 Mio. € stellt der Freistaat für den Ankauf eines Gebäudes zur Verfügung, in dem Forschende des Fraunhofer IKTS Wasserstofftechnologien entwickeln und erproben können. Synergieeffekte zur am BITC bereits im Aufbau befindlichen Energiespeicherfertigungstechnologie 4.0 sollen hierbei ausgenutzt werden. Schwerpunkte liegen insbesondere auf der Wasserstoffproduktion durch großformatige Stack-Technologie und der industriellen Nutzung von Wasserstoff.

2.–6. August 2021

Sensor Space Summer School

Als erste Veranstaltung des Tridelta Campus Sensor Space begrüßte die Sensor Space Summer School des Fraunhofer IKTS die Teilnehmenden an der Hermsdorfer Berufsschule. Ziel der Summer School war es, grundlegende Konzepte der Industrie 4.0 zu vermitteln und das Interesse an MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik) zu wecken. Schüler der 7. bis 11. Klasse bekamen in dem einwöchigen Ferienkurs Einblicke in Programmierung, Anlagenbau und Automatisierung. Zum Einsatz kamen Microcontroller, Sensoren und eine Programmieroberfläche für Einsteiger.

18. August 2021

2. Platz beim SET4FUTURE Innovation Award

Der »Sonic Rail Explorer (SRE)« ist ein mobiles Ultraschallprüfgerät für Bahnschienen. Es wurde mit dem 2. Platz beim SET4FUTURE Innovation Award 2021 des sächsischen Bahntechnikclusters Rail.S. ausgezeichnet. Die gemeinsame Entwicklung von Vossloh Rail Services GmbH, Fraunhofer IKTS und WOLFRAM Designer und Ingenieure wird in der Inspektion von Eisenbahnschienen und Weichen zur Detektion von Defekten eingesetzt und ermöglicht ein vernetztes Prüfdatenmanagement.

27. August 2021

Senodis ist Transferprojekt des Monats der IHK Dresden

Im Unternehmermagazin »ihk.wirtschaft« stellt die IHK Dresden in der Juli/August-Ausgabe die Senodis Technologies GmbH als Transferprojekt des Monats vor. Seit 2014 wurde am IKTS daran geforscht, wie Metallbauteile so markiert werden können, dass die Kennzeichnung auch intensive Bearbeitungsschritte übersteht und sich die Komponenten damit lückenlos entlang der Prozesskette erfassen lassen. Im Ergebnis steht die Ceracode®-Kennzeichnung, die seit 2019 von der eigens dafür gegründeten Senodis Technologies GmbH vermarktet wird.



10. September 2021

1. Preis für CoMo-Shirt zur Messung von Vitalfunktionen

Unter dem Motto »Design & Forschung vs. Pandemien« arbeiteten Designstudierende und Fraunhofer-Forschende beim Summercamp des Fraunhofer-Netzwerks »Wissenschaft, Kunst und Design« im September 2021 eine Woche lang gemeinsam an innovativen Konzepten zur Früherkennung und Überwindung von Pandemien. Am 10. September stellten sie ihre Konzepte einer Expertenjury vor. Den mit 5000 € dotierten ersten Preis gewann ein Team aus vier Studierenden, IKTS-Forscher Sascha Balakin und Fraunhofer ENAS-Forscherin Julia Wecker. Sie entwarfen und schneiderten ein Wickel-Shirt, das Sensoren zur Messung von EKG, Lungenfunktion und Temperatur enthält sowie eine Kamera zur Beobachtung der Hautoberfläche. Den Strom für diese Funktionen erzeugen u. a. Energy-Harvesting-Technologien. Das Fraunhofer-Summercamp findet jedes Jahr zu wechselnden Themen statt.

16. September 2021

Einweihung des Pilotierungszentrums in Hermsdorf

(Bild oben)

Das »Pilotierungszentrum für Pulversynthese und Extrusion« wurde nach zweijähriger Bauzeit feierlich eingeweiht und ergänzt die Liegenschaften des Fraunhofer IKTS in Hermsdorf um ca. 600 m² Nutzfläche. Forschungsthemen im Neubau sind stationäre Energiespeicher und keramische Membranen für die Stofftrennung. Der Bau wurde vom Bund und dem Freistaat Thüringen mit 6,4 Mio. € gefördert. Zur feierlichen Eröffnung waren Ministerpräsident Bodo Ramelow, Wirtschaftsminister Wolfgang Tiefensee und Fraunhofer-Vorstand Andreas Meuer nach Hermsdorf gekommen.



16. September 2021
Ehrenkolloquium für Dr. Bärbel Voigtsberger

(Bild oben)

Anlässlich ihres 70. Geburtstags fand am 16. September 2021 für die ehemalige Institutsleiterin Dr. Bärbel Voigtsberger ein Ehrenkolloquium im Stadthaus Hermsdorf statt. Als Referenten konnten Daniel Störzner (LCP Laser Cut Processing), Dr. Meinhard Schwefer (thyssenkrupp) und Michael Philipps (Endress+Hauser) gewonnen werden. Das anschließende Get-Together ermöglichte viele Gespräche mit ehemaligen Mitarbeitenden und Wegbegleitern.

23. September 2021
NDT on Tour

(Bild rechte Spalte)

Um trotz Messeabsagen aktuelle Entwicklungen aus dem Bereich der zerstörungsfreien Prüfung und Zustandsüberwachung zugänglich und erlebbar zu machen, wurde am Standort in Dresden-Klotzsche das Konzept des NDT-Tourbusses erarbeitet. Dafür wurde ein Lieferwagen mit Messgeräten und Demonstratoren bestückt und diese am 23. September 2021 im DGZfP-Ausbildungszentrum Berlin präsentiert. Das Angebot erhielt viel Aufmerksamkeit und soll in regelmäßigen Abständen wiederholt werden. Sollten Sie Interesse am Besuch unseres Tourbusses haben, sprechen Sie uns gern an.

12. Oktober 2021
Pressefrühstück: Wassertechnologien im Fokus

Wassertechnologien sind der Schlüssel für eine zukunftsfeste Energie- und Ernährungswirtschaft, ist sich Dr. Burkhardt Faßauer, Abteilungsleiter für Kreislauftechnologien und Wasser am Fraunhofer IKTS sicher. Beim siebten Pressefrühstück »Early Morning Science mit Fraunhofer« des Fraunhofer-Institutszentrums Dresden stellte Dr. Faßauer neue Wassertechnologien und Kreislaufkonzepte des IKTS vor, mit denen Abwässer aus Kommunen, Energieanlagen oder dem Bergbau effizienter zu sauberem Trinkwasser aufbereitet werden können. Gleichzeitig lassen sich erhebliche Wertschöpfungspotenziale erschließen, indem aus Reststoffen gezielt Düngemittel hergestellt, Metalle und andere Rohstoffe wiedergewonnen und Wasserstoff für Strom und Wärme produziert werden kann.



8. Dezember 2021

Silicon Science Award 2021 für Nadja Steinke

(Bild rechts)

Für ihre Dissertation »Plasmonic sensor for the on-site detection of diclofenac molecules« wurde Dr. Nadja Steinke der Silicon Science Award 2021 im Rahmen des 15. Dresdner Sensor-Symposiums verliehen. In ihrer Arbeit beschäftigt sie sich mit der Entwicklung eines plasmonischen Sensorsystems zur Detektion von Arzneimittelrückständen, wie Diclofenac, im Abwasser. Die Vor-Ort-Analytik soll künftig direkt in Kläranlagen die Einhaltung von Grenzwerten überwachen und so dabei helfen, die Abwasserbehandlung effizienter zu gestalten.



19. Januar 2022

Ehrenkolloquium für Dr. Hagen Klemm

(Bild unten)

Seit der Gründung des Fraunhofer IKTS im Jahr 1992 war Dr. Hagen Klemm am Institut als Wissenschaftler, Gruppenleiter, Abteilungsleiter und geschätzter Kollege tätig. Zu seinen Themenfeldern am IKTS zählten unter anderem keramische Faserverbundwerkstoffe (Ceramic Matrix Composites, CMC), Korrosionsschutzschichten (Environmental Barrier Coatings, EBC), Siliciumnitrid/Siliciumcarbid sowie die Hochtemperatur-Charakterisierung. Mit einem Ehrenkolloquium wurde er aus dem aktiven Dienst verabschiedet. Das IKTS-Team und externe Wegbegleiter würdigten die Meilensteine seiner Forschung am Fraunhofer IKTS und ließen die langjährige und verbindende Zusammenarbeit in Projekten Revue passieren.

V.l.n.r.: Prof. Alexander Michaelis, Dr. Tassilo Moritz, Dr. Hagen Klemm und Dr. Michael Zins.



Aus den Geschäftsfeldern des Fraunhofer IKTS



Im Fokus Seite 22–29

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



Werkstoffe und Verfahren Seite 30–33

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 34–38

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



Umwelt- und Verfahrenstechnik Seite 39–42

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.



Wasser Seite 43–47

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



Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachung Seite 48–51

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



Elektronik und Mikrosysteme Seite 52–57

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.



Material- und Prozessanalyse Seite 58–61

Das Fraunhofer IKTS bietet ein umfassendes Portfolio an Test-, Charakterisierungs- und Analysemethoden für Materialeigenschaften und Produktionsprozesse. Als zuverlässiger, mehrfach akkreditierter und auditiertes 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.



Maschinenbau und Fahrzeugtechnik Seite 62–63

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

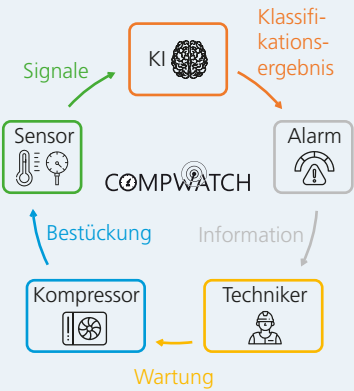


Bio- und Medizintechnik Seite 64–68

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.

Digitale Dienstleistungen in Analytik und zerstörungsfreier Prüfung

Prof. Silke Christiansen, Dr. Christian Wunderlich



Vorgehensmodell Zustandsüberwachung an Verdichtern mittels KI-Methoden.

Bedarf

Die digitale Transformation wird die wissenschaftliche Arbeit am Fraunhofer IKTS sehr stark wandeln. Dies beinhaltet neben der vollständigen Integration modernster Methoden des maschinellen Lernens und der Mustererkennung in bestehende Verfahren und Abläufe der Analytik auch die Entwicklung und Kommerzialisierung digitaler Tools und Geschäftsmodelle an sich. Forschungsdaten am IKTS sind per se höchst heterogen: Material-, Prozess-, Prüf- und Umweltdaten müssen nach dem FAIR-Prinzip erhoben und verarbeitet werden (findable, accessible, interoperable, reusable). Nur so – strukturiert und systematisch – erhobene Daten können in konsekutiven Schritten ausgewertet, verknüpft oder auch als Basis für die Erzeugung synthetischer Daten und Modelle genutzt werden. Auf diese Weise ist ein neuer Grad der Wertschöpfung zu erreichen. Forschende indes können Datenanalyse- und KI-Projekte nicht einfach outsourcen, da zwischen Fachexperten und Datenwissenschaftlern zunächst einmal eine gemeinsame Sprach- und Verständnisbasis geschaffen werden muss.

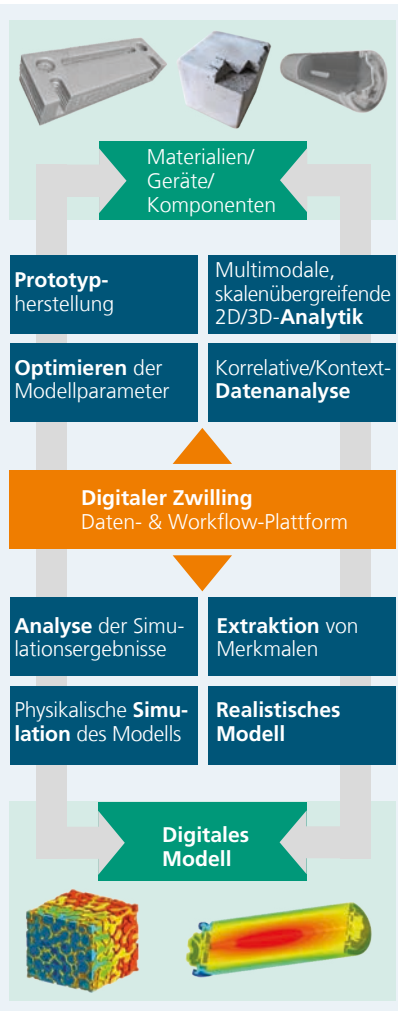
Umsetzung

Um diese neuen Anforderungen konsequent umzusetzen, bedarf es neuer, interdisziplinär aufgestellter Teams mit Know-how aus Materialwissenschaft, Naturwissenschaft, Ingenieurwesen, Informatik und Datenwissenschaft, die das IKTS aktuell standortübergreifend entwickelt, beispielsweise in Cottbus (Forschungsgruppe Kognitive Materialdiagnostik KogMat), Forchheim und Arnstadt (Batterie-Innovations- und Technologie-Center BITC). Ein Vorteil digitaler Methoden und Werkzeuge ist, dass die standortübergreifende, ressourcensparende Zusammenarbeit erleichtert und die agile

Arbeitsweise in den Teams unterstützt wird. Rechenleistung und Speicherplatz beispielsweise kann an beliebigen Institutsstandorten bereitgestellt werden, wenn durch entsprechende Virtualisierungs- und Cloudstrategien alle Geschäftsfelder des IKTS von allen Standorten aus ein Zusammenspiel von Analytik und Modellierung, Simulation, Automation sowie qualitativer und statistischer Datenauswertung nutzen können.

Wichtig ist aber auch: Materialforschende und Datenexperten am IKTS müssen sich gemeinsam ein neues Verständnis von digitaler Wertschöpfung erarbeiten. Sie müssen die Begriffe, Herausforderungen und Methoden der jeweiligen werkstoff- und ingenieurwissenschaftlichen, aber auch der datenwissenschaftlichen Subdisziplinen kennen und verstehen lernen. Darüber hinaus bringen digitale Methoden auch völlig neue Arbeitsweisen in die Forschungsgruppen am IKTS ein. Dazu gehören Ansätze wie Design Thinking, schnelles Prototyping und agile Teamarbeit.

Bereits heute sind im Forschungsalltag am Fraunhofer IKTS erste KI-Elemente integriert. Große Datensätze aus der akustischen Zustandsüberwachung werden mit speziell trainierten Modellen bearbeitet, Bildanalysealgorithmen werden für die Verbesserung und Auswertung von Röntgen- oder Mikroskopiedaten benutzt. Sensordaten aus Kamerabildern und Ultraschall werden miteinander fusioniert. Automatisierte Literaturanalysen oder Auswertungen vergangener Projekte, Verknüpfungen von Daten aus Simulationen und Experimenten führen zu Effizienzsteigerung und besserer Qualität. Die Anlagen des IKTS zur additiven Fertigung nutzen bereits heute hochspezialisierte digitale Algorithmen zur Optimierung der CAD-Files vor deren Verarbeitung.



Verknüpfung der Material- und Metadaten aus der Analyse mit der Modellierung und Simulation zur Etablierung eines digitalen Zwillings.

Der Standort Forchheim wird sich dabei zur Speerspitze der Kontext-Mikroskopie und Spektroskopie entwickeln und in diesem Sinne für das gesamte IKTS und seine Kunden teils einmalige analytische Messmodalitäten weiterentwickeln und für diese multimodale Workflows von der Datenerhebung über statistische Auswertungen bis zur Visualisierung aufsetzen.

Digitale Geschäftsmodelle im Beispiel

Der Kern der digitalen Angebote des IKTS in der korrelativen Mikroskopie bilden so genannte Workflows, die individuelle Datenbestände mit zugehörigen Bearbeitungsschritten verknüpfen. Diese Workflows laufen zentral auf einer High-Performance-Computing-Infrastruktur (HPC). Der Cluster verknüpft auf der einen Seite die Vielzahl heterogener, multimodaler und skalenübergreifender Daten der einzelnen mikroskopischen Verfahren. Auf der anderen Seite erhalten Mitarbeitende des IKTS aller Standorte, aber eben auch externe Kunden und Projektpartner den Zugriff auf diese Workflow-Engine. Eine auch für Laien verständliche Nutzeroberfläche erlaubt es, Daten strukturiert abzulegen, an der quantitativen Datenauswertung oder Visualisierung zu arbeiten, oder multimodal erhobene Daten zu Modellen, Simulationen oder »digitalen Zwillingen« zusammenzuführen.

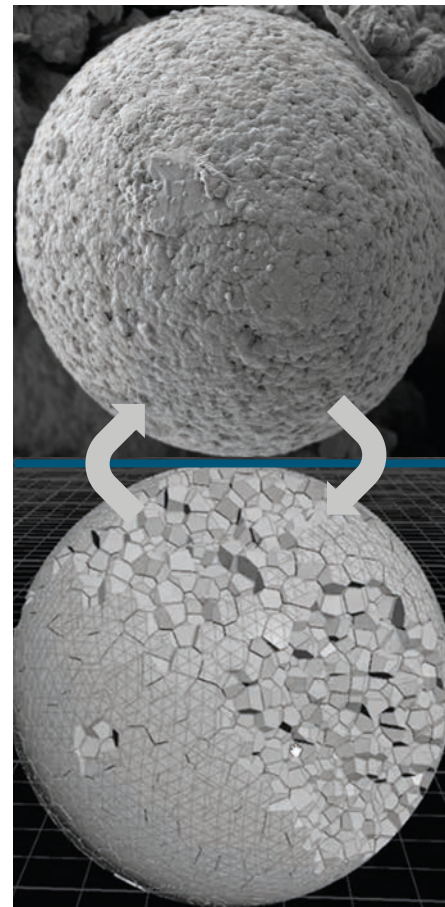
Die Workflow-Engine stellt dabei das Datenmanagement nach FAIR-Prinzipien sicher, ermöglicht die Ablage von Meta- und Prozessdaten oder von Proben-IDs. Auch erlaubt das System, externe Werkzeuge der Datenverarbeitung einzubinden und zu beschicken, wie etwa Software zur Datenkompression, zur Segmentierung von Bilddaten oder Finite-Element-Solver.

Als Beispiel wurden für die Weiterentwicklung von Batteriematerialien aus Mikroskopiedaten zahlreiche synthetische Datensätze auf Basis fotorealistischer, dreidimensionaler Renderings erzeugt, damit diese ihrerseits als bekannte Trainingsdaten für Algorithmen des Maschinellen Lernens (ML) genutzt werden können. Das Bild rechts oben zeigt eine elektronenmikroskopische Aufnahme eines Partikels (20 µm im Durchmesser) aus einer Nickel-Kobalt-Mangan-Legierung, wie sie in Kathodenfolien eingesetzt werden.

Eine andere Domäne, in der das IKTS mit digitalen Angeboten künftig Nutzen stiften will, sind Daten, die bei industriellen Kunden bereits anfallen oder vorliegen. Diese oftmals sehr unterschiedlichen Material-, Prozess-, Prüf- und Umweltdaten fallen entlang der gesamten Wertschöpfungskette an. Sie zu erfassen, miteinander zu verknüpfen und auszuwerten ist eine Herausforderung, der sich das IKTS nicht nur mit technischen Mitteln stellt. Durch die direkte Mitwirkung eines Kundenvertreters als Product Owner im agilen Prozess können IKTS-Kunden den unmittelbaren Nutzen noch während der Projektlaufzeit optimieren. Das funktioniert in verschiedenen Projektformaten, sowohl virtuell als auch in Präsenz. Für das Fraunhofer IKTS bedeutet dies einen großen Schritt in Richtung Aufbau und Einführung agiler Prozesse und die Beherrschung schneller und kontinuierlicher Feature-Auslieferung.

Die Integration insbesondere der Industriekunden in die Projektarbeit des IKTS wird künftig enger sein. Das Institut wird sich zunehmend in die großen nationalen und internationalen datenwissenschaftlichen Plattformen wie »Material Digital« integrieren und auch in steigendem Umfang branchenübliche Open-Source-Ansätze in der Software-Entwicklung nutzen.

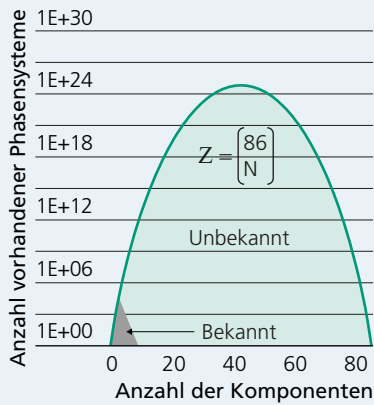
Auch in diesem Bereich kann das IKTS auf erste erfolgreiche Projekte mit digitalen Zustandsdaten verweisen: Im BMBF-geförderten Projekt CompWatch wurde ein Verfahren für ereignisorientierte Wartungsintervalle bei Kompressoren entwickelt. Das selbstlernende System »lernt« beim Kunden, wie ein intakter Kompressor klingt. Anomalien dieses Betriebsgeräusches kündigen einen möglichen Schaden an. Erst in diesem Fall löst das System einen präventiven Wartungseinsatz aus. Es muss dazu nicht alle möglichen Geräusche im Schadensfall vorab kennen, sondern es lernt und optimiert sich selbst. Anhand ohnehin anfallender Betriebsgeräusche und mit der vom IKTS entwickelten ML-Algorithmen plus einfacher Mikrofon Ausstattung können somit Betriebskosten und Ausfallzeiten gesenkt werden. Wartungsfirmen können zudem, basierend auf der Schwarmintelligenz aller Kompressoren, künftig schneller und effizienter Schadensdiagnosen erstellen.



Oben: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines 20 µm großen Partikels einer Nickel-Kobalt-Mangan-Legierung. Unten: fotorealistisch, synthetisch im ComputermodeLL erzeugter Partikel als Teil eines Trainingsdatensatzes für Algorithmen des maschinellen Lernens.

Digitale Werkstoffforschung am Fraunhofer IKTS

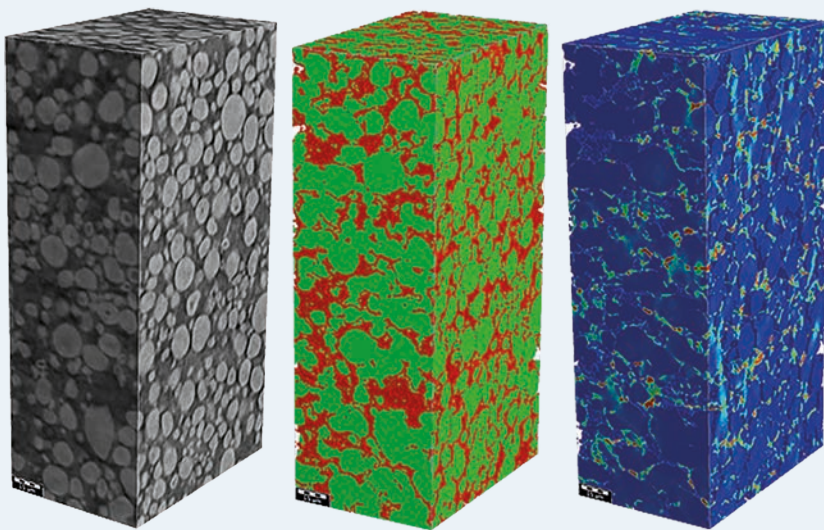
Dr. Mathias Herrmann, Dr. Wieland Beckert



Konstitutionsberg, Anzahl der existierenden Phasendiagramme, die jeweils mehrere Verbindungen mit fester oder variierender Zusammensetzung haben können. Nur der grau hinterlegte Teil ist bisher untersucht. [4]

Mit fortgeschrittenen Charakterisierungsverfahren und neuer Hard- und Software für die Datensammlung, -aufbereitung und -analyse erweitern sich die Ansätze für eine digitalisierte Werkstoffforschung. Für die Entwicklung und Fertigung von Werkstoffen und Bauteilen steht somit ein neues Instrumentarium für das tiefgreifende Verständnis der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen zur Verfügung. Damit können Entwicklungs- und Produktionsprozesse deutlich effektiver und zuverlässiger durchgeführt werden.

Die Herausforderungen liegen insbesondere in der Komplexität der Prozesse, die von atomaren Größen über mikroskopische und mesoskopische Effekte, wie Korngrenzen oder Versetzungen, bis hin zu eher makroskopischen Effekten, wie Spannungsverteilungen durch Temperaturfelder während der Herstellung oder die mechanische Bearbeitung reichen. Hinzu kommt, dass ein Großteil der relevanten Werkstoffeigenschaften nicht nur von der Werkstoffzusammensetzung und anderen leichter zugänglichen, integralen Parametern abhängt, sondern von seltenen und extremen Gefügemerkmalen, die durch komplexe Herstellungsbedingungen beeinflusst sind. Bisher wurden solche Parameter nicht in Datenbanken erfasst, sodass meist nur weite Eigenschaftsintervalle verfügbar sind. Eine Modellierung und Auslegung von Werkstoffen und Komponenten ist mit dieser Datengrundlage nur begrenzt möglich.



Beispiel für die detaillierte Mikrostruktur-Analyse eines Lithium-Ionen-Batterie-Elektrodenmaterials: XRM-Rohdaten (links; 462 x 1367 x 702 Voxel), abgeleitete synthetische Voxelstruktur (mitte) und Dehnungsfeld aus mechanischer Analyse zur Ableitung des elastischen Tensors (rechts).

Betrachtet man allein die Möglichkeiten des Werkstoffdesigns auf Basis der stabilen chemischen Elemente (Bild links oben), zeigen sich die großen Potenziale, die nur durch eine digital gestützte Werkstoffentwicklung mittels Multiskalenmodellierung erschlossen werden können, um die gewünschten Eigenschaftsspektren zu erreichen. Obwohl diese Arbeiten erst am Anfang stehen [1–3], sehen nahezu 50 % der Industriebetriebe die Optimierung von Produktionsprozessen und 16 % neue Werkstoffe als Schwerpunkt ihrer Digitalisierungsstrategie [3].

Insbesondere komplexe Prozesse, wie die keramische Fertigung könnten durch eine Instrumentierung von Anlagen und ganzen Fertigungsumgebungen grundlegend neue Wege der Prozessentwicklung und -optimierung erschließen. Bei einer erfolgreichen Umsetzung käme dies einer Revolution der Fertigung keramischer Komponenten gleich (»Digitale Dienstleistungen in Analytik und zerstörungsfreier Prüfung«, S. 22). Das Fraunhofer IKTS treibt diese Bestrebungen gleich in zwei Stufen voran – sowohl bei der Erhebung, Sammlung, Aufbereitung und Interpretation der Daten als auch bei der Entwicklung neuer Sensoren und Messprinzipien, um diese zu erfassen. Hierbei ergeben sich besondere Vorteile aus der Synergie des umfangreichen Know-hows auf dem Gebiet der keramischen Werkstoffe und Verfahren einerseits und der zerstörungsfreien Prüfung und Überwachung andererseits.

Wie die Ausführungen zeigen, sind die Aufgaben sehr komplex und erfordern Voraussetzungen auf verschiedenen Ebenen. Das Fraunhofer IKTS konzentriert sich daher auf die strukturierte Erfassung von anfallenden Messdaten und ihre bessere Aufbereitung für weitergehende Analysen wie u. a. Modellierungen. Darüber hinaus werden Tools zur Auswertung von Daten aus Herstellungsprozessen weiterentwickelt, um eine verbesserte Produktionsüberwachung und Qualitätssicherung zu ermöglichen. Dabei kommt eine breite Palette von statistischen und KI-basierten Methoden zum Einsatz, die prozessspezifisch adaptiert werden.

Um Werkstoffeigenschaften zu modellieren sowie Fertigungsprozesse zu verifizieren, müssen Werkstoffkenndaten und Aussagen zur Mikrostruktur effektiv gewonnen werden. Die Werkstoff- und Prozesscharakterisierung am Fraunhofer IKTS verfügt über die geeignete Infrastruktur sowie das entsprechende Know-how. Diese Daten müssen gezielt aufbereitet werden (»KI-basierte quantitative Gefügeanalyse keramischer Werkstoffe«, S. 60), wobei das IKTS einen besonderen Fokus auf die Generierung von 3D-Strukturen mittels 3D-FIB und Computertomographie oder die mikromechanische Charakterisierung und Bestimmung von Grenzflächeneigenschaften (»Untersuchung von mikroskopisch adhäsivem und kohäsivem Materialverhalten«, S. 58) legt.

Besonders herausfordernd ist dies bei heterogenen Werkstoffen und Werkstoffverbunden, da die strukturellen Analysen der Struktur-Eigenschafts-Korrelation entsprechend komplexer sind. Dazu werden eigens Geometriemodelle für experimentelle oder synthetische 3D-Strukturen voxelbasiert generiert und für die Nutzung in verschiedenen Programmpaketen zur numerischen, mathematisch-physikalischen Analyse aufbereitet. Am Fraunhofer IKTS stehen dafür umfangreiche Methoden und Softwareumgebungen (GeoDict, COMSOL, ANSYS, Fluent, OpenSource FDM, FVM, FEM) zur Verfügung, mit denen dann an den virtuellen Abbildern der Werkstoffe strukturelle Einflüsse analysiert und Vorhersagen für spezifische Eigenschaften getroffen werden (Bild links unten). Diese werden an realen Werkstoffdaten für spezielle Systeme validiert und bieten als quasi virtuelle Materialanalyse zahlreiche Vorteile.

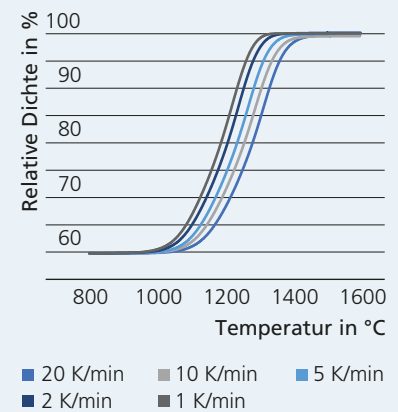
Effizienzgewinne entstehen hier vor allem durch die Wegfallende Probenherstellung und -präparation oder einen vereinfachten Zugang zu experimentell nur sehr aufwändig charakterisierbaren Materialkenngrößen. Zudem lassen sich so definierte Werkstoffeigenschaften zielgerichtet einstellen.

Dieses Vorgehen wurde bisher bereits erfolgreich bei der Beschreibung der Durchströmbarkeit (Nusselt-Sherwood-Zahl, Druckverlustbeiwert) von keramischen Schäumen, der Bestimmung der effektiven Widerstände von leitfähigen Kompositen (Pasten, Lithium-Ionen-Elektroden) oder zur Modellierung der Wärmeleitfähigkeit in WC/Co-Werkstoffen (»Thermische Eigenschaften von Hartmetallen als Funktion des Gefüges«, S. 59) angewendet.

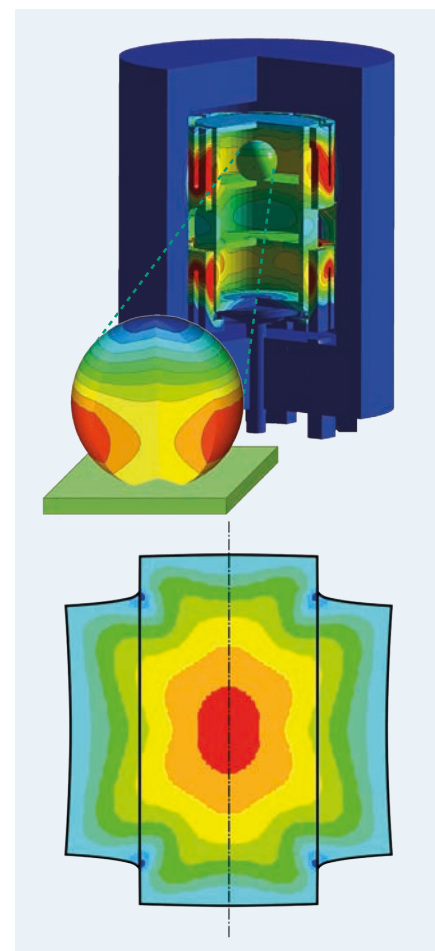
Ein ähnlicher Ansatz wird am Fraunhofer IKTS auch bei der Prozesssimulation der einzelnen Herstellungsprozesse verfolgt. Einerseits werden Methoden entwickelt, um die notwendigen Ausgangsparameter experimentell zu erfassen. Andererseits werden diese für Modellierungen – auch in Kooperation mit Partnern – genutzt. Schwerpunkt bildet dabei die Modellierung des Sinterverhaltens und der Temperaturverteilung in Öfen (Bild rechts unten). Dadurch können Formabweichungen und entstehende Eigenspannungen berechnet werden. Diese Methoden werden aktuell weiter ausgebaut, um sie auch für anisotrope und additiv gefertigte Bauteile nutzen zu können.

Literatur

- [1] Strategiepapier: Digitalisierung der keramischen Fertigung – Herausforderungen und Chancen (<https://dgm.de/fileadmin/DGM/Netzwerk/Ausschuesse/GA-Hochleistungskeramik/2021-DKG-DGM-Strategiepapier-Digitalisierung.pdf>).
- [2] Digitale Strategien für mehr Materialeffizienz in der Industrie (<https://www.iwkoeln.de/studien/adriana-neligan-digitale-strategien-fuer-mehr-materialeffizienz-in-der-industrie.html>).
- [3] J. Kimmig et. al.: Advanced Materials, 2021, 33, 2004940 DOI: 10.1002/adma.202004940.
- [4] Nach G. Petzow, cfi ceramic forum international, Berichte der DKG, 81 (2004, Nr. 4, E34).



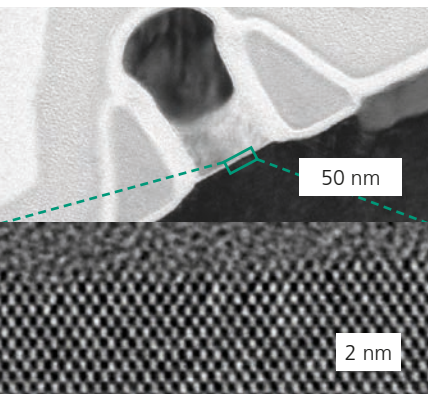
Dilatometrische Messungen als Basis der Modellierung des Sinterverhaltens.



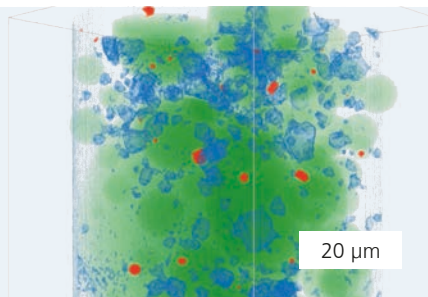
Modellierung der Temperaturverteilung im Ofen und des Schwindungsverhaltens.

Mikroelektronik-Materialien und Nanoanalytik für verbesserte Leistung und Zuverlässigkeit

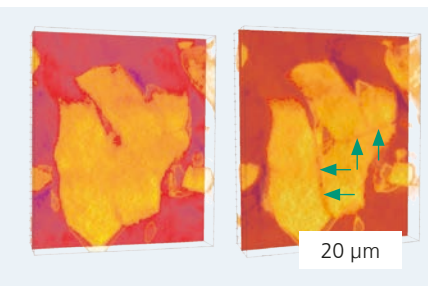
Dr. André Clausner, Dr. Birgit Jost, Dr. Zhonquan Liao, Dr. Jürgen Gluch, M. Sc. Kristina Kutukova, Dipl.-Ing. Christoph Sander



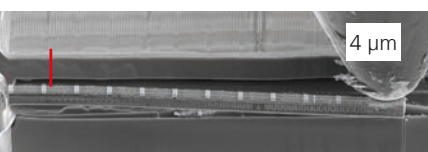
HR-TEM-Aufnahme einer Transistorstruktur mit atomar aufgelöster Kanalstruktur.



Röntgentomografische 3D-Mikroskopie einer heterogenen Vergussmasse.



Röntgenmikroskopisches Operando-Experiment an einer aktiven Batteriezelle, links: Kathodenpartikel vor Zyklierung, rechts: Rissbildung nach 37 Zyklen.



In-Situ-Biegeexperiment in einem Rasterelektronenmikroskop an einer nano-strukturierten Mikroelektronikprobe.

Neuartige und komplexe Werkstoffsysteme sind ein Schlüssel für Innovationen in der Mikro-, Nano- und Optoelektronik sowie in der Energie-, Umwelt- und Medizintechnik.

Die meisten makroskopischen Eigenschaften von Materialien und strukturierten Systemen haben ihren Ursprung in der mikroskopischen Welt. Mit dem richtigen Wissen über die relevanten Struktur-Eigenschaftsbeziehungen lässt sich die Entwicklung neuer Produkte beschleunigen, die Zuverlässigkeit von Bauteilen gezielt verbessern und die Effizienz von technologischen Prozessen erhöhen.

Die Abteilung »Mikroelektronik-Materialien und Nanoanalytik« am Fraunhofer IKTS beschäftigt sich intensiv mit modernsten Nanoanalytik-Methoden sowie mit innovativen, problemangepassten Experimentaldesigns in Mikroskopen, um mikroskopische Effekte messbar zu machen und weiter verwerten zu können. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Kombination von Verfahren und der Betrachtung zeitaufgelöster Wechselwirkungen.

Ein wichtiges Anwendungsfeld stellt die Mikroelektronik dar. In enger Kooperation mit der Industrie bearbeiten wir Fragestellungen auf Chipebene – in Größenbereichen zwischen wenigen Nanometern und einigen Mikrometern. Die Methoden umfassen dabei:

- Hochauflösende analytische Transmissionselektronenmikroskopie (HR-TEM inkl. EDX und EELS)
- Hochauflösende Röntgen-Nanotomografie (nXCT)
- Rasterelektronenmikroskopie/Plasma-FIB (REM/FIB) für flexible Probenpräparation sowie EDX/EBSD für chemische und kristallografische Charakterisierung

- Modernste nanomechanische Testsysteme (z. B. Nanoindentation)

Damit lassen sich beispielsweise Transistorstrukturen und deren Fehlermodi bis hin zu atomarer Auflösung (Bild oben) oder in Vergussmassen Strukturen und Materialien in 3D mit Auflösungen von mehreren 10 nm (zweites Bild) abbilden. Dadurch wird ein deutlich tieferer Einblick in die Struktur und das Verhalten von Mikroelektronik-Materialien ermöglicht.

Über die bildgebenden Verfahren hinaus arbeiten wir intensiv am Verständnis und der Optimierung von Zuverlässigkeitsthemen, wie Elektromigration, thermomechanische Zuverlässigkeit und Hochfrequenzverhalten. Dafür stehen spezifisches Equipment wie ein HF-Wafer-Prüfer und EM-Testöfen zur Verfügung.

Eine Kernexpertise ist das Integrieren von Experimenten in verschiedene Mikroskope in Form von In-situ- und Operando-Tests, z. B. für Mikroelektronik- oder Energiesysteme. Ein Beispiel für die innovative Umsetzung von Operando-Experimenten in der Röntgenmikroskopie ist der Aufbau einer aktiven Batteriezelle in einem nXCT, womit die mikroskopische Rissbildung in Kathodenpartikeln bei der Zyklierung einer Batteriezelle beobachtet werden kann (drittes Bild). Auch In-situ-Experimente in Mikroskopen liefern aufschlussreiche Informationen. Beispielsweise kann so in einem Rasterelektronenmikroskop der System-E-Modul einer nanostrukturierten Mikroelektronikprobe in-situ bestimmt werden (Bild unten).

Forschungs- und Entwicklungszentrum für Transparentkeramik

Prof. Ingolf Voigt, Dr. Sabine Begand

Ausbau der Entwicklung von Transparentkeramiken

Mit der Integration der Sparte Transparente Keramik der CeramTec-ETEC GmbH (PERLUCOR®) baut das Fraunhofer IKTS seine bestehenden Kompetenzen in der Entwicklung transparenter Keramiken deutlich aus. Die neue technische Infrastruktur ermöglicht den Aufbau eines Forschungs- und Entwicklungszentrums für transparente Keramiken am IKTS-Standort Hermsdorf.

Mit der finanziellen Unterstützung des Freistaats Thüringen wird eine komplette keramische Technologiekette mit Anlagen zur Konditionierung hochreiner Pulver, Formgebung, Wärmebehandlung, Laserbearbeitung und Ultrapräzisionsbearbeitung implementiert, die zukünftig eine Verbindung zwischen dem Labormaßstab und der industriellen Produktion schafft.

Die Keramiktechnologie wird damit einen Leistungssprung in Bezug auf Bauteilgröße, Reinheitsgrad und innovative Fertigung erreichen.

Die Förderung ist eine wichtige Grundlage für zukünftige Projekte. Sie ist ein echter Meilenstein in der Entwicklung Thüringens, insbesondere der Industrieregion Hermsdorf, zum führenden Zentrum für Hochleistungskeramik in Europa.

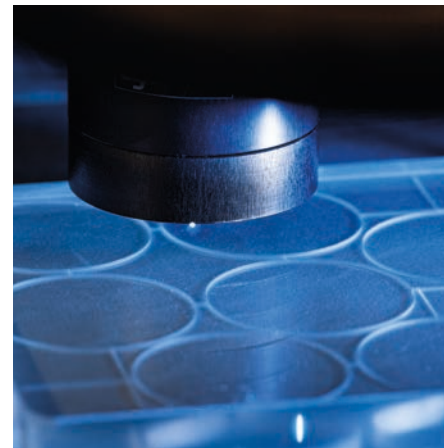
Transparente Keramiken zeichnen sich durch hervorragende Materialeigenschaften aus und sind Glas, Saphir oder Gorilla-Glas in zahlreichen Anwendungen überlegen:

- Transmissionsbereich 0,2–6 µm
- Brechungsindex 1,72
- Härte 13,8 GPa
- Biegefestigkeit 350 MPa
- Dielektrizitätskonstante 8–9
- Schmelzpunkt ~2000 °C

Einzigartige Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten von Transparentkeramiken

- Extreme Robustheit, Härte und Kratzfestigkeit für längere Sichtbarkeit und Funktionalität von Scannern und Displays
- Sicherheitsscheiben in gepanzerten Fahrzeugen mit reduziertem Gewicht
- Effizienter Einsatz unter extremen Bedingungen in der Industrie zur sicheren Überwachung von Prozessen, z. B. in der Produktion, in Hochtemperaturbereichen, in Ofen-, Sicht- und Rotationsfenstern
- Dauerhafter Schutz von Optik- und Sensorsystemen in rauer Umgebung, wie in Wüstenregionen, im Meer oder im Weltall, z. B. optische Linsen und andere optische Elemente für Kameras, Nachtsichtgeräte, Lidar-Sensoren oder Überwachungssysteme
- Biokompatibilität und Biostabilität von Optiken für medizinische Geräte, Endoskope und Point-of-Care-Diagnostik

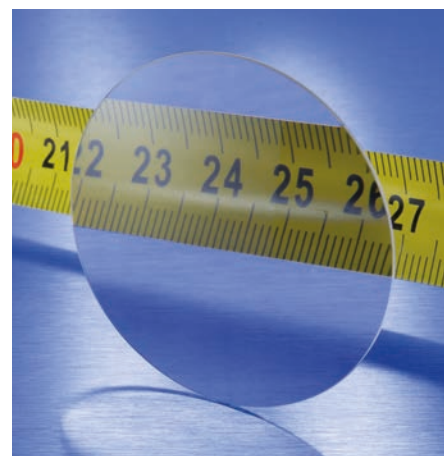
Das Projekt wurde partiell durch den Freistaat Thüringen gefördert (FKZ: 2021 FGI 0002).



Laserperforierte Transparentkeramik für den Einsatz in der Sensorik und Optoelektronik.



Elektronisches Messgerät mit Spinel-Display.



Optische Linse aus Spinel-Keramik.



Industrielle Wasserstoff-Technologien Thüringen am Standort Arnstadt WaTTh

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



Standort des Wasserstoffanwendungszentrums WaTTh.



Übergabe des Fördermittelbescheids des Thüringer Wirtschaftsministers Wolfgang Tiefensee an den Standortleiter Dr. Roland Weidl.

Wasserstoff wird als vielfältig einsetzbarer Energieträger eine Schlüsselrolle bei der Dekarbonisierung unserer Welt einnehmen. Im Zuge des weltweiten Ausbaus der Wasserstoff-Infrastruktur ist die wirtschaftliche Skalierung von Wasserstoff-Technologien essenziell. Um den zukünftigen Bedarf an grünem Wasserstoff national abdecken und industriellen Endverbrauchern bereitstellen zu können, müssen die Elektrolysesysteme bedeutend weiterentwickelt werden.

Das Fraunhofer IKTS betreibt hierfür am Standort Arnstadt das Wasserstoffanwendungszentrum WaTTh. Neben der automatisierten Stack-Montage und dem smarten Maschinen- und Produktionsdesign werden auch die Logistik und Datenerfassung im Sinne industrieller Datenkonzepte betrachtet. Hierbei können Synergieeffekte mit dem bereits in Arnstadt angesiedelten BITC, dessen Fokus auf der Keramik- und Batterieproduktionsforschung (Industrie 4.0) liegt, genutzt werden. Für die Hochskalierung der Elektrolysetechnologie sollen alle Teilkomponenten der Wasserstofftechnik in den Leistungsklassen 10 bis 100 Kilowatt entwickelt werden. Dabei konzentrieren wir uns auf die Hochtemperatur-Elektrolyse mit Festoxidzellen (SOE) sowie die alkalische Elektrolyse (AEL).

Da die Produktion von hochskalierten Stacks in einem Laborumfeld nicht darstellbar ist, werden am WaTTh entsprechende Produktions- und Qualitätsprüfungsverfahren sowie Testfelder im Technikumsmaßstab bereitgestellt. Das IKTS trägt damit zur zeitnahen Überführung in die industrielle Reife und in die Großstack-Fertigung bei.

Im Zuge des Aufbaus des WaTTh wird zudem eine Power-to-X-Anlage mit eigens entwickelten Hochtemperaturolektrolyse-Zellen installiert.

Mit dieser Anlage soll demonstriert werden, wie sich über Co-Elektrolyse aus CO₂ und Wasser nachhaltige, CO₂-neutrale Grund- und Kraftstoffe vollautomatisiert erzeugen lassen.

Ein weiterer wesentlicher Beitrag zur Dekarbonisierung der Industrie ist die Nutzung von Wasserstoff zur Wärmeerzeugung in Industrieöfen. Nach heutigem Stand der Technik basieren diese Öfen auf Erdgas, Öl oder Elektroenergie. Um für Kooperationspartner in der regionalen Industrie – insbesondere der Keramikindustrie und im Industrieofenbau – wasserstoffbeheizte Öfen als Entwicklungs- und Akquisepfad attraktiver zu machen und die sich daraus ergebenden Möglichkeiten zu demonstrieren und zu explorieren, soll ein wasserstoffbeheizter Sinterofen mit entsprechender Ofenperipherie aufgebaut und betrieben werden. Als Demonstrator und in modularer Bauweise sollen verschiedenste Varianten der Wasserstoff-Wärmeerzeugung getestet, analysiert und verifiziert sowie etablierte Brennprozesse auf diese Wärmeerzeugung umgestellt werden.

Um für die Aufbauten und Aktivitäten ausreichend Platz zu gewährleisten, wurde eine angrenzende Brachfläche (13 000 m²) erworben.

Wir danken dem Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft für die finanzielle Unterstützung.

Projektgruppe »Kognitive Materialdiagnostik«

Dr. Constanze Tschöpe

Daten werden zum Schlüsselfaktor für neue Wertschöpfung bei Anlagen, Produkten und Prozessen. Mit Hilfe von künstlicher Intelligenz (KI) und maschinellem Lernen (ML) lassen sich selbst große Datenmengen effektiv analysieren und damit nutzbar machen.

Die Projektgruppe »Kognitive Materialdiagnostik« des Fraunhofer IKTS entwickelt und implementiert neueste Ansätze der KI und des ML für verschiedenste Anwendungen. Sie ist seit 2019 direkt an der BTU Cottbus-Senftenberg angesiedelt und wird vom Land Brandenburg sowie der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt. Gemeinsam mit zahlreichen Unternehmen der Region, Lehrstühlen der BTU, nationalen und internationalen Universitäten sowie Kliniken kann so ein breites Anwendungsspektrum erschlossen werden. Der Einsatz reicht dabei von der Qualitätsbewertung gefertigter Bauteile und der vorausschauenden Instandhaltung industrieller Anlagen und Verschleißkomponenten über die Verarbeitung gesprochener und geschriebener Sprache bis hin zur Analyse biologischer und medizinischer Daten.

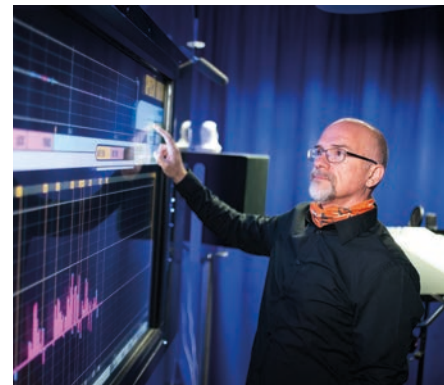
Seit Projektbeginn ist es so bereits gelungen, Drittmittel in Höhe von mehr als 1,2 Mio. € einzuwerben. Mit dem Aufbau der Forschungsaktivitäten in der Lausitz sollen neue qualifizierte und zukunftsweisende Arbeitsplätze in den Bereichen kognitive Materialien, maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz in der Bergbauregion geschaffen werden.

Im Verbundprojekt »Datenbasierte Services« beispielsweise werden in Kooperation mit ABB AG, Lausitz Energie Bergbau AG sowie EWG automation GmbH die umfangreich vorhandenen Kenntnisse zu Förderbandsystemen in Tagebauanlagen erfasst. Mit künstlicher Intelligenz sollen diese langjährigen Erfahrungen

gesichert, für die Neuausrichtung der betroffenen Unternehmen in der Strukturwandelregion Lausitz gezielt eingesetzt und für andere Unternehmen nutzbar gemacht werden. Damit gehen diese Kompetenzen beim bevorstehenden Kohleausstieg nicht verloren.

In einem weiteren Verbundprojekt »Digitale Zwillinge für Prozessoptimierung und vorausschauende Instandhaltung« entwickelt die Projektgruppe gemeinsam mit Projektpartnern ein System zur Planung und Optimierung von Fahrweisen und Instandhaltungsmaßnahmen in Industrieanlagen, die zukünftig auch außerhalb des Kraftwerksbereichs angewendet werden können. Die umfangreichen Kompetenzen aus den Bereichen Mustererkennung und Datenanalyse werden auch gewinnbringend im Verbundprojekt »Intelligente Informationsverarbeitung« eingesetzt. Hier werden Methoden und Algorithmen erarbeitet, um kontinuierliche Industrieprozesse zu modellieren, große Datenbestände zu analysieren und für die Optimierung und Effizienzsteigerung von Industrieprozessen nutzbar zu machen.

Neben FuE-Kooperationsprojekten mit Unternehmen und Forschungseinrichtungen bietet das Fraunhofer IKTS Machbarkeitsstudien, wissenschaftliche Beratung sowie Datenanalyse und -auswertungen an. Zudem umfasst das Leistungsangebot den Aufbau von Hardwaremodulen zur portablen, flexiblen Datenerfassung, die Entwicklung von Erkenn- und Trainingssoftware u. a. zur Mustererkennung sowie die Kombination von Hard- und Software zur Fertigung kundenspezifischer in- und offlinefähiger Prüfsysteme.



Versuchsfeld für kognitive Systeme an der BTU Cottbus-Senftenberg.

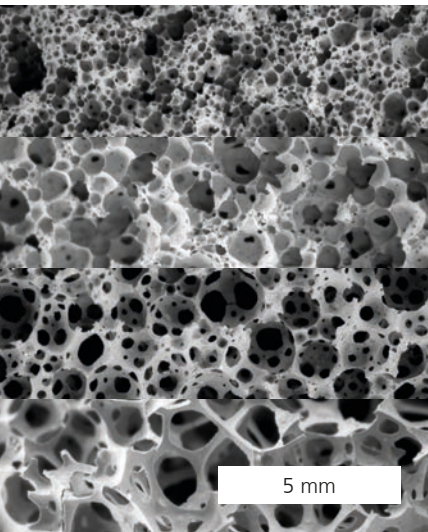


Versuchsstand zur Rissprüfung an Glasflaschen.

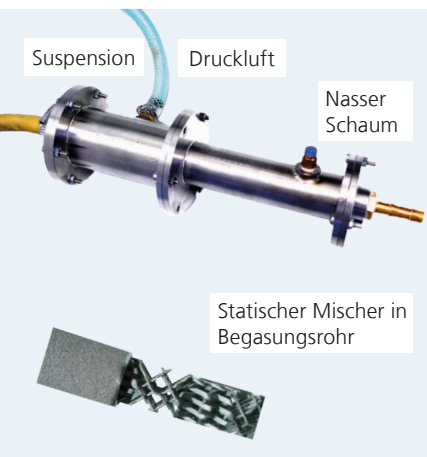


Direktschäumung keramischer Suspensionen

Dr. Daniela Haase, Dipl.-Krist. Jörg Adler



Porenmorphologie verschiedener direktgeschäumter Keramiken.



Patentierter Schaumgenerator zur kontinuierlichen Erzeugung von Direktschaum.



Direktgeschäumte keramische Bauteile aus verschiedenen Materialien mit unterschiedlicher Porosität.

Das Direktschaumverfahren ermöglicht die Herstellung hochporöser Keramiken mit geschlossener oder (teilweise) offener Porosität. Die Poren können durch verschiedene Methoden direkt in die strukturgebende Phase eingebracht werden, beispielsweise mittels chemisch wirkender Treibmittelprozesse oder durch physikalische Dampfdruckerzeugung. Ein besonders ökonomisches und ökologisches Verfahren ist das Einbringen von Luft durch Begasen und/oder mechanisches Einrühren der Gasphase in eine Suspension unter Verwendung von Tensiden. Der entstandene Nassschaum wird anschließend in eine Form gefüllt, getrocknet, entformt und wärmebehandelt.

Schaumgenerator zur kontinuierlichen Herstellung von Direktschaum

Am Fraunhofer IKTS wurde ein Schaumgenerator entwickelt und patentiert. Dieser erlaubt eine kontinuierliche und im Vergleich zu herkömmlichen Rotor-Stator-Systemen nahezu verschleißfreie Erzeugung geschäumter Keramiksuspensionen. Im Inneren des Geräts werden die durch eine Pumpe zugeführte Suspension und die über ein Begasungsrohr eingebrachten Luftblasen mit einem statischen Mixer zu einem homogenen Schaum vermischt. Die Porosität des resultierenden Schaums kann über das Volumenstromverhältnis von Suspension und Luft genau eingestellt werden auf Werte zwischen 30 und 95 Vol.-%. Die Porengröße ist von den verbauten Komponenten (Porengröße des Begasungsrohres und Durchmesser des statischen Mixers) abhängig und kann im Bereich zwischen 100 μm und 2 mm variiert werden. Mit dem entwickelten Schaumgenerator ist eine getaktete Produktion von 10 bis 300 l/h Nassschaum möglich. Damit eignet sich dieser sowohl für den Laborbetrieb

als auch für industrielle Produktionsprozesse. Ein weiteres Upscaling auf größere Durchsätze ist möglich.

Ein wichtiger Aspekt bei der Entwicklung von Direktschläumen ist die Stabilisierung der Gasblasen im nassen Schaum. Am IKTS wurden Charakterisierungsmethoden entwickelt und Kenngrößen erarbeitet, die eine gezielte Differenzierung in stabile und instabile Schäume erlauben. Großen Einfluss haben insbesondere rheologische Parameter wie Fließgrenze, Viskosität sowie Speicher- und Verlustmodul.

Aktuelle Entwicklungsansätze beschäftigen sich neben der rheologischen Stabilisierung der Schaumstruktur mit einer beschleunigten Konsolidierung des nassen Schaumzustands, um den Trocknungsprozess zu verkürzen und so die Direktschaumtechnologie vor allem für großformatige Bauteile effizienter zu gestalten. Mit der entwickelten Technologie wurde am Fraunhofer IKTS bereits aus verschiedensten Materialien eine Vielzahl keramischer Schäume mit angepasster Porenstruktur entwickelt. Diese können beispielsweise für Wärme- oder Schalldämmwendungen, im Leichtbau, als Filtermaterial oder künstlicher Knochenersatz eingesetzt werden.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung und Charakterisierung hochporöser/zellulärer Keramikmaterialien
- Entwicklung und Transfer industrieller Herstellungstechniken zur Fertigung von Komponenten aus zellulärer Keramik
- Prototypenentwicklung und Einsatzstestung

Zirkoncarbid – Hochtemperaturwerkstoff für Hochtechnologien

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

Am Fraunhofer IKTS wurde ein technisch praktikables und kostengünstiges Herstellverfahren für qualitativ hochwertige Zirkoncarbid Keramikwerkstoffe entwickelt. Durch seinen sehr hohen Schmelzpunkt (3540 °C) und sehr niedrigen Dampfdruck ($< 10^{-6}$ mbar bei 2000 °C) ist Zirkoncarbid (ZrC) ein herausragender Hochtemperatur- und Hochvakuum-Werkstoff, der auf einem Niveau mit den als strategisch kritisch eingestuften Wolfram-, Tantal- und Molybdänwerkstoffen steht.

Werkstoffkenndaten von ZrC-Komponenten (> 98 % der theoretischen Dichte)

Biegebruchfestigkeit / 20 °C	350 MPa
Biegebruchfestigkeit / 1400 °C	200 MPa
Biegebruchfestigkeit nach Auslagerung bei 1900 °C	350 MPa
Bruchzähigkeit	4 MPa√m
Therm. Leitfähigkeit / 20 °C	31 W(mK) ⁻¹
Therm. Leitfähigkeit / 2000 °C	38 W(mK) ⁻¹
Spez. Widerstand / 20 °C	1·10 ⁻³ Ωcm
Spez. Widerstand / 2000 °C	2·10 ⁻³ Ωcm

Zirkoncarbid wurde bisher hauptsächlich in der Kernenergie-technik genutzt. Kompakte ZrC-Komponenten waren für andere Anwendungen bisher wirtschaftlich nicht attraktiv. Durch das am Fraunhofer IKTS entwickelte drucklose Sintern von ZrC eröffnen sich neue kostengünstige Möglichkeiten der Prozessierung. Eine Orientierung zu Einsatzmöglichkeiten von ZrC-Werkstoffen bieten Wolframkomponenten. Wolfram ist ein hochpreisiger Werkstoff, der durch seine herausragenden Eigenschaften in der Hochtemperaturtechnik und Hochvakuumtechnik bisher durch keinen anderen Werkstoff ersetzt werden konnte. Er vereint Eigenschaften wie Korrosionsbeständigkeit, chemische Stabilität, höchste thermische Belastbarkeit (> 2000 °C), Temperaturwechselbeständigkeit,

gute elektrische Leitfähigkeit und mechanische Eigenschaften wie E-Modul, Festigkeit sowie Bruchzähigkeit über ein breites Temperaturfeld. Erst die Kombination dieser Eigenschaften ermöglicht die zuverlässige und langlebige Funktion bestimmter Anlagenkomponenten, wie z. B. von Heizelementen im Hochvakuumofen. Die entwickelten Zirkoncarbidwerkstoffe sind als Substitut für Refraktärmetallkomponenten vorteilhaft nutzbar. Denn neben ihren herausragenden Werkstoffeigenschaften sind sie leichter, kostengünstiger und enthalten keine kritischen Rohstoffe. Die Anwendung als Heizelement oder Verdampferschiffchen bis zu extrem hohen Temperaturen unter Vakuum wurde bereits erfolgreich im Labor getestet (FKZ: 003VP05870). Aber auch in der Halbleitertechnik, Photovoltaik, OLED und Nanoelektronik kann Zirkoncarbid seine werkstofflichen Vorteile optimal einbringen. Der Einsatz von ZrC in der Bauteilfertigung im Maschinen- und Anlagenbau ermöglicht zudem eine deutliche Gewichts- und Energieeinsparung im Vergleich zur Nutzung von Refraktärmetallen.

Leistungs- und Kooperationsangebot:

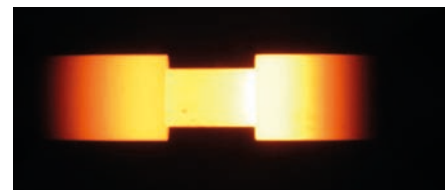
- Herstellung von Heizleitern in kundenspezifischen Abmaßen
- Herstellung von Brennhilfsmitteln
- Herstellung von Targets und Verdampferzubehör

Gefördert durch:

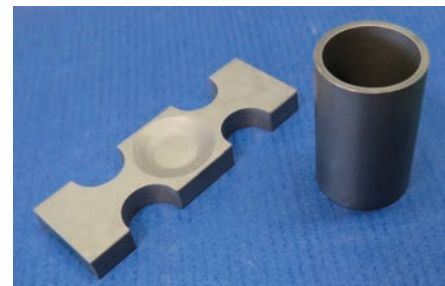
 auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



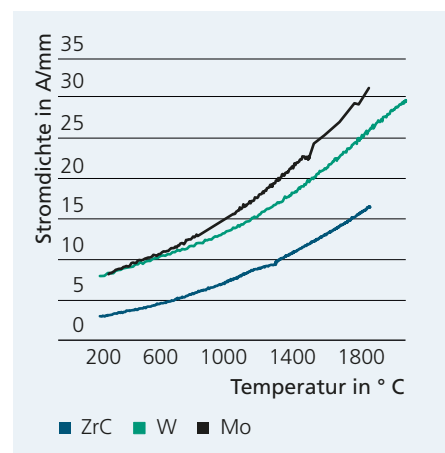
Heizstäbe aus Zirkoncarbid.



Glühender Heizstab bei 2000 °C zwischen Graphit-elektroden.



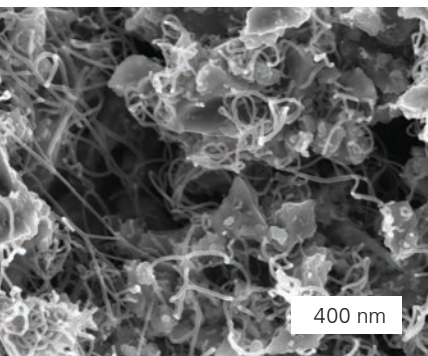
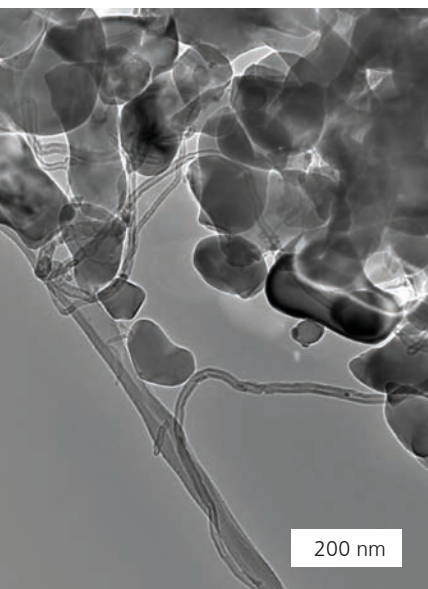
Verdampfer- und Tiegelmaterial aus Zirkoncarbid.



Stromdichte von Zirkoncarbid, Wolfram und Molybdän.



CVD-Reaktor.

FEREM-Aufnahme von Si_3N_4 -Pulver mit aufgewachsenen CNTs.TEM-Aufnahme von Al_2O_3 -CNT-Pulver.

Herstellung von hochleistungsfähigen CNT-Keramik-Kompositen

M. Sc. Marc Pezoldt, Dipl.-Chem. Martina Johannes, Dr. Daniel Schumacher, Dr. Adrian Simon

Aufwertung von Hochleistungskeramiken durch CNTs

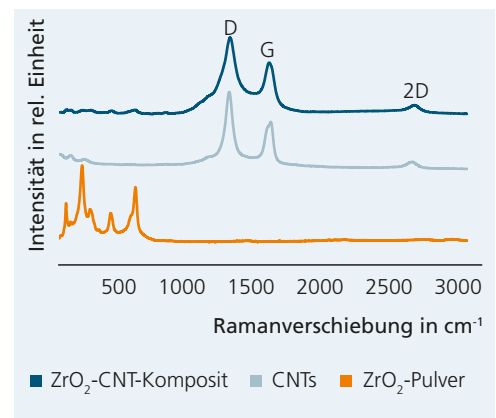
Hochleistungskeramiken sind aufgrund ihrer hohen Verschleißfestigkeit, Druckfestigkeit, Härte und Korrosionsbeständigkeit vielseitig einsetzbar. In Bereichen, bei denen es auf thermische und elektrische Leitfähigkeit ankommt, sind die Anwendungsmöglichkeiten jedoch limitiert.

Die Kombination von keramischen Pulvern mit Kohlenstoffnanoröhren (Carbon Nanotubes – CNTs) hingegen eignet sich bestens, um genau diesem Nachteil keramischer Bauteile entgegenzuwirken. CNTs zeichnen sich aus durch extreme Zugfestigkeit (30–100 GPa), ein hohes Elastizitätsmodul (1–1,2 TPa) sowie hohe thermische (2000–6000 W/mK) und elektrische Leitfähigkeit (10^6 – 10^7 S/m).

CNT-Keramik-Komposite

Konventionell werden Keramikkomposite durch die Vermischung von CNTs und dem keramischen Pulver mit anschließender Sinterung hergestellt. Während der Vermischung tendieren die CNTs jedoch zur Agglomeratbildung und werden verkürzt oder sogar zersetzt. Mit einem von Fraunhofer-Forschenden patentierten Verfahren ist es gelungen, Primärpartikel verschiedener oxidkeramischer und nichtoxidkeramischer Materialsysteme (Al_2O_3 , ZrO_2 und Si_3N_4) agglomeratfrei mit Kohlenstoffnanoröhren zu belegen. Hierbei werden über eine nasschemische Präparationsroute definierte Konzentrationen an Katalysatoren auf den unterschiedlichen Keramikpartikeln aufgebracht. Durch einen CVD-Prozess wird das Wachstum von CNTs und eine direkte Anbindung an die Keramikpartikel realisiert. Dies ermöglicht im final gesinterten

CNT-Keramik-Komposit eine homogene Verteilung der CNTs. Solche hochleistungsfähigen Komposite sind ideal für den Einsatz zum Beispiel als keramische Heizelemente, leitfähige Fadenführungsbauteile oder als reibungsarme Wälzlager.



Qualitätsüberprüfung der Komposite mittels zerstörungsfreier Ramanspektroskopie.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Bereitstellung von mit CNTs funktionalisierten keramischen Pulvern
- Formgebung und Sinterung von mit CNTs belegten Pulvern
- Umfassende Charakterisierung von CNT-Keramik-Kompositen

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung (FKZ: 03XP0205E).

Gefördert durch:

 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages

Versiegelung keramischer Faserverbundwerkstoffe mittels Lasertechnologie

Dr. Willy Kunz, Dr. Mykola Vinnichenko, Dr. Viktor Sauchuk, Dr. Sindy Mosch

Oxidische Faserverbundkeramiken (OCMC: Oxide Ceramic Matrix Composites) sind Materialien mit exzellenter Hochtemperaturstabilität bis ca. 1200 °C und schadenstolerantem Verhalten. Sie sind zudem chemisch hoch beständig in vielen Medien und haben eine geringe Dichte. Deshalb eignen sich OCMC-Materialien sehr gut für anspruchsvolle Anwendungen in der Verbrennungstechnik (Gasturbinen, Triebwerke, Brenner), der Wärmebehandlung von Stahl (Chargiergestelle, Körbe) sowie in der chemischen Industrie (Reaktoren, Wärmetauscher, Wirbler).

Poren als Showstopper für viele Anwendungen

Damit das Material seine schadenstoleranten Eigenschaften erhält, muss es porös sein. Hierdurch können jedoch Flüssigkeiten und Gase in den Werkstoff ein- oder durch ihn hindurchdringen. Zudem machen die Poren den Werkstoff anfällig für Verschleiß.

Warum nicht einfach beschichten?

Gängige Beschichtungsverfahren, wie z. B. das Plasmaspritzen, ermöglichen ein Versiegeln von OCMC. Bei mechanischer Belastung oder Theroschock neigen solche Schichten jedoch zur Rissbildung oder zum Abplatzen. Die Lebensdauer des Bauteils ist dadurch stark begrenzt.

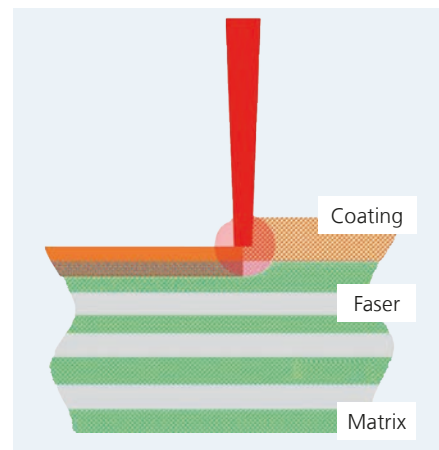
Schichthaftung durch Laserstrahlung

Um die Haltbarkeit der Versiegelung zu verbessern, entwickelt das Fraunhofer IKTS aktuell ein neues Beschichtungsverfahren: Mittels Laserstrahlung wird ein auf die Oberfläche aufgebrachtes keramisches Pulver aufgeschmolzen und die Oberfläche des OCMC

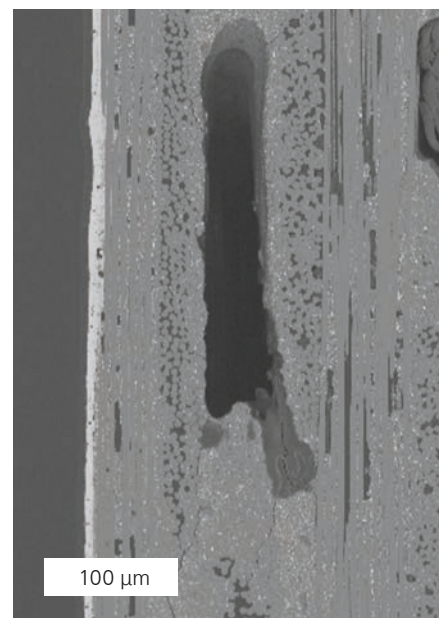
infiltriert. Das Beschichtungsmaterial liegt damit nicht nur auf der Oberfläche auf, sondern verbindet sich mit dem Grundmaterial. Die Haftung der Beschichtung wird dadurch deutlich verbessert und der Werkstoff versiegelt. Das neue Verfahren nutzt ein physikalisches Prinzip, mit dem die hochtemperaturbeständigen Beschichtungsmaterialien lokal erhitzt und aufgeschmolzen werden können, ohne das Bauteil selbst zu überhitzen. Als kosteneffiziente Laserquelle dient ein mikrooptisch optimiertes Diodenlaser-Array, das einen linienförmig fokussierten Strahl liefert (Focuslight/LIMO GmbH). Es ermöglicht eine schnelle Bearbeitung größerer Flächen und gewährleistet eine höhere Energieeffizienz im Vergleich zu herkömmlichen Lasern mit punktförmig fokussiertem Strahl. Parallel beschäftigt sich das IKTS mit der Quantifizierung der Bauteileigenschaften derart versiegelter OCMC (Dichtheit, Festigkeit, etc.).

Leistungs- und Kooperationsangebot

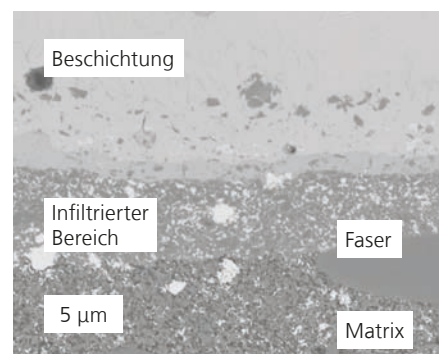
- Oberflächenversiegelung: Flüssigkeiten und Gase dringen nicht mehr in das Material ein. Druckunterschiede können ohne Stofftransport durch das Material bestehen.
- Anpassung des Schichtsystems je nach Anwendung: Korrosion oder Abrasion? Die Wahl des geeigneten Beschichtungsmaterials ist entscheidend.
- Messung und Bewertung von Materialeigenschaften: Untersuchungen zu thermischer und korrosiver Beständigkeit sowie zu mechanischen und Gefüge-Eigenschaften



Verfahrensschema; Laser erwärmt ausschließlich das aufgebrachte Schichtmaterial.



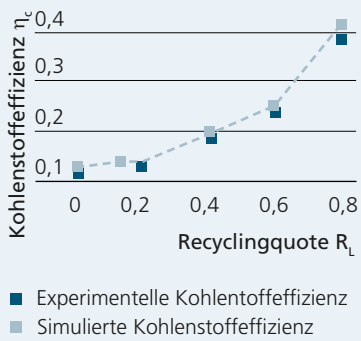
Homogene Beschichtung (heller Bereich links).



Gefüge nach Beschichtung, OCMC durch Beschichtungsmaterial infiltriert.



Labordemonstrationsanlage.



Einfluss des Rücklaufverhältnisses auf die Kohlenstoffeffizienz.



FT-Rohprodukt mit sichtbarer wässriger und öligere Phase.

Labordemonstration eines integrierten Co-Elektrolyse-basierten PtX-Prozesses

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

Bei der angestrebten Minderung industrieller CO₂-Emissionen werden Power-to-X-Verfahren (PtX) als technologische Option zur Nutzung dieser Emissionen diskutiert. Insbesondere die Hochtemperaturelektrolyse (Solid Oxide Electrolysis, SOE) gilt hierfür als vielversprechende Technologie, mit der aus CO₂ und Wasser sehr effizient zunächst Synthesegas und daraus anschließend wertvolle Kohlenwasserstoffprodukte hergestellt werden können. Power-to-X-Anlagen auf Basis der Hochtemperaturelektrolyse können hohe Prozesswirkungsgrade erreichen, da die Kathode auch eine Aktivität für die interne Reformierung kurzketziger Nebenprodukte des Syntheseschrittes (z. B. Methan) besitzt. So können geringwertige Produktfraktionen in Synthesegas zurückgewandelt werden, wodurch die Kohlenstoffeffizienz

$$\eta_c = \frac{\eta_{C, \text{Produkte}}}{\eta_{CO_2, \text{ein}}}$$

steigt. Hierdurch kann zudem die Komplexität des Gesamtprozesses verringert werden, da kein zusätzlicher Reformierungsschritt erforderlich ist. Um die interne Reformierung innerhalb eines integrierten Prozesses zu demonstrieren, wurde im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts »Colyssy« (FKZ: 03ZZ0741A) eine Power-to-X-Anlage – bestehend aus einer Hochtemperatur-Co-Elektrolyse gekoppelt mit einer Fischer-Tropsch-Synthese – im Labormaßstab umgesetzt. Die elektrische Nennleistung des Elektrolyseurs betrug $P_{el, SOEL} = 1 \text{ kW}$. Für den Festbett-Fischer-Tropsch-Reaktor wurde ein industrieller Kobalt-Katalysator ausgewählt, aufgrund seiner Leistungsfähigkeit und des günstigen Produktspektrums, das hochwertige langkettige Kohlenwasserstoffe liefert. Die Anlage im Labormaßstab wurde über 1200 Stunden erfolgreich betrieben. Im Laufe der Versuche wurden verschiedene Betriebsbedingungen für den Elektrolyseur und den

Fischer-Tropsch-Reaktor getestet. Ein besonderer Schwerpunkt lag auf der Variation des Rücklaufverhältnisses

$$R_L = \frac{\dot{m}_{\text{Restgas}}}{\dot{m}_{\text{Restgas}} + \dot{m}_{\text{Abgas}}}$$

Dieses beschreibt, wie hoch der Anteil rückgeführter gasförmiger Fischer-Tropsch-Nebenprodukte ist. Ziel der Variation war es, den Einfluss der Stoffintegration auf die Nutzung des zugeführten Kohlenstoffs mittels interner Reformierung zu untersuchen und die inhärenten Vorteile der Hochtemperaturelektrolyse aufzuzeigen. Die Ergebnisse der Tests zeigten einen signifikanten Anstieg des Kohlenstoffwirkungsgrads mit zunehmendem Rücklaufverhältnis – ohne Anzeichen einer Leistungsdegradation des Elektrolyseurs. Die Daten wurden mit einem Prozessmodell korreliert, dabei wurde eine gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Simulation festgestellt. In einem größeren Anlagenmaßstab kann das Rücklaufverhältnis R_L über den an der Laboranlage erreichbaren Wert von 0,8 hinaus erhöht werden. Die Simulation lässt erwarten, dass damit eine weitere deutliche Steigerung der Kohlenstoffeffizienz η_c möglich wird. Alle aus der Laboranlage und dem Prozessmodell gewonnenen Erkenntnisse werden für die schrittweise Überführung des Konzepts in den industriellen Maßstab genutzt. Dabei soll eine Container-basierte Anlage an einem Kalkwerk aufgebaut und mit aus dem Abgas abgetrenntem CO₂ versorgt werden. Zudem werden verschiedene Ansätze zur Wärmeintegration untersucht.

Gefördert durch:



STROM ALS ROHSTOFF



Degradationsuntersuchungen an SOC-Stacks

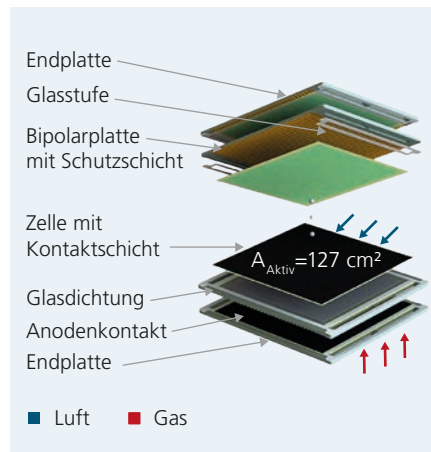
Dr. Stefan Megel, Dr. Nikolai Trofimenko, Dr. Mihails Kusnezoff

Am Fraunhofer IKTS wird seit Jahren intensiv an Festoxidzellen (SOC) geforscht. Aktuell rückt deren Anwendung in Hochtemperaturelektrolyseuren (SOEC) stark in den Fokus. Die am IKTS entwickelten SOC-Zellen und -Stacks mit Interkonnektoren auf Chrombasis und elektrolytgetragenen Zellen im MK35x-Design (Bild oben) können reversibel, d. h. im Elektrolyse- und Brennstoffzellen-Modus, betrieben werden. Sie sind somit gleichzeitig Schlüsselkomponenten für die Wandlung von Überschussstrom in synthetische, flüssige und gasförmige Kraftstoffe sowie für deren effiziente Rückverstromung. In den letzten Jahren fokussieren die Forschungsarbeiten vor allem auf Kosten- und Degradationssenkung. Die Technologie zur Herstellung von SOC-Zellen und Stacks wurde bereits erfolgreich an Industriepartner transferiert. Die Fertigungsverfahren werden jedoch am Fraunhofer IKTS stetig weiterentwickelt, um Herstellungskosten zu senken. Eine signifikante Kostensenkung wird aber erst mit einer deutlichen Stückzahlerhöhung eintreten. Viele Projekte im SOFC- und SOEC-Bereich arbeiten daher daran, das Anwendungsspektrum von SOC-Systemen zu erweitern, um so die Produktionszahlen weiter nach oben zu treiben. Ein wichtiges Forschungsziel ist die Langzeitstabilität der SOC-Stacks. Die Degradationsbestimmung zählt zu den Hauptaufgaben bei der Komponentenentwicklung und erfolgt vorrangig durch die Untersuchung von Zellen, Schutzschichten, Glasdichtungen und Metall-Keramik-Übergängen. Die aktuell am MK354-Stack ermittelten Degradationsraten von $\Delta P/PO < 0,7 \text{ \%/1000 h}$ unter konstantem Strom von 35 A im SOFC-Betrieb (Bild unten) erfordern ein hochgenaues Messsystem. Vor allem die Konstanzhaltung von Messparametern über mehrere tausend Stunden ist eine schwierige Aufgabe und kann nur durch exzellente Labortechnik und regelmäßige Wartung erreicht

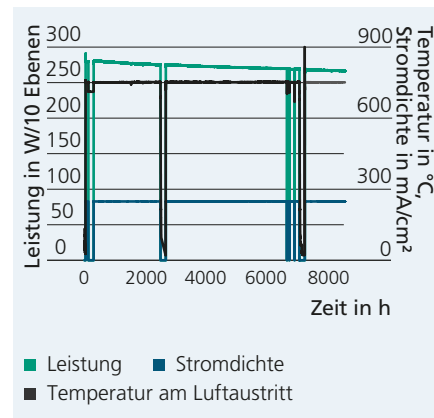
werden. Besonders hohen Einfluss hat die Temperaturmessung durch Thermoelemente und die Dosierung der Gase. Die Standardabweichungen der Messinstrumente führen zu einer Ungenauigkeit der Leistungsbestimmung von ca. 1,0 %. Durch Referenzierung und Kalibrierung ist es möglich, die Leistungswerte ausreichend genau zu ermitteln, um nach 3000 h Testzeit verlässlich die Degradation zu bestimmen und Lebensdauervorhersagen für mehr als 20 000 h vorzunehmen. Degradierende Stacks verursachen bei gleichen Testbedingungen einen Anstieg der Temperatur durch zunehmende Wärmeentwicklung. Simulationen und Messungen schlüsseln deren Einfluss auf die Stackleistung auf, denn es ist unmöglich, diese Wärmeentwicklung durch Anpassung der Testbedingungen auszugleichen. Aufgrund der unterschiedlichen Anwendungsgebiete für Brennstoffzellen- und Elektrolysebetrieb müssen Prüfstandards geschaffen werden. Dabei tragen die Simulation und Messung von Temperaturverteilungen erheblich zum Verständnis der beobachteten Phänomene bei, weil sich der exotherme SOFC-Betrieb sehr stark von dem nahezu thermoneutralen SOEC-Betrieb unterscheidet. Das Wissen darüber, wie sich die Verlustanteile in einem Stack aufteilen, basiert auf vielen Stackuntersuchungen, daran validierten Modellen und zahlreichen Einzelmessungen an Stackkomponenten. Dieses Wissen erlaubt eine gezielte Entwicklung von Komponenten, die final im Stackverbund durch langjährig bewährte Validierungsvorschriften getestet werden.

Leistungs- und Kooperationsangebot

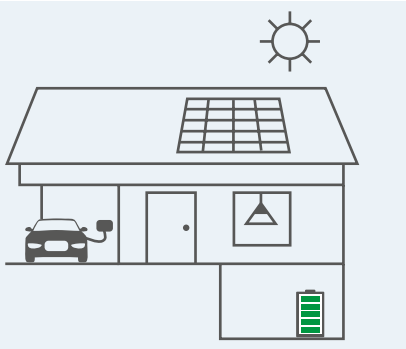
- Test von Stackkomponenten unter realen Betriebsbedingungen
- Stack- und Stackmodulentwicklung für SOFC/SOEC-Systeme



Explosionsdarstellung eines MK354-Stacks.



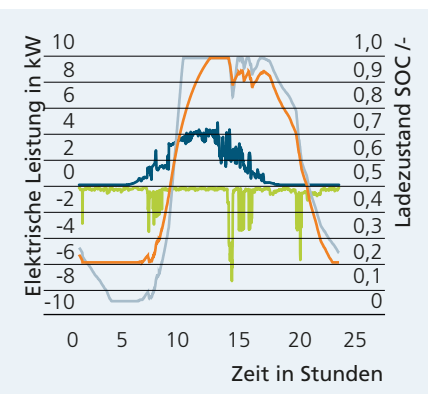
Degradation eines MK354-Stacks.



Prinzipskizze für ein Photovoltaik-Heimspeichersystem.



5 kWh Na/NiCl₂-Batteriemodul.

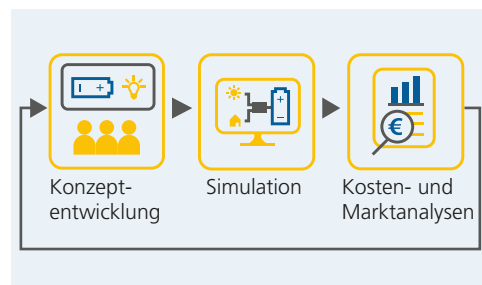


Tagessimulation der PV-Stromproduktion (blau) und des Stromverbrauchs (grün) sowie Ladezustand einer Lithium-Ionen-Batterie (grau) im Vergleich zur Na/NiCl₂-Batterie (orange).

Simulationsbasierte Analyse und wirtschaftliche Bewertung von Energiesystemen

Dipl.-Ing. (FH) Daniela Herold, Dipl.-Ing. Laura Nousch,
Dipl.-Phys. Maria Richter

Bei der Konzeptentwicklung innovativer Energiesysteme der Zukunft ist eine frühe Prognose der Systemperformance sowie eine ökonomische Bewertung von entscheidender Bedeutung. Am Fraunhofer IKTS werden mit Hilfe niederdimensionaler Simulationsmodelle reale Einsatzszenarien untersucht, die die entscheidenden Grundlagen für eine anschließende Kostenanalyse liefern.



Toolkette im Entwicklungsprozess.

Simulation von Energiesystemen

Energiesysteme zur Speicherung und Erzeugung von Strom und Wärme in verschiedenen Detaillierungsgraden und Kontexten können in Tages- und Jahressimulationen betrachtet werden (eingesetzte Software: Modelica und Matlab). Automatisierte Toolchains erlauben die Variation signifikanter Systemparameter. Die Ergebnis-Matrix dient der Dimensionierung, der energetischen Bewertung und der grundlegenden Konzeptentwicklung. Darüber hinaus lassen sich auch ökonomische Bewertungen ableiten.

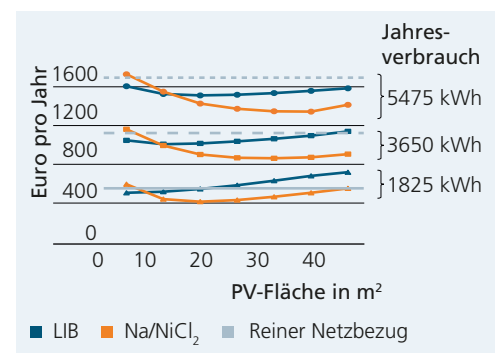
Kosten- und Marktanalysen

Für fundierte Markt- und Kostenanalysen sind Technologierecherchen unentbehrliche Werkzeuge. Sie bilden die Basis für nachhaltige und weitreichende Projektentscheidungen.

Informationen zu Marktpotenzialen, Zielmarktstrukturen, Wettbewerbern, potenziellen Kunden oder auch Kooperationspartnern fließen dabei in die Recherche ein. Bei Kostenanalysen hat das Entwicklungsteam die Möglichkeit, unterschiedliche Zielstellungen zu betrachten. Beispielsweise werden begleitend zum Entwicklungsprojekt die Herstellkosten eines Batterieprototyps ermittelt, um daraus eine Kostenschätzung einschließlich Kosteneinsparpotenzial zu eruieren. Dies kann sowohl für eine Klein- als auch für eine Großserienfertigung erfolgen.

Beispiel: Vergleich von Batterietechnologien im Heimspeicherbereich

Am Fraunhofer IKTS wird die Natrium-Nickelchlorid-Hochtemperaturbatterie (Na/NiCl₂) als alternative Batterietechnologie unter der Marke cerenergy® entwickelt. Mit Hilfe von Jahressimulationen wird deren Einsatz als Heimspeicher im Vergleich mit Lithium-Ionen-Batterien (LIB) untersucht. Mit den Kostenmodellen wird gezeigt, dass durch die Nutzung der Na/NiCl₂-Batterie bei größerer Photovoltaik (PV)-Fläche geringere Jahreskosten entstehen als bei einem LIB-Heimspeicher (Abbildung unten).



Jahreskostenvergleich für 5 kWh LIB- und Na/NiCl₂-Heimspeicher.

Optimierung der Elektrodeneigenschaften für Lithium-Festkörperbatterien

Dr. Henry Auer, M. Sc. Silian Yanev, Dr. Sören Höhn, Dipl.-Ing. Kerstin Sempf, Dr. Timo Paschen, Dr. Kristian Nikolowski, Prof. Silke Christiansen, Dr. Mareike Partsch

Das Fraunhofer IKTS entwickelt Elektroden und Zellen für Festkörperbatterien mit oxidischen, sulfidischen und polymeren Elektrolyten. Zur gezielten Verbesserung der Elektrodeneigenschaften werden bildgebende mit elektrochemischen Verfahren kombiniert. Die neu etablierten Arbeitsabläufe ermöglichen die gezielte Optimierung der Elektrodemorphologie. Dadurch werden Festkörperbatterien in deutlich kürzeren Iterationszyklen entwickelt.

Eine Kathode bestehend aus einem Aktivmaterial (NCM811) und einem hochleitfähigen, sulfidischen Elektrolyten wurde optimiert, sodass bei einem möglichst hohen Aktivmaterialgehalt die Funktion (also eine hohe Kapazität bei hoher Ratenfähigkeit) verbessert wird. Die Elektroden von Festkörperbatterien sind komplexer aufgebaut als die konventioneller Lithium-Ionenbatterien. Unterschiedliche Materialklassen im Bereich der anorganischen Festionenleiter – Oxidkeramiken, Sulfide und Halogenide – sowie Polymere werden hier eingesetzt. Der feste Elektrolyt ist eine zusätzliche Komponente, die beim Herstellungsprozess eingebracht wird. Dabei bilden sich zwei ineinander verschränkte leitende Netzwerke (Bild oben) für Elektronen über das Aktivmaterial (blaue Pfeile) und für Ionen über dem sulfidischen Festelektrolyten (orangene Pfeile) aus. Passive Komponenten wie Binder oder Restporosität stören diese Leitung.

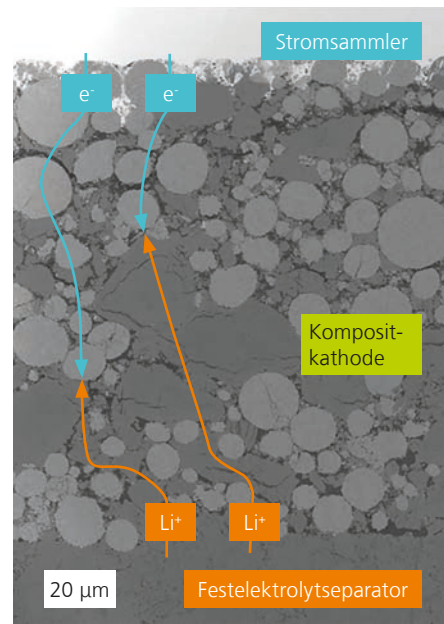
Für ein detailliertes Verständnis und zur Optimierung dieser komplexen Morphologie wurden elektrochemische Messungen mit direkten bildgebenden Verfahren (Bild mitte) kombiniert. Aus Kapazitäts-, Ratenfähigkeits- und Impedanzmessungen lassen sich Informationen zur elektrochemischen Anbindung der Aktivmaterialpartikel und der effektiven ionischen sowie elektronischen Leitfähigkeiten gewinnen.

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen an Elektroden unterlegen diese Information mit morphologischen Daten zu Homogenität und Leitpfaden. Sekundärionen-Massenspektroskopie (SIMS) im Heliumionenmikroskop macht zusätzlich die Anbindung einzelner Aktivmaterialpartikel mittels Lithium-Analytik sichtbar.

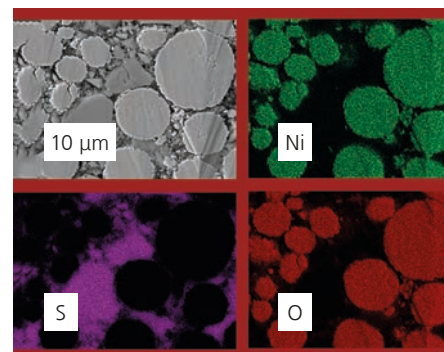
Eine wesentliche präparative Herausforderung für die im Bild oben gezeigten sulfidischen Kathoden lag in den hohen Ansprüchen an die Arbeitsatmosphäre. Für die Analytik wurde deshalb ein Workflow, bestehend aus Präparation, Überführung und Messung, unter Schutzgas etabliert. So können frische oder aus Festkörperbatterien zurückgewonnene Elektroden vollständig kontaminationsfrei unter Luftausschluss präpariert und analysiert werden. Durch diese Kombination konnten Elektroden mit guten elektrochemischen Eigenschaften (Bild unten) in deutlich kürzeren Iterationszyklen entwickelt werden.

Leistungs- und Kooperationsangebot

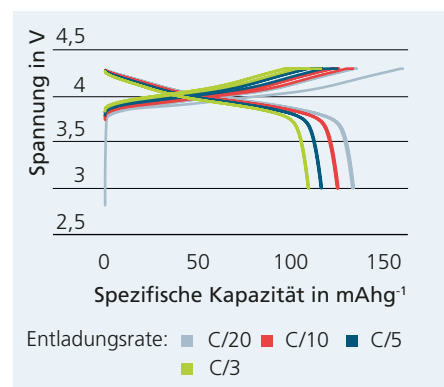
- Entwicklung und Post-Mortem-Analyse von Festkörperbatterien und Komponenten
- Elektrochemische Analyse: Ionen- und Elektronenleitfähigkeit, Voll- und Halbzellbau
- Ionenstrahlpräparation, analytische Feldemissions-Rasterelektronen- und Heliumionenmikroskopie, Lithiumdetektion (SIMS)



FESEM-Aufnahme des Schnitts durch eine sulfidische Festkörperbatterie; Leitpfade für Elektronen (blau) und Lithium-Ionen (orange).



FESEM-Querschnittsaufnahme und EDX-Elementverteilung der Kompositkathode.



Ratentest der Festkörperbatterie.

Digitalisierte Workflows für die Gefügebewertung in der Batterieindustrie

Dr. Timo Paschen, M. Sc. Sabrina Pechmann, M. Sc. Andre Borchers, Prof. Silke Christiansen

Leistungsfähige, sichere Batteriekonzepte werden eine umfassende Energie- und Mobilitätswende ermöglichen. Die etablierte Technologie der Lithium-Ionen-Batterie (LIB) und neuartige Konzepte, wie Festkörperbatterien (ASSB), müssen hinsichtlich ihrer Leistungskennzahlen fortwährend verbessert werden. Wichtig hierfür sind Parameter, die man aus multimodaler, skalenübergreifender Mikroskopie und Spektroskopie erhalten kann. Beispiele sind Größenverteilungen von Partikeln in der Kathodenfolie, Porositäten im Gesamtvolumen, Grenzflächenbeschaffenheiten zwischen Elektrode und Separator bzw. Elektrolyt und Aktivmaterial. Das Fraunhofer IKTS in Forchheim bietet dieses Zusammenspiel von Mikroskopie bis Spektroskopie, die Korrelation der Daten aus verschiedenen Analysetechniken von Makro bis Nano. Für die Charakterisierung von Batteriematerialien steht ein maßgeschneiderter, vollumfänglicher präparativer Workflow zur Verfügung, der es bei Vermeidung von Oxidations- und thermischen Artefakten erlaubt, Zellen und Komponenten unter Schutzgas zu öffnen und zu präparieren sowie bei Bedarf in Präparation und Analytik kryogen zu kühlen.

Defekte zerstörungsfrei erkennen

Das Bild oben zeigt rekonstruierte röntgentomographische Aufnahmen einer Lithium-Ionen-Batterie als Gesamt- und Detailansicht. Die Röntgentomographie-Mikroskopie (CT mit Voxelgrößen von 500 nm aufwärts) kann zerstörungsfrei dreidimensionale Abbildungen der inneren Mikrostruktur der Batterie generieren. Die Methode zeigt Strukturveränderungen auf, die sonst nur mit invasiven Methoden sichtbar werden. Ein Kupfer-Auswuchs am kupfernen Stromableiter (Bild mitte) ist nach Bildsegmentierung deutlich erkennbar. Solche Kupfer-Auswüchse entstehen im Betrieb einer Batterie und führen

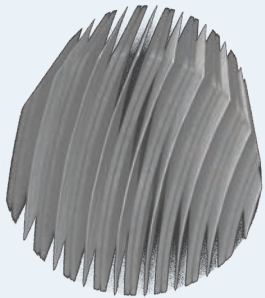
zu irreparablen Schäden. Derartige Defekte können durch Material- und Zellkonzeptoptimierung vermieden oder verzögert werden. Hierfür wird die multimodale Analyse eingesetzt.

Kryo-Vakuum-Präparation und multimodale, skalenübergreifende, korrelierte Charakterisierung

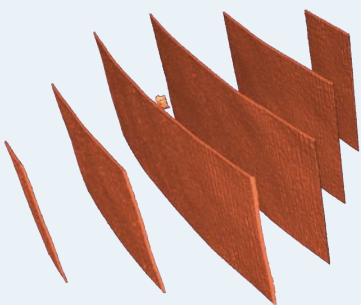
Am IKTS in Forchheim können Batteriezellen, -komponenten und Ausgangsmaterialien unterschiedlichster Bauart in Inertatmosphäre geöffnet und mit einem luftdichten Proben-shuttle in Präparationstools oder Mikroskope/Spektrometer transferiert werden. Für höchste Oberflächenqualität werden die Proben mit einer gekühlten Ionenstrahlpolitur bearbeitet, um Materialmodifikation durch Aufheizen (z. B. bei Polymerelektrolyten) zu verhindern. Hochaufgelöste Aufnahmen im Rasterelektronenmikroskop (Bild unten), die auch tomographisch aus einer Vielzahl von Aufnahmen zu einem 3D-Volumen integriert werden können, ermöglichen den Zugang zu Parametern wie Partikelgrößen, Partikelverteilung, Porenvolumina, Grenzflächenbeschaffenheit, Schichtdicken und Zellaufbau mit hoher statistischer Sicherheit.

Digitalisierter Workflow

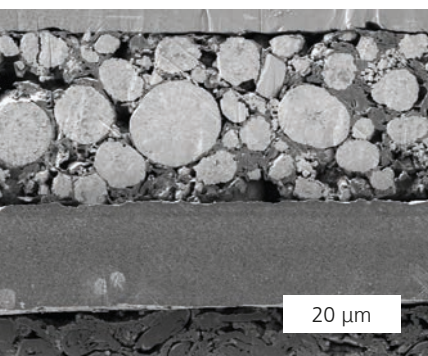
Die Analysedaten werden auf einer interaktiven Datenplattform quantitativ ausgewertet und korrelierbar. Sie können für das Training von Algorithmen des maschinellen Lernens genutzt werden, um z. B. automatisiertes Segmentieren neuer Bilddaten zu ermöglichen und zu beschleunigen. Ebenso sind daraus synthetische Daten und realitätsnahe Simulationen erzeugbar.



Gesamtaufnahme und freigestellte Detailansicht einer 18650 Lithium-Ionen-Batterie mithilfe der Röntgentomographie (XRM).



Segmentierung der XRM-Daten und Identifikation einer Fehlstelle am Stromleiter.



REM-Aufnahme eines Lithium-Ionen-Elektrodenstapels nach Kryo-Vakuum-Präparation.

Nährstoffrecycling durch Extraktion mit keramischen Membrankontaktoren

M. Sc. Sarah Trepte, Dipl.-Ing. André Wufka, Dr. Marcus Weyd, Dr. Hannes Richter

Nährstoffe, wie Stickstoff und Phosphor, sind Grundpfeiler einer ertragsreichen Landwirtschaft. Sie werden in Form mineralischer Dünger kostenintensiv chemisch produziert, während u. a. die in der Tierhaltung in enormen Mengen anfallenden nährstoffhaltigen Reststoffe ungenutzt bleiben oder teuer entsorgt werden müssen. Im Sinne von Ressourcenschonung und Umweltschutz stellt das Recycling und Nutzbarmachen werthaltiger Nährstoffe aus solchen Reststoffen eine kostengünstige und nachhaltige Alternative zu mineralischen Düngern dar. Mit der Entwicklung von Schlüsseltechnologien zum Nährstoffrecycling und deren Kombination können Nährstoffkreisläufe effizient geschlossen werden.

Die Membranextraktion stellt eine aussichtsreiche Technologie zur Rückgewinnung von ammoniakalischem Stickstoff aus wässrigen, landwirtschaftlichen Reststoffströmen dar. Für den Einsatz des Verfahrens werden temperaturstabile, chemisch beständige und abrasionsfeste Materialien benötigt. Das Fraunhofer IKTS entwickelt und untersucht für diese Anwendung robuste, keramische Membrankontaktoren auf Basis von Einkanalrohren aus Aluminiumoxid, welche die hohen Anforderungen erfüllen können. Eine für das Verfahren essenzielle Eigenschaft ist dabei eine dauerhaft, wasserabweisende (hydrophobe) Membranoberfläche. Eine solche hydrophobe Beschichtung konnte auf Basis von Silanen am IKTS erfolgreich entwickelt werden. Damit wird die Benetzung der keramischen Membranen mit den wässrigen Stoffströmen verhindert und eine stabile, gasförmige Phasengrenze in den Membranporen sichergestellt.

Durch die Einstellung eines Partialdruckgradienten kann das im Reststoffstrom gasförmig vorliegende Ammoniak die Membranporen

passieren und so aus den Restströmen extrahiert werden. Die dafür entscheidenden Prozessparameter wurden im Technikumsmaßstab bereits umfassend evaluiert. Der Diffusionsweg durch die Membranschichten ist ein limitierender Faktor bei der Extraktion. Mit am IKTS gefertigten keramischen Kapillarmembranen (Bild oben) mit reduzierten Wandstärken (600 µm) im Vergleich zu konventionellen, keramischen Einkanalrohren (1,5 mm) konnte der Ammoniaktransfer um nahezu 90 % gesteigert werden (Diagramm unten). Das Ammoniak kann nach Passieren der Membran in einer schwefelsauren Lösung rückgelöst werden. Hierbei entsteht Ammoniumsulfatlösung (ASL), ein werthaltiges, flüssiges und zugelassenes Düngemittel.

Ein Vorteil des Verfahrens ist, dass ammoniakalischer Stickstoff selektiv rückgewonnen werden kann und Stör- und Schadstoffe von der Membran zurückgehalten werden.

Auch weitere Anwendungen sind mit keramischen Membrankontaktoren möglich, etwa die Rückgewinnung von Ammonium aus industriellen Prozessen für die anschließende dezentrale Erzeugung von Wasserstoff.

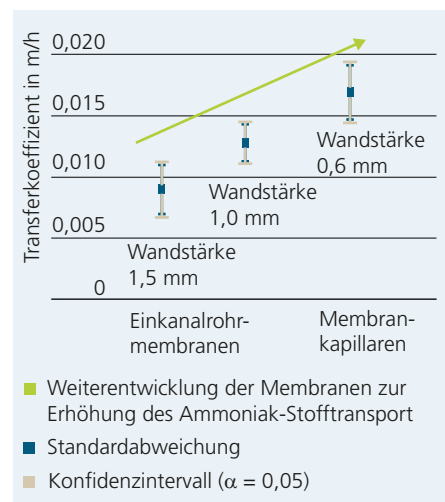
Die wissenschaftlichen Arbeiten werden innerhalb des Wachstumskern abonocare® durch das Förderprogramm »Innovative regionale Wachstumskerne« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.



Keramische Kapillarmembranen mit hydrophober Beschichtung.



Technikumsanlage mit Membrankontaktor zum Nährstoffrecycling.



Ermittlung des membran-spezifischen Transferkoeffizienten als Maß für den Ammoniak-Stofftransport.



Charakterisierung der Gasverteilung im Blasensäulenreaktor

Dipl.-Ing. Anne Deutschmann, Dipl.-Ing. André Wufka



ERT-Versuchsstand zur Charakterisierung des Begasungszustands in Blasensäulenreaktoren.

Biogas ist ein chemischer Energiespeicher und kann zu »Synthetic Natural Gas« (SNG) aufbereitet und ins Erdgasnetz eingespeist werden. Voraussetzung für die Gaseinspeisung ist die Aufbereitung des circa zu je 50 % aus Methan (CH_4) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) bestehenden Biogases zu Erdgasqualität mit einem Methan-Gehalt von mindestens 95 %. Dies kann unter anderem durch biologische Methanisierung realisiert werden. Dabei werden das im Biogas enthaltene Kohlenstoffdioxid und zugeführter Wasserstoff durch Mikroorganismen zu Methan umgesetzt. Technisch kann dieser Prozess besonders effizient in Blasensäulenreaktoren realisiert werden, da diese keine energieintensiven Komponenten, wie Rührwerke, Umwälzung oder Gasabtrennung beinhalten.

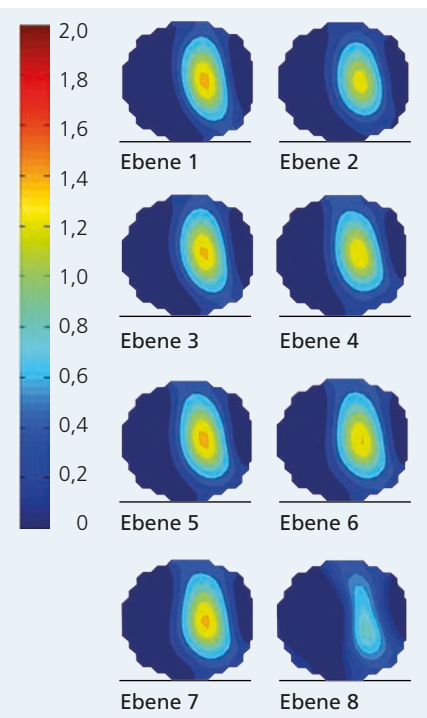
Im Projekt »BioStore« arbeitet das Fraunhofer IKTS mit dem Projektpartner DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg an der Entwicklung und Optimierung effizienter reaktionstechnisch angepasster Reaktoren zur biologischen Methanisierung. DBI hat hierfür verschiedene Blasensäulenreaktoren bewertet. Das IKTS untersuchte die Gasverteilung im Reaktor mittels Prozesstomographie für variable Randbedingungen. Dabei wurden Druck, Temperatur und Begasungsrate variiert sowie verschiedene Sparger (Belüftungselemente) getestet.

Der Versuchsstand, mit dem die prozesstomographische Bewertung der Blasensäule zur biologischen Methanisierung stattfand, ist im Bild oben dargestellt. Mit der Prozesstomographie (ERT-System) gelingt der Blick in den Reaktor und es können Mehrphasenprozesse auf der Grundlage unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeiten der zu untersuchenden Phasen quantifiziert werden. Die mittels Prozesstomographie ermittelte Gas-Volumenkonzentration

bei einer Begasungsrate von 0,62 L/(L·h) und einem Druck von 2 bar ist für die einzelnen Ebenen im Bild unten dargestellt. Es wird ersichtlich, dass bereits in Ebene 1, der dem Sparger nächsten Ebene, das Gas nicht gleichmäßig über die gesamte Querschnittsfläche eingebracht werden kann. Aufgrund der Begasungsrate und der damit verbundenen homogenen Blasenströmung ist dieser Gradient über die gesamte Säulenhöhe messbar. Diese Inhomogenitäten in der Gasverteilung wirken sich negativ auf die Bildung des Methans aus, da es in Bereichen mit einer geringen Gas-Volumenkonzentration zu einer Substratlimitierung kommt. Daher ist es das Ziel, eine über den Querschnitt und die Säulenhöhe homogene Gasverteilung zu realisieren. Insgesamt hat sich gezeigt, dass das Design und die Qualität des Spargers wesentlichen Einfluss auf das sich ausbildende Blasenbild im Reaktor und damit auf den Phasenübergang haben.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Optimierung industrie- bzw. praxisrelevanter Mehrphasenströmungen in verschiedensten verfahrenstechnischen Apparaten
- Ermittlung von Blasengrößenverteilungen und Blasenauftiegs- und Blasenabstiegsgeschwindigkeiten in Blasensäulenreaktoren
- Untersuchung von Strömungszuständen
- Ermittlung von Stoffübergangskoeffizienten und spezifischen Austauschflächen



Vergleich der Gas-Volumenkonzentrationsprofile in verschiedenen Säulenhöhen.

Kompositmembran zur Gewinnung nachhaltiger Lösemittel aus Melasse

Dr. Marcus Weyd, Dr. Thomas Hoyer

Grünes Lösemittel aus Reststoff

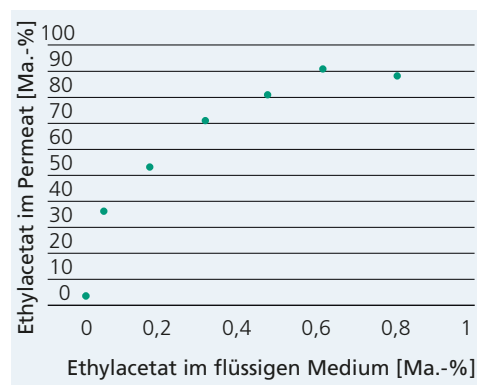
In der Milchverarbeitung fallen in Deutschland derzeit 12,6 Millionen Tonnen Molke pro Jahr an. Nach Abtrennung der Proteine und der Lactose bleibt eine Mutterlauge (zuckerhaltige Melasse) zurück, deren Entsorgung hohe Kosten verursacht.

In einem Forschungsprojekt mit der TU Dresden (AiF 20311 BR) wird ein Verfahren zur fermentativen Herstellung und membranbasierten Abtrennung von Ethylacetat aus Mutterlauge entwickelt. Mikrobiell hergestelltes Ethylacetat ist ein nachhaltig erzeugtes Lösemittel, welches z. B. für die Herstellung grüner Klebstoffe verwendet werden kann. Es ist gut mikrobiell abbaubar und somit umweltfreundlich in der Anwendung.

Membranprozess zur Lösemittelgewinnung aus Prozessabgas

Durch die TU Dresden wird der Prozess der fermentativen Herstellung des Ethylacetat durch die Lebensmittelhefe *Kluyveromyces marxianus* entwickelt. Das Acetat wird auf Grund seiner hohen Flüchtigkeit mit der Abluft aus dem Bioreaktor gestrippt. Aus diesem soll es durch organophile Membranen abgetrennt werden. Am Fraunhofer IKTS werden unterschiedliche Entwicklungsmuster von anorganischen Membranen und Kompositmembranen synthetisiert und zur Abtrennung des Ethylacetats aus dem Abgas getestet. Die besten Trennleistungen zeigen Kompositmembranen aus Zeolith Silicalith-1 und Siliconkautschuk. Mit diesen Membranen wird hochkonzentriertes Ethylacetat als Permeat gewonnen. Der Großteil des Wassers und der inerten Gase verbleiben im Abgas. In ersten Versuchen zur Kopplung von Membranmodul und Laborbioreaktor wurde das

Ethylacetat fast vollständig (94 %) und mit einer hohen Reinheit (97,5 %) abgetrennt.



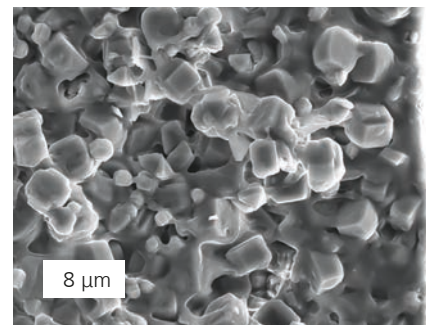
Ethylacetatabtrennung aus Strippinggasen.

Ziel eines Folgeprojekts ist es, die Technologie weiterzuentwickeln. Hierzu soll die Salztoleranz der Hefen verbessert, die Membranfläche durch die Entwicklung spezieller Membranmodule skaliert und die Prozesskombination im Pilotmaßstab demonstriert werden.

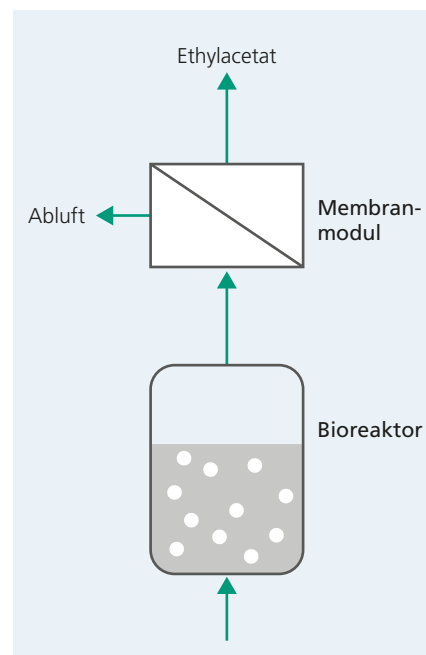
Weiterhin erfolgt die Erprobung der organophilen Membranen zur Abtrennung von leichtflüchtigen Komponenten aus weiteren Prozess- und Abgasen.

Leistungs- und Kooperationsangebot

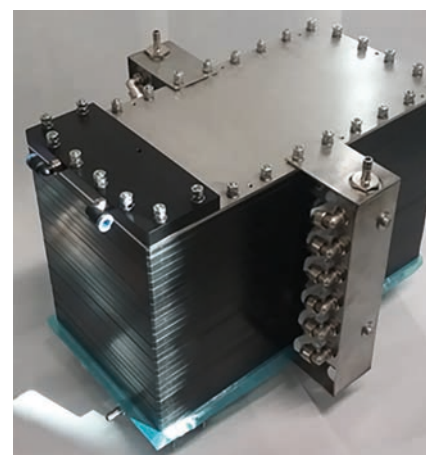
- Kunden- und projektspezifische Membranentwicklung und -erprobung
- Lieferung von Membranprototypen
- Verfahrenserprobung und Entwicklung von Labor- und Pilotanlagen



REM-Aufnahme einer organophilen Kompositmembran.



Verfahrensschema zur Ethylacetatabtrennung aus Fermenterabgas.



Flachmembranmodule im erweiterten Labormaßstab (1 m² Membranfläche).

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Industrielle Gemeinschaftsforschung IGF



Forschungszentrum für Abfallwirtschaft AF

Rekultivierungsmaterialien aus Klärschlammkomposten und Pilzmycel

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



Laborversuche zur Pflanzenverträglichkeit.



Kontrollfläche im Mai 2021.



Vollständig begrünete Versuchsfläche im Mai 2021.

In Deutschland existieren mehrere zehntausend Altdeponien, Altablagerungen sowie aktive Deponien. Allein die stillgelegten Siedlungsabfalldeponien müssen auf einer Fläche von 15 000 ha mit sicheren, ökologisch wertvollen und sich in die Landschaft einfügenden Abdeckschichten versehen werden. Die Deponiebetreiber suchen deshalb nach regional verfügbaren Bodenmaterialien und entsprechenden Verfahren zur Herstellung zulassungsfähiger Deponieersatzbaustoffe für Rekultivierungsschichten. Vor diesem Hintergrund entwickelt das Fraunhofer IKTS zusammen mit der Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH, dem Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft der TU Dresden, der Silberland Sondermaschinen und Fördertechnik GmbH und dem Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH im Verbundprojekt »Boden2« funktionalisierte Rekultivierungsmaterialien für Deponie- oder Altlastenabdeckungssysteme.

Matrixsubstrate, wie Abraummateriale aus dem Tagebau oder Material aus Bodensanierungsanlagen, sind in großen Volumina verfügbar, sie haben jedoch in der Regel sehr schlechte bodenmechanische Eigenschaften, eine geringe biologische Aktivität sowie einen ungünstigen granulometrischen Zustand. Diese Eigenschaften erschweren eine Begrünung. Daher wurde im Projekt auf regional anfallende Reststoffe, wie Klärschlammkomposte und abgetragene Kultursubstrate aus der Speisepilzproduktion, gesetzt, um die Bodeneigenschaften dauerhaft zu verbessern. Die Verwertung dieser Reststoffe ist jedoch gesetzlich streng begrenzt. So dürfen reine Pilzsubstrate nur sterilisiert, Klärschlämme aufgrund einer möglichen Schwermetallbelastung nur sehr eingeschränkt ausgebracht werden. Durch die entwickelte Aufbereitungstechnologie und die gezielte Einmischung in das Matrixsubstrat werden diese

Limitationen in einen Mehrwert gewandelt. In umfangreichen Arbeiten wurde von den Partnern ein Verfahren entwickelt, um die unterschiedlichsten Ausgangsstoffe zu konditionieren und in optimalen Verhältnissen einzubauen. Das Fraunhofer IKTS befasste sich im Projekt mit der analytischen Bewertung von Ausgangsstoffen und Endprodukten, der Rezepturenentwicklung sowie der Herstellung der Substratmischungen. Im Rahmen von Freilandversuchen auf einer sächsischen Deponie konnten die Materialien erfolgreich validiert werden. Trotz der für Halden und Deponien typischen erosionsbegünstigenden Eigenschaften der Versuchsfläche (steile Hangneigung, starke Windexposition) und der Ausführung im Trockensommer 2019 konnte innerhalb nur einer Vegetationsperiode ein bodendeckender Pflanzenbestand ohne Pflege- und Bewässerungsmaßnahmen etabliert werden. Auch im Rahmen des 2021 durchgeführten Monitorings weist die Versuchsfläche im Gegensatz zu umliegenden konventionell abgedeckten Arealen eine durchgehende, durchmischte Vegetation auf, die zunehmend auch von Insekten und Kleinsäugern besiedelt wird.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Durchführung von Labortests zur Nährstoffverfügbarkeit und Toxikologie von Düngern und Substraten
- Entwicklung hochwertiger Dünger und Substrate aus Reststoffen und Rezyklaten
- Analyse von Umweltwirkungen und Energiebilanzierung (LCA)

Testfeld zur Entwicklung industrieller Wasseraufbereitungsverfahren

Dipl.-Ing. André Wufka, Dipl.-Chem. Hans-Jürgen Friedrich

Kein Lebewesen kann ohne sauberes Wasser existieren. Entsprechend wichtig ist die nachhaltige Reinigung und Behandlung von Abwasser und dessen Rückführung in den natürlichen Kreislauf. Die Verknappung unserer wichtigsten Ressource Wasser infolge der globalen Erderwärmung stellt die Wasserwirtschaft zusätzlich vor neue Herausforderungen. Die Wiederverwendung durch Nutzung von beispielsweise aufbereitetem Kläranlagenablauf rückt deshalb zunehmend in den Fokus, um die Verfügbarkeit von Wasser auch an industriellen Standorten sicherzustellen. Besonders wichtige Themen innerhalb der deutschen Industriewasserwirtschaft sind vor diesem Hintergrund die Behandlung besonders salzhaltiger Prozesswässer und die Entfernung endokrin wirksamer Spurenstoffe (Mikroschadstoffe) und damit der Kampf gegen die Verbreitung von Antibiotikaresistenzen und Fertilitätsstörungen. Um innovative Wasseraufbereitungstechnologien sowie zukunftsweisende Wassernutzungskonzepte praxisnah zu erproben, hat das Fraunhofer IKTS mit Fraunhofer-Partner-Instituten eine experimentelle Technologie- und Innovationsplattform auf dem Werksgelände des Gemeinschaftskläwerks Bitterfeld-Wolfen (GKW) errichtet. Das GKW zählt zu den größten und modernsten Kläranlagen Mitteldeutschlands und behandelt neben kommunalem Abwasser auch die industriellen Abwässer des Chemiepark Bitterfeld-Wolfen (Bild oben).

Technologieplattform

Die Plattform umfasst mehrere Versuchskontainer sowie modular miteinander verbundene, flexibel nutzbare Versuchsanlagen für die Entwicklung, Erprobung und Überführung neuer Technologien zur Entsalzung von Wasser, zur Rückgewinnung von Prozesschemikalien

und Rohstoffen sowie von Wasser aus komplexen Industrieabwässern des Chemiepark Bitterfeld-Wolfen. Zu den im Pilotmaßstab errichteten Versuchsanlagen zählen Filtrationsanlagen ausgerüstet mit keramischen Membranen, mono- und bipolaren Elektrodialysesystemen für die elektrochemische Stofftrennung bzw. -gewinnung sowie Elektrolyseanlagen zur elektrochemischen Totaloxidation von besonders schwer abbaubaren Wasserinhaltsstoffen, zur Sulfattrennung und zur Wasserstoff-Erzeugung nach dem RODOSAN®-Verfahren. Besonderes Augenmerk liegt auf der technischen Nachbildung von Prozessen, die großtechnisch auf dem GKW etabliert sind, wie beispielsweise Expanded-Granular-Sludge-Bed-Reaktoren zur anaeroben Abwasserbehandlung. Damit wird es möglich, die Auswirkungen von neuartigen Behandlungskonzepten direkt auf den Betrieb des GKW zu untersuchen und wichtige Ableitungen für eine großtechnische Übertragung der Technologien in die Praxis zu ziehen. Mit der Technologieplattform können nun Prozessoptimierungen und -entwicklungen direkt transferiert und passgerechte technische Lösungen angeboten werden. Übertragungspotenzial besteht am konkreten Standort Chemiepark Bitterfeld-Wolfen, im benachbarten Bayer-Industriepark, dem gesamten mitteldeutschen Chemiedreieck und auch an beliebig weiteren Standorten.

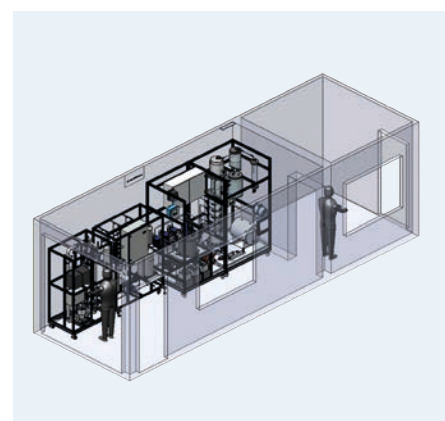
Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Konjunkturprogramms.

Gefördert durch:

 Bundesministerium
 für Bildung
 und Forschung
 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages



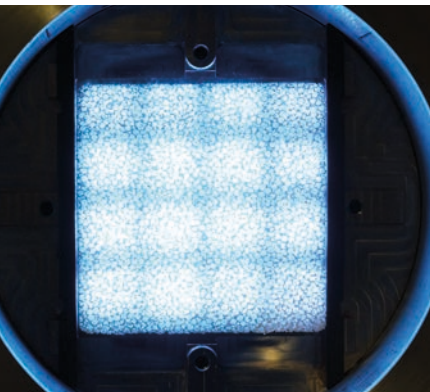
Gemeinschaftskläwerk, hinten Chemiepark Bitterfeld-Wolfen (Quelle: GWK).



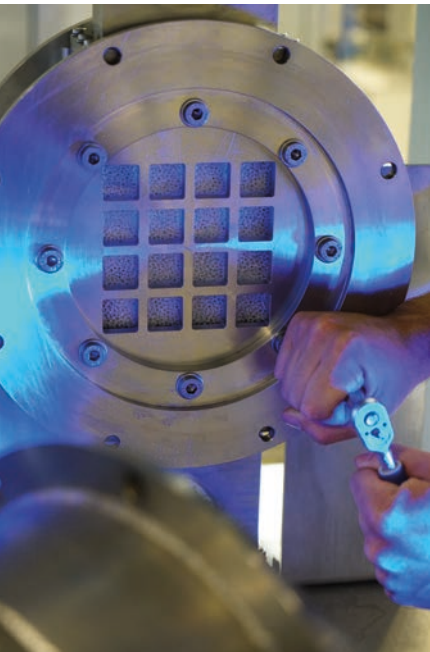
3D-Model eines Versuchskontainers, ausgerüstet mit Wasserbehandlungsanlagen.



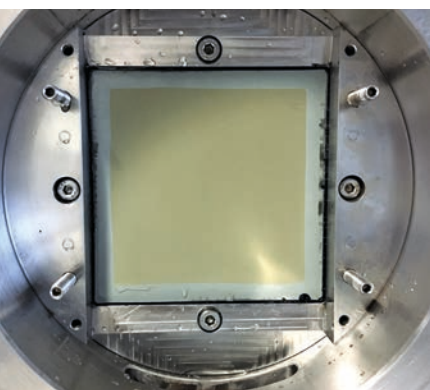
Aufstellung des Versuchskontainers im Dezember 2021.



Zelluläre TiO_2 -beschichtete Keramik unter UV-C-Bestrahlung in der Reaktionskammer.



Montage der Photokatalyse-Reaktionskammer.



Deckschicht auf der SiC-Membran nach der Filtration von Kläranlagen-Ablauf.

Multifunktionsprüfstand zur Charakterisierung keramischer Komponenten zur Wasseraufbereitung

Dipl.-Ing. André Wufka

Die Konzentration anthropogener Spuren-schadstoffe im Wasserkreislauf steigt beständig. Zu diesen Stoffen zählen etwa Human- und Veterinärpharmaka (Antibiotika, Hormone, Kontrastmittel), welche über Krankenhausabwässer, Privathaushalte und Industrieprozesse in das Abwassersystem sowie in Oberflächengewässer eingetragen werden. Vor diesem Hintergrund spielen innovative AOP-Verfahren (Advanced Oxidation Processes) für die Aufbereitung von Wasser zu einem sicheren und schadstofffreien Gut eine immer wichtigere Rolle.

Das Fraunhofer IKTS entwickelt dafür komplexe AOP-Funktionskomponenten auf der Basis funktionalisierter, d. h. mit Titandioxid (TiO_2) katalytisch beschichteter zellulärer Strukturen. Für die systematische Weiterentwicklung dieser Multifunktionskomponenten hin zu praxisreifen Systemen wurde ein spezieller Prüfstand entwickelt, gefertigt und in Betrieb genommen.

Funktionsweise

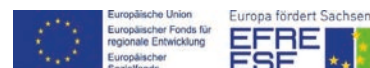
Der entwickelte Multifunktionsprüfstand kombiniert in unikatlicher Weise die Prozesse Membranfiltration und Photokatalyse. Die eingesetzten keramischen Flachmembranen werden durch mehrlagiges keramisches Foliengießen von glasgebundenem Siliciumcarbid (SiC) und anschließendem Co-Firing hergestellt. Für die Membranschichten werden kommerzielle feinstkörnige SiC -Pulver mit engen Korngrößenverteilungen und d_{50} -Werten von $3\ \mu m$ und $0,7\ \mu m$ verwendet. Daraus resultieren Porenverteilungen mit $d_{50} = 1,5\text{--}2\ \mu m$ bzw. $d_{50} = 0,25\text{--}700\ \mu m$. Damit bewegt sich der Membranaufbau im Bereich der Mikrofiltration. Die Filtration wird im Cross-Flow betrieben, dabei wird die Feed-Seite der Flachmembran kontinuierlich parallel überströmt.

Durch Einstellung der Überströmgeschwindigkeit ist es möglich, die sich bei der Filtration ausbildende partikelbeladene Deckschicht zu kontrollieren. Parallel kann der Differenzdruck zwischen Feed- und Permeat-Kreislauf, der so genannte Transmembrandruck, definiert eingestellt werden. Durch den erzeugten Überdruck auf der Feed-Seite wird weitgehend partikelfreies Filtrat erzeugt, welches dann sofort der intensiven photokatalytischen Reaktion ausgesetzt wird. Die katalytisch erzeugten, nicht selektiv reagierenden Hydroxylradikale sind in der Lage, eine vollständige Oxidation persistenter Stoffe zu erzielen und komplexe Wasserinhaltsstoffe in nicht toxische und in biologisch verwertbare Substanzen umzuwandeln. Das gereinigte Wasser wird nach erfolgter Behandlung gesteuert über Entlastungsventile quasikontinuierlich aus dem System ausgekrest.

Ausblick

Zukünftig sollen die verfahrenstechnischen Möglichkeiten des Multifunktionsprüfstands systematisch erweitert werden. Weiterhin sollen die klassischen Nieder- und Mitteldruck-UV-Strahler durch in Entwicklung befindliche UV-LEDs ersetzt werden. Hierdurch wird es perspektivisch möglich, den Energiebedarf für die Schadstoffreduktion deutlich zu reduzieren.

Das Vorhaben wurde mit Mitteln der Europäischen Union sowie des Freistaats Sachsen im Rahmen des InfraPro-Förderprogramms finanziert.



Graphen zur Spurenstoffelimination – Ergebnisse der Thüringer Forschergruppe »SoWas«

M. Sc. Marc Pezoldt, Dr. Isabel Kinski, Dr. Marcus Weyd

Mikroschadstoffe stellen die globale Wasserwirtschaft vor enorme Herausforderungen. Diese Stoffe sind schon in sehr geringen Mengen eine Gefahr für die aquatische Umwelt und können meist mit der klassischen dreistufigen Klärwerkstechnik nicht entfernt werden.

Synergien durch Hybridverfahren

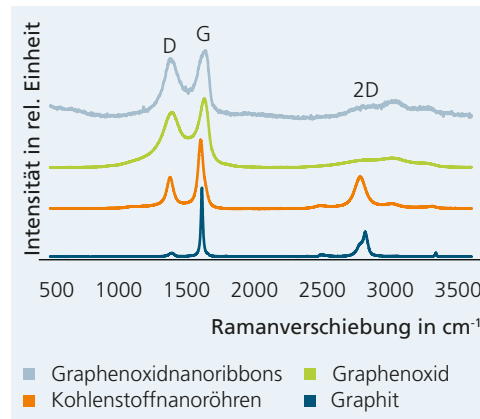
In der Forschergruppe »SoWas« untersucht das Fraunhofer IKTS in Zusammenarbeit mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena eine vollständige Eliminierung von Mikroschadstoffen durch die Kombination von Adsorption und Oxidation an Nanopartikeln. Das Oxidationsmittel kann dabei durch Ultraschall mittels Kavitation und/oder durch Photokatalyse an Titandioxid (TiO₂) eingebracht werden. Für die Adsorption von Spurenstoffen sind Kohlenstoffspezies, wie zum Beispiel Graphen, geeignet. Die Kombination dieser Verfahren verstärkt die Abbauwirkung im Sinne eines echten Synergieeffekts.

Graphen als optimaler Adsorber

Graphen ist ein 2D-Material aus bienenwabeförmig angeordneten Kohlenstoffatomen. Es zeichnet sich durch hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit bei gleichzeitig guter mechanischer Festigkeit aus. Darüber hinaus verfügt Graphen über eine hohe spezifische Oberfläche, so dass es als Adsorbermaterial sehr gut geeignet ist.

Das IKTS ist in der Lage, Graphen und Graphenoxid mittels Exfolierung von kostengünstigem Graphit und dem Aufschneiden von Kohlenstoffnanoröhren (CNTs) herzustellen. Abhängig vom verwendeten Ausgangsmaterial und dessen Nachbehandlung ist es möglich, die Größe der erhaltenen Graphenflocken im nm- bis

µm-Bereich einzustellen. Die Adsorptionseigenschaften können gezielt, abhängig von den zu entfernenden Schadstoffen, angepasst werden. Ebenfalls ist eine direkte Anbindung des Photokatalysators an Graphen realisierbar.

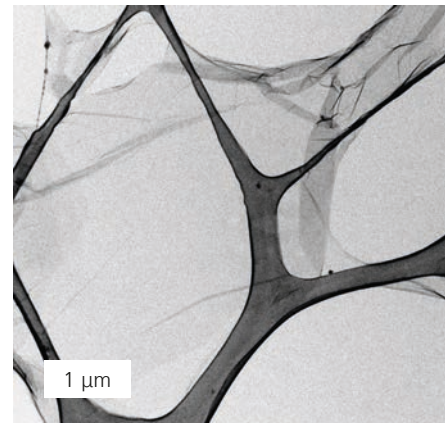


Ramanspektroskopie zur Qualitätsbestimmung der Adsorbentien.

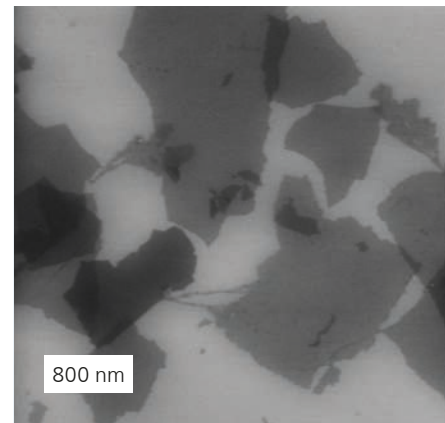
Leistungs- und Kooperationsangebot

- Exfolierung von Graphit und Unzipping von CNTs zur Herstellung von Graphen
- Kundenspezifische Funktionalisierungen
- Umfassende Charakterisierung von Graphen

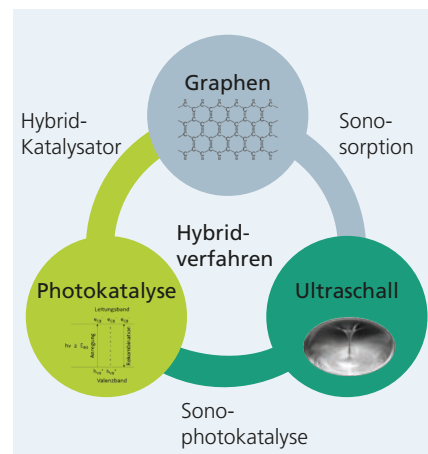
Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung im Rahmen der Thüringer Forschergruppe »SoWas« (FKZ: 2019 FGR 0085) und dem beteiligten Industriebeirat.



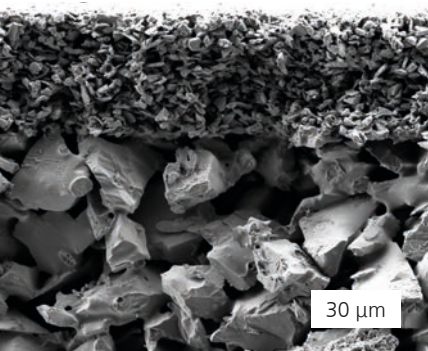
TEM-Aufnahme von Graphenoxid.



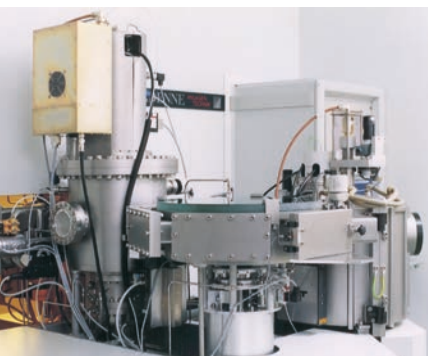
FEREM-Aufnahme einzelner Graphenoxidflocken.



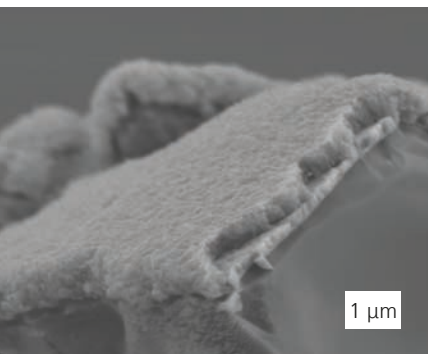
Entwicklungslinien der Forschergruppe »SoWas«.



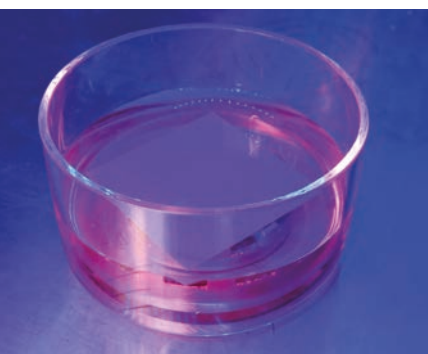
Keramische Mikrofiltrationsmembran.



Magnetronspalteranlage.



Photokatalytische TiO₂-Schicht.



UV-Aktivierung photokatalytischer Membran in Rhodamin B.

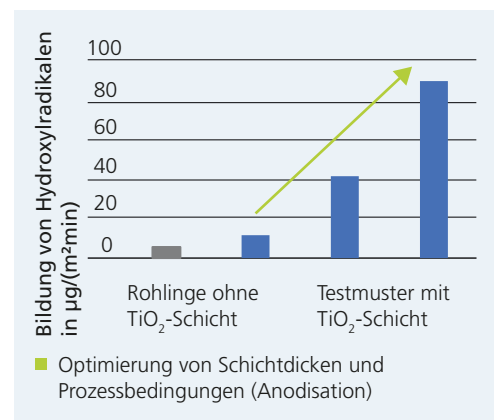
Hochaktive nanostrukturierte TiO₂-Filtrationsmembranen zur Wasserdesinfektion und Elimination von Spurenstoffen

Dr. Ulrike Langklotz, M.Sc. Sarah Trepte, Dipl.-Phys. Mario Krug

Sauberes Trinkwasser ist eines der höchsten Güter unserer modernen Zivilisation, seine Bereitstellung bei wachsender Weltbevölkerung jedoch auch eine große Herausforderung. Der stetige Eintrag schwer entfernbarer, anthropogener Spurenstoffe aus Düngemitteln, Chemikalien oder Medikamentenrückständen in unsere Gewässer führt zu einer zunehmenden Schädigung des verfügbaren Wasserreservoirs. Ein vielversprechendes Verfahren zur Wasserreinigung ist die Photokatalyse. Sie ermöglicht den vollständigen Abbau von organischen Verunreinigungen, ohne dass zu entsorgende Reststoffe anfallen. Es können jedoch keine festen Partikel entfernt werden. Am Fraunhofer IKTS wird an einem neuartigen Ansatz zur umfassenden Wasserreinigung geforscht, der keramische Filtrationsmembranen mit einer photokatalytisch aktiven Schicht kombiniert. Als Trägerstruktur dient eine poröse Filtrationsmembran aus glasgebundenem Siliciumcarbid. Diese ist mechanisch sehr stabil und weist eine hervorragende Abrieb- und Korrosionsbeständigkeit auf. Als Photokatalysator wird Titandioxid (TiO₂) als nanostrukturierte Schicht auf die Oberfläche der Keramikmembran aufgebracht. Durch die Nanostrukturierung entsteht eine große photokatalytisch aktive Oberfläche. Die photokatalytische Beschichtung der Keramikmembranen erfolgt in einem zweistufigen Prozess. Zunächst wird mittels des technisch sehr einfachen und gut skalierbaren Magnetronspatters reines Titan auf der Keramikoberfläche abgeschieden. Damit lassen sich Schichtdicken von wenigen Nanometern bis zu einigen Mikrometern ökonomisch auch auf großflächigen Substraten erzeugen. Die Umwandlung der dichten Titanschichten in TiO₂-Schichten mit geordneter Nanoporesität erfolgt anschließend durch den technisch etablierten Prozess der anodischen Oxidation, bei dem durch gezielte Parameter-

wahl geschlossene oder poröse Oxidschichten mit einstellbaren Morphologien (z. B. Porenweiten und -längen) realisiert werden.

Die photokatalytische Wirksamkeit der so erzeugten nanostrukturierten Titandioxid-Schichten konnte in Laborversuchen bereits erfolgreich nachgewiesen werden. Die Bestrahlung des TiO₂ mit kurzwelligem UV-Licht induziert die Bildung u. a. von hochreaktiven Hydroxylradikalen, welche Verunreinigungen oxidativ mit hoher Effizienz abbauen.



Photokatalytische Wirksamkeit nanostrukturierter TiO₂-Schichten auf porösen, keramischen Filtrationsmembranen.

Die Umsetzung dieser Arbeiten wurden durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) unterstützt und in Zusammenarbeit mit der Firma scia Systems GmbH durchgeführt.

Keramikelektroden und Kaltplasma – Kombination für effiziente Abwasserbehandlung

Dr. Hans-Peter Martin, Dr. Axel Müller-Köhn, Dipl.-Ing. Anne Mannschatz, Dipl.-Ing. Katrin Schönfeld

Die Reinigung der anfallenden Abwässer aus Industrie und Haushalt erfordert neue Techniken und Verfahren, um den wachsenden Anforderungen hinsichtlich Wasserqualität und Umwelt gerecht zu werden.

Einen Ansatz zur Beseitigung bislang problematischer chemischer und biologischer Wasserkontaminationen bietet die Kaltplasmatechnik. Kalte Atmosphärendruckplasmen können energetisch effizient und mit technisch alltags-tauglicher Ausrüstung bereitgestellt werden. Allerdings sind die Anlagen dieser relativ neuen Technologie noch nicht so weit ausgereift, dass ein wartungs- und fehlerfreier Betrieb über längere Zeiträume möglich ist. Damit Plasma zur kommerziellen Wasserreinigung eingesetzt werden kann, sind insbesondere werkstoffliche und konstruktive Anpassungen an den elektrisch wie chemisch-korrosiv stark beanspruchten Elektroden essenziell.

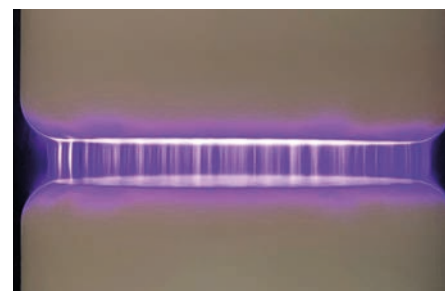
Keramische Lösungen für Plasmaelektroden

Plasmaelektroden bestehen aus zwei funktionalen Grundkomponenten – einem elektrischen Isolator und einem elektrischen Leiter. Insbesondere der Isolator definiert mit seinen werkstofflichen Eigenschaften die Qualität und Ausprägung des erzeugten Plasmas, welches primär über die elektrischen Parameter Spannung und Frequenz generiert wird. Die elektrische Permittivität und die Durchschlagfestigkeit des Isolators bieten die Möglichkeit, entweder sehr hohe Frequenzen oder auch elektrische Hochspannungen auf einem niedrigen Level einzusetzen. Innerhalb des Plasmas entstehen so extrem hohe Elektronentemperaturen, ohne dass die eigentliche Gastemperatur der Luftbestandteile wesentlich über 40 °C liegen muss. Durch dieses Phänomen wird es

möglich, selbst Mikroorganismen, schädliche chemische Substanzen oder Radikale auf temperaturempfindlichen Unterlagen zu beseitigen. Als Nebeneffekt kann Ozon (O₃) entstehen, das als reaktive Substanz zahlreiche Schadstoffe neutralisieren kann. Die Nutzung des Plasmas zur Abwasserreinigung erfordert die Umgestaltung der Plasmaelektrode, z. B. eine Kombination mit zellularen oder porösen Komponenten. Alternativ kann die Wassereinbringung als Aerosol im Plasma eine Option sein. Am Fraunhofer IKTS wurden bisher Untersuchungen mit titanoxidbasierten Keramikwerkstoffen durchgeführt. In Kooperation mit der Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst HAWK Göttingen liefen erste Versuche zur Kaltplasmageneration mit derartigen Elektroden (FKZ: IGF 20546 BG). Die Ergebnisse sind vielversprechend, vergleicht man beispielsweise die Ozonentstehung als Effizienzindikator mit anderen bisher eingesetzten Isolatorwerkstoffen. Gegenüber Kunststoffen bieten keramische Isolatoren zudem eine deutlich längere Alterungsbeständigkeit, so dass die bisher erforderlichen Wartungsintervalle in Zukunft vollständig entfallen könnten.

Leistungs- und Kooperationsangebot

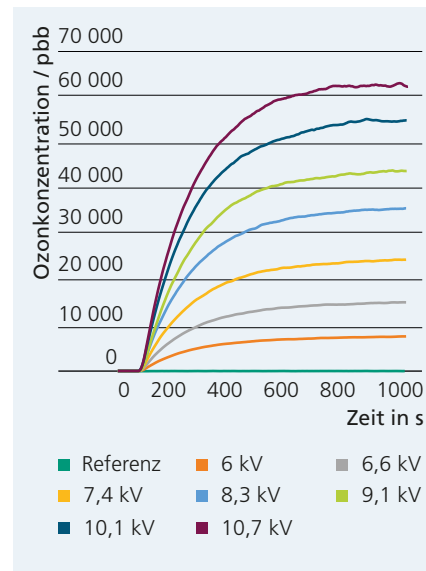
- Entwicklung von keramischen Komponenten für die Kaltplasmatechnik
- Kombination von Plasmatechnologien mit Wasseraufbereitungstechniken
- Elektrisch funktionelle Keramikwerkstoffe mit hoher chemischer und mechanischer Stabilität für Abwassertechnologien



Kaltplasma, im Bild lila (Quelle: Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst Göttingen).



Elektrodenkonstruktion.



Entwicklung der Ozonproduktion über die Zeit.

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

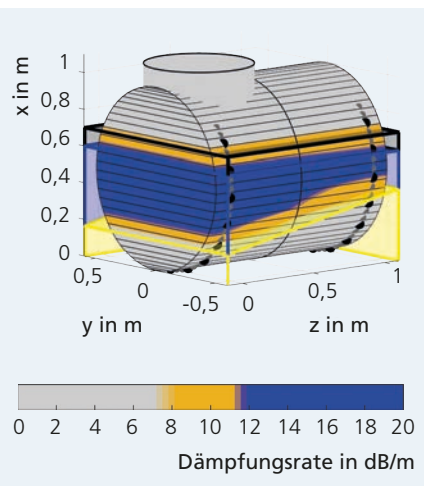
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Füllstände von Behältern mit geführten Wellen präzise online bestimmen

**Dr. Bianca Weihnacht, M. Sc. Robert Neubeck, Dipl.-Ing. Tobias Gaul,
M. Sc. Thomas Klesse, Dipl.-Ing. Uwe Lieske, Dipl.-Ing. Mareike Stephan,
Dr. Lars Schubert**

Schematische Darstellung des Messsystems als zwei ringförmige Anordnungen um einen horizontal gelagerten Behälter.



Grafische Darstellung der dämpfungstomographischen Messungen mittels geführter Wellen. Die farbliche Kodierung auf der Außenwand entspricht der erfassten Dämpfungsrate, während die farbliche Kodierung im Hintergrund die realen Füllstände von Öl (schwarz), Wasser (blau), Sand (gelb) beschreibt. Die Sandfüllung wurde hierbei mittels Drainagefließes in einer künstlichen Neigung fixiert.

Die präzise Kenntnis der Füllstände in nicht einsehbaren Behältern ist vor allem in der chemischen Industrie oft eine große Herausforderung. Dabei können mit diesem Wissen Prozesse optimiert und Systemausfälle oder Havarien vermieden werden.

Dauerhafte Messung im Betrieb

Oft müssen Messungen der mehrphasigen Füllstände im laufenden Betrieb durchgeführt werden, während die Behälter hohen Drücken ausgesetzt sind oder korrosive Medien enthalten. Es ist auch möglich, dass die Behälter zusätzlichen Sicherheitsvorschriften unterliegen, wie Hochdrucktanks in der Öl- und Gasindustrie, die verschiedene Phasen des Rohöls gravitativ voneinander trennen. Sedimentablagerungen oder schnelle Änderungen der Zusammensetzung des Zuflusses können hier die Betriebseffizienz verringern oder unerwünschte, kostspielige Ausfallzeiten verursachen. Das ließe sich durch eine zuverlässige nicht-invasive Online-Messung ausschließen.

Die meisten kommerziellen Füllstandmessverfahren, wie Schwimmkörper, Drucksensoren, Ultraschall Pulse-Echo-Verfahren, geführte Radarwellen oder kapazitive Messungen sind nicht in der Lage, Mehr- und insbesondere Feststoffphasen zuverlässig zu messen. Zudem können sie nur nach teuren baulichen Veränderungen an bestehenden Behältern eingesetzt werden. Eine Ausnahme bilden die aktiven Gammastrahlenverfahren. Diese erfordern jedoch zusätzliche Strahlenschutzvorkehrungen, sodass Personen während der Messung den Bereich nicht betreten dürfen. Das wiederum führt zu hohen Kosten für die Online-Überwachung, z. B. auf Offshore-Plattformen, weswegen das Verfahren in der Praxis kaum für permanente Überwachungen eingesetzt wird.

Neuer Ansatz für Füllstandsmessung

Im Gegensatz zu den vorab beschriebenen Technologien basiert die am Fraunhofer IKTS entwickelte Lösung auf dem Einsatz von geführten elastischen Wellen. Diese werden an der Außenwand eines Behälters durch eine skalierbare Anordnung von piezoelektrischen Aktuatoren angeregt und anschließend gemessen. Entlang ihres Laufweges auf der Außenwand interagieren die aktiv angeregten geführten Ultraschallwellen mit dem Medium im Inneren des Behälters – je nach dessen viskoelastischen Eigenschaften, der Wellenmode sowie dem angeregten Frequenzbereich. Dadurch können zahlreiche Messeffekte genutzt und kombiniert werden, wobei der Haupteffekt eine scheinbare Dämpfung durch Konvertierung in Raumwellen und andere Oberflächenwellen ist. Ein tomographischer Ansatz ermöglicht ein virtuelles Abbild der scheinbaren Dämpfung auf der Außenwand, das dem Behälterinhalt entspricht (Dämpfungstomographie). Das entwickelte Messsystem ist für Behälter verschiedener Geometrien mit und ohne Isolierung geeignet. Zusätzlich verfügt es über eine elektromechanische Selbsttestroutine sowie die Fähigkeit, Wanddickenänderung durch Korrosion und strukturelle Defekte mittels geführter Wellen zu erfassen.

Die hier beschriebenen Arbeiten erfolgten in langjähriger Kooperation mit der Firma Equinor ASA.



Mobiles Ultraschall-Schienenprüfsystem

Prof. Henning Heuer, Dipl.-Inf. (FH) Stephan Heilmann, Dipl.-Ing. Ralf Schallert, Dipl.-Ing. (FH) Christian Richter, Zsolt Bor, Dipl.-Ing. Frank Macher, M.Sc. Christoph Prüfer, Dr. Frank Schubert, Dipl.-Inf. (FH) Oliver von Kopp

Die Anforderungen an schienengebundene Streckennetze steigen fortwährend. Mit dem Anspruch der höchstmöglichen Betriebssicherheit nehmen sowohl der Umfang als auch die Häufigkeit von Wartungsmaßnahmen zu, während die dafür zur Verfügung stehenden Zeitfenster immer kleiner werden. Mit »Smart Maintenance«, einer zustandsorientierten Maßnahmenplanung und Schienenbearbeitung, lässt sich die Instandhaltungsplanung vereinfachen und damit gezielt beschleunigen.

Erfolgsfaktor digitale Zustandserfassung

Zustandsdaten von Schienen und Weichen, wie Unregelmäßigkeiten im Schieneninneren, Korrosion am Schienenfuß oder Fehler im Volumen werden oft mit unterschiedlichen Systemen der zerstörungsfreien Prüfung erhoben. Mit dem SoniQ Rail Explorer (SRE), der im Auftrag der Vossloh Rail Services GmbH am Fraunhofer IKTS entwickelt wurde, ist nun ein Ultraschallgerät für die Schienenprüfung verfügbar, das verschiedene Daten mit nur einem Messsystem in einem Prüfdurchgang erfasst. Die durch ein GPS-Signal ergänzte Kombination verschiedener Prüfdaten, Video- oder Ultraschallsignale, bietet dem Anwender mehr Sicherheit bei der Datenanalyse und -interpretation. Moderne Datenschnittstellen sichern zudem eine unkomplizierte Einbindung in digitalisierte Prozessketten.

Auf Basis KI-gestützter Algorithmen kann der SRE durch Vorklassifizierung bei der Datenbewertung unterstützen. Jeder vom Prüfer widerspruchsfrei bewertete Indikator steigert die Performance der Mustererkennung und verbessert über die Zeit – durch Methoden des maschinellen Lernens – sowohl die zustandsbasierte Instandhaltung als auch die Maßnahmenauswertung. Mit Hilfe eines

Asset-Management-Programms kann zudem die Aussagekraft der KI-gestützten Prognosen zur Verschleißentwicklung bzw. Nutzungsdauer erhöht werden.

Ausgereiftes Design

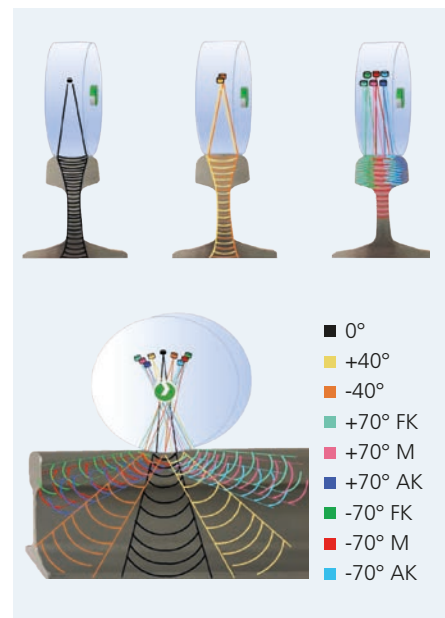
Mit einem Prüfabstand von bis zu einem Millimeter detektieren die insgesamt neun Prüfköpfe (0°, ± 40°, ± 70° in Mitte, Fahr- und Außenkante) sowohl identifizierbare oberflächennahe Unregelmäßigkeiten als auch Volumenfehler in Kopf, Steg und Schienenfuß gemäß DIN EN 16729-1 in Echtzeit. Die Befunde werden dem Nutzer synchronisiert sowohl als A-Bild als auch B-Bild visualisiert, sobald die Registriergrenze erreicht wird. Parallel kann zur Unterstützung auf umfangreiche Rohdaten zugegriffen werden. Mit der amplitudenbasierten Volumenansicht kann der Nutzer – anders als mit der klassischen Blendentechnik – den Schwellenwert nachträglich selbst editieren und erhält damit noch aufschlussreichere Informationen zu den Reflektoren und ihrer Dynamik.

Das Ultraschallprüfrad wird mittels permanent mitlaufender seitlicher Führungsrollen auf das Schienenprofil angepasst und zuverlässig über der Schienenmitte positioniert. Dabei unterscheidet das Führungssystem zwischen Vorwärts- und Rückwärtsbetrieb und richtet die stabilisierende leichte Schrägstellung der Laufrollen mit einem Servomotor automatisch aus.

Der SRE bietet mit seinen Features vielfältige Nutzungsmöglichkeiten, die über die einfache Ultraschallprüfung weit hinausgehen.



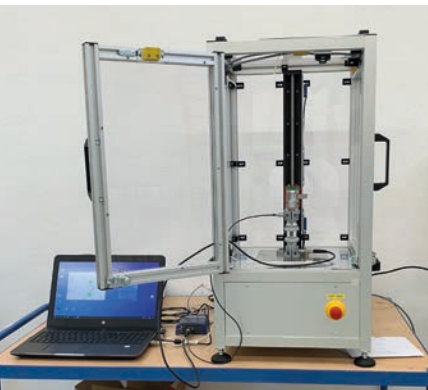
Aufbau des SoniQ Rail Explorer für die mobile Schieneninspektion mit Ultraschall (Quelle: Vossloh Rail Services).



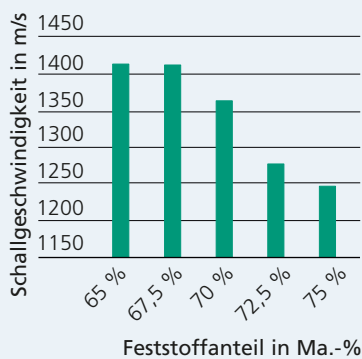
Die neun Prüfköpfe des Ultraschallprüfrads schallen gleichzeitig in die Schiene ein (Quelle: Vossloh Rail Services).



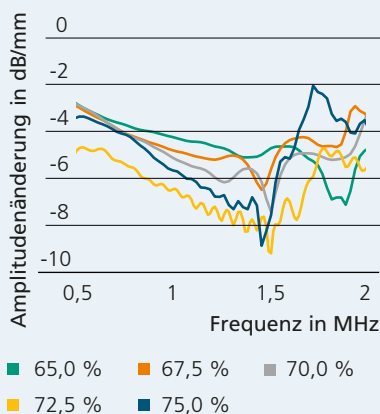
Der SRE ist bereit für den Einsatz am Gleis und bietet durch seine ergonomische Gestaltung hohen Prüfkomfort (Quelle: Vossloh Rail Services).



Vertikalachsenmesssystem zur Charakterisierung von Suspensionen mit Ultraschall.



Zusammenhang zwischen gemessener Schallgeschwindigkeit und dem Feststoffanteil eines Materialsystems für Suspensionen in der Kathodenfertigung.



Unterschiede in der frequenzabhängigen Ultraschalldämpfung für eine Suspension mit verschiedenen Feststoffanteilen.

Vertikalachsenmesssystem für die Charakterisierung von Suspensionen mit Ultraschall

Dipl.-Ing. Susan Walter, M. Sc. Michael Reinhold, Dipl.-Ing. Frank Macher, Dr. Frank Schubert

Ultraschallverfahren werden neben der zerstörungsfreien Prüfung an Festkörpern zunehmend in der Materialcharakterisierung von Fluiden und Suspensionen eingesetzt. Vor allem die Ultraschallspektroskopie, also die Auswertung frequenzabhängiger Parameter, erweist sich für die Charakterisierung dispersiver Materialien als besonders geeignet. Im Vergleich zur optischen Spektroskopie ist sie aber nicht auf transparente Medien beschränkt, sondern eignet sich auch für opake und hochgefüllte Suspensionen.

Präzise Messungen des Materialzustands

Im Rahmen eines Industrieprojekts wurde ein flexibler Messstand entwickelt, um Suspensionen mit hohem Feststoffgehalt zu charakterisieren. Diese werden vorrangig in der Fertigung von Batteriezellen verwendet und sollen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und mechanischen Eigenschaften bewertet werden.

Der im Bild oben dargestellte portable Vertikalachsenmessstand ermöglicht eine präzise Vermessung unterschiedlicher Testvolumina. Das System arbeitet in Transmission und Reflexion. Ein Ultraschallprüfkopf befindet sich an einem Arm an der Vertikalachse, die mit einer Schrittweite von 0,1 mm und einer Genauigkeit von maximal 0,01 mm gefahren werden kann. Dieser sendet eine Ultraschallwelle aus, die die Materialprobe transmittiert und von einem zweiten Prüfkopf empfangen wird. Alternativ dazu kann auch das rückgestreute Echosignal aus der Probe vom Sendewandler detektiert werden. Das System aus Achse und Motor hat ein maximales Drehmoment von 0,62 Nm. Damit ist es auch für die Charakterisierung hochviskoser Materialien geeignet. Das Gehäuse des Aufbaus entspricht den notwendigen Schutzmaßnahmen und kann durch eine

Absaugung ergänzt werden, falls mit ausgasenden oder gesundheitsgefährdenden Materialien gearbeitet wird. Die Montage der Prüfköpfe erfolgt auf eigens entwickelten flexiblen Adaptern, die schnell und kostengünstig im 3D-Druck hergestellt werden können. Damit lassen sich unterschiedliche Arten von Prüfköpfen verwenden. Der Messstand verfügt über eine angepasste Software für die Steuerung der Achse. Für die Ultraschallmessungen kommt das PCUS® pro-System des IKTS (oder andere kommerziell erhältliche Messgeräte) zum Einsatz.

Charakterisierung von Suspensionen in der Batterieproduktion

Das System misst standardmäßig frequenzabhängige Schallgeschwindigkeiten und Dämpfungskoeffizienten. Daraus lassen sich die (visko-)elastischen Eigenschaften des Materials ableiten. Bei der Charakterisierung von Suspensionen enthalten die gemessenen Signale, durch Sondereffekte wie Streuung, zusätzliche Aussagen zum Materialzustand, beispielsweise zur Mikrostruktur, Partikelgröße und -konzentration. Vergleicht man mehrere Messungen bei verschiedenen Dicken, können verschiedene Einflussgrößen minimiert und so eine hohe Reproduzierbarkeit erreicht werden. In Messungen an Batterie-Extrudaten wurden dadurch weitere Einflüsse, beispielsweise durch Standzeiten und die mechanische Vorbehandlung der Proben, erkannt. Zukünftig soll das Messsystem auch für andere Materialsysteme, wie Druckpasten, genutzt werden.

Inline-Prüfung von Elektrodenfolien für Lithium-Ionen-Batterien

Dr. Lili Chen, Dr. Ulana Cikalova, Tobias Stüwe, Dr. Beatrice Bendjus

Leistungsfähige und kostengünstige Energiespeicher sind eine Schlüsselkomponente für die Energiewende. Die weitere Reduzierung der Fertigungskosten von Lithium-Ionen-Batterien zur mobilen oder stationären Energiespeicherung ist durch die Senkung von Produktionsfehlern und daraus resultierenden Ausschussraten möglich. Wenn Mängel bereits früh im Fertigungsprozess, idealerweise noch vor der Weiterverarbeitung erkannt werden, sichert das die größtmögliche Qualität bei minimalem Ausschuss und damit auch eine nachhaltige und ressourcenschonende Batteriefertigung.

LSP zur schnellen Inline-Fehlererkennung und Porositätsbestimmung

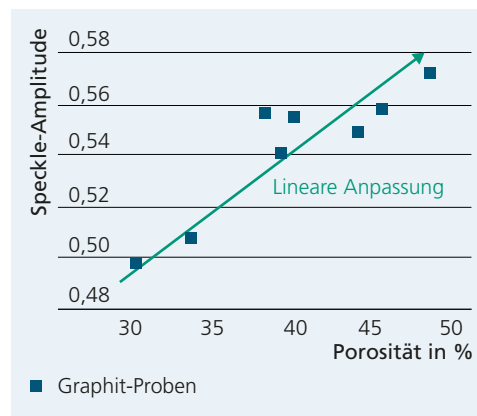
Die zeitaufgelöste Laser-Speckle-Photometrie (LSP) ist ein junges Verfahren für die optische Defektkontrolle. Mit ihr lassen sich Porosität und Oberflächendefekte verschiedener Art und Größe inline ermitteln. Im Vergleich zu konkurrierenden Messmethoden zeichnet sich die LSP durch einen einfachen, robusten Aufbau und geringe Kosten aus. Bei der LSP wird eine Oberfläche mit einer kohärenten Lichtquelle, beispielsweise einem Laser, beleuchtet. Dabei werden einzigartige Speckle-Muster erzeugt, die die morphologischen Informationen der Oberfläche enthalten. Diese werden von einer digitalen Zeilenkamera erfasst. Mit Hilfe von Bildverarbeitungsverfahren und Methoden des maschinellen Lernens können die in der Materialoberfläche vorhandenen Defekte durch Analyse der aufgezeichneten Speckle-Muster automatisch erkannt und klassifiziert werden.

Einsatz in der Batteriefertigung

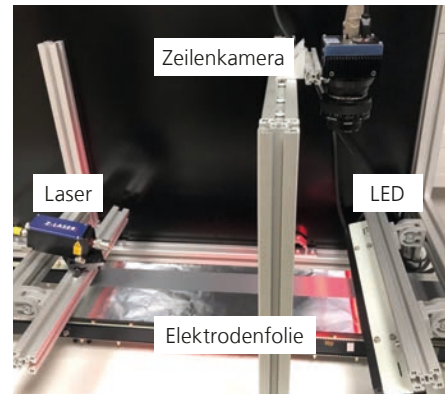
In der Batterieproduktion wird die LSP zur Inspektion der Elektrodenfolien in Rolle-zu-Rolle-Prozessen eingesetzt. Die optisch raue Oberfläche der Elektrodenfolie liefert die Reflexionsmuster nach Laseranregung, die die Grundlage für die Bewertung der Folienqualität bilden.

Dafür werden Anoden aus LTO (Lithium Titanat) in einem LSP-Labora Aufbau (statisch) aufgenommen und auf Vorhandensein von Agglomeraten charakterisiert. In einem weiteren, dynamischen Modus wird durch Erwärmung des Elektrodenmaterials die Porosität über die Änderung im Speckle-Muster bestimmt. Der aktuelle Versuchsaufbau erreicht eine Messgeschwindigkeit von 4 m/min bei einer 16 cm breiten Folie und eignet sich zum Nachweis von Agglomeraten größer 70 µm.

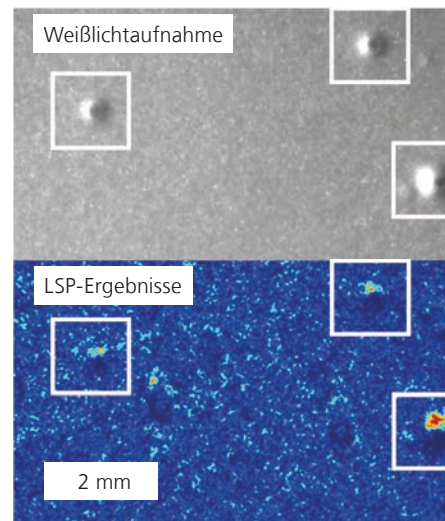
Die LSP-Technik wird derzeit auf die Herstellungsanlage von Batterieelektroden skaliert. Das umfasst u. a. die Prozessschritte Trocknen, Kalandrieren und Slitten.



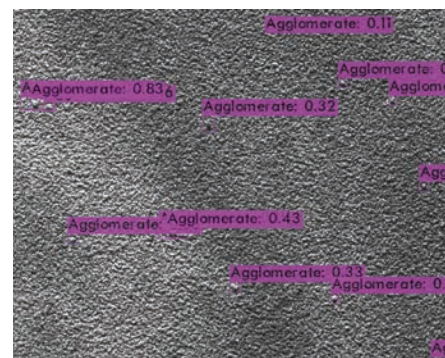
Abhängigkeit der Speckle-Amplitude von der Porosität des Elektrodenmaterials.



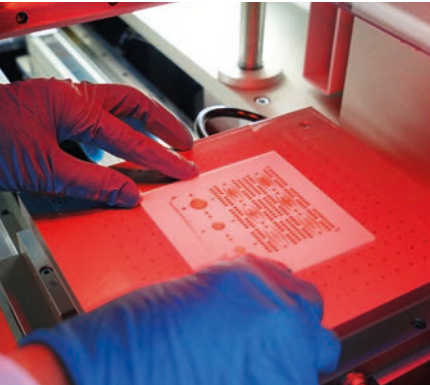
Versuchsaufbau der Laser-Speckle-Photometrie für die Defekterkennung an Elektrodenfolien.



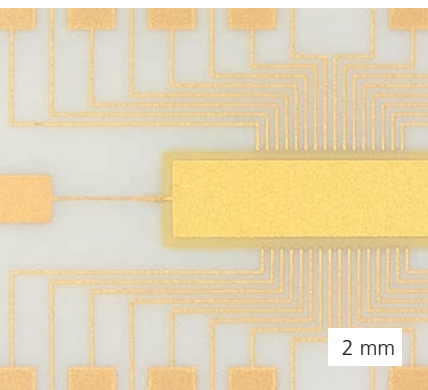
Ergebnisse der Fehlererkennung. Oben: Weißlichtaufnahme mit Defekten. Unten: LSP-Ergebnisse nach Bildverarbeitung.



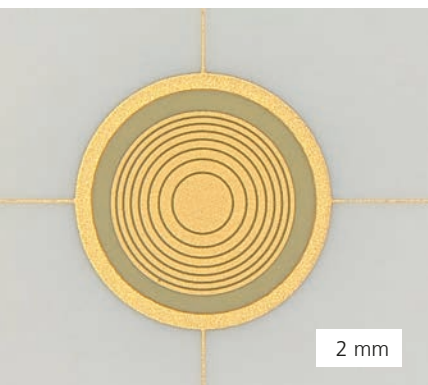
LSP-Ergebnisse der Fehlererkennung mittels maschinellen Lernalgorithmen.



Ausrichtung der Probe im Siebdrucker.



Gedrucktes 10 MHz-Lineararray.



Gedrucktes 40 MHz-Ringarray.

Gedruckte Ultraschallwandler für Bildgebung und Messtechnik

Dr. Sylvia Gebhardt, Dr. Peter Neumeister, Dr. Holger Neubert

Ultraschallsysteme finden breiten Einsatz in der medizinischen Bildgebung und der zerstörungsfreien Prüfung. Dabei fokussiert die gegenwärtige Entwicklung hauptsächlich auf eine verbesserte Bildauflösung, die Miniaturisierung der Ultraschallwandler sowie auf elektronische Verdichtung.

Für die Bildgebung hat sich die Phased-Array-Technik durchgesetzt, bei der die aktive piezoelektrische Fläche des Wandlers in eine Reihe (engl. array) von einzeln kontaktierten und damit aktivier- und auslesbaren Elementen unterteilt ist. Sie erlaubt ein elektronisches Scannen, Schwenken und Fokussieren des Ultraschallstrahls. Herkömmliche Fertigungsverfahren für Phased-Array-Ultraschallprüfköpfe basieren auf Säge- und Assemblerstechniken, die kompliziert und aufwendig sind. Darüber hinaus entstehen bei der Fertigung Kleb- und Lötkontakte, die die akustische Schallausbreitung stören können.

Kostengünstige Fertigung in großer Stückzahl

Mit einem am Fraunhofer IKTS entwickelten Fertigungsansatz können Ultraschallwandler komplett über Druckverfahren hergestellt werden. Grundlage hierfür sind piezokeramische Dickschichtwandler, die über Siebdruckverfahren auf planare und tubulare Substrate aufgebracht werden. Die Struktur der Ultraschallwandler wird dabei festgelegt durch das Druckbild, also die Sieböffnungen, durch die die Paste während des Druckprozesses gedrückt wird. Das passiert sehr schnell und mit hoher Reproduzierbarkeit. Entscheidend für die Anwendung als Ultraschallwandler ist jedoch nicht nur die piezokeramische Schicht, sondern vor allem der Aufbau aus Substratwerkstoff, Elektrodenstrukturen und akustischen

Anpassschichten. Hier ist es gelungen, poröse Substratwerkstoffe zu entwickeln, die direkt als Dämpfungskörper eingesetzt werden können. Der Druck von feinen Elektrodenlinien mit einer Breite von 70 μm und einem Mittenabstand (engl. pitch) von 120 μm erlaubt die Serienfertigung von Ultraschallwandlern für Anwendungsfrequenzen bis 10 MHz als Lineararrays und bis 40 MHz als Ringarrays in großer Stückzahl. Darüber hinaus ist es möglich, akustische Anpassschichten über Tampondruck aufzutragen, die einen verbesserten Schalleintrag in Wasser bzw. biologisches Gewebe ermöglichen. Die gedruckten Ultraschallwandler sind frei von störenden Zwischenschichten und bieten den Vorteil einer Aufbau- und Verbindungstechnik, die relativ einfach auf das Substrat aufgedruckt bzw. als dreidimensionale Elektrodenstruktur in den Dämpfungskörper (z. B. keramischer Multilayer) integriert werden kann. Dies verhindert den Auftrag voluminöser Löt- bzw. Bondpads, die das Schwingungsverhalten des Wandlers negativ beeinflussen. Die gedruckten Ultraschallwandler sind kompakt aufgebaut und entsprechen damit den Trends zur Miniaturisierung, Preisreduzierung und elektronischen Verdichtung. Das prädestiniert sie für den Einsatz in portablen und ultraportablen Geräten für Laptop- oder Smartphone-basierte Anwendungen.

Die Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im IGF-Vorhaben (20099BR) der Deutschen Keramischen Gesellschaft DKG über die AiF gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Ultraschall für eine schnellere und sichere Zahnwurzelbehandlung

Dipl.-Ing. Eric Haufe, Robert Kirchner, Dipl.-Ing. Fabian Ehle, Dr. Holger Neubert, Dr. Peter Neumeister, Dr. Sebastian Stark

Wurzelbehandlungen gehören sicher zu den unangenehmeren zahnärztlichen Behandlungen. Das Fraunhofer IKTS entwickelt im Projekt IPUCLEAN gemeinsam mit der Universitätsmedizin Rostock und den Firmen Komet Dental, Werner Industrielle Elektronik und Zahntechnik Leipzig ein intelligentes Ultraschallsystem für die Zahnwurzelbehandlung, das den Behandlungsverlauf verkürzen und mögliche Komplikationen reduzieren soll.

Gleichzeitige Rotation und Translation

Im Unterschied zu bestehenden Systemen wird die Rotationsbewegung der den Wurzelkanal bearbeitenden Zahnfeile mit einer translatorischen Oszillation in axialer Richtung unter gleichzeitiger Spülung überlagert. Hierdurch kann der bisher zur Vermeidung des Feilenbruchs nötige zeitaufwändige Reinigungsschritt vermieden werden. Erzeugt wird die translatorische Bewegung von einem piezokeramischen Stapelaktor, der eigens für diese speziellen Anforderungen am Fraunhofer IKTS entwickelt wird. Sowohl ein konventionelles bleihaltiges als auch ein bleifreies Piezomaterial werden aktuell auf ihre Eignung untersucht. Eine besondere Herausforderung bei der Wanderauslegung stellen die kleinen Betriebsspannungen dar, welche eine geringe Dicke der einzelnen Schichten des Stapelaktors erforderlich machen.

Vom Labormuster zum Funktionsdemonstrator

Zunächst wurde ein Labormuster im größeren Maßstab entwickelt und untersucht. Eine Qualifizierung des Schwingungsverhaltens erfolgte durch Laservibrometer-Messungen. Ausgehend von den gewonnenen Erkenntnissen wurden Funktionsdemonstratoren ausgelegt und

gebaut. Die wesentliche Herausforderung bestand dabei in der nötigen Miniaturisierung des Aufbaus. So wurde beispielsweise die Entwicklung eines Miniatur-Schleifrings auf Leiterplattenbasis mit kleinsten Federkontaktstiften zur Kontaktierung des piezokeramischen Aktors und zur Messung der Feileneintauchtiefe nötig. Gegenwärtig befinden sich die Funktionsdemonstratoren in der Evaluierungsphase. Für geringe Feilendurchmesser konnte bereits eine erhöhte Lebensdauer der Zahnfeile in der Bruchfestigkeitsprüfung nachgewiesen werden. Für die Zukunft ist die Weiterentwicklung der Ansteuerelektronik in Bezug auf ein optimales Schwingungsverhalten der Zahnfeile in Abhängigkeit der Eintauchtiefe in den Wurzelkanal geplant. Zudem erfordert eine marktfähige Umsetzung eine weitere Miniaturisierung des Systems.

Übertragung auf andere Anwendungen

Durch das Vorhaben hat sich das Fraunhofer IKTS medizintechnische Anwendungen im Bereich der Schwingungsaktorik erschlossen. Insbesondere das Know-how zur Auslegung von derartigen Aktoren aus bleifreien Piezokeramiken ist zukunftsweisend und kann auf viele andere Anwendungen, zum Beispiel die Ultraschallreinigung und die zerstörungsfreie Prüfung, übertragen werden.

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Programms Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation (FKZ: 03ZZ1043E) und dem smart³-Konsortium gefördert und läuft bis 31.05.2022.



Labormuster.



Miniaturschleifring auf Leiterplattenbasis.



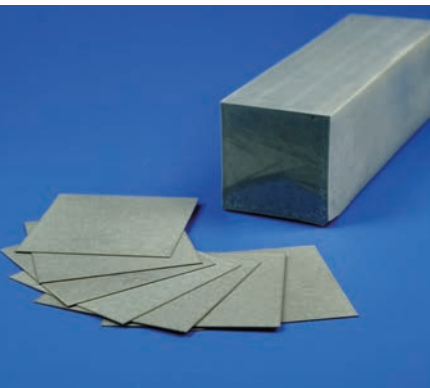
Funktionsdemonstrator.

smart³ materials solutions growth

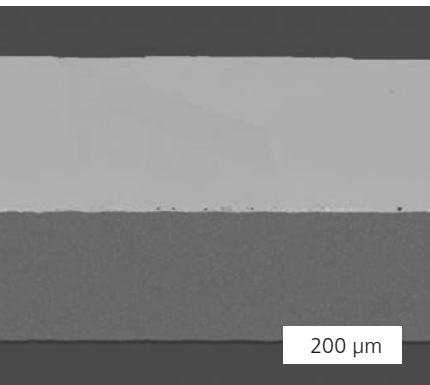
Gefördert durch:
 Bundesministerium für Bildung und Forschung
 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Günstige Kupfer-Siliciumnitrid-Verbunde als Schaltungsträger für Leistungselektronik

**Dr. Jochen Schilm, Dr. Axel Rost, Dr. Mathias Herrmann,
Dipl.-Ing. Lea Schmidtner, Dr. Eveline Zschippang, Dr. Sindy Mosch,
Dr. Nikolai Trofimenko, Dr. Lars Rebenklau, Dipl.-Ing. Henry Barth**



Mittels Vieldrahtsägen hergestellte Si_3N_4 -Keramik-Substrate (2 x 2 Zoll).



200 μm

Fügezone eines aktivgelöteten $\text{Cu-Si}_3\text{N}_4$ -Verbundes.



Messaufbau mit AMB-Prüfling und PRPD-Pattern (Phasen aufgelöste Teilentladungsverteilung).

Strukturierte Metall-Keramik-Substrate stellen als Schaltungsträger eine wichtige Komponente für leistungselektronische Baugruppen dar. Bestehende Lösungen, wie direkt gebondete Kupfer-Aluminiumoxid- (DBC, direct bonded copper) oder aktiv gelötete Kupfer-Aluminiumnitrid-Verbunde (AMB, active metal brazing) werden zukünftigen Anforderungen der Elektromobilität sowie dem Potenzial neuer auf Siliciumcarbid (SiC)-basierender Halbleiterbauelemente nicht mehr gerecht. Eine Lösung versprechen Verbunde mit Siliciumnitrid (Si_3N_4)-Keramiken mit ihren überragenden mechanischen Eigenschaften. Damit werden Metall-Keramik-Substrate möglich, die in leistungselektronischen Baugruppen eine deutlich verbesserte Stabilität gegenüber aktiven und passiven Thermozyklen aufweisen.

Im Verbundvorhaben CuSiN entwickelt das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit Partnern zuverlässige und leistungsfähige Kupfer-Siliciumnitrid-Verbunde ($\text{Cu-Si}_3\text{N}_4$) über das Aktivlöten (AMB-Technologie). Keramische Si_3N_4 -Substrate mit Dicken < 320 μm , hergestellt mittels Vieldrahtsägen gesinterter Si_3N_4 -Blöcke, weisen bereits heute Wärmeleitfähigkeiten > 90–100 $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ und Festigkeiten > 700 MPa auf (Bild oben). Die Basis hierfür bilden besonders sauerstoffarme Si_3N_4 -Pulver in Verbindung mit aluminiumfreien Additiven. Neu ist auch die Möglichkeit, kompakte Si_3N_4 -Presskörper mit Dimensionen bis zu 5 x 7 Zoll zu homogenen und hochwertigen Gefügen versintern zu können.

Für das stoffschlüssige Fügen von Kupferfolien gegen Si_3N_4 -Substrate über das Aktivlöten sind neue, für den automatisierten Siebdruck taugliche Aktivlotpasten erforderlich. Neben guten Verbundfestigkeiten (derzeit bis 25 N pro mm-Kupferbreite) sind möglichst poren-

arme Fügezonen für eine hohe Zuverlässigkeit der Verbunde zu realisieren (Bild in der Mitte). Erreicht wird dies durch Rezepturen mit homogen verteilten, minimalen Anteilen an Aktivphasen und Lotschichten von weniger als 25 μm . Zudem ist eine zuverlässige Entfernung organischer Binderkomponenten aus gedruckten Lotschichten in flächigen $\text{Cu-Si}_3\text{N}_4$ -Anordnungen im Ultrahochvakuum unterhalb von 380 °C möglich. Hierdurch gelang es, den Fügeprozess hinsichtlich defektarmer Fügezonen, hoher Verbundfestigkeiten und minimierter Lotmengen weiter zu optimieren.

Im Bereich der Charakterisierung aktivgelöteter $\text{Cu-Si}_3\text{N}_4$ -Verbunde stellen Untersuchungen zum Teilentladungsverhalten ein für Metall-Keramik-Verbunde neues Thema dar. Die Teilentladungsmessung ist ein zerstörungsfreies Messverfahren, um Defekte in Dielektrika zu detektieren. Mit eigens dafür angepassten Messaufbauten und Analysemethoden konnten Teilentladungsprozesse mit hoher zeitlicher Auflösung erfasst und über eine Korrelation mit Werkstoff- bzw. Verbundeigenschaften ein Verständnis für diese Effekte geschaffen werden.

Die im Rahmen von CuSiN gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen als Leistungsangebot die Entwicklung von Si_3N_4 -Keramiken, Aktivlotpasten und Aktivlötprozessen sowie die materialwissenschaftliche und elektrische Charakterisierung von Kupfer-Keramik-Substraten.

Gefördert durch:

 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages

Hochdynamische keramische Matrixheizer zur Generierung schneller Temperaturfelder

Dr. Lars Rebenklau, Dr. Uwe Scheithauer, Dr. Stefan Münch, Dr. Mike Röllig, Dipl.-Ing. Henry Barth, Dipl.-Ing. Eric Schwarzer-Fischer

Eine Vielzahl technischer Wertschöpfungsprozesse basiert auf der gezielten Temperierung von Prozessgut oder chemischen Reagenzien. Aufgrund ihrer technischen Eigenschaften bieten sich im geometrisch mesoskaligen Bereich von wenigen Millimetern keramische Werkstoffe und Technologien zur Umsetzung ausgewählter Heizer-Applikationen an, z. B. als Löt- und Testausrüstung in der Halbleiter- und Elektronikindustrie. Ein Beispiel sind hochdynamische und aktiv gekühlte Matrixheizer zur Generierung schneller Temperaturwechsel. Diese bestehen aus einzelnen Pixeln, die zu einem Verbund kombiniert werden. Durch einen simulationsgestützten Entwurf dieser Komponenten werden am Fraunhofer IKTS bekannte Technologien, wie die Dickschichttechnik, mit modernen additiven Fertigungsverfahren für keramische Werkstoffe symbiotisch kombiniert.

FEM-begleitende Auslegung

Die Auslegung der Grundkörper erfolgte mit der Finite-Elemente-Methode. Ausgehend von den Anforderungen spezifischer Temperaturwechselprofile wurden jeweils optimale Werkstoffkombinationen, thermoelektrische Heizerlayouts und ein idealer Aufbau der inneren Kühlkanäle identifiziert. Ziel war es dabei, mechanische Brüche durch die Reduktion mechanischer Eigenspannungen im Werkstoffverbund zwischen Leitpasten und Keramikstruktur zu vermeiden. Dazu sind variable Heizerlayouts sowie die Kühlkanäle in Form, Anzahl und Lage hinsichtlich homogener Temperaturfelder und Schichtspannungen in Grenzflächen evaluiert worden. Die mechanischen Beanspruchungen wurden entlang der Fertigungskette und unter Betriebslasten simuliert.

Additive Fertigung der keramischen Grundkörper

Aufgrund ihrer hohen Härte und geringen Duktilität sind keramische Werkstoffe nur unter hohem Aufwand mechanisch bearbeitbar. Additive Fertigungsverfahren stellen »Game-Changer« dar, da komplexe Geometrien endkonturnah und Funktionen, wie z. B. Kühlkanäle, in kleinen Volumina realisierbar sind. Hierdurch ergeben sich erweiterte geometrische Freiheitsgrade und völlig neue Anwendungsgebiete, z. B. in der Medizintechnik oder für die Industrie 4.0. Am Fraunhofer IKTS sind verschiedene additive Fertigungsverfahren für Keramik im Einsatz.

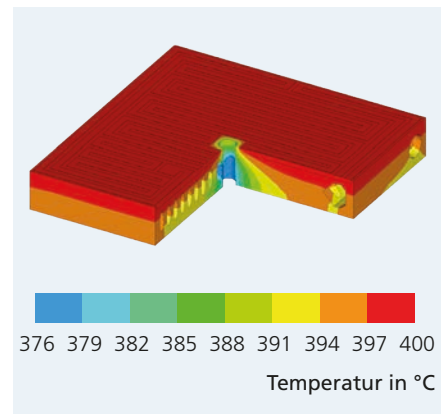
Funktionalisierung

Die optimierten und additiv gefertigten Keramik-Komponenten werden mittels Dickschichttechnik funktionalisiert. Elektrische Leiterzüge, Heizelemente oder auch Sensoren werden strukturiert gedruckt und auf den keramischen Grundkörpern eingebrannt.

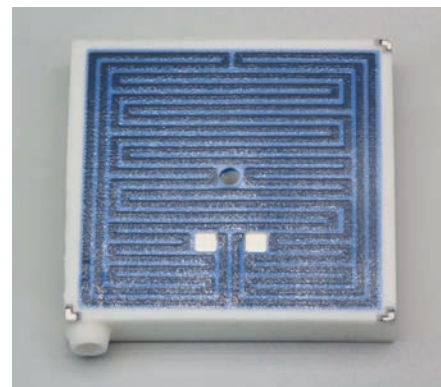
Durch eine weiterentwickelte Aufbau- und Verbindungstechnik erfolgt die elektrische Kontaktierung. Lösungen bis zu Temperaturen von 350 °C wurden erfolgreich umgesetzt. Hochtemperatur-Anwendungen bis 600 °C befinden sich in der Erprobung. Temperaturgradienten von bis zu 70 K/s wurden erfolgreich nachgewiesen. Das Projekt »DynaCool« wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (FKZ: 16KN054345).

Gefördert durch:

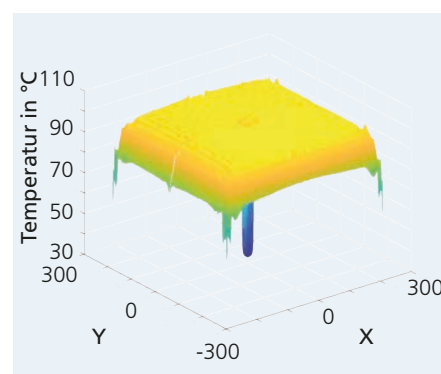
 auf Grund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages



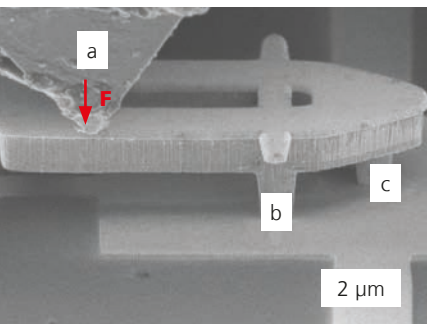
Auslegung der keramischen Grundkörper mittels Finite-Elemente-Modellierung.



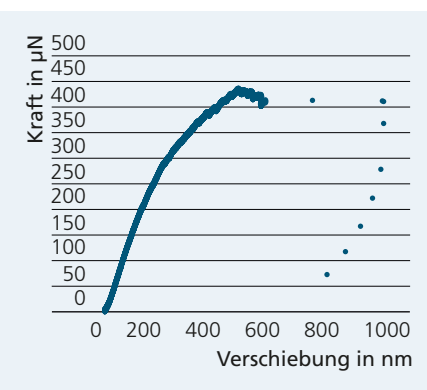
Additiv gefertigter keramischer Grundkörper mit Dickschichtfunktionalisierung.



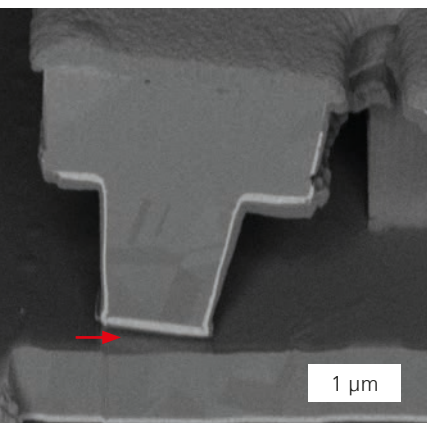
Temperaturfeld über einem Heizerpixel.



REM-Aufnahme einer Teststruktur mit der bereits positionierten Indenterspitze (a).



Kraft-Verschiebungs-Kurve eines Experiments.



Querschnitt eines getesteten Kupfer-Vias. Der rote Pfeil zeigt auf die delaminierte Grenzfläche zwischen Diffusionsbarriere und Kupfer.

Mikromechanische In-situ-Experimente an Kupfer-Interconnect-Strukturen

Dipl.-Ing. Wieland Heyn, Dipl.-Phys. Hanno Melzner¹, Dr. Klaus Goller¹, Dr. Sergey Ananiev¹, Dr. Johannes Zechner¹, Dr. André Clausner, Prof. Ehrenfried Zschech (¹Infineon Technologies)

Adhäsionsmessungen für die Zuverlässigkeit von Mikroelektronik

Die Bestimmung der Grenzflächenzähigkeit der sehr kleinen Verdrahtungsebenen von Mikroelektronik-Systemen [Back-End-of-Line (BEoL)-Schichten] über Adhäsionsmessmethoden ist für die Produktion und Zuverlässigkeitsbewertung mikroelektronischer Systeme enorm wichtig. Es existieren jedoch nur sehr wenige Methoden, die es zudem nicht erlauben, produktidentische Größenskalen oder realistische Strukturen in die Untersuchung der Grenzflächeneigenschaften einzubeziehen. Deshalb wurde am Fraunhofer IKTS ein nanoindentationsbasierter In-situ-REM-Ansatz entwickelt. Mit diesem lassen sich die Grenzflächen von produktidentischen Kupfer-Via-Strukturen, die nur wenige Mikrometer groß sind, untersuchen – und damit erstmals die Grenzflächen einzelner industriell hergestellter Vias.

Optimierte mikromechanische Experimente

Für den neuen Ansatz wird ein Nanoindentationssystem in der Vakuumkammer eines Rasterelektronenmikroskops (REM) installiert. So ist es möglich, die Indenterspitze sehr exakt auf den nur mikrometergroßen Teststrukturen zu positionieren. Die Teststrukturen sind als doppelseitige Hebel ausgeführt (Bild oben). Für die Untersuchung wird über die Indenterspitze (a) eine Drucklast auf der freistehenden Seite des Doppelhebels aufgebracht, die über das sogenannte »Scharnier-Via« (b) in eine Zugkraft umgeformt wird. Diese greift dann über das hintere Via (c) an der Via-Unterseite des zu untersuchenden Interface an. Das provoziert unter dem hinteren Via eine Delamination im Ziel-Interface. In den experimentellen Kraft-Verschiebungs-Kurven ist dies an einem

schlagartigen Abfall der Indentationskraft erkennbar (Bild mitte).

Große Variabilität der Teststrukturen

Die Teststrukturen werden über den Kupfer-Damaszen-Prozess hergestellt, der in der industriellen Fertigung von BEoL-Strukturen sehr verbreitet ist und über den sich eine außerordentliche Vielfalt an geometrisch unterschiedlichen Teststrukturen realisieren lässt. Das vergrößert einerseits den Spielraum für neue experimentelle Ansätze, z. B. Grenzflächen in verschiedenen Belastungsmodi zu testen, und erlaubt andererseits auch sehr viele gleichartige Teststrukturen für die statistische Validierung von Messergebnissen. Durch kleine Änderungen im Herstellungsprozess ist es möglich, unterschiedliche Grenzflächen am Test-Via zu erzeugen. Wichtige Grenzflächen für die BEoL-Zuverlässigkeit sind u. a. zwischen Kupfer, Siliciumnitrid, Diffusionsbarrieren und Siliciumoxid. Das untere Bild zeigt beispielhaft den Querschnitt einer delaminierten Grenzfläche zwischen Diffusionsbarriere und Kupfer (roter Pfeil).

Die mit dieser Methode quantitativ zugänglichen Grenzflächen-Delaminationen bilden die Basis für FEM-Simulationen, die Zuverlässigkeitstests und die Design-Optimierung von Interconnect-Strukturen in der Mikroelektronik unterstützen.

Prüfmaschine für CT-Anlagen

Dr. Peter Krüger, Dipl.-Ing. Claudius Birkefeld

Verbundwerkstoffe erreichen ihre Eigenschaften aus der Kombination der Komponenten. Bei Belastungen treten verschiedene Versagensvarianten auf. Zeitige Stufen des Versagens (z. B. Faser- oder Matrixbrüche bei Faserverbundwerkstoffen) werden häufig mittels Computertomographie (CT) dargestellt.

Bei stark strukturierten Materialien, wie Schäumen, sind die morphologischen Veränderungen bei Belastung von Interesse. Das gilt insbesondere für das Design biokompatibler Werkstoffe, die als Knochenersatz zum Einsatz kommen. Untersuchungsrelevant sind dabei zum einen die porige Struktur der Ersatzstoffe und zum anderen die Bindung zwischen Ersatzstoff und natürlichem Knochen.

Prinzip der in das CT integrierten Prüfmaschine

Ein Prüfaufbau, der definierte Belastungen auf die Untersuchungsobjekte ausübt, muss für die Integration in eine CT-Maschine konträre Anforderungen erfüllen. Einerseits muss die Zugprüfmaschine stark und steif sein, um die auftretenden Kräfte aufzunehmen. Andererseits muss jedes Hilfsmittel, das in den Röntgenstrahl gestellt wird, leicht und möglichst wenig röntgenabsorbierend sein. Zudem muss der Prüfling bei einer Tomographieuntersuchung von allen Seiten zugänglich sein. Werden diese Anforderungen nicht erfüllt, erscheinen in der Tomographie sichtbare Artefakte, die möglicherweise die gesuchten Merkmale und Effekte verdecken. Schlussendlich darf der gesamte Aufbau für die Manipulation während des CT-Scans nicht zu schwer sein.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Prämissen wurde ein Prüfgerät für 4D-CT-Versuche entwickelt, das in zwei Design-

Abschnitte unterteilt ist. Der obere Abschnitt umfasst das eigentliche Zugprüfgerät, bestehend aus Führungsschienen, Verschiebeschrauben, Kraft- und Positionsmessgeräten und der Steuerelektronik. Der untere Teil ist der Probenraum, in dem die eigentliche Prüfung stattfindet. Oberer und unterer Teil sind durch ein Rohr aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) verbunden. Das Material bietet eine gute Röntgentransparenz und eine außergewöhnliche mechanische Widerstandsfähigkeit.

Die Probe wird auf einer externen Halterung fixiert, um den Aufbau stabiler zu realisieren. Die Probe samt Probenhalter wird in der Apparatur weit oberhalb des Röntgenstrahls montiert. Mit dem Verschiebemechanismus wird die gefügte Gruppe in die Messposition bewegt. Dort befindet sich das untere Gegenlager, in das der Messaufbau durch einen Schraubstock festgezogen wird.

Folgende Messmodi sind auch als Serienuntersuchungen möglich:

- Zugversuch
- Druck-Experiment
- Biegeversuch
- Scher-Experiment

Die Auslegungskraft für den Zug- und Druckversuch beträgt 10 kN. Die Überlastfähigkeit ist 4-fach für Zugversuche und 30-fach für Druckversuche.

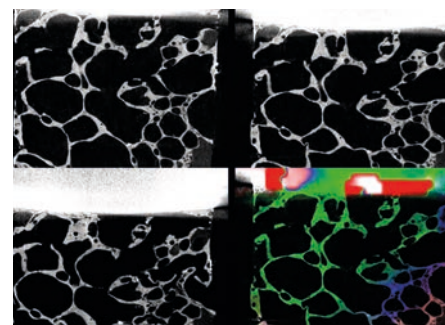
Die Belastungsmaschine ist mit einem Controller für lokalen und entfernten Betrieb ausgerüstet.



Gesamtansicht der Prüfmaschine für Belastungen in CT-Anlagen.



Der Probenaufbau wird von oben in das CFK-Rohr des Prüfaufbaus geschoben.

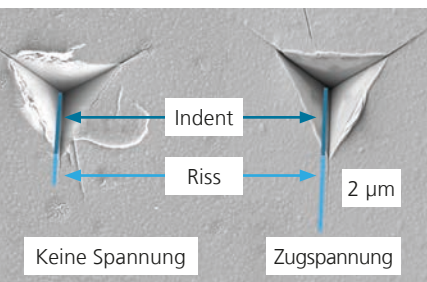


In-situ-Druckversuch eines Aluminium-Schaums: Unterschiedliche Stadien; Verschiebungsvektoren farblich codiert.

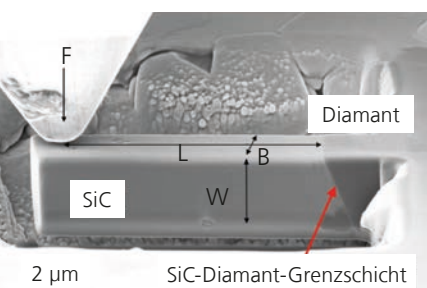
Untersuchung von mikroskopisch adhäsivem und kohäsivem Materialverhalten

**Dr. André Clausner, Prof. Silke Christiansen, Dr. Mathias Herrmann,
Dr. Peyman Yousefi, Dipl.-Ing. Christoph Sander**

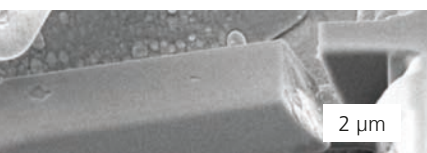
Patentierte In-situ-Vierpunkt-
biege-Einrichtung.



Nanoindentationsexperimente
in unverspannten (links) und
auf Zug verspannten (rechts)
Siliciumdioxid-Dünnschichten
mit veränderten Verhältnissen
von Indentationskantenlänge
(IL) zu Risslänge (CL).



Ionenstrahl-präparierter Mikro-
biegebalken zum Test einer
SiC-Diamant-Grenzschicht im
Gefüge eines SiC-gebundenen
Diamantwerkstoffs [1].



In-situ-Mikrobiegetest im
Rasterelektronenmikroskop
mit adhäsivem Grenzflächen-
versagen zwischen SiC und
Diamant [1].

Das makroskopische Verhalten von heterogenen Werkstoffen und Komponenten wird hauptsächlich über deren mikromechanische Eigenschaften bestimmt. Das trifft insbesondere auf mikroskopisch strukturierte Systeme, wie Dünnschichtsysteme zu. Daher ist neben der makromechanischen auch die Charakterisierung auf mikroskopischer Ebene zentral für das Verständnis des Werkstoff- und Systemverhaltens. Erst dieses Verständnis ermöglicht die zielgerichtete Weiterentwicklung von Struktur- und Funktionskeramiken sowie mikroelektronischen und -mechanischen Systemen. Für die mikromechanische Charakterisierung existiert am Fraunhofer IKTS ein großer Erfahrungsschatz und Gerätepark, z. B. zur Bestimmung lokaler elastischer Eigenschaften und Spannungen bei Raum- und erhöhten Temperaturen, von Spannungs-Dehnungs-Kurven, der lokalen adhäsiven Eigenschaften von Grenzflächen bzw. Korngrenzen von Struktur- und Funktionswerkstoffen sowie zur Bestimmung des kohäsiven Verhaltens von Dünnschichten.

Mikroskopisch kohäsives Versagen von Siliciumdioxid-Dünnschichten

Dünnschichten aus Siliciumdioxid (SiO_2) werden in der Mikroelektronik als Isolationsschichten verwendet und müssen stabil gegen kohäsive Rissausbreitung sein. Dies macht eine quantitative Bestimmung der kohäsiven Eigenschaften des Dünnschichtmaterials notwendig. Dünnschichtsysteme sind jedoch aufgrund ihrer Dimensionen nicht für makroskopische Charakterisierungsverfahren geeignet. Daher kommt die mikroskopische Nanoindenter (NI)-induzierte Rissausbreitung zum Einsatz. Um die ermittelten kohäsiven Materialparameter von den überlagerten Schichteigenspannungen zu trennen, sind NI-Rissexperimente bei unterschiedlichen Schichtspannungszuständen

notwendig. Ermöglicht wird dies über das am Fraunhofer IKTS entwickelte, patentierte In-situ-Vierpunktbiegesystem (Bild oben). Damit können verschiedene Spannungen in den SiO_2 -Dünnschichten eingestellt und gleichzeitig die NI-Risstests durchgeführt werden, was zu einer deutlich unterschiedlichen Rissausbreitung führt (zweites Bild). So lässt sich die eigenspannungsfreie Risszähigkeit bestimmen.

Festigkeit von Diamant-Siliciumcarbid-Grenzflächen

Die feste Einbindung von Diamantpartikeln in Siliciumcarbid (SiC)-gebundenen Diamantwerkstoffen ist wesentlich für deren extrem hohe Verschleißfestigkeit und Härte. Die Grenzflächenfestigkeit zwischen Diamantpartikel und SiC-Matrix kann über Mikrobiegebalkentests in der Vakuumkammer eines Rasterelektronenmikroskops mit anschließender Inspektion der Bruchflächen untersucht werden. Die Präparation der Mikrobiegebalken gelingt mittels fokussiertem Ionenstrahl (FIB) so präzise, dass an deren fixem Ende die zu untersuchende Grenzfläche liegt (drittes Bild). Dabei wird der Balken mittels eines hochauflösenden mechanischen Drucktesters bis zum Bruch belastet und die Kraft-Weg-Kurve aufgezeichnet (Bild unten). Hierdurch wird die feste Einbindung der Diamanten durch das epitaktische Aufwachsen der SiC-Matrix während der Herstellung erstmals nachweisbar. [1]

Literatur

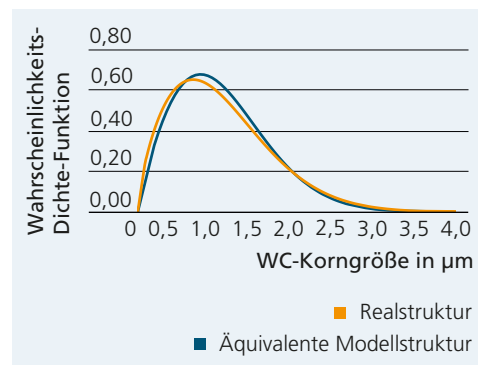
[1] Ast et. al (2021), doi: 10.1016/j.oceram.2021.100176).

Thermische Eigenschaften von Hartmetallen als Funktion des Gefüges

Dipl.-Phys. Jakob Schöne, Dipl.-Ing. Anne Vornberger

Wolframcarbid-Kobalt-Hartmetalle (WC-Co) werden aufgrund ihrer hohen Härte und guten Bruchzähigkeit als Schneidstoff in Zerspanungswerkzeugen eingesetzt. Die Anforderungen an solche Werkzeuge steigen durch höhere Schnittgeschwindigkeiten oder die zunehmende Bearbeitung von schwer zerspanbaren Materialien. Neben den mechanischen Eigenschaften ist z. B. auch die Wärmeleitfähigkeit des Werkzeugmaterials von großer Bedeutung, da während des Schnittprozesses lokal hohe Temperaturen entstehen. Obwohl die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen Gefüge und Hartmetall-Zusammensetzung für technisch relevante Eigenschaften, etwa die Wärmeleitfähigkeit, für WC-Co-Hartmetalle qualitativ bekannt sind, wäre eine modellbasierte Vorhersage zum gezielten Eigenschaftsdesign von Hartmetallen (auch auf neuer Werkstoffbasis, z. B. Cermets) wünschenswert. Eine besondere Herausforderung besteht hier im starken Einfluss der intra- und interpartikulären Grenzflächeneigenschaften. Diese können mit bisher etablierten Modellen noch nicht mit befriedigender Übereinstimmung beschrieben werden. Eine effiziente Alternative bieten moderne Methoden der strukturdetaillierten numerischen Modellierung. Mit diesen kann auf Grundlage eines voxelbasierten, synthetisch erzeugten 3D-Geometriemodells der Gefügestruktur die Struktur-Eigenschafts-Korrelation analysiert und zur Eigenschaftsvorhersage bzw. zum gezielten Strukturdesign genutzt werden. Am Fraunhofer IKTS wurde auf Basis der Verknüpfung vorhandener kommerzieller, Open-Source- und selbstentwickelter Modelltools (GeoDict, ANSYS, CCBuilder, FiPy, Mathematica) ein Workflow für eine entsprechende Analyseplattform entwickelt und am Beispiel der Wärmeleitfähigkeit der WC-Co-Komposite getestet und validiert. Besonderen Wert wurde hierbei auf eine spezifische Form der Grenzflächenbeschreibung

gelegt, die eine sonst häufig im Voxelmodell auftretende Verfälschung der Volumenanteile der Bulk-Phasen vermeidet. Ein Vergleich mit umfangreichen experimentellen Daten aus mikroskopischen Gefügeanalysen und Wärmeleitfähigkeits-Messungen belegt, dass mit der neuen Methodik eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Modellen und den experimentellen Befunden erreicht wird. Die Genauigkeit der erzielten Ergebnisse übertraf die bisherigen empirischen Modellbeschreibungen deutlich. Die prototypische Anwendung der Methodik repräsentiert ein funktionales Template für ein Mikrostrukturmodell-basiertes Eigenschaftsdesign in dieser Werkstoffgruppe. Die erarbeitete prinzipielle Methodik der voxelbasierten synthetischen Mikrostrukturanalyse ist auch für andere Werkstoffgruppen (Komposite, zelluläre Materialien) und Eigenschaften (elektrisch, Stofftransport, mechanisch) geeignet.

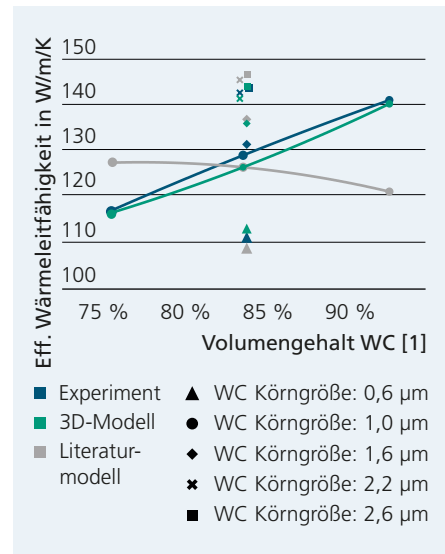


Vergleich reale und synthetische Beispiel-Struktur.

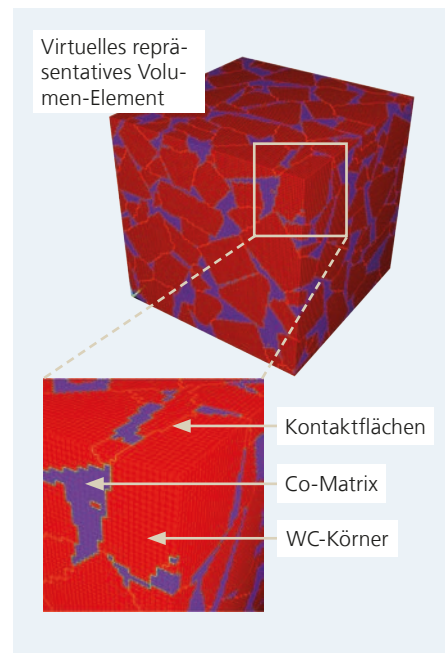
Gefördert durch
DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft



Reale Beispielstruktur.



Vergleich Modellergebnisse mit Modellbeschreibung nach Stand der Technik sowie experimentellen Daten.



Voxelbasierte RVE-Geometrie mit Grenzflächen.

KI-basierte quantitative Gefügeanalyse keramischer Werkstoffe

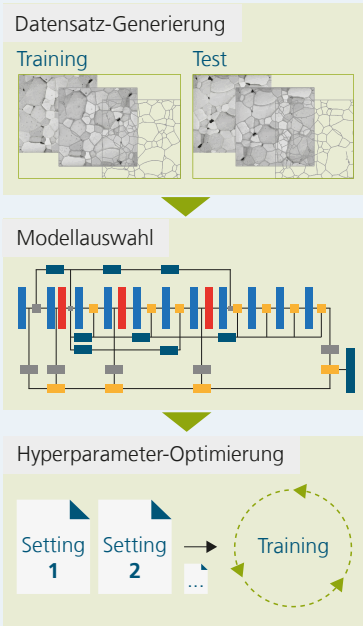
Dipl.-Ing. Jan Klein, Dr. Björn Matthey, Dr. Sören Höhn, Dr. Mathias Herrmann

Die Qualität und Eigenschaften keramischer Werkstoffe hängen stark von deren Mikrostruktur ab. Bei der quantitativen Gefügeanalyse müssen insbesondere die Korngrenzen als Grundlage weiterer Schritte korrekt erkannt werden. Sowohl für das planimetrische als auch das Linienschnitt-Verfahren sind diese unerlässlich, um reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen. Dafür genutzte klassische Methoden der Bildverarbeitung, wie z. B. die Segmentierung anhand einfacher Schwellwerte oder anderer Trennverfahren, kommen je nach optischer Erscheinung des Gefüges an ihre Grenzen. Daher werden Korngrenzen in der Praxis häufig manuell detektiert. Daraus resultieren hohe Kosten, ein hoher Zeitaufwand und Subjektivität der Ergebnisse. Moderne KI-basierte Methoden der Bildverarbeitung haben sich in den letzten Jahren in diversen Anwendungsfällen mit komplexen visuellen Problemen bewährt und finden zunehmend Anwendung im Bereich der Materialwissenschaft.

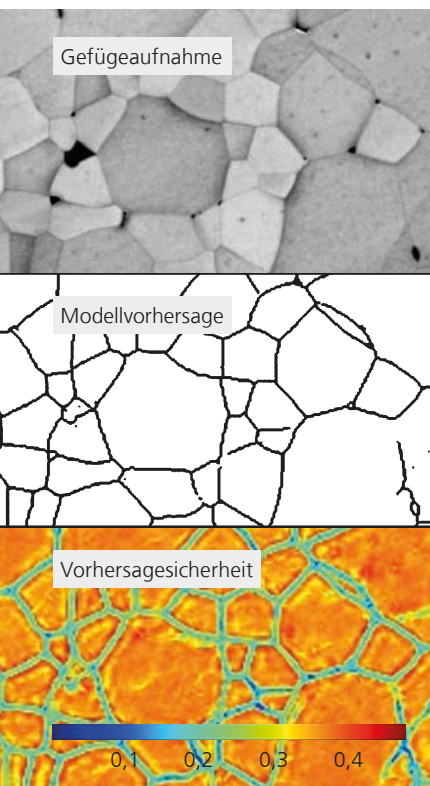
Am Fraunhofer IKTS wurde ein auf faltenden Neuronalen Netzen (CNN) beruhender Deep-Learning-Ansatz zur Erkennung der Korngrenzen entwickelt. Grundlage ist ein Datensatz bestehend aus Gefügeaufnahmen des zu analysierenden Werkstoffs und den dazugehörigen händisch markierten Korngrenzen (Ground Truth). Für das CNN wurde eine spezielle Architektur aus dem Bereich der Kantensegmentierung gewählt. Trainiert wurde das CNN mit eigens dafür entwickelten spezifischen Verlustfunktionen. Um optimale Hyperparameter zu finden, also Parameter, die den Trainingsvorgang und damit die finale Performance des CNN beeinflussen, wurde ein umfangreiches automatisiertes Hyperparameter-tuning genutzt.

Die Bewertung der Modell-Performance erfolgt sowohl optisch als auch statistisch. Für die

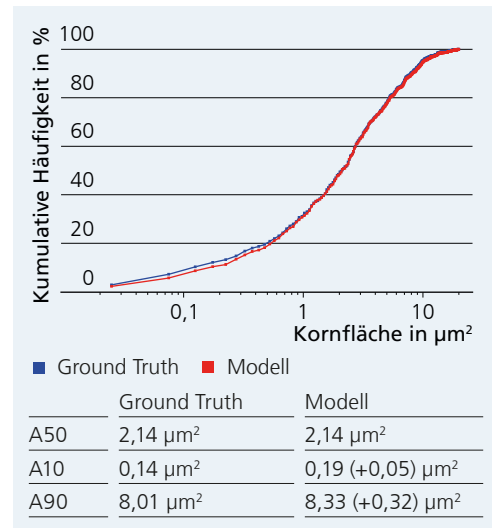
optische Bewertung werden Modelvorhersagen mit der Ground Truth verglichen. Zusätzlich geben Visualisierungen der Vorhersagesicherheiten Aufschluss darüber, welche Bereiche des Gefüges für das Modell herausfordernd sind. Bei der statistischen Bewertung werden sowohl die Ground Truth als auch die Modelvorhersagen planimetrisch analysiert und gegenübergestellt. Das folgende Diagramm zeigt Ergebnisse am Beispiel von Aluminiumoxid (Al_2O_3). Für das Training des zugrunde liegenden Modells wurden Gefügeaufnahmen mit lediglich ca. 1300 Körnern genutzt.



Flussdiagramm zur Erstellung von KI-basierten Modellen für die Korngrenzerkennung.



Modellbewertung am Beispiel eines Al_2O_3 -Gefüges mittels Modellvorhersage und Vorhersagesicherheit.



Statistische Modellevaluierung.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Reproduzierbare Gefügeanalyse inkl. angepasster keramographischer Gefügepräparation und FE-REM-Aufnahmen
- Entwicklung von KI-Modellen für die Gefügeanalyse verschiedener Werkstoffsysteme
- Training und Auswertung von Kundendaten bzw. -werkstoffen zur Evaluierung der Modelle

Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe mit Kieselalgen als Füllstoff

Dr. Jürgen Gluch, Dr. Birgit Jost

Das biogene siliciumhaltige Sediment Kieselgur besteht hauptsächlich aus fossilen Zellhüllen (Frustel) von Kieselalgen. Es kann in großem Maßstab gewonnen und als natürlicher Bestandteil von Verbundwerkstoffen verwendet werden.

Wenn es gelingt, die bis zu 100 Mikrometer großen zylinderförmigen Frusteln homogen in einer Metallmatrix einzubetten, so können gezielt mechanische Eigenschaften des Verbundwerkstoffs eingestellt werden.

Mikrostrukturanalyse für optimal ausgelegte Verbundwerkstoffe

Das Design solcher Verbundwerkstoffe erfordert eine detaillierte Kenntnis der Geometrie und der mechanischen Eigenschaften der eingesetzten Kieselalgen. Mit Hilfe unterschiedlicher abbildender Methoden (korrelative Mikroskopie) kann eine umfassende 3D-Analyse der Verbundwerkstoffe erfolgen.

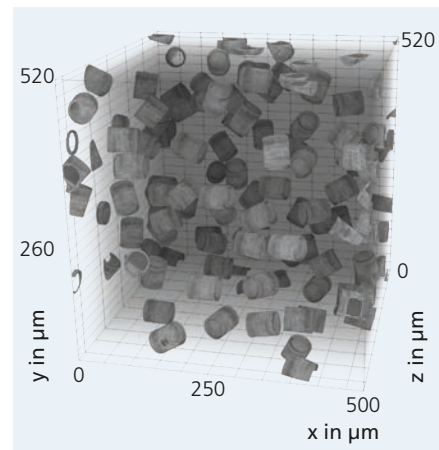
Die Nano-Röntgentomographie ist geeignet, um hochaufgelöste dreidimensionale Abbildungen einzelner Kieselalgen anzufertigen. In Verbindung mit In-situ-Belastungsversuchen werden die Kräfte bestimmt, bei denen einzelne Zellhüllen brechen. Diese Daten sind Ausgangspunkt für projektbegleitende Werkstoffsimulationen. Einerseits kann die Spannungsverteilung in und um die durch die Frusteln geformte Pore simuliert werden. Zum anderen können große FE-Modelle aus Tomographiedaten direkt erstellt werden. Durch die softwaregestützte Erstellung von Modellen mit unterschiedlichem Füllstoffanteil können die mechanischen Eigenschaften abgeschätzt werden. Mit den Ergebnissen werden Prüfkörper zielgerichtet hergestellt und untersucht.

Vorbereitung der Kieselalgen

Damit die Kieselalgen im Metall-Matrix-Verbundwerkstoff möglichst gleichmäßig große, von Frusteln umschlossene Poren bilden, ist eine Reinigung des Kieselgur notwendig. Dabei werden Bruchstücke und Fremdkörper entfernt. Vorteilhaft ist hierfür die Nass-Siebung, da sie gegenüber der Trockensiebung weniger Bruchstücke im Siebprodukt enthält und Agglomerate schonend aufgeteilt werden.

Die so vorbereiteten Kieselalgen werden dann mit Aluminiumpulver vermischt und durch Spark Plasma Sintern (SPS) zu einem festen Verbundwerkstoff verarbeitet. Neben der pulvermetallurgischen Herstellung wird derzeit auch ein schmelzmetallurgisches Verfahren erprobt. Hierbei werden die Kieselalgen mit dem Matrixmetall im flüssigem Zustand vermischt.

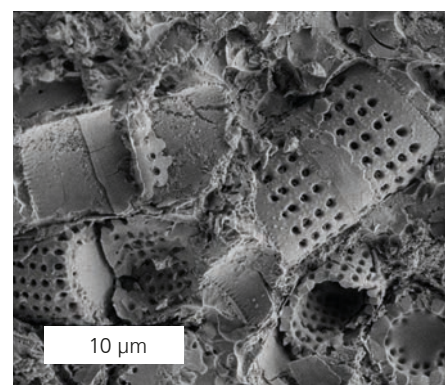
Die Ergebnisse entstanden im deutsch-polnischen Cornet-Projekt MECODIA in Kooperation mit der Universität Białystok.



Simulierter MMC-Datensatz auf der Grundlage von nanoXCT-Daten einer Frustel (fossile Zellhülle).



Set von zwei gestapelten Frusteln, die während des vertikalen In-situ-Druckversuchs aufgenommen wurden.

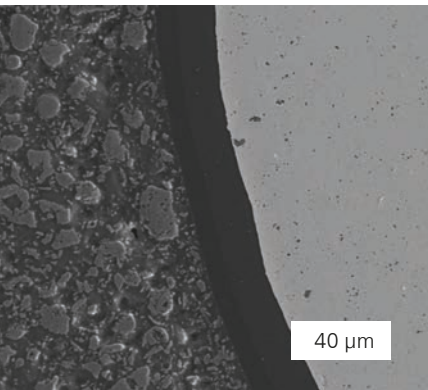


REM-Bild der Bruchfläche eines MMC mit Al-Matrix und 30 Vol.-% Kieselgur.



Polymerkeramische Wicklungsisolationen für hochausgelastete elektrische Maschinen

Dipl.-Chem. Ralph Schubert, M. Sc. Sören Miersch¹, Prof. Thomas Schuhmann¹
 (Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden)

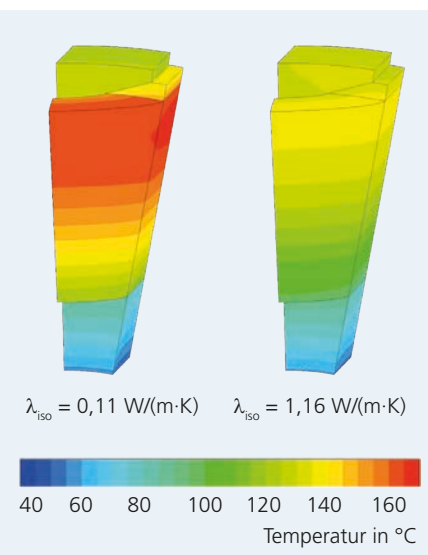


40 µm

Mikrostruktur eines Verbundes aus Kupferlackdraht und AlN-gefülltem polymerkeramischen Imprägnierwerkstoff.



Polymerkeramisch isolierter Stator einer Außenläufermaschine.



Simulation der Statorerwärmung bei Variation der Imprägniermittelwärmeleitfähigkeit.

Die Steigerung der elektromagnetischen Ausnutzung und der Ressourceneffizienz rotierender elektrischer Maschinen ist im Wesentlichen durch eine Erhöhung des Strombelags möglich. Grenzen ergeben sich aber durch eine eingeschränkte thermische Belastbarkeit der Wicklungsisolationsmaterialien und eine verminderte Wärmeabfuhr aufgrund niedriger Wärmeleitfähigkeiten der Kunststoff-Isolationsmaterialien und von Luftspalten zwischen Wicklung, Nutgrundisolation und Blechpaket.

Im Rahmen eines geförderten FuE-Projekts gelang am Fraunhofer IKTS die Entwicklung polymerkeramischer Kompositssysteme mit einer gesteigerten thermischen Stabilität und Wärmeleitfähigkeit für die Wicklungs Imprägnierung und die Hauptisolation des Elektroblechpakets elektrischer Maschinen. Die Komposite setzen sich aus einer Polysiloxanmatrix und keramischen Füllstoffen wie Aluminiumoxid, Aluminiumnitrid oder Bornitrid zusammen. Durch eine Oberflächenmodifizierung der Füllstoffpartikel ließen sich Füllgrade bis 40 Vol.-% erreichen und ausreichende Fließfähigkeit der pastösen Ausgangssysteme für eine schnelle und vollständige Imprägnierung einstellen. Gegenüber klassischen Imprägnierwerkstoffen, wie z. B. Polyesterimid, weisen die polymerkeramischen Imprägniersysteme eine vier- bis sechsfach gesteigerte Wärmeleitfähigkeit auf.

Untersuchungen an polymerkeramisch isolierten Mustermaschinen ergaben eine ausreichende elektrische Isolation unter üblichen Betriebsbedingungen. Elektronenmikroskopische Charakterisierungen der Mikrostruktur von imprägnierten Wicklungsverbunden zeigen ein porenfreies, homogenes Gefüge mit gleichmäßiger Füllstoffverteilung und vollständiger Benetzung des Wicklungsdrahts (Bild oben) –

eine wichtige Voraussetzung für eine gute Wärmeableitung. Die Imprägnierung bewickelter Elektroblechpakete erfolgt in einem Tauchbad und anschließender thermischer Härtung und ist mit konventionellen Technologien vergleichbar. Weiterhin konnte demonstriert werden, dass geringfügig modifizierte Imprägnierwerkstoffe auf Polymerkeramikbasis auch für eine Flächenisolation von Elektroblechpaketen geeignet sind, so dass auf konventionelle, schlecht wärmeleitende Isolierfolien verzichtet werden kann.

Untersuchungen an elektrischen Maschinen mit polymerkeramisch isolierten Wicklungen (Bild mitte) zeigen, dass die verbesserte Wärmeableitung die Wicklungsüber Temperatur, also die Differenz zwischen Wicklungs- und Umgebungstemperatur, um 50 bis 60 % reduziert. Simulationsrechnungen auf der Basis ermittelter Materialkennwerte bestätigen diese Beobachtung (Bild unten). Die verbesserte Wärmeableitung ermöglicht eine Steigerung der Leistungsdichte um bis zu 44 %.

Danksagung

Wir sind dankbar für die Förderung des IGF-Vorhabens 20387 BR über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz.

Gefördert durch:

 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Forschungsnetzwerk
 Mittelstand 

Im Test: Sialone für innovative Fräswerkzeuge

Dr. Eveline Zschippang, Dr. Mathias Herrmann

Nickelbasislegierungen werden aufgrund ihrer Korrosions- und Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen in zahlreichen Industriebranchen wie im Automobilbau, der Luftfahrt, im Chemieanlagenbau oder der Energieerzeugung verwendet. Ihre herausragenden Eigenschaften erschweren allerdings eine effiziente Zerspanung und erfordern innovative Werkzeuglösungen. Als besonders vielversprechend gelten dabei Werkzeuge aus keramischen Schneidstoffen. Insbesondere Sialonwerkstoffe zeigen auch bei starker Wärmeentwicklung eine hohe Härte und ermöglichen so hohe Schnittgeschwindigkeiten beim Fräsen solcher Legierungen.

Das Fraunhofer IKTS hat im Rahmen des IGF-Vorhabens 20076 BR einen α/β -Sialonwerkstoff entwickelt, der über eine wässrige Aufbereitungsroute und aus kostengünstigem Si_3N_4 -Pulver hergestellt wird (Jahresbericht IKTS 2020/21). Für den Werkstoff mit α/β -Sialonverhältnis von 80:20 wurde eine Härte (HV10) von 18,5 GP, eine Festigkeit (4-Punktbiegung) $\sigma_0 = 785 \text{ MPa}$, ein Weibull-Modul $m = 19$ und eine Zähigkeit von 5,2 MPa (SEVNB) bestimmt.

Aus diesem kostengünstigen Sialonwerkstoff wurden am IKTS Fräserrohlinge gefertigt. Die Firma Sommertools entwickelte für diesen Werkstoff eine auf die Zerspanung von Nickelbasislegierungen angepasste Schneidengeometrie (Bild oben). Unter anwendungsnahen Parametern wurden mit den neuen Sialonfräsern erste Fräsversuche an Inconel 718 durchgeführt. Bei der umweltfreundlichen Trockenbearbeitung wurde eine Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 470 \text{ m/min}$ gefahren. Die Schnitttiefe a_p betrug 5 mm und der Arbeitseingriff a_e 0,2 mm. Im mittleren Bild ist der Fräser nach Realisierung eines Standwegs von 5,4 m in 1,7 min dargestellt.

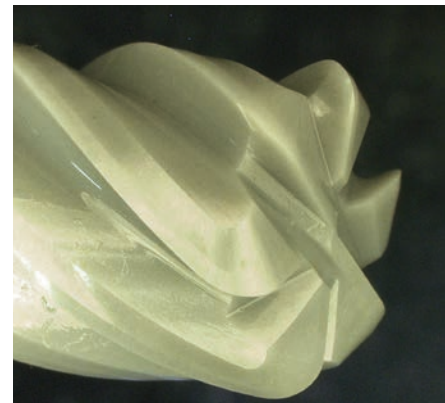
Trotz typischer Verschleißerscheinungen, wie der Aufbauschneidenbildung (Bild unten) ermöglichen die Sialonfräser beim Schruffräsen sehr hohe Standwege. Auch kleinere Abplatzungen an den Schneiden, die durch das Ablösen anhaftender Inconelspäne während des Fräsprozesses entstehen, sind beim Schruffen mit Sialonfräsern tolerierbar. Daher können deutlich höhere Spanvolumen im Vergleich zu Werkzeugen aus Hartmetall erzielt werden.

Die neuen Sialonfräser haben sich im praxisnahen Test sehr gut bewährt. Der am IKTS entwickelte kostengünstige Sialonwerkstoff ermöglicht in Kombination mit einem keramikgerechten Schneidendesign eine noch höhere Effizienz bei der Zerspanung von Nickelbasislegierungen.

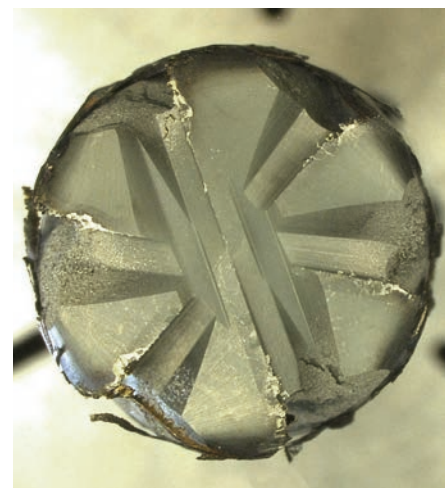
Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung von keramischen Schneidwerkstoffen
- Schadensanalyse von Schneidwerkzeugen

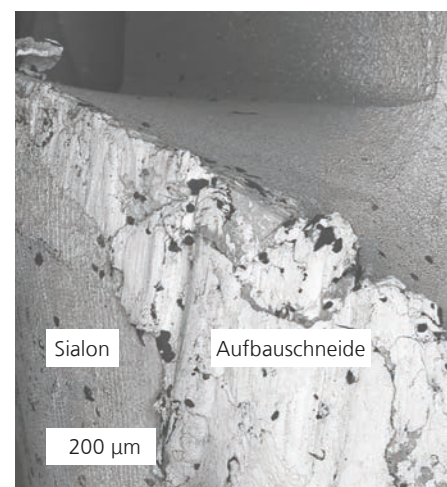
Das IGF-Vorhaben 20076 BR der Forschungsvereinigung Deutsche Keramische Gesellschaft DKG wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert.



Sialonfräser (Quelle: GFE Schmalkalden e. V., Sommertools).



Verschleiß am Sialonfräser nach Testung (Quelle: GFE Schmalkalden e. V., Sommertools).



Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Schneidkante.

Gefördert durch:
 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Industrielle IGF
 Gemeinschaftsforschung
 Forschungsnetzwerk AiF
 Mittelstand

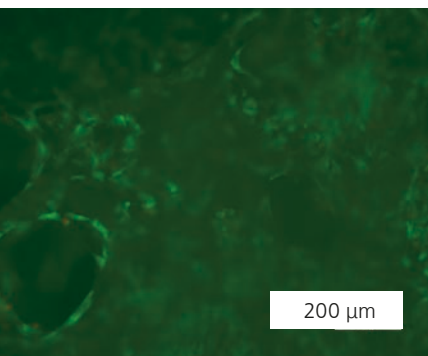
Hybride und abbaubare Biokeramiken als Kieferknochenimplantate

Dr. Matthias Ahlhelm, Dipl.-Ing. Eric Schwarzer-Fischer, Dr. Hendrik Naujokat¹, Dr. Klaas Loger¹, Dr. Anika Jonitz-Heincke², M. Sc. Lena Ingwersen², M.Eng. Elena Riemer³, Dipl.-Ing. Sascha Kurz³, Prof. Rainer Bader²

¹ UKSH Kiel, ² Universitätsmedizin Rostock, ³ ZESBO

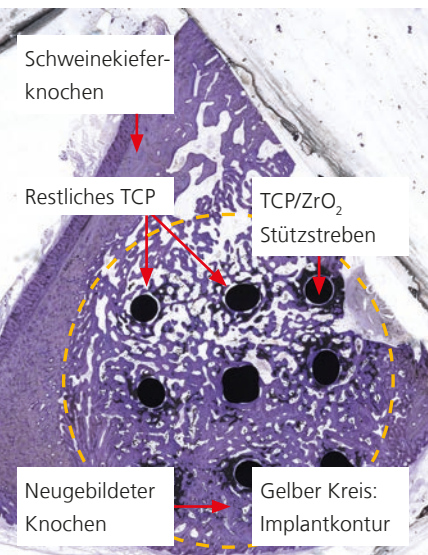


Hybrid-Knochen-Testbauteile.



200 µm

Lebend-tot-Färbung;
grün = lebende primäre
humane Osteoblasten
(Quelle: Universitätsmedizin
Rostock).



Abbau des künstlichen Im-
plantats und Knochenneufor-
mierung in der Defektstelle.
(Quelle: Universitätsklinikum
Schleswig-Holstein).

Knochendefekte im Gesichtsschädelbereich gehen häufig mit ästhetischen und funktionellen Beeinträchtigungen einher. Bislang werden zur Rekonstruktion körpereigene Knochen-
transplantate, z. B. vom Wadenbein oder aus dem Beckenknochen, verwendet. Diese bieten jedoch nur eine ungenügende Wiedergabe der komplexen Anatomie des Gesichtsschädels.

Neuer Ansatz für Knochenregeneration

Im Projekt »Hybrid-Bone« (04/2020–03/2023, FKZ: 03VP07633) werden personalisierbare und somit passgenaue, mechanisch stabile Knochenersatzmaterialien entwickelt. Die Kombination mit Wachstumsfaktoren im degradierbaren Teil eines Hybrid-Gerüsts stimuliert zudem eine programmierbare Knochenregeneration. Der Hybrid-Knochen besteht aus additiv gefertigten, lastaufnehmenden Stützstreben, die mit porösem Schaum gefüllt sind. Die Schaumstruktur dient als bioabbaubare Leitstruktur dem Einwachsen von Zellen.

Vielversprechende Materialkombination

Als biokeramische Materialien werden degradierbares Tricalciumphosphat (TCP) und bioinertes Zirkondioxid eingesetzt. Für die additive Fertigung wurde das CerAM VPP-Verfahren ausgewählt (Ceramic Additive Manufacturing Vat Photopolymerisation) und zur Herstellung der druckbelastbaren Stützstreben aus einem TCP-ZrO₂-Kompositmaterial eingesetzt. Zur späteren Schrauben-Fixierung im Knochen wurden Bohrlöcher vorgesehen (Bild oben, Implantatgröße 20 x 12 mm; H x ø). Der keramische Schaum wurde aus TCP über die sogenannte Gefrierschäumung hergestellt. Ein solcher TCP-Gefrierschaum verfügt über offene und miteinander verbundene Poren. Damit kann er zum einen vom Körper abgebaut

werden und zum anderen gleichzeitig eine Knochenneubildung an eben jener Stelle bewirken.

An den hybriden Test-Scaffolds ist anhand von In-vitro-Analysen eine gute Biokompatibilität nachgewiesen worden: Das Bild in der Mitte zeigt lebende primäre humane Osteoblasten im Hybrid-Knochen. Genexpressionsdaten der primären Osteoblasten, kultiviert auf verschiedenen Materialien, zeigen im Vergleich zur Referenz (Bio-Oss® Spongiosa Blocks, Geistlich Pharma AG), dass die osteogenen Marker Runx2 und COL1A1 vergleichbar denen der Referenz exprimiert werden. Ergebnisse des ersten In-vivo-Tests zeigten, dass bereits innerhalb von drei Monaten das künstliche Scaffold abgebaut wurde und sich körpereigener Knochen an derselben Stelle neu bildete (Bild unten).

Mit diesen hervorragenden biokompatiblen Eigenschaften werden die Knochenersatzmaterialien technisch weiterentwickelt, so dass die natürliche Kraftverteilung im jeweiligen Knochen berücksichtigt und der Biomechanik mehr Rechnung getragen wird. Kau- und Muskelkräfte spielen eine große Rolle bei den immerwährenden Auf- und Abbauvorgängen von Knochengewebe. Aktuell werden an Schweinekiefer angepasste, größere Hybrid-Knochen (ca. 50 x 50 x 20 mm³) angefertigt und anschließend in vitro und in vivo evaluiert.

Zum Projektende soll ein humaner personalisierter Kieferknochen zum potenziellen Einsatz im Patienten gefertigt sein.

Dünnwandige, keramische Abutments mit hoher Festigkeit und Präzision

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

Die dentale Implantologie ist ein Wachstumsmarkt. Das Branchennetzwerk Aegis Communications prognostiziert jährliche Wachstumsraten von 7,5 bis 9,3 %. Das zunehmende Gesundheits- und Ästhetik-Bewusstsein der Patienten sowie die wachsende Zahl der implantierenden Zahnärzte machen Implantate beliebter und leichter verfügbar.

In einem gemeinsamen Projekt mit dem Implantathersteller Moje Keramik-Implantate GmbH & Co KG. und der ILMCAD – Ingenieurbüro Ilmenau GmbH haben sich IKTS-Forschende zum Ziel gesetzt, eine Technologie zur Herstellung dünnwandiger Abutments (Verbindungsteil zwischen Zahnimplantat und prothetischer Versorgung) aus Yttrium-stabilisiertem Zirkonoxid (TZ3Y) zu entwickeln. Die Keramik weist viele Vorteile auf: Sie ist biokompatibel, erlaubt nur geringe Plaque-Anlagerungen, ist nur gering wärmeleitfähig und durch gute Weichgewebeanlagerung ist sie ästhetisch ansprechend. Zudem ist keine Gesundheitsgefährdung durch allergische Reaktionen zu erwarten.

Moje Keramik-Implantate legte das Design der Implantate fest. Angestrebt wurde eine Formgenauigkeit von 12 µm. Zur Anwendung kamen zwei Formgebungsverfahren: Schlickerguss und Spritzguss. Bisher erfolgt die Fertigung von Abutments beim Projektpartner durch Fräsen aus uniaxialen, gepressten Blanks. Dies verursacht erhöhte Ausschussquoten und Materialabfall. Mittels Schlickerguss wurden endformnahe Teile hergestellt und anschließend beim Projektpartner nachbearbeitet. Beim Spritzguss wurden mehrere Spritzgussmassen verschiedener Hersteller erprobt. Mit der favorisierten Masse erfolgten weitere Untersuchungen sowie der Bau eines Spritzgießwerkzeugs für die dünnwandigen Abutments unter Berücksichtigung der Schwindung.

Prozessparameter, wie u. a. Werkzeugtemperatur, Spritzgeschwindigkeit und Spritzdruck wurden optimiert. Die Gründichten der per Schlickerguss hergestellten Teile betrug 60 % der theoretischen Dichte.

Die Abutments wurden bei 1350 °C dicht gesintert. Die Bildanalysen der Gefüge ergaben eine mittlere Korngröße von 210 nm. Die spritzgegossenen Teile wurden bei 1450 °C gesintert. Die Korngröße betrug 340 nm im Gefüge der Keramik. Der Unterschied in der Korngröße beeinflusst die hydrothermale Alterung der TZ3Y-Keramiken, welche bei 134 °C, 2 bar und 50 h erfolgte und mittels Röntgenphasenanalyse untersucht wurde. Am mit Schlickerguss hergestellten Yttrium-stabilisierten Zirkonoxid finden keine Phasenumwandlungen statt. Bei den Spritzgussteilen entsteht zu einem geringen Anteil die unerwünschte monokline Phase. Die Vier-Punkt-Biegefestigkeit (EN 843-1) für die Schlickerguss-Keramik lag bei 1070 MPa mit einem Weibull m von 19 und für Spritzguss bei 1059 MPa mit einem Weibull m von 9.

Mit beiden Formgebungsverfahren wurde die geforderte Formgenauigkeit von 12 µm erzielt. Das Spritzgussverfahren hat den Vorteil, dass es keine Nachbearbeitung erfordert. Im Ergebnis des Projekts wurde bei Moje Keramik-Implantate die Spritzguss-Technologie eingeführt. Das IKTS unterstützte dabei beratend.

Wir danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz für die Förderung im Rahmen des »Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand«.

Gefördert durch:

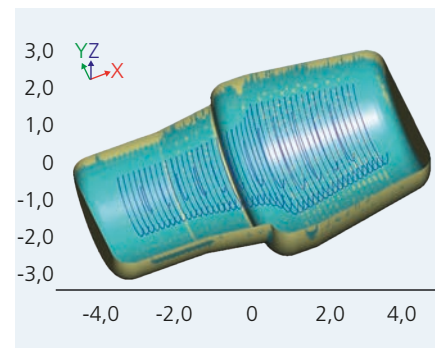


Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

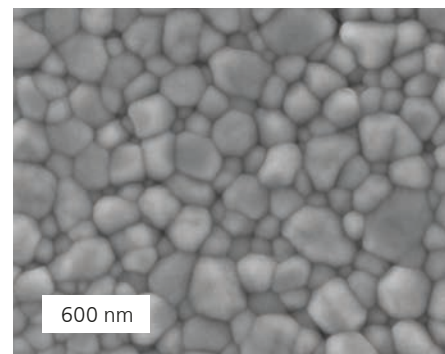
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



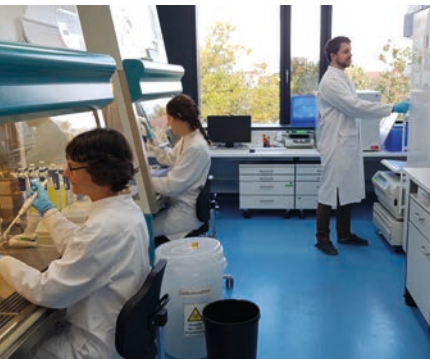
Dünnwandige Abutment-Spritzguss-Teile.



Fräsbahnsimulation für endformnahes Abutment mittels Schlickerguss.



FEREM-Aufnahme vom Gefüge TZ3Y (Schlickerguss).



Die Gruppe Biologische Materialanalytik des IKTS entwickelt standardisierte präklinische Testmodelle.

Knochenneubildung nach akuter Entzündung – Bewertung in vitro

M. Sc. Constantin Ißleib, Dr. Susanne Kurz, Dr. Juliane Spohn

Ob Knochenfraktur oder das chirurgische Neusetzen eines Implantats als Knochenersatz: Bevor die Knochenneubildung beginnt, liegt eine Schädigung des umliegenden Gewebes vor. Das Immunsystem antwortet mit einer akuten Entzündung an der Wundstelle um den Knochen.

In der präklinischen Evaluierung zur Wirksamkeit neuartiger Implantatmaterialien werden die Tests aktuell auf die Knochenneubildung beschränkt. Inzwischen ist jedoch bekannt, dass die akute Entzündung einen entscheidenden Einfluss auf die Knochenneubildung hat.

Neuartiges Osteoimmunologie-Modell als präklinischer In-vitro-Test

In der Gruppe Biologische Materialanalytik des Fraunhofer IKTS wurde ein In-vitro-Modell aufgebaut, das die Knochenneubildung unter inflammatorischen, d. h. entzündlichen Bedingungen abbildet. Die Grundlage für das kombinierte Modell bilden zwei humane Zelltypen: Makrophagen als Hauptakteure in der akuten Entzündung sowie mesenchymale Stammzellen (hMSCs), die den grundlegenden Prozess der Knochenneubildung durchlaufen: Die osteogene Differenzierung. Im Modell werden zunächst Makrophagen in einen proinflammatorischen Subtyp polarisiert. Dadurch wird ein inflammatorisches Milieu erzeugt. Dies zeichnet sich durch die Sekretion proinflammatorischer Zytokine (Botenstoffe) aus, die im Patienten u. a. zu Rötungen, Schwellungen und Fieber führen können. Dem inflammatorischen Milieu werden hMSCs zugeführt und im weiteren Verlauf osteogen differenziert (Bild mitte). Der Verlauf der osteogenen Differenzierung wird anschließend anhand der Bildung einer extrazellulären Matrix sowie der Kalziummineralisierung nachgewiesen und begutachtet (Bild unten).

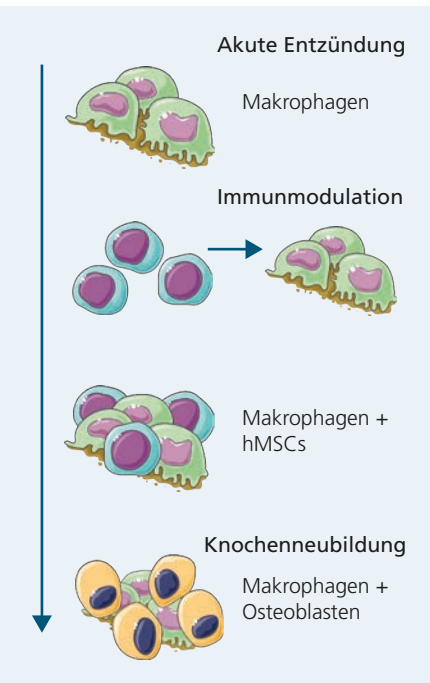
Bei der Untersuchung von Prüfmaterialien (Wirkstoffe oder [Bio]Materialien, wie Knochenersatz) liefert zunächst die Polarisierung der Makrophagen wichtige Erkenntnisse über immunmodulatorische Eigenschaften des Prüfkörpers. So kann hier im ersten Schritt eine Stärkung oder Schwächung der Inflammation analysiert werden (Bild mitte, akute Entzündung). Zusätzlich wird im Modell die Resolution der Inflammation durch die immunmodulatorisch wirksamen hMSCs abgebildet (Bild mitte, Immunmodulation). Im zweiten Schritt wird die Knochenneubildung anhand der osteogenen Differenzierung der hMSCs unter inflammatorischen Bedingungen bewertet (Bild mitte, Knochenneubildung). Entsprechend der Fragestellung zum Prüfkörper (Materialien/Wirkstoffe) kann der Prozess hinsichtlich physiologischer Kulturbedingungen und geeigneter Analysen angepasst werden.

Analysen-Portfolio

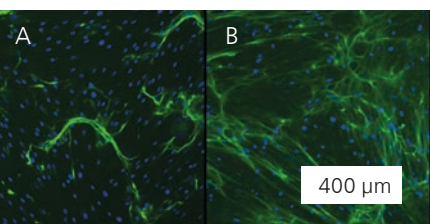
- Sekretion (ELISA, Multiplex)
- Genexpression
- Enzymaktivität
- Biochemische Assays (bspw. Protein-, Kalziumbestimmung)
- Immunfluoreszenzfärbung

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Translation von Testmodellen auf Prüfkörper (Materialien/Wirkstoffe)
- Bewertung der immunmodulatorischen Eigenschaften von Testmaterialien/Wirkstoffen
- Bewertung der Knochenneubildung unter inflammatorischen Bedingungen
- Translation von Testmodellen für Industrie, sowie Normen und Standards



Makrophagen und mesenchymale Stammzellen (hMSCs) interagieren von der akuten Entzündung bis zur Knochenneubildung.



Färbung der gebildeten extrazellulären Matrix (grün) durch hMSCs ohne (A) und mit inflammatorischem Einfluss (B).

Dezentrale Überwachung der Lungen-ventilation mit Pneumo.Vest

**Dipl.-Ing. Ralf Schallert, Dipl.-Ing. Conner Phillips,
Dipl.-Ing. (FH) Hendrik Funke**

In Deutschland werden pro Jahr etwa 385 000 Patienten mit Atemproblemen bzw. Lungen-erkrankungen stationär behandelt – mehr als 60 % müssen länger als 24 Stunden beatmet werden.

Die auf Intensivstationen bettseitig angewendeten Methoden zur Lungenüberwachung liefern nur globale Informationen. Um die korrekten Beatmungsparameter auszuwählen, benötigen Mediziner jedoch kontinuierliche Informationen über die regionale Verteilung der Ventilation. Diese differenzierte Lungen-ventilation ist bisher jedoch nur über bildgebende Verfahren, wie Thorax-CT, als Momentaufnahme darstellbar.

Ortsunabhängige Patientenüberwachung

Ein System zum Monitoring coronainfizierter Patienten außerhalb von Intensivtherapiestationen (ITS) soll im Fraunhofer-Anti-Corona-Projekt M3Infekt entstehen. Neun Fraunhofer-Einrichtungen sowie klinische Partner bündeln ihre Kompetenzen, um eine prototypische Textilweste mit integrierten Akustiksensoren zu realisieren.

Mit Hilfe dieser Sensoren soll die Belüftungssituation der Lunge – zunächst an 20 Auskultationspunkten am Rücken – beurteilt werden. In Kombination mit einer »Breath-by-Breath«-Analyse über zeitgleich aufgenommene akustische Daten wird eine kontinuierliche Überwachung und Echtzeitbeurteilung möglich. Diese kann unter therapeutischen Interventionen wie einer Beatmungstherapie oder für die Zustandsbeurteilung in der Notaufnahme eingesetzt werden.

Dafür wurden im Projektzeitraum der Einzelsensor entwickelt sowie miniaturisiert, die

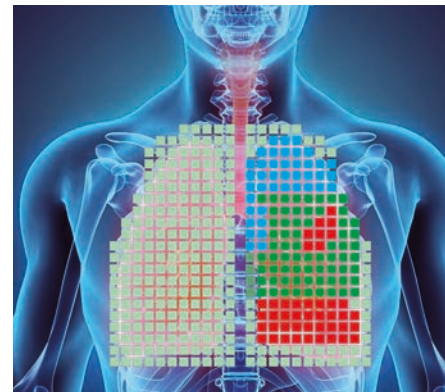
Verstärkerschaltung aufgebaut und eine entsprechende Platine für die Stromversorgung und Zusammenführung von 20 Sensoren entwickelt. Diese Komponenten wurden in eine prototypische Textilweste integriert.

Diese wurde anschließend am Klinikum Magdeburg mit medizinischem Personal und zukünftigen Nutzern in der Intensivmedizin getestet. Die Erkenntnisse aus diesen Messungen bestätigten den Nutzen einer solchen Medizin-anwendung.

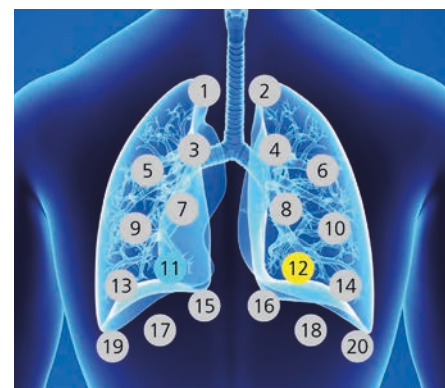
Transformation zur digitalen Versorgungsmedizin

»Medizinische Kleidung«, sog. Clinical Grade Wearables (CGW), ermöglicht in Kombination mit Kommunikationslösungen die kontinuierliche Datenerfassung und -analyse. Die ortsunabhängige Patientenüberwachung hat erhebliche Vorteile: Sie kann in Zukunft auf Normalstationen, Einrichtungen zur Lang- und Kurzzeitpflege, in der ambulanten Behandlung sowie in der häuslichen Umgebung flexibel zum Einsatz kommen. Ein wesentlicher Vorteil aus Sicht der Kliniken besteht in der dezentralen Patientenüberwachung, so dass elektive OP-Programme auch bei sehr hohen Infektionszahlen und Bedarfsspitzen fortgeführt werden können.

Das System unterstützt die Transformation der Medizin hin zur »4P-Medizin« (Preventative, Participative, Personalized, Predictive) mit dezentraler Gesundheitskontrolle.



Vision der Pneumo.Vest zur differenzierten Überwachung der Lungenventilation.



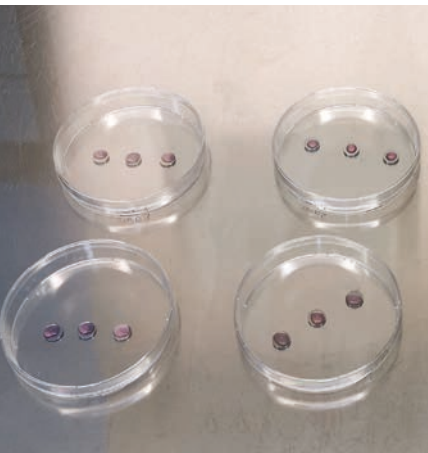
Anordnung der Sensoren im Rückenbereich (posterior) der Weste.



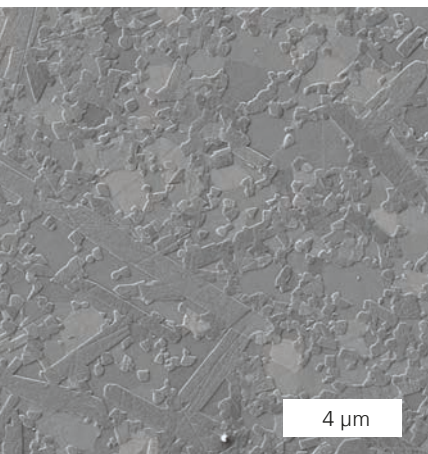
Prototypische Textilweste mit Sensoren.

Wolframbasierte Verbundwerkstoffe für antivirale und diagnostische Anwendungen

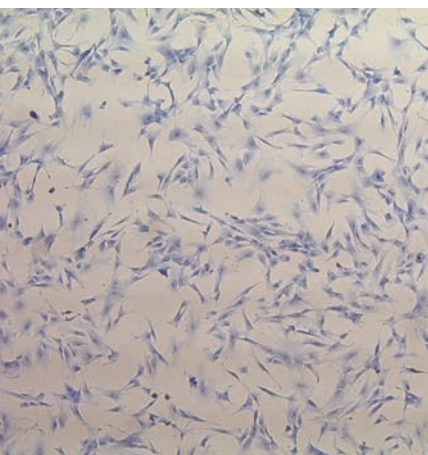
Dr. Johannes Pötschke, Dr. Holger Lausch, Dr. Claire Fabian (Fraunhofer IZI)



Aufbau der Konvektionsversuche.



Mikrostruktur eines antiviruziden Wolframcarbid-basierten Verbundwerkstoffs.



Virale transduzierte Zellen 48 Stunden nach der Transduktion.

Wolfram-basierenden Kompositzusammensetzungen wurden wiederholt viruzide Wirkungen nachgesagt, ohne dass bis jetzt genaue Informationen zum konkreten Bindungszustand vorliegen. Daher wurden am Fraunhofer IKTS auf reinem Wolfram, Wolframcarbid und auf Wolframdioxid basierende Composite sowie mit Edelstahl, Kupfer und Cobalt versetzte Verbunde hergestellt und deren Materialeigenschaften evaluiert. Die antivirale und bakterizide Wirkung sowie die DNA-bindenden Eigenschaften untersuchte das Fraunhofer IZI. Gleichzeitig wurde auch der Einfluss der Materialien auf die Proliferation, die Morphologie und den Stoffwechsel von humanen Zellen analysiert. Bei drei wolframhaltigen Materialien konnte eine Reduktion der viralen Vektoren und von E. coli-Bakterien sowie eine DNA-Reduktion nachgewiesen werden. Ermöglicht wurden die Untersuchungen durch ein am IKTS eigens entwickeltes Konvektionsinfektionsmodell, welches den Kontakt aller mikrobiellen Erreger mit der Wirkoberfläche ermöglichte. Das Modell hat sich als vorteilhaft für derartige Materialtests bewährt und soll zukünftig an weiteren Materialsystemen erprobt werden.

Die im Hinblick auf eine deutliche Pathogenreduktion vielversprechendsten metallgebundenen als auch reinen Wolfram- bzw. Wolframcarbidkomposite weisen eine hohe Härte von bis 2200 HV10 auf, was sie auch für verschleißfeste Oberflächen interessant macht.

Nebeneffekte als Chancen für diagnostische und Filteranwendungen

Kombiniert man die viruziden/bakteriziden Eigenschaften wolframhaltiger Materialien mit lipidmembranauflösendem Ethanol oder 2-Propanol können sich diese zwei begrenzt viruziden Wirkmethoden voraussichtlich

optimal ergänzen. Hierzu sind jedoch weitere Tests nötig.

Ein wolframhaltiges Komposit überraschte mit einer komplett ausbleibenden Reduktion von DNA-Proben an seiner Oberfläche und empfiehlt sich damit als absolut nichtreaktives Gefäßmaterial für die Diagnostik mit biologischem Probenmaterial.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Entwicklung angepasster wolframhaltiger Zusammensetzungen zur Herstellung von Bulkmaterial als auch von Pulver für das Laserauftragsschweißen oder das thermische Beschichten
- Charakterisierung von Wolfram- und Wolframcarbid basierten Verbundwerkstoffen hinsichtlich der mechanischen (Fraunhofer IKTS) als auch antiviralen und antibakteriziden Wirkung (Fraunhofer IZI)

Das Forschungsvorhaben wurde gefördert im Rahmen der internen Programme der Fraunhofer-Gesellschaft, Fördernummer: Anti-Corona 840249.

Kooperationsausbau in Verbänden, Allianzen und Netzwerken



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

Mitgliedschaften in Fraunhofer-Verbänden, Allianzen und Netzwerken

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.

BTS Rail Saxony

Bundesverband Energiespeicher e. V. (BVES)

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

Carbon Composites e. V. (CCeV)

CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

CO₂ Value Europe AiSBL

COMPOSITES UNITED e. V.

Cool Silicon e. V.

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.

DeepSea Mining Alliance e. V.

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

Deutsche Gesellschaft für Kristallographie e. V. (DGK)

Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM)

Deutsche Gesellschaft für Membrantechnik e. V. (DGMT)

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

Deutsche Glastechnische Gesellschaft e. V. (DGG)

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

HERMSDORF e. V.	OptoNet e. V.
HYPOS Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e. V.	Organic Electronics Saxony e. V.
HySON – Förderverein Institut für Angewandte Wasserstoff- forschung Sonneberg e. V.	Ostthüringer Ausbildungsverbund e. V. Jena
InDeKo Innovationszentrum Deutschland Korea	ProcessNet – eine Initiative von DECHEMA und VDI-GVC
InfectoGnostics Forschungscampus Jena e. V.	QBN Quantum Business Network
Initiative Erfurter Kreuz e. V.	Silicon Saxony e. V.
Innovations-Institut für Nanotechnologie und korrelative Mikro- skopie – INAM e. V.	smart ³ e. V.
Innovationszentrum Bahntechnik Europa e. V.	SmartTex-Netzwerk
Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA)	Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk e. V. (THEEN)
Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gGmbH	Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff- Forschung e. V. (TITK)
International Microelectronics and Packaging Society, IMAPS Deutschland e. V.	Trägerverein Institut für Holztechnologie Dresden e. V.
International SOS GmbH	Treffpunkt Keramik
International Zeolite Association	TRIDELTA CAMPUS HERMSDORF e. V.
JenaVersum e. V.	VDMA Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.
KMM-VIN (European Virtual Institute on Knowledge-based Multifunctional Materials AISBL)	VDMA Arbeitsgemeinschaft Medizintechnik
Kompetenzzentrum Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen/ Thüringen e. V. (LRT)	Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)
Kompetenzzentrum nanoeva®	Verein für Regional- und Technikgeschichte e. V. Hermsdorf
Materialforschungsverbund Dresden e. V. (MFD)	Wachstumskern smood® – smart neighborhood
medways e. V.	Wind Energy Network Rostock e. V.
Meeting of Refractory Experts Freiberg e. V. (MORE)	
microTEC Südwest e. V.	
Nachhaltigkeitsabkommen Thüringen	
NAFEMS – International Association Engineering Modelling	

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS nutzt seine Expertise von den materialwissenschaftlichen Grundlagen bis zu werkstofftechnischen Systemlösungen, um Innovationen für die Märkte seiner Kunden und Partner zu schaffen. Die Basis hierfür ist seine skalenübergreifende Materialkompetenz entlang industrieller Wertschöpfungsketten.

Materialwissenschaft und Werkstofftechnik umfassen bei Fraunhofer die gesamte Wertschöpfungskette, von der Entwicklung neuer und der Verbesserung bzw. einsatzspezifischen Anpassung bestehender Materialien und Werkstoffe über die passenden Fertigungsverfahren im quasi-industriellen Maßstab, die Charakterisierung der Eigenschaften bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens. Dies gilt auch für die aus den Werkstoffen hergestellten Bauteile und Produkte und deren Systemverhalten in den jeweiligen Anwendungen. Neben experimentellen Untersuchungen in Labors, Technika und Pilotanlagen werden gleichrangig Verfahren der numerischen Simulation und Modellierung eingesetzt; dies über alle Skalen, vom Molekül über das Bauteil bis hin zum komplexen System und zur Prozesssimulation.

Stofflich deckt der MATERIALS-Verbund den gesamten Bereich der metallischen, anorganisch-nichtmetallischen, polymeren und aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugten Werkstoffe sowie Halbleitermaterialien ab. Eine große Bedeutung haben hybride Materialien und Verbundwerkstoffe gewonnen. Die Forschenden in den Verbundinstituten setzen ihr Know-how und ihre Expertise vor allem in den Geschäftsfeldern Mobilität, Gesundheit, Bauen und Wohnen, Maschinen- und Anlagenbau, Mikrosystemtechnik, Sicherheit sowie Energie und Umwelt ein. Sie sind national und international gut vernetzt und tragen in einer großen Spannweite zu werkstoffrelevanten Innovationen bei.

In der Digitalisierung von Werkstoffen entlang ihrer gesamten Wertschöpfungskette sieht der MATERIALS-Verbund eine wesentliche Voraussetzung für den nachhaltigen Erfolg von Industrie 4.0 sowie für die Realisierung von Ressourceneffizienz. Mit seiner Initiative Materials Data Space® unterstützt und fördert der Fraunhofer-Verbund diese Entwicklung. Besonderes Engagement gilt auch der Entwicklung von maßgeschneiderten Materialien für die Additive Fertigung. Mit der Erweiterung der für die Additive Fertigung nutzbaren Materialpalette bis hin zu

Multimaterialsystemen leistet der MATERIALS-Verbund einen wesentlichen Beitrag zur Ausschöpfung und wirtschaftlichen Nutzung dieser vielversprechenden Fertigungstechnologie.

Ein Schwerpunktthema innerhalb des Verbunds ist der hybride Systemleichtbau. Klimawandel, Ressourcenknappheit und ein gleichzeitig steigender Bedarf an Mobilität fordern ein Umdenken in der Produktentwicklung. Ressourceneffizienz bei gewichts- und funktionsoptimierter Auslegung von Bauteilen wird zum zentralen Zielparame- ter im Entwicklungsprozess. Der MATERIALS-Verbund versteht Leichtbau als ganzheitliche Herausforderung und stellt dabei nachhaltige, kreislauffähige Materialien, intelligentes Hybridstrukturdesign und 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 Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS bearbeitet diesen Fragenkomplex insbesondere mit Blick auf Ressourcenverfügbarkeit und die Schaffung geschlossener Ressourcenkreisläufe für die entsprechenden Anlagen und Komponenten.

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 – Ceramic Applications

Der Treffpunkt Keramik ist fester Bestandteil der Öffentlichkeitsarbeit des Instituts. In Coronazeiten wurde die Fläche verstärkt als Pausenraum genutzt. Die Ziele für 2022 sind neu definiert, um wieder externe Gäste und den wissenschaftlichen Nachwuchs an die Technische Keramik heranzuführen. Hierbei profitieren wir von der weiter gewachsenen Zahl von Ausstellern. Insgesamt nutzen 50 Komponentenhersteller, 14 Rohstofflieferanten und 7 Gerätehersteller den Treffpunkt Keramik als Aussteller. Die »Ceramic Applications« des Göller Verlags hat sich als Marketing- und Informationsplattform für Anwender und Hersteller etabliert. Die Mitglieder engagierten sich auch 2021 besonders stark auf der Ceramitec Conference in München.

Durch die Ausstellung im Technikum ist es möglich, die Ergebnisse der Fertigungsketten vom Pulver bis zum Bauteil sehr effektiv in jedem Besucherrundgang darzustellen. Neben dem Einblick in die Forschungsinfrastruktur erhalten die Besuchenden einen Marktüberblick aus dem Angebot der Partnerfirmen mit realen Bauteilen von wenigen Milligramm bis zu mehr als 100 Kilogramm.

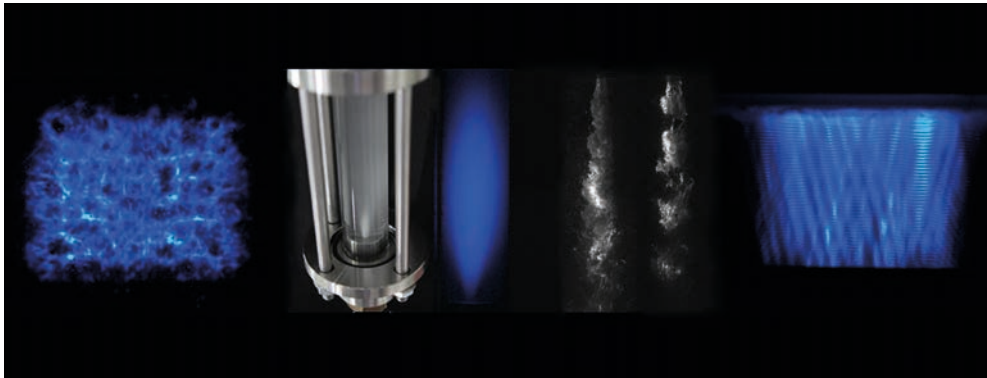
Die Gäste erhalten einen Eindruck über die aktuellen Themenschwerpunkte des Instituts von der Transparentkeramik bis zu den Verschleißschutzprojekten für die Tiefseeanwendung. Mit entsprechenden Beispielen zum Anfassen wird das Vertrauen in die wirtschaftliche Realisierbarkeit neuer Ideen verstärkt und die Initiierung zukunftsweisender Projekte erleichtert.

Im Jahr 2022 werden wieder Seminarveranstaltungen und Schulungen des Fraunhofer IKTS sowie der Deutschen Keramischen Gesellschaft e. V. (DKG) und der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM) in Präsenz stattfinden. Besondere Exponate werden auf dem Anwenderforum der Ceramitec 2022 gezeigt. Dadurch wird die Messe erneut zum Treffpunkt Keramik für Anwender, Hersteller, Zulieferer und Forschungseinrichtungen.



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

Center for Energy and Environmental Chemistry Jena (CEEC)



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

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

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

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

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

Kontakt

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



Namen, Daten, Ereignisse

Eine Übersicht über Publikationen, Patente und das wissenschaftliche Engagement von IKTS-Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Jahr 2021 finden Sie auf der Webseite

www.ikts.fraunhofer.de/de/daten2021



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

Veranstaltungen und Messen im Jahr 2022

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

Tagungen und Events

NDT4INDUSTRY – In vitro testing of cardiovascular implants for better quality (EN)
19. Januar 2022, Onlineseminar

NDT4INDUSTRY – Inline inspection of multiaxial carbon-fiber plys (EN)
16. März 2022, Onlineseminar

Girl's Day
28. April 2022, Onlineveranstaltung

NDT4INDUSTRY – Component marking for extreme process conditions – ceramic phosphors in metal processing (EN)
1. Juni 2022, Onlineseminar

Vision Keramik
7.–8. Juni 2022, Dresden, Winterbergstraße

Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft Freiberg
18. Juni 2022, Freiberg, Helmholtz-Institut Freiberg

Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften
8. Juli 2022, Dresden, Winterbergstraße

Tag der offenen Tür am Standort Hermsdorf
10. September 2022, Hermsdorf

ISPA International Symposium on Piezocomposite Applications (EN)
14.–16. September 2022, Dresden, Winterbergstraße

NDT4INDUSTRY – X-ray and thermography (EN)
21. September 2022, Onlineseminar

Early Morning Science mit Fraunhofer
21. September 2022, Dresden, Winterbergstraße

Industrietag Transparentkeramik
5.–6. Oktober 2022, Hermsdorf

AM ceramics conference (EN)
12.–13. Oktober 2022, Dresden, Winterbergstraße

Industrietag Meerestechnik
8.–9. November 2022, Rostock, Fraunhofer SOT

NDT4INDUSTRY – Acoustic diagnosis – suits for a surprisingly large number of applications (EN)
23. November 2022, Onlineseminar

Symposium Angewandte Elektrochemie in der Materialforschung
24.–25. November 2022, Dresden, Winterbergstraße

Fortbildungsseminare und Workshops

DKG-Seminar: Foliengieß- und Schlitzdüsenverfahren
9.–10. November 2022, Hermsdorf, Seminar mit Praktikum

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



Messebeteiligungen

FILTECH

8.–10. März 2022, Köln

ZfP im Eisenbahnwesen

15.–17. März 2022, Erfurt

JEC

3.–5. Mai 2022, Paris
Gemeinschaftsstand WFS

Control

3.–6. Mai 2022, Stuttgart
Gemeinschaftsstand Allianz Vision

PCIM Europe

10.–12. Mai 2022, Nürnberg

Sensor und Test

10.–12. Mai 2022, Nürnberg

Rapidtech

16.–18. Mai 2022, Erfurt
Gemeinschaftsstand Fraunhofer-Kompetenzfeld
Additive Fertigung

DGZfP-Jahrestagung

23.–25. Mai 2022, Kassel

Hannover Messe

30. Mai – 2. Juni 2022, Hannover
Gemeinschaftsstand Ceramic Applications

IFAT

30. Mai – 3. Juni 2022, München
Einzelstand, Gemeinschaftsstand Allianz SysWasser

Australian Hydrogen Conference 2022

31. Mai – 1. Juni 2022, Adelaide
Gemeinschaftsstand Research in Germany (RiG)

Bonding

13.–15. Juni 2022, Dresden
Fraunhofer-Gemeinschaftsstand

Erfurter Energiespeichertage

14.–15. Juni 2022, Erfurt

Ceramitec

21.–24. Juni 2022, München
Gemeinschaftsstand Ceramic Applications

ACHEMA

22.–26. August 2022, Frankfurt

DWA-Innovationsforum

6. September 2022, Weimar

Energy Storage Europe

20.–22. September 2022, Düsseldorf

Innotrans

20.–23. September 2022, Berlin
Gemeinschaftsstand WFS

WorldPM 2022

9.–13. Oktober 2022, Lyon

FAD-Konferenz

3.–4. November 2022, Dresden

Formnext

15.–18. November 2022, Frankfurt
Fraunhofer-Gemeinschaftsstand

Electronica

15.–18. November 2022, München

Hagener Symposium

24.–25. November 2022, Hagen

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

Anfahrt zum Fraunhofer IKTS

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

So erreichen Sie uns in Dresden-Gruna

Straßenverbindung

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

Nahverkehr

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

Flugverbindung

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





So erreichen Sie uns in Dresden-Klotzsche

Straßenverbindung

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

Nahverkehr

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

Flugverbindung

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



So erreichen Sie uns in Hermsdorf

Straßenverbindung

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

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

Nahverkehr

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

Impressum

Redaktion/Layout

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit/Marketing

Druck

ELBTAL Druckerei & Kartonagen Kahle GmbH

Bilder

Fotograf Jürgen Lösel, Dresden
Fraunhofer IKTS

Institutsadresse

**Fraunhofer-Institut für
Keramische Technologien und Systeme IKTS**

Winterbergstraße 28, 01277 Dresden-Gruna
Telefon +49 351 2553-7700
Fax +49 351 2553-7600

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

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

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

Ansprechpartnerin Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Dipl.-Chem. Katrin Schwarz
Telefon +49 351 2553-7720

katrin.schwarz@ikts.fraunhofer.de

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.
© Fraunhofer IKTS, Dresden 04/2022

30 Jahre
Fraunhofer IKTS

Hallo
Zukunft



www.ikts.fraunhofer.de/de/30_jahre_ikts