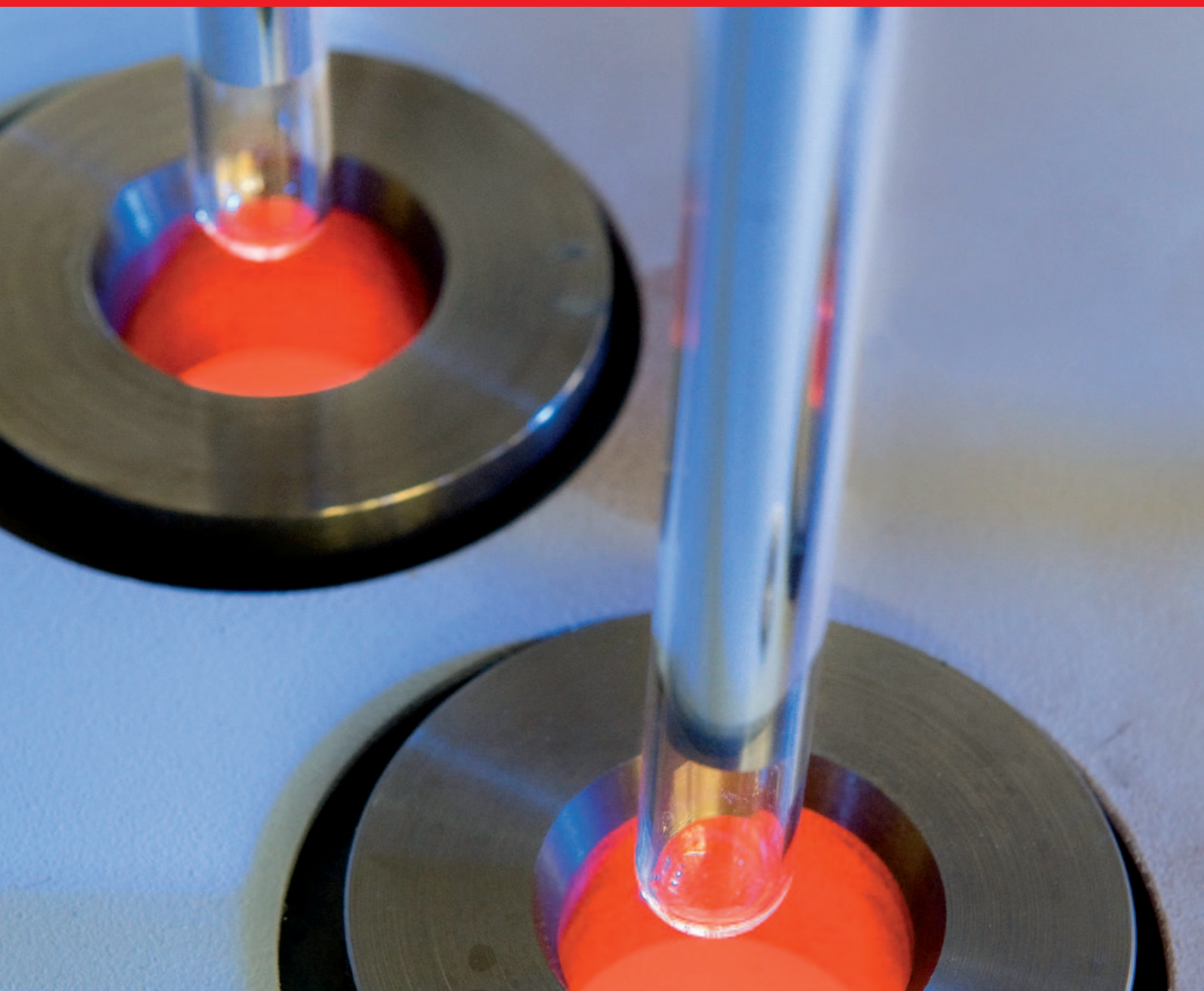
Fraunhofer
ISC

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SILICATFORSCHUNG ISC

JAHRESBERICHT 2009



Titelbild

Um Flüssigkeitsvolumen exakt bestimmen zu können, braucht man Glasbüretten mit höchstpräzise gefertigten Innendurchmessern. Mit dem neu entwickelten Accurate Burette Former (ABF) werden bis zu zehn Glasrohlinge für Büretten mit sehr geringen Toleranzen simultan gefertigt. Dies ist eine Alternative zur bisherigen Vorgehensweise, bei der ungenaue Glasmessinstrumente nach der Herstellung aufwendig kalibriert werden müssen.

Das Detailbild zeigt, wie der Ofen über die auf Stahlstangen gezogenen Glasrohlinge fährt. Die Glasröhren erwärmen sich auf etwa 650 °C und werden weich und schmiegsam. Durch Absaugen der Luft zwischen der Stahlstange und dem Glasrohr legt sich das weiche Glas exakt an den Stahl an.

Kompetenzfeld Mess- und Prozesstechnik des Fraunhofer ISC, Partner bei der Entwicklung und dem Bau von Sonderanlagen und Prüfgeräten für die Qualitätssicherung

JAHRESBERICHT 2009

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SILICATFORSCHUNG ISC

VORWORT

Liebe Freunde und Partner des Fraunhofer ISC,
sehr geehrte Damen und Herren,

2009 war für das Fraunhofer ISC wieder ein ereignisreiches Jahr: Es war geprägt von Einbrüchen in den Industrieerträgen infolge der globalen Wirtschaftskrise einerseits und umfangreicher Bau- und Investitionstätigkeit anderseits, die durch Zuwendungen aus dem Konjunkturpaket I der Bundesregierung ausgelöst wurden.

Diese Mittel wurden jeweils etwa zur Hälfte für die energetische Sanierung des Altbaus am Neunerplatz und für Geräteinvestitionen verwendet. Damit konnten umfangreiche Baumaßnahmen am Altbau durchgeführt werden, wie z. B. die Erneuerung von Heizung, Fenstern und der veralteten Lüftungstechnik. Darüber hinaus wurde in die Forschungsgeräteausstattung neuer Arbeitsgebiete wie »Elektrochemische Energiespeicherung und -wandlung« sowie »Energieeffizienz und Produktion« investiert. Alle Baumaßnahmen und Investitionsprojekte konnten dank der hohen Einsatzbereitschaft und koordinierten Vorgehensweise aller involvierten Mitarbeiter gemäß den Vorgaben des Konjunkturpakets I in 2009 durchgeführt, abgeschlossen und abgerechnet werden.

2009 wurden die Planungs- und Vorbereitungsarbeiten zur Realisierung der Institutserweiterung mit einem Technikumsneubau (Technikum III) basierend auf dem Entwurf des Londoner Architekturbüros Zaha Hadid Ltd. soweit vorangetrieben, dass jetzt in 2010 mit der Durchführung begonnen werden kann (Baubeginn: Juni 2010). Mit dem Technikum III, das eine Nutzfläche von etwa 2 500 m² haben wird, werden insbesondere die Aktivitäten auf den Gebieten »elektrochemische Energiespeicherung und –wandlung«, »Gesundheit (Life Science)«, »Bau und Umwelt« sowie »Glas und Keramik« gestärkt.

Nach weit mehr als 100 Jahren Entwicklung von Verbrennungsmotoren steht das Thema Elektromobilität für eine technologische Zeitenwende. Nicht zuletzt deshalb hat die Bundesregierung 2008 einen nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität verabschiedet. Die Fraunhofer-Gesellschaft hat aus den beiden Konjunkturpaketen der Bundesregierung insgesamt 44 Mio. Euro für ein Projekt »Systemforschung Elektromobilität« erhalten, an dem 34 Fraunhofer-Institute beteiligt sind. Herr Dr. Kai-Christian Möller und sein Team konnten sich mit einem Beitrag zum Design neuer Materialien für Li-Ionen-Batterien qualifizieren. Ergänzt wird dieser Know-how-Aufbau durch weitere öffentlich geförderte Projekte. So ist das Fraunhofer ISC im BMBF-geförderten Projekt »EnergyCap« an der Entwicklung von Hochleistungsspeichern für Anwendungen im Bereich der erneuerbaren Energieversorgung, für mobile Bordnetze und für Traktionsanwendungen beteiligt und koordiniert das Projekt »KoLiWIn« (Konzeptstudien für neuartige Lithium-Ionen-Zellen auf der Basis von Werkstoff-Innovationen), das im Rahmen der Initiative des Bundesforschungsministeriums LIB 2015 aufgelegt wurde. Die Schwerpunkte liegen in der Entwicklung innovativer Batteriematerialien mit verbesserten Eigenschaften. Beispiele sind neue Membranwerkstoffe für nicht mehr brennbare Batteriesysteme oder Elektrodenmaterialien für leistungsstärkere Energiespeicher.

Ein weiteres Highlight war der Beginn der Arbeiten im »Center Smart Materials« (CeSMa), das im Mai 2009 mit Fachvorträgen und einer Ausstellung im Rahmen einer Kick-off-Veranstaltung eröffnet wurde, an der mehr als 40 geladene Gästen aus Politik, Industrie und Forschung teilnahmen. Es ist das Ziel von CeSMa, den Transfer aktiver (smarter) Materialien in neue innovative Industrieprodukte zu beschleunigen. Das Projekt mit einer Laufzeit von fünf Jahren wird zu 50 % vom Freistaat Bayern aus Mitteln des Programms Bayern FIT gefördert. Weitere 50 % werden auf Projektbasis von Industriepartnern finanziert.

Die im Juni 2006 in Bayreuth unter Leitung von Herrn Prof. W. Krenkel gegründete Projektgruppe »Keramische Verbundstrukturen« konnte im Jahr 2009 die zweite Ausbauphase abschließen: Im November wurde die noch fehlende Ofenlinie zur Herstellung von keramischen Verbundstrukturen in Betrieb

genommen, womit die Projektgruppe jetzt über eine vollständige Pilotproduktionslinie zur Herstellung von keramischen Verbundwerkstoffen verfügt. Plangemäß konnten so in 2009 auch mehrere Förder- und Industrieprojekte gestartet werden.

Neue Gläser und innovative Glasentwicklungskonzepte waren 2009 ein weiterer Themenschwerpunkt im Fraunhofer ISC. Im Februar konnte Herr Dr. Martin Kilo von der TU Clausthal als neuer Leiter für das Kompetenzfeld Glas gewonnen werden. Im Juni 2009 wurde der Prototyp einer computergesteuerten Glasscreening-Anlage in Betrieb genommen, mit der vollautomatisch schnell, präzise und reproduzierbar Gläser mit gezielt variierten Zusammensetzungen hergestellt werden können. Dass die Aktivitäten des ISC richtig positioniert sind, zeigen die Glas-Veranstaltungen des bayerischen Clusters Neue Werkstoffe im vergangenen Jahr. So wurde unter der Schirmherrschaft von Bayern Innovativ im Juli 2009 ein Clustertreff zum Thema »Glaslote für innovative Fügetechnologien« am Fraunhofer ISC veranstaltet, im November fand das Clusterforum »Innovationen in der Glastechnologie« in Amberg statt. Beide Veranstaltungen waren sehr gut besucht und zeigen das breite Interesse am Thema Glas.

Das vom BMBF geförderte Faserprojekt »SiPeVe« zur Entwicklung von SiBNC-Fasern konnte im Jahr 2009 wie geplant fortgeführt und im ISC abgeschlossen werden, dank der bereits im Jahr 2008 bewilligten Mittel des Fraunhofer-Vorstands. Die Projektpartner wurden wie vereinbart mit Fasermaterial für Tests in keramischen Kompositmaterialien beliefert. Die Ergebnisse werden im Herbst 2010 vorliegen. Zu diesem Zeitpunkt wird auch über eine Fortführung des Themas entschieden.

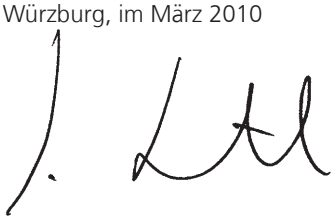
Trotz der Auswirkungen der Wirtschaftskrise konnten auch die SiC-Faserprojekte fortgeführt werden. Der Industriepartner hat im November fast zeitgleich mit dem Auslaufen der Projektförderung über eine Fortsetzung der SiC-Faserentwicklung positiv entschieden. Mit einer Übergangsfinanzierung wird jetzt der Zeitraum überbrückt, bis ein neuer Projektantrag zur Förderung genehmigt worden ist. Die über das Vorgängerprojekt finanzierte SiC-Pilot-Faserspinnanlage wurde in 2009 fertig aufgebaut und kurz vor Weihnachten in Betrieb genommen. Die in beiden Vorhaben zu entwickelnden keramischen Fasern sollen beitragen, eine industrielle Plattform zur Produktion von Hochleistungs-Keramikfasern aus polymeren Precursoren in Europa etablieren zu können.

Das Geschäftsjahr 2009 konnte mit positivem Ergebnis abgeschlossen werden. Es ist erfreulicherweise gelungen, Defizite bei Industrieerlösen mit öffentlich geförderten Projekten auszugleichen. So ist der Betriebshaushalt trotz der allseits spürbaren Auswirkungen der Wirtschaftskrise 2009 erneut gewachsen: Er stieg von 15,9 Mio. Euro in 2008 auf 16,6 Mio. Euro, was einem Zuwachs von 5 Prozent entspricht. Die Anzahl an Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern betrug 2009 durchschnittlich etwa 304, davon waren im Schnitt 170 fest angestellt.

Ich möchte an dieser Stelle allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer ISC und des Lehrstuhls »Chemische Technologie der Materialsynthese« meinen Dank für ihren großen Einsatz aussprechen, ohne den die beschriebenen Erfolge nicht möglich gewesen wären.

Für das uns entgegengebrachte Vertrauen danke ich unseren industriellen und institutionellen Projektpartnern und Kunden, wie auch der Fraunhofer-Gesellschaft, Beratern und Mitgliedern des Kuratoriums sowie dem BMBF und dem Bayerischen STMWIVT für die konstruktive Begleitung und Unterstützung unserer Aktivitäten.

Würzburg, im März 2010



Prof. Dr. Gerhard Sextl

INHALTSVERZEICHNIS

2 – 3	Vorwort
6 – 7	Innovative Werkstoffe für die Produkte von morgen
8 – 9	Ansprechpartner
10 – 15	Kernkompetenzen
16 – 21	Kompetenzfelder
22 – 25	Zentren
26 – 29	Studiengang Tec-Fun
30 – 33	Ausbildungsangebot des Fraunhofer ISC
34 – 37	Projektgruppe Keramische Verbundstrukturen
38 – 115	Projektberichte aus den Geschäftsfeldern und dem Center Smart Materials (CeSMa)
116 – 161	Anhang
162	Impressum

Geschäftsfeld Oberflächen und Schichten

- ORMOCER®e mit funktionalisierten Nanopartikeln als neuartige Schutzschichten und katalytisch aktive Oberflächen 40 – 43
- Ultrabarriereschichten für die Verkapselung von opto-elektronischen Bauteilen 44 – 47
- Verbesserung der Aufbewahrungsbedingungen von Gemälden in Mikrovitrinen 48 – 51

Geschäftsfeld Energietechnik

- NanoCap® – schnelle leistungsstarke Energiespeicher 54 – 57
- HydroNanoPol: Nanotechnisch optimierte Elektrode für leistungsfähige NiMH-Batterien 58 – 61

Geschäftsfeld Glas und Keramik

- Neue Verstärkungsfasern für metallische Verbundwerkstoffe 64 – 67
- Entwicklung von SiBNC-Keramikfasern für die Produktions-, Energie- und Verkehrstechnik 68 – 71
- Produktoptimierung durch Mikrostruktur-/Eigenschaftssimulationen an den Nicht-Oxid-Keramiken Si_3N_4 und SiC 72 – 75
- Entwicklung niedrigschmelzender, bleifreier Glaslote 76 – 79
- Entwicklung eines Demonstrators zur Messung der Laserstrahlaufweitung für die Qualitätskontrolle von keramischen Bauteilen 80 – 83

Geschäftsfeld Mikrosysteme

- ORMOCER®e als low-k-Dielektrika für die UV-Nanoimprint-Lithographie 86 – 89

Geschäftsfeld Life Science

- Neuer Hoffnungsträger zur Heilung von chronischen Wunden 92 – 95
- Biomimetischer Klebstoff 96 – 99

Geschäftsfeld Bau und Umwelt

- Verkapselung von anorganischen Latentwärmespeichern 102 – 105

Center Smart Materials (CeSMa)

- Neuartiges Fixiersystem auf Basis magnetorheologischer Flüssigkeiten 108 – 111
- Integrierte Sensorik für Glasfassaden 112 – 115

INNOVATIVE WERKSTOFFE FÜR DIE PRODUKTE VON MORGEN

Neuartige Funktionswerkstoffe werden den Alltag von morgen verändern. Leichtbauwerkstoffe auf Basis hochbelastbarer keramischer Fasern oder intelligente, aktive Materialien werden etablierte, passive Materialien in vielen Bereichen ersetzen. Neue Materialien mit multifunktionellen Eigenschaften werden einen sparsameren Umgang mit knappen Rohstoffen ermöglichen.

Als Materialforschungsinstitut erschließt das Fraunhofer ISC diese Werkstoffpotenziale für die Produkte von morgen, im Blick die effiziente und sichere Energienutzung, den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen und eine bezahlbare, individualisierte Gesundheitsversorgung.

Das Institut unterstützt seine Auftraggeber aus Industrie und Mittelstand bei der Überführung neuer Werkstoffe und Verfahren in den Produktionsmaßstab sowie bei der Implementierung von Qualitätssicherungsprozessen in bestehende Produktionsverfahren. Dazu gehören neben der Materialentwicklung auch Technologieentwicklung und produktionsgerechte Auslegung von Verarbeitungsprozessen. Bei Bedarf entwickelt das Fraunhofer ISC Funktionsmuster oder Demonstratoren und optimiert Fertigungsprozesse unter produktionsnahen Bedingungen auf Basis modernster Mess- und Prüfmethoden.

Standorte

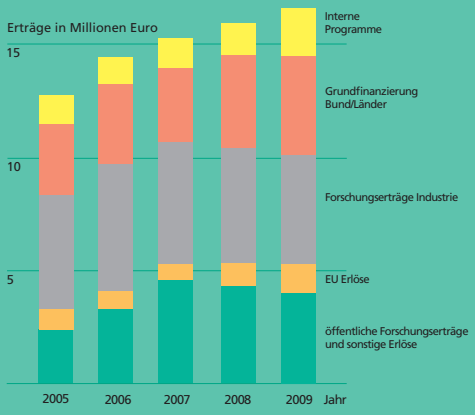
Das Fraunhofer ISC hat vier Standorte in zwei Bundesländern. Hauptsitz und eine Dependance befinden sich verkehrsgünstig gelegen im bayerischen Würzburg. Etwa 35 km von Würzburg entfernt im benachbarten Baden-Württemberg besteht seit 1995 eine Außenstelle des Instituts in Bronnbach bei Wertheim. Im Jahr 2006 wurde die Fraunhofer-Projektgruppe Keramische Verbundstrukturen im 160 km entfernten Bayreuth gegründet.

Das Fraunhofer ISC verfügt über mehr als 3500 m² Labor- und Technikumsflächen mit industrienaher Ausstattung, vom Synthesetechnikum für anorganische Polymere über ein Spinntechnikum für hochtemperaturbeständige Keramikfasern (beide Standort Würzburg) bis hin zur Prozessüberwachung und 3D-Schadensanalyse mit hochauflösender Computertomographie (CT) auch für große Bauteile mit bis zu 700 mm Durchmesser (Standort Bayreuth). Das am Standort Würzburg angesiedelte akkreditierte Analytische Dienstleistungszentrum bietet mehr als 50 etablierte Mess- und Analyseverfahren, artefaktarme Präparationsverfahren und hochauflösende Elektronenmikroskopie.

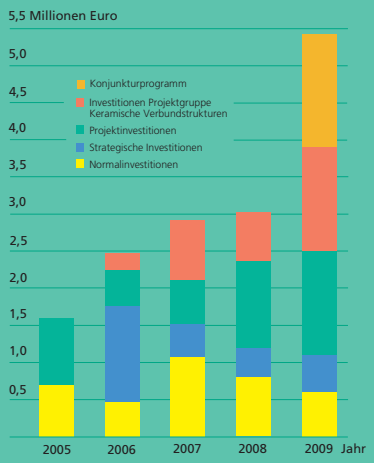
Um das Angebot für die Kooperationspartner und Auftraggeber des Instituts auszuweiten und weitere innovative Forschungsgebiete rund um die Zukunftsthemen Energie, Umwelt und Gesundheit zu erschließen, wird derzeit ein Erweiterungsbau geplant. Bis 2012 wird am Standort Neunerplatz ein neues Technikum mit Laborräumen und Technikumsanlagen entstehen. Der Baubeginn erfolgt 2010.

Das Institut in Zahlen

Gemäß dem Finanzierungsmodell der Fraunhofer-Gesellschaft wird der Betriebshaushalt des Fraunhofer ISC nur zu etwa einem Drittel über staatliche Zuwendungen gedeckt. Zwei Drittel des Budgets müssen durch Industrieaufträge und öffentliche Forschungsprojekte erwirtschaftet werden. Das Investitionsvolumen konnte auf 5,4 Mio. Euro gesteigert werden – nicht zuletzt dank der außerplanmäßigen Investitionsmittel aus dem Konjunkturpaket I der Bundesregierung, aus dem das Institut Mittel für Geräte und energetische Gebäudesanierung in Höhe von 1,5 Mio. Euro erhielt. In den weiteren planmäßigen Aufbau der Projektgruppe Keramische Verbundstrukturen flossen 1,4 Mio. Euro.



Betriebshaushalt 2005 bis 2009



Investitionshaushalt 2005 bis 2009

Personalentwicklung 2005 bis 2009

Der Betriebshaushalt stieg auf 16,6 Mio. Euro (2008: 15,9 Mio. Euro). Die institutionelle Förderung aus Bundes- und Landesmitteln stieg auf 4,4 Mio. Euro (2008: 4,1 Mio. Euro). Die Erträge aus Industrieprojekten gingen leicht zurück auf 4,8 Mio. Euro, wie auch die Einnahmen aus öffentlichen Forschungsaufträgen mit 4,0 Mio. Euro etwas niedriger ausfielen als im Vorjahr. EU-Projekte trugen mit 1,3 Mio. Euro und interne Programme zu 2,1 Mio. Euro zur Finanzierung des Institutshaushalts bei.

Das Institut beschäftigte im Jahresdurchschnitt 304 Mitarbeiter an den Standorten Würzburg, Bronnbach und Bayreuth.

Das Stammpersonal wurde hauptsächlich im technischen und administrativen Bereich auch durch externe Fachkräfte unterstützt. Darüber hinaus nimmt das Fraunhofer ISC einen wichtigen Platz in der Hochschulausbildung ein und bietet zahlreichen Studierenden die Möglichkeit, Diplomarbeiten und Dissertationen am Institut zu erarbeiten sowie studienbegleitende Praktika zu absolvieren.

Struktur

Das Fraunhofer ISC hat einen administrativen Bereich und einen operativen Forschungsbereich. Der operative Bereich ist in sechs Geschäftsfelder gegliedert:

Oberflächen und Schichten
Energietechnik
Glas und Keramik
Mikrosysteme
Life Science
Bau und Umwelt

Die Geschäftsfelder stellen aus dem Kompetenzportfolio der zehn Kompetenzfelder des Fraunhofer ISC je nach Aufgabenstellung die passenden Teams zusammen. Darüber hinaus bestehen mit dem Analytischen Dienstleistungszentrum, dem Center Smart Materials und dem Internationalen Zentrum für Kulturgüterschutz und Konservierungsforschung IZKK drei eigenständig operierende Zentren unter dem Dach des Instituts. Die Ansprechpartner aus dem administrativen Bereich wie auch dem Forschungsbereich und den Zentren sind auf den folgenden Seiten dargestellt.

Kuratorium

Der Institutsleitung steht ein beratendes Gremium aus namhaften Persönlichkeiten aus Industrie, Forschung und Politik zur Seite. Im Jahr 2009 setzte sich das Kuratorium wie folgt zusammen:

Dr. Martin Bastian, SKZ – Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg
Prof. Dr. Peter Behrens, Universität Hannover
Dipl.-Ing. Hans-Michael Güther, SGL Brakes GmbH, Meitingen
Prof. Dr. Ellen Ivers-Tiffée, Universität Karlsruhe
Prof. Dr. Martin Jansen, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart
Dr. Roland Langfeld (Vorsitzender), Schott Glas, Mainz
Henry Rauter, VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen
Dr. Georg Ried, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, München
Prof. Dr. Martin Winter, CeNTech GmbH, Münster
Dr. Detlef Wollweber, Bayer Innovation GmbH, Düsseldorf

Neu im Kuratorium:
Dr. Hans Dolhaine, Henkel AG & Co.KGaA, Düsseldorf

ANSPRECHPARTNER

Institutsleiter
Prof. Dr. Gerhard Sextl
Telefon +49 931 4100-100
gerhard.sextl@isc.fraunhofer.de

Strategisches Management
Stellvertretender Institutsleiter
Dr. Rolf Ostertag
Telefon +49 931 4100-900
rolf.ostertag@isc.fraunhofer.de

Außenstelle Bronnbach
Dr. Andreas Diegeler
Telefon +49 9342 9221-702
andreas.diegeler@isc.fraunhofer.de

Fraunhofer-Projektgruppe Keramische Verbundstrukturen
Prof. Dr.-Ing. Walter Krenkel
Telefon +49 921 786931-21
walter.krenkel@isc.fraunhofer.de

Marketing und Kommunikation
Marie-Luise Righi
Telefon +49 931 4100-150
marie-luise.righi@isc.fraunhofer.de

Verwaltungsleitung Controlling
Axel Kuhn
Telefon +49 931 4100-102
axel.kuhn@isc.fraunhofer.de

Oberflächen und Schichten
Dr. Gerhard Schottner
Telefon +49 931 4100-627
gerhard.schottner@isc.fraunhofer.de

Energietechnik
Dr. Kai-Christian Möller
Telefon +49 931 4100-519
kai-christian.moeller@isc.
fraunhofer.de

Mikrosysteme
Dr. Michael Popall
Telefon +49 931 4100-522
michael.popall@isc.fraunhofer.de

Glas und Keramik
PD Dr. Friedrich Raether
Telefon +49 931 4100-200
friedrich.raether@isc.fraunhofer.de

Life Science
Dr. Jörn Probst
Telefon +49 931 4100-249
joern.probst@isc.fraunhofer.de

Bau und Umwelt
Dr. Karl-Heinz Haas
Telefon +49 931 4100-500
karl-heinz.haas@isc.fraunhofer.de

KERNKOMPETENZEN

- Synthese von anorganischen und hybriden Funktionswerkstoffen auf der Basis chemischer Nanotechnologie

- Verfahrensentwicklung zur Herstellung von Materialien und ihrer Verarbeitung zu Pulvern, Fasern, Schichten, Suspensionen, Kompositen und Mikrostrukturen; Optimierung industrieller Produktionsprozesse

- Spezialglasentwicklung und Herstellung von Gläsern und Halbzeugen

- Werkstoffcharakterisierung, -bewertung und -optimierung

Die Arbeitsschwerpunkte des Fraunhofer ISC liegen in der anwendungsbezogenen Entwicklung innovativer nichtmetallischer Materialien und Werkstoffe – von der Vorstufe bis zum Funktionsmuster. Diese Kernkompetenzen werden in zehn Kompetenzfeldern weiterentwickelt und in Projektarbeit umgesetzt.

ORMOCER®e

Einen FuE-Schwerpunkt bildet die Stoffklasse der ORMOCER®e. Diese am Fraunhofer ISC entwickelten anorganisch-organischen Hybridpolymere werden auf der Basis chemischer Nanotechnologie erzeugt. Das Know-how zur Synthese über den Sol-Gel-Prozess, Funktionalisierung und Weiterverarbeitung der ORMOCER®e wurde in den vergangenen 25 Jahren seit der Einführung dieser Stoffklasse kontinuierlich weiterentwickelt.

Über die gezielte Auswahl monomerer oder polymerer Ausgangskomponenten können – je nach Anwendungsgebiet und Kundenanforderung – Werkstoffe und Oberflächen mit multifunktionellem Eigenschaftsprofil realisiert werden. Optische und elektrische Eigenschaften sowie die Widerstandsfähigkeit gegenüber Verschleiß und Korrosion lassen sich ebenso beeinflussen wie die Hafteigenschaften, die Benetzbarkeit, die Barriereeigenschaften oder die Biokompatibilität. Entsprechend breit ist das Anwendungsspektrum für hybridpolymere Werkstoffe.

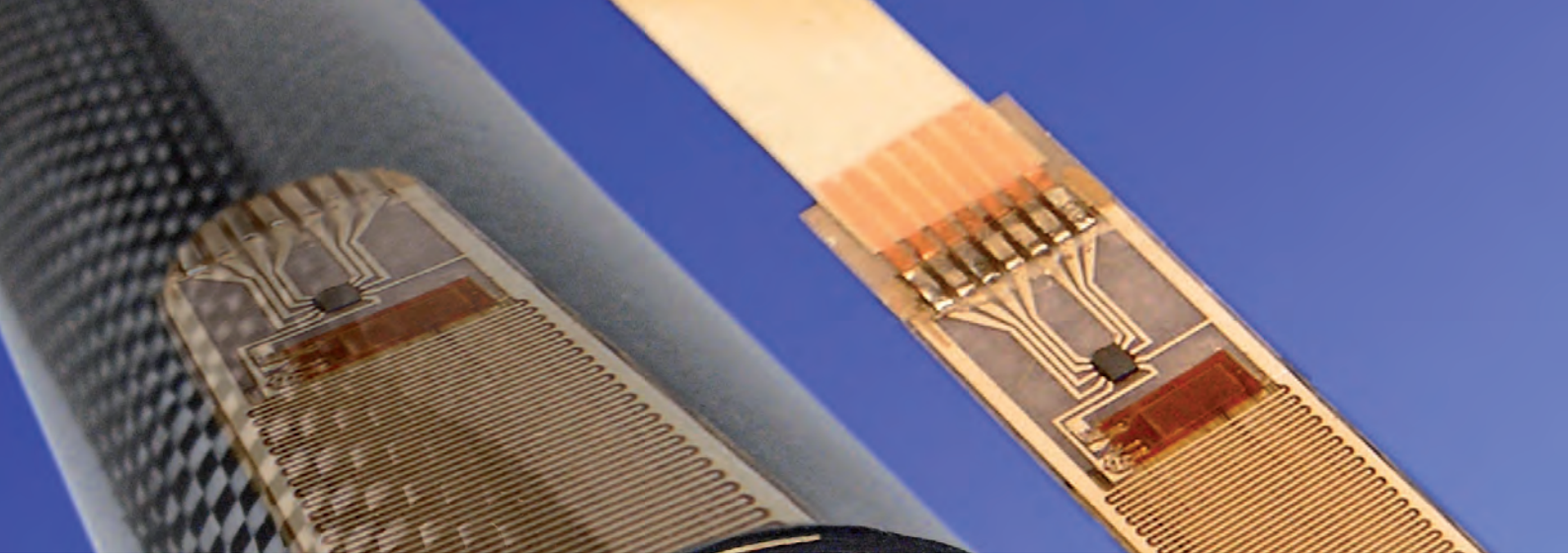
Viele Produkte, in enger Zusammenarbeit mit Industriepartnern entwickelt, haben sich auf dem Markt etabliert: Kratzfeste Beschichtungen für Lupen und Brillen aus Kunststoff, Zahnfüllmaterialien, Fissurenversiegler, Haftvermittler und Schutzlack sowie hochwertige Dekorschichten für Gebrauchsglas. Lichtempfindliche hybride Schichten werden in Dosimetern zum Nachweis der Lichtexposition von Kulturgütern eingesetzt. Und auch in der (opto-) elektronischen Aufbau- und Verbindungstechnik kommen Hybridmaterialien zum Einsatz: Aus ORMOCER®en hergestellte Lichtwellenleiter machen die wirtschaftliche Realisierung von hochkomplexen elektro-optischen Schaltungen möglich. Mikrolinsen aus ORMOCER® werden bereits in vielen elektronischen Kleingeräten eingesetzt.

TECHNISCHES SPEZIALGLAS

Technische und optische Spezialgläser mit angepasstem Eigenschaftsprofil werden in so unterschiedlichen Bereichen eingesetzt wie der Mikroskopie, der Messtechnik, der Elektronik, der Medizintechnik, der Automobilindustrie und der Baubranche. Die Entwicklung und Charakterisierung von Spezialgläsern und Glaskeramiken gehören zu den traditionellen Kernkompetenzen des Fraunhofer ISC.

Gezielt werden Eigenschaften wie die Homogenität, das Viskositätsverhalten, die Biegebruchfestigkeit oder die chemische Beständigkeit gemäß den jeweiligen Industrieanforderungen optimiert.

Dabei kommen modernste In-situ-Messmethoden zur Charakterisierung glasbildender Schmelzen sowie eine europaweit einzigartige automatisierte Glas-Screening-Anlage zum Einsatz. Um beispielsweise Glas als besonders temperatur- und chemikalienbeständiges Fügematerial einsetzen zu können, müssen der Schmelzpunkt, das Ausdehnungs- und das Benetzungsverhalten auf die zu fügenden Materialien abgestimmt werden.



INTELLIGENTE WERKSTOFFE

Adaptive Materialien und Werkstoffe, deren Eigenschaften sich elektrisch oder magnetisch schalten lassen, werden als »Intelligente Materialien« oder »Smart Materials« bezeichnet. Mit ihrer Hilfe sollen Systeme zukünftig einfacher hergestellt und gleichzeitig auch neue Funktionen integriert werden.

Seit vielen Jahren entwickelt und optimiert das Fraunhofer ISC magnetorheologische und elektrorheologische Flüssigkeiten (MRF und ERF) sowie magnetorheologische Elastomere (MRE). Schnell und reversibel verändern diese Materialien ihre Viskosität bzw. Elastizität durch das Anlegen eines elektrischen oder magnetischen Feldes und eignen sich damit zur adaptiven Schwingungs- oder Aufpralldämpfung oder für haptische Bedienelemente. Beispiel für eine Anwendung ist ein ausfallsicherer Stoßdämpfer auf MRF-Basis, der die Fahrwerksstabilität gewährleistet, auch wenn die Stromversorgung über das Bordnetz versagt.

Zusätzlich wird an Werkstoffen gearbeitet, mit denen elektrische Signale in mechanische Bewegung umgesetzt werden und/oder umgekehrt Bewegung in elektrische Signale. Dazu zählen Piezokeramiken, elektroaktive Polymere (EAP) und Carbon-Nanotube-Komposite (CNT). Sie eignen sich als aktorische und sensorische Komponenten, beispielsweise als Ultraschallwandler, zur Online-Strukturüberwachung oder für die Energiewandlung (micro energy harvesting). Je nach Anwendungsbereich und Anforderungsprofil werden die geeigneten Materialien ausgewählt und gegebenenfalls kombiniert.

VERBUNDWERKSTOFFE

Keramische Faserverbundwerkstoffe, kurz CMC (Ceramic Matrix Composites) genannt, sind leichte, besonders temperaturstabile und hochbelastbare Materialien. Die ursprünglich als Alternative zu metallischen Werkstoffen für die Luft- und Raumfahrtindustrie entwickelten Werkstoffe finden zunehmend ihren Weg in Alltagsanwendungen, beispielsweise als leichte und besonders verschleißarme CMC-Bremsscheiben.

Künftige Einsatzgebiete werden neben dem Automobil- und Maschinenbau vor allem die Antriebs-, Energie- und Kraftwerkstechnik sein. Hier können oxidische und nicht-oxidische keramische Verbundwerkstoffe zu einer deutlichen Steigerung des Wirkungsgrads führen und damit einen wichtigen Beitrag zur Energie- und Ressourceneinsparung leisten.

Am Fraunhofer ISC in Würzburg werden neuartige hochtemperaturstabile keramische Fasern in den Stoffsystemen Si-B-N-C und Si-C entwickelt. Dabei wird der gesamte Herstellungsprozess von der Synthese spinnfähiger Polymere bis zur Faserherstellung im Pilotmaßstab abgedeckt. Da die Leistungsfähigkeit von SiC-Fasern bei sehr hohen Temperaturen an ihre Grenzen stößt, wird neben kostengünstigen Herstellverfahren für SiC auch eine SiBNC-Hochtemperaturkeramik entwickelt, deren Einsatzbereich bei Temperaturen über 1300 °C liegt.

Mit der Auslegung, Herstellung und Prüfung von CMC-Werkstoffen beschäftigt sich die 2006 gegründete Fraunhofer-Projektgruppe Keramische Verbundstrukturen in Bayreuth. Die gesamte Wertschöpfungskette für CMC-Strukturentwicklungen soll bis 2011 etabliert sein, damit alle Prozesse von der Formgebung der Bauteile über die Hochtemperaturbehandlung bis hin zur Qualitätskontrolle abdeckt werden. Im Vordergrund steht zum einen die anwendungsspezifische Entwicklung hochtemperaturbeständiger Strukturbauteile aus oxidischen und nichtoxidischen Faserverbundkeramiken. Zum anderen werden auf Grundlage detaillierter Defektanalysen Simulationsmodelle erarbeitet, mit deren Hilfe zuverlässige Aussagen über die Lebensdauer von Faserverbundkeramiken unter Einsatzbedingungen gemacht werden können.

KERAMISCHE PROZESSTECHNIK

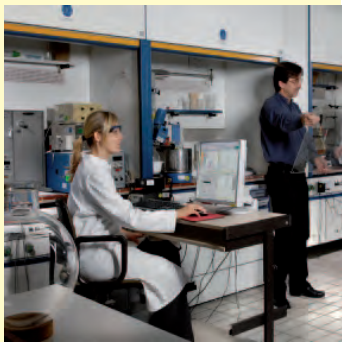
Um eine optimale Produktion von Hochleistungskeramiken in hoher Qualität mit gleichzeitig geringem Energieverbrauch zu realisieren, müssen die Verfahrensparameter dem jeweiligen Prozess angepasst werden. Mit dem Ziel einer inhärent sicheren und kostengünstigen Herstellung untersucht das Fraunhofer ISC dafür die zentralen Verfahrensschritte wie Formgebung, Entbinderung und Sinterung.

Ein homogenes Gefüge der noch ungebrannten Rohlinge, der sogenannten Grünkörper, ist ausschlaggebend für die Qualität und Zuverlässigkeit einer High-Tech-Keramik. Um die Homogenität der Grünteile zu ermitteln und langfristig zu verbessern, werden deshalb neueste Prüf- und Messverfahren eingesetzt – von der Erstellung hochaufgelöster REM-Aufnahmen über die Terahertzwellenstreuung bis hin zur Messung und anwendungsgerechten Modellierung des E-Moduls.

Zur berührungsfreien In-situ-Überwachung der anschließenden Entbinderungs- und Sinterprozesse werden die am Fraunhofer ISC entwickelten thermooptischen Messmethoden (TOM) eingesetzt. Damit lässt sich der Ablauf der Keramikherstellung für beliebige Temperaturzyklen und unter verschiedenen Atmosphärenbedingungen mit einer speziellen Kinetiksoftware präzise vorhersagen. Die Kombination von Modellierung und In-situ-Messung ermöglicht die Optimierung der Materialien sowie die Ausarbeitung angepasster Prozessparameter.

Hybridpolymere Schichtsysteme

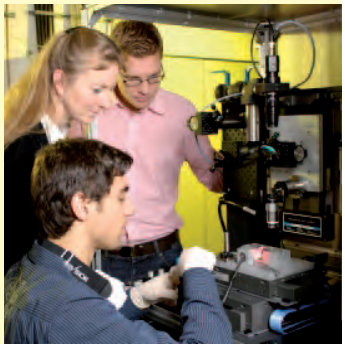
Multifunktionelle anorganisch-organische, hybride Schichtsysteme (ORMOCER®e), die über den Sol-Gel-Prozess hergestellt werden, sind vielseitig einsetzbar. Typische Anwendungen sind der mechanische Oberflächenschutz, der Korrosionsschutz, easy-to-clean-Schichten, Dekorationsschichten sowie Schichtsysteme mit Barrierefunktion. Schichten mit antistatischen Eigenschaften sind ebenso möglich wie elektro-, photo-, thermochrom schaltbare oder chemische Sensorschichten. Auf Basis der chemischen Nanotechnologie werden multifunktionelle Schichtwerkstoffe für unterschiedliche Substrattypen synthetisiert sowie werkstoffangepasste Verarbeitungs- und Härtungsverfahren entwickelt.



Kontakt:
Dr. Klaus Rose
Telefon +49 931 4100-626
klaus.rose@isc.fraunhofer.de

Hybridmaterialien für Mikrosysteme und Mikromedizin

Das Kompetenzfeld entwickelt Werkstoffe unter anderem für die optische und mikroelektronische Aufbau- und Verbindungstechnik sowie für dentale und mikromedizinische Anwendungen. Zu den Kernkompetenzen zählen die Synthese und die Charakterisierung von maßgeschneiderten Hybridpolymeren, das Up-Scaling bis in den Kilogramm-Maßstab sowie die Entwicklung und Adaption von produktionsgerechten Beschichtungs- und Strukturierungsverfahren, wie Spincoating oder 3D-Laserdirektschreiben.



Kontakt:
Dr. Ruth Houbertz-Krauß
Telefon +49 931 4100-520
ruth.houbertz@isc.fraunhofer.de

Materialien für elektrochemische Energiespeicherung und -wandlung

Forschungsschwerpunkte sind die Entwicklung und Charakterisierung von nanostrukturierten Materialien für wiederaufladbare Batterien, elektrochemische Doppelschichtkondensatoren und Brennstoffzellen. So wurden beispielsweise Hybridpolymere mit hoher Lithiumionenleitfähigkeit entwickelt, die sich insbesondere für den Einsatz als nicht-brennbare Feststoff-Elektrolyte oder als Elektrodenbinder eignen. Hybridpolymere mit hoher Protonenleitfähigkeit finden Anwendung in Nickel-Metallhydrid-Batterien und Brennstoffzellen.

Kontakt:
Dr. Kai-Christian Möller
Telefon +49 931 4100-519
kai-christian.moeller@isc.fraunhofer.de

Nanopartikel und Komposite

Kernkompetenzen sind Synthese, Funktionalisierung und Verarbeitung von Nanopartikeln. Eingesetzt werden die Materialien u. a. in Zahnfüllstoffen und in Glasionomerzementen, wie sie in der Dentalmedizin zur Anwendung kommen, sowie als biomodifizierte Partikel und Gewebe für analytische und therapeutische Zwecke. Spezielle Hohlfasermembranen und poröse Substrate auf ORMOCER®-Basis eignen sich für die Gastrennung und -filtration, dienen als Verstärkungsmaterial und finden bei der Schaumstoffherstellung oder in der Medizintechnik ihre Anwendungen. Durch Modifizierung der Partikeloberflächen werden einfaches Handling und gute Verarbeitungseigenschaften bis hin zur vollständigen Dispergierbarkeit der Nanopartikel erreicht.

Kontakt:
Dr. Carsten Gellermann
Telefon +49 931 4100-511
carsten.gellermann@isc.fraunhofer.de

Anorganische Materialien aus flüssigen Vorstufen

Innovative anorganische Materialien synthetisiert aus flüssigen Vorstufen können in Zukunft u. a. zu einer effizienteren Energienutzung beitragen und die regenerative Medizin revolutionieren. Ausgehend von der klassischen Sol-Gel-Chemie werden im Kompetenzfeld Vorstufen für nichtmetallische, anorganische Werkstoffe synthetisiert. Diese bilden die chemisch-synthetische Grundlage für anorganische Beschichtungslösungen, Faserspinnmassen sowie Pulver und Schlicker, die bei der Entwicklung von zukunftsweisenden multifunktionellen Werkstoffen z. B. für Antireflexbeschichtungen von Solarkollektoren oder bioresorbierbare Wundauflagen zum Einsatz kommen.

Kontakt:
Dipl.-Ing. Walther Glaubitt
Telefon +49 931 4100-406
walther.glaubitt@isc.fraunhofer.de

Glas

Entwicklung und Fertigung von Spezialgläsern und Glaskeramiken sind die Arbeitsgebiete des Kompetenzfelds Glas. Auf Kundenwunsch werden gezielt Eigenschaften wie Viskosität der Schmelze, Biegebruchfestigkeit, chemische Beständigkeit sowie thermische, elektrische und optische Eigenschaften optimiert. Zur Charakterisierung glasbildender Schmelzen werden modernste In-situ-Messmethoden sowie eine automatische Glas-Screening-Anlage eingesetzt. Bei Bedarf können Gläser und Halbzeuge in Mengen bis maximal 100 kg im Jahr hergestellt werden und die Eigenschaften der Gläser modelliert werden.

Kontakt:
PD Dr. Martin Kilo
Telefon +49 931 4100-234
martin.kilo@isc.fraunhofer.de

Hochtemperaturwerkstoffe und Verfahrenstechnik

Oxidische und nichtoxidische Keramikfasern bilden die Grundlage für die Stoffklasse der faserverstärkten Keramikkomposite (CMC – Ceramic Matrix Composites). Am Fraunhofer ISC werden neuartige spinnfähige Polymere für nichtoxidische Fasern in den Stoffsystemen Si-B-N-C, Si-N-C und Si-C sowie Sol-Gel-Vorstufen für oxidische Fasern beispielsweise für Hochtemperaturanwendungen entwickelt. Dabei wird der gesamte Herstellungsprozess bis in den Pilotmaßstab abgedeckt – von Anlagen zur Precursor- und Faserherstellung bis zur Faserbeschichtung. Die Auslegung verfahrenstechnischer Anlagen und Versuchsvorrichtungen wird geplant und bis in den Pilotmaßstab realisiert.

Kontakt:
Dipl.-Ing. Heiko Spaniol
Telefon +49 931 4100-413
heiko.spaniol@isc.fraunhofer.de

Sinterwerkstoffe

Das Kompetenzfeld entwickelt Materialien und Prozesse für alle konventionell über die Pulverroute hergestellten keramischen Werkstoffe. In Verbindung mit Computersimulationsverfahren ermöglicht dieses Vorgehen eine zuverlässige Vorhersage von Gefüge-Eigenschaftsbeziehungen in Abhängigkeit der Prozessparameter. Mit speziellen, berührungsfreien Messverfahren werden die thermophysikalischen Eigenschaften während der Sinterung oder dem vorgelagerten Binderausbrand ermittelt. Die thermooptische In-situ-Messung ermöglicht dabei die gleichzeitige Erfassung von Eigenschafts- und Gefügeveränderungen.

Kontakt:
PD Dr. Torsten Staab
Telefon +49 931 4100-443
torsten.staab@isc.fraunhofer.de

Umweltmonitoring und Kulturgüterschutz

Basierend auf einem umfassenden Erfahrungshintergrund in den Bereichen Glas- und Metallkorrosion befasst sich das Kompetenzfeld mit den Auswirkungen von Umwelteinflüssen auf gefährdete Kulturgüter, vor allem solche aus Glas, Metall oder Keramik. Umweltwirkungsmessungen mit speziell entwickelten Glassensoren und Lichtdosimetern ermöglichen den vorbeugenden Schutz von Kunst- und Kulturgütern in situ sowie in Vitrinen und Depots in Museen.

Das Dienstleistungsangebot umfasst die Umweltsimulation ebenso wie die Entwicklung neuer Konservierungsmaterialien und -methoden zum Schutz historischer Kultur- und Industriedenkmäler.

Kontakt:
Dr. Paul Bellendorf
Telefon +49 9342 9221-711
paul.bellendorf@isc.fraunhofer.de

Mess- und Prozesstechnik

Das Kompetenzfeld entwickelt und baut Sonderanlagen und Messgeräte zur Prozessüberwachung. Zu den Entwicklungen zählen Justieranlagen für Volumenmessgeräte, Dosiergeräte für fluide Medien, automatische Glas-Screening-Anlagen, Systeme zum Ver- und Abschmelzen von Glashalbzeugen sowie thermooptische Messsysteme zur berührungsfreien Kontrolle von Schmelz- und Sinterprozessen. Darüber hinaus wird die Kompetenz im Anlagenbau auch bei der Realisierung von Pilotfertigungsanlagen eingesetzt.

Kontakt:
Dr. Andreas Diegeler
Telefon +49 9342 9221-702
andreas.diegeler@isc.fraunhofer.de

Glashalbzeuge aus einer Schachtgussanlage

Analytisches Dienstleistungszentrum ADZ

Grundlage vieler Werkstoff- und Produktentwicklungen ist eine eingehende Materialanalyse. Das nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierte Analytische Dienstleistungszentrum des Fraunhofer ISC verfügt über eine hochmoderne instrumentelle und analytische Ausstattung. Das auch intern genutzte ADZ agiert extern als zentraler Ansprechpartner bei analytischen Fragestellungen für industrielle Produktentwicklungen und -optimierungen.

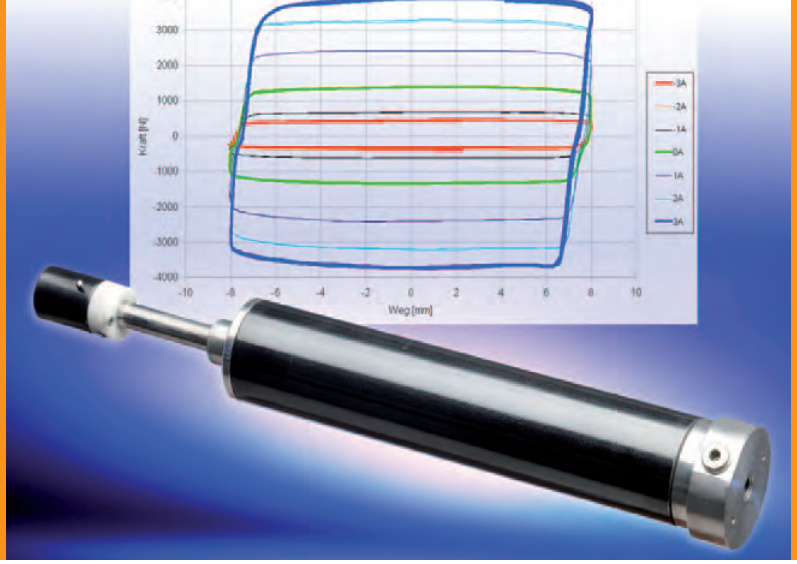
Die Schwerpunkte liegen in der chemischen Analytik für Nichtmetalle, der Nanoanalytik, der Schadensanalyse, der Charakterisierung von Gefüge- und Schichteigenschaften, in Produktprüfungen wie beispielsweise der RAL- bzw. EUCEB-Prüfung von Mineralwolle sowie in der Grenzflächen- und Oberflächenanalytik.

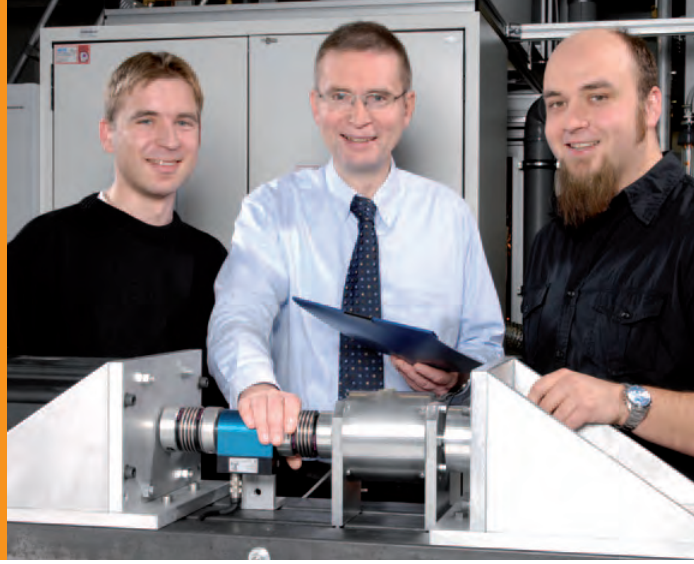
Neben chemischen Routineanalysen mit der Röntgenfluoreszenzmethode werden Resistenzprüfungen an verschiedenen Werkstoffen durchgeführt. So können mit einem Atomemissionsspektrometer mit Plasmaanregung (ICP-AES) oder der Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) selbst wenige Millionstel Gramm eines gelösten Materials analysiert werden.

Mit höchstauflösender Rasterelektronenmikroskope werden Mikrostruktureigenschaften, wie die Oberflächentopographie und die Oberflächeneigenschaften der Proben, analysiert. Zur artefaktfreien Präparation nutzt das ADZ einen hochmodernen Ionenstrahl-Cross-Section-Polisher, so dass sich auch poröse Proben analysieren lassen. Das Transmissionselektronenmikroskop (TEM) dient zur Analyse des Materialgefüges bis in den Nanometerbereich. Dazu werden dem zu untersuchenden Material über fokussierte Ionenstrahlen (FIB) hauchdünne Proben entnommen. Mit der Röntgen-Photoelektronenspektroskopie (XPS) wird die Oberflächenchemie und mit der Rasterkraftmikroskopie ebenfalls die Oberflächentopographie von Feststoffen detektiert.

Kontakt:
Analytisches Dienstleistungszentrum
Rudi Flegler
Neunerplatz 2, 97082 Würzburg
Telefon +49 931 4100-245
rudi.flegler@isc.fraunhofer.de
www.analytik-dienstleistungen.de

Deutscher Akkreditierungs Rat
DAR
DAC-P-0032-97-10





Center Smart Materials CeSMa

»Intelligente« oder adaptive Materialien und Werkstoffe, deren Eigenschaften sich elektrisch oder magnetisch schalten lassen, werden unter dem Begriff »Smart Materials« zusammengefasst. Das 2009 am Fraunhofer ISC neugegründete CeSMa hat die Aufgabe, die Einsatzpotenziale von unterschiedlichen Smart Materials für die Industrie systematisch zu erschließen, um neue Produkte generieren zu können.

Komplizierte technische Systeme können mit Smart Materials vereinfacht und ganz neue Funktionen und Eigenschaften damit integriert werden. Einfachere Bauformen oder eine kombinierte Bauteil- und Systemüberwachung sollen möglich werden, wie auch präzise Positionierungssysteme, semi-aktive und aktive Dämpfer, adaptive Kupplungen, eine autarke Energieversorgung von mikroelektronischen Bauteilen oder intelligente Bedienelemente mit haptisch integrierten Funktionen.

Schwerpunkte der im Rahmen von CeSMa vom Freistaat Bayern geförderten Arbeiten sind die praxisgerechte Materialentwicklung, die Auslegung der Materialeigenschaften auf definierte Anwendungen sowie die Untersuchung und Verbesserung der Materialien hinsichtlich Einsatzbedingungen und Lebensdauer sowie die Herstellung von Demonstratoren und Funktionsmustern für die Industrie.

In den geplanten Entwicklungsprojekten am CeSMa werden die Fraunhofer-Forscher mit Arbeitsgruppen aus Universitäten, Fachhochschulen und der Industrie interdisziplinär kooperieren. Partner sind zudem auch die bayerischen Cluster »Neue Werkstoffe« und »Mechatronik und Automation«. So kann CeSMa für industrielle Anwender in Bayern ein breites, wissenschaftlich-technisch fundiertes Material- und Technologieangebot bereitstellen.

Kontakt:
CeSMa – Center Smart Materials
Dieter Sporn
Neunerplatz 2, 97082 Würzburg
Telefon +49 931 4100-401
dieter.sporn@isc.fraunhofer.de
www.cesma.de

Center Smart Materials
CeSMa
Partner der Wirtschaft

Internationales Zentrum für Kulturgüterschutz und Konservierungsforschung IZKK

Das Fraunhofer ISC entwickelt und adaptiert Restaurierungsmethoden und Konservierungsmaterialien auf dem Gebiet des Kulturgüterschutzes seit Jahren sehr erfolgreich. Ein ergänzendes Arbeitsgebiet ist das Umweltmonitoring. Hier werden Verfahren und Produkte entwickelt, um beispielsweise industrielle Einflüsse auf die Umwelt messen und bewerten zu können.

Vor diesem Hintergrund wurde in Bronnbach in enger Zusammenarbeit mit dem Landkreis Main-Tauber im Jahr 2008 das Internationale Zentrum für Kulturgüterschutz und Konservierungsforschung IZKK etabliert.

Unter dem Motto »Austauschen, Forschen, Konzentrieren« versteht sich das IZKK als bildende Einrichtung. Beheimatet im Kloster Bronnbach und damit selbst in einem lebenden Denkmal, möchte das Kompetenzzentrum über das kulturelle Erbe und vor allem die Möglichkeiten seiner Erhaltung berichten, es sichern und weitergeben. In den modernen Tagungsräumen der historischen Klosteranlage aus dem 12. Jahrhundert kann das IZKK ein breites Spektrum an Seminaren, Fortbildungen und Tagungen einem internationalen Fachpublikum anbieten.

Angesprochen sind Restauratoren, Architekten, Meister, Stuckateure, Künstler, Kuratoren und andere, die sich mit dem Schutz von Kulturgütern befassen. Im Bereich der Wissenschaft wird ein intensiver Dialog und Austausch mit Universitäten, Hochschulen, Forschungsinstituten, Museen und Ämtern der Denkmalpflege vorangetrieben.

Kontakt:
Internationales Zentrum für Kulturgüterschutz und Konservierungsforschung IZKK
Sabrina Rota
Bronnbach 28, 97877 Wertheim
Telefon +49 9342 9221-7 10
sabrina.rota@izkk.de
www.izkk.de

izkk
Internationales Zentrum für Kulturgüterschutz und Konservierungsforschung

Historisches Kirchenfenster

Der Studiengang Technologie der Funktionswerkstoffe

Neben der Nanotechnologie, der Bio- und Gentechnik sowie der Informationstechnik gehört die gezielte Synthese neuer funktioneller Materialien zu den prägenden Schlüsseltechnologien des neuen Jahrhunderts. Funktionswerkstoffe zeichnen sich durch besondere strukturelle und vor allem funktionelle Eigenschaften aus, d.h. die Materialien übernehmen eine oder mehrere zusätzliche Funktionen. Immer häufiger müssen dabei die Eigenschaftsprofile von mit unterschiedlichen Technologien hergestellten Werkstoffen an die Anforderungen und Funktionen spezifischer Systeme angepasst werden. Während früher die Herstellung eines bestimmten Materials mit meist strukturellen Besonderheiten im Vordergrund stand, geht es jetzt darum, Werkstoffe für genau definierte Einsatzgebiete mit bestimmten Funktionalitäten oder einer Kombination aus mehreren Funktionen maßzuschneidern.

Damit die deutsche Wirtschaft für die Zukunft gut gerüstet ist, werden neben Spezialisten auch Generalisten mit einem breiten Wissen in Chemie, Physik, Verfahrenstechnik, Elektrotechnik, Biotechnik und Medizin benötigt. Der Entwicklung neuer Materialien, die die Grundlage für die Weiterentwicklung in wichtigen Technologiebereichen und zunehmend die Voraussetzung für die Realisierung neuer Produkte darstellt, steht daher auch die Neuausrichtung von interdisziplinären und transfakultativen Studiengängen gegenüber. Der Bedarf an solchen breit ausgebildeten Absolventen wird von der regionalen und überregionalen Wirtschaft bestätigt.

Seit dem Wintersemester 2006/07 bietet die Universität Würzburg den bundesweit einmaligen Studiengang »Technologie der Funktionsmaterialien« an. Das Fraunhofer ISC hat maßgeblich die Einrichtung des Studiengangs – initiiert vom früheren Institutsleiter Prof. Dr. Gerd Müller – vorangetrieben. Unter dem Nachfolger als Institutsleiter und Inhaber des Lehrstuhls für Chemische Technologie der Materialsynthese (CTMS) Prof. Dr. Gerhard Sextl wurde die »Technologie der Funktionswerkstoffe« mit Leben gefüllt – Studienpläne wurden gestaltet und Lehrveranstaltungen erarbeitet. Die Leitung des Studiengangs liegt in der Fakultät für Chemie und Pharmazie, Studiendekan für das Fach ist Prof. Dr. Dirk G. Kurth am Lehrstuhl CTMS.

Der ingenieurwissenschaftliche Studiengang »Technologie der Funktionswerkstoffe« ist bewusst interdisziplinär angelegt und wird getragen von den Fakultäten Chemie und Pharmazie, Physik und Astronomie und Medizin. Darüber hinaus sind die Fakultät für Mathematik und Informatik ebenso beteiligt wie die Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt mit den Bereichen Elektrotechnik und Maschinenbau, die für die Ausbildung der Studenten in den ingenieurwissenschaftlichen Fächern verantwortlich ist. Wahlpflichtfächer werden in den Fakultäten für Wirtschafts-, Sozial- und Rechtswissenschaften angeboten.

Im Sinne einer praxisnahen und immer aktuellen Ausbildung tragen zusätzlich das Fraunhofer ISC, das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung ZAE und das Süddeutsche Kunststoffzentrum SKZ als außeruniversitäre Forschungseinrichtungen in Würzburg in erheblichem Maße zur Ausbildung der Studierenden bei.

Im Mittelpunkt von Vorlesungen und Praktika stehen die Entwicklung und die Herstellung von Funktionsmaterialien mit bestimmten Eigenschaftsprofilen. Neben Festkörpern werden auch weiche Materialien, wie beispielsweise Flüssigkristalle und polymere Verbundwerkstoffe, im Studiengang behandelt. Ausbildungsziel ist, die methodischen Grundlagen des wissenschaftlichen Arbeitens zu vermitteln – mit Fokus auf die Technologie der Funktionswerkstoffe. Die Absolventen und Absolventinnen sollen befähigt werden, Probleme und Herausforderungen auf den Gebieten Forschung, Entwicklung, Produktion, Anwendung und Vermarktung selbstständig, eigenverantwortlich und selbstkritisch zu lösen.

Für den Bachelor-Studiengang »Technologie der Funktionswerkstoffe« gelten die allgemeinen Regeln des Bologna-Abkommens. Der Studiengang ist modular aufgebaut, wobei jedes Modul dem Arbeitsaufwand entsprechend ECTS-Punkte erhält. Damit ist eine Anerkennung der Studieninhalte und Leistungsnachweise innerhalb Europas gewährleistet.

Die Module unterteilen sich in drei Gruppen:

Der **Pflichtbereich** deckt die Grundausbildung der Studierenden ab. Hier werden Lehrveranstaltungen aus folgenden Fakultäten angeboten: Chemie und Pharmazie, Physik und Astronomie, Mathematik und Informatik und Medizin. Die Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt bildet in den ingenieurwissenschaftliche Fächern aus. In dem Bereich sind auch fachspezifische Schlüsselqualifikationen im Bereich der Materialwissenschaften angesiedelt.

Der **Wahlpflichtbereich** beinhaltet Module aus Naturwissenschaft, Technik, Informatik und Medizin. Die **Allgemeinen Schlüsselqualifikationen** sind Wahlfächer insbesondere aus den Wirtschafts-, Sozial- und Rechtswissenschaften. Darüber hinaus können die Studierenden das Angebot des Sprachzentrums und der Virtuellen Hochschule Bayern in Anspruch nehmen.

Neben den Vorlesungen gehören Seminare und Praktika zum Studienplan, in denen die Vorlesungsinhalte praktisch aufgearbeitet werden. Im Rahmen der Praktika haben die Studierenden die Möglichkeit, selbst Funktionswerkstoffe herzustellen sowie deren Struktur und Eigenschaften zu bestimmen. Das letzte Studiensemester dient der Anfertigung der Bachelor-Arbeit. Die Ergebnisse werden im Rahmen eines Abschlusskolloquiums präsentiert und bewertet.

Aufgrund der interdisziplinären Ausrichtung des Studiengangs und des vielfältigen Angebotes an natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fächern kann das Studium der Technologie der Funktionswerkstoffe von Absolventen/innen mit verschiedenen Interessen und Begabungen aufgenommen werden. Derzeit sind insgesamt etwa 100 Studenten für diesen Studiengang eingeschrieben. Zum Wintersemester 2009 haben die ersten Absolventen und Absolventinnen ihren Masterstudiengang begonnen, danach steht ihnen der Weg zur Promotion offen.

Kontakt:
Fraunhofer-Institut für Silicatforschung
Neunerplatz 2, 97082 Würzburg
Institutsleitung
Prof. Dr. Gerhard Sextl
Telefon +49 931 4100-100
gerhard.sextl@isc.fraunhofer.de

Berufsausbildung im Fraunhofer ISC

Auch abseits akademischer Laufbahnen kümmert sich das Fraunhofer ISC um die Berufsausbildung junger Menschen. In den letzten Jahren wurde das Ausbildungsangebot kontinuierlich ausgeweitet. Dabei kamen neue Ausbildungsberufe in sehr unterschiedlichen Bereichen hinzu, einerseits orientiert am internen Bedarf, andererseits aber auch an den aktuellen Entwicklungen des Arbeitsmarktes.

So konnte die Zahl der Auszubildenden in den letzten Jahren ständig erhöht werden. Allein im Jahr 2009 haben fünf Auszubildende ihre Ausbildung erfolgreich beendet. Sie alle haben nach ihrer Ausbildung einen Übergangsvertrag im Fraunhofer ISC erhalten, drei von ihnen konnten als Mitarbeiter auch längerfristig gewonnen werden. Auch in diesem Jahr wurden wieder neue Ausbildungsverträge abgeschlossen. Aktuell bildet das Fraunhofer ISC neun junge Mitarbeiter in sieben verschiedenen Berufen aus.

Ausbildungsberufe im Fraunhofer ISC

Bürokauffrau/mann

Bürokaufleute erledigen alle kaufmännisch-verwaltenden und organisatorischen Tätigkeiten innerhalb eines Betriebes und sorgen dafür, dass die betrieblichen Informations- und Kommunikationsabläufe reibungslos funktionieren. Beschäftigt sind Bürokaufleute in unserem Institut vor allem im Verwaltungsbereich (Controlling, Einkauf, Personalwesen etc.) sowie in den Zentralen Diensten.

Kauffrau/Kaufmann für Bürokommunikation

Kaufleute für Bürokommunikation arbeiten mit modernen Textverarbeitungssystemen. Inhalte der Ausbildung sind z.B. Assistenz- und Sekretariatsaufgaben, Umgang mit Textverarbeitung und Tabellenkalkulation, Erlernen von Schreibtechniken, Textformulierung und -gestaltung, Erstellen von Web-Katalogen, Internetrecherche, Erlernen bürowirtschaftlicher Abläufe, Terminüberwachung und Postbearbeitung. Diese Auszubildenden sind sowohl in der Verwaltung als auch in den Zentralen Diensten, in den Sekretariaten und im Empfang beschäftigt.

Mechatroniker/in

Die betrieblichen Ausbildungsschwerpunkte sind z. B. projektorientierte Ausbildung, Qualitätsmanagement, Grundlagen der Metallbearbeitung, einschließlich manuelles und maschinelles Spannen, Trennen, Umformen und Fügen, Grundlagen der Elektrotechnik, einschließlich Installation elektrischer Leitungen und Baugruppen, Messen und Prüfen elektrischer Größen, Installieren und Testen von Hard- und Softwarekomponenten, Aufbauen und Prüfen von elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Steuerungen, Programmieren (SPS) sowie Prüfen und Einstellen von Funktionen an mechatronischen Systemen, deren Inbetriebnahme, Instandhaltung und Bedienung sowie Anwendung verschiedener Montage- und Demontagetechnologien. Diese Ausbildung findet in unserer Außenstelle Bronnbach statt.

Physiklaborant/in

Physiklaboranten/-innen führen physikalische Messungen und Versuchsreihen durch. Sie sind für den Aufbau von Versuchsanlagen und für die Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation dieser Messungen und Versuche zuständig. Ihre Aufgaben führen sie vor allem im Labor und teilweise auch in Werkstätten aus. Im Fraunhofer ISC sind sie im Bereich Mess- und Prozesstechnik tätig. Auch ihre Ausbildung erfolgt somit in der Außenstelle Bronnbach. Beschäftigungsmöglichkeiten finden Physiklaboranten z. B. in Hochschulen, Akademien und Krankenhäusern sowie im Maschinen- und Anlagenbau, in der Chemie- und Keramikindustrie.

Feinwerkmechaniker/in

Feinwerkmechaniker/-innen stellen Maschinen, Geräte, Systeme und Anlagen, Produkte der Stanz-, Schnitt- und Umformtechnik sowie der Vorrichtungs- und Formenbautechnik her, warten sie oder setzen sie instand. Feinwerkmechaniker/innen arbeiten vor allem im Maschinen- und Werkzeugbau sowie bei Herstellern feinmechanischer und elektrischer Messinstrumente. Sie fertigen Einzelkomponenten an und fügen sie zu größeren Einheiten zusammen. Prüfungen an Werkstücken führen sie im Messlabor durch, wobei sie ggf. Messprotokolle an einem separaten Computerarbeitsplatz auswerten. Manchmal sind sie auch direkt beim Kunden tätig und montieren dort z. B. Maschinen und Anlagen aus den vorgefertigten Bauteilen. Bisweilen führen sie ihre Montageeinsätze auch ins Ausland.

Chemielaborant/in

Chemielaboranten/-innen sind dem Berufsfeld Chemie, Physik und Biologie, Schwerpunkt Laboratoriumstechnik, zugeordnet. Sie bereiten chemische Versuche bzw. Untersuchungen vor und führen sie durch. Die Versuchsergebnisse protokollieren sie und werten sie aus. Darüber hinaus stellen sie chemische Substanzen her. Durch Wahlqualifikationseinheiten verfügt dieser Beruf über eine flexible Ausbildungsstruktur.

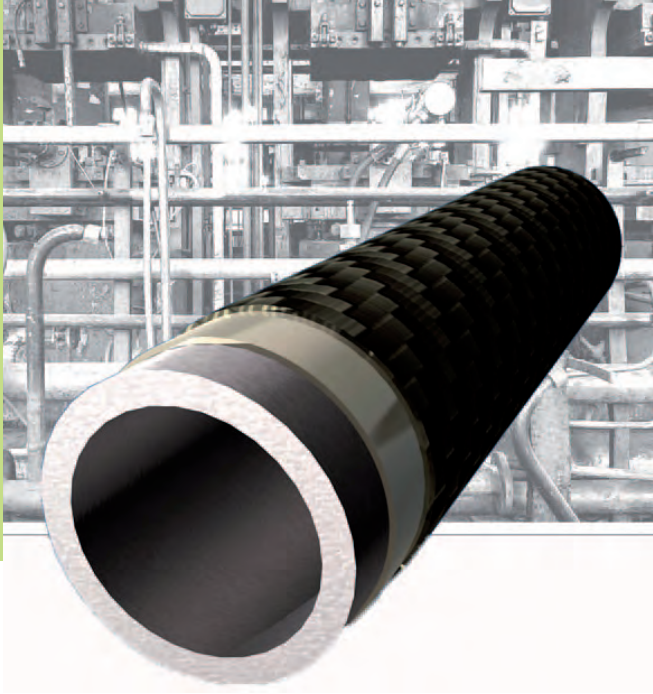
Fachinformatiker/in

Fachinformatiker/innen der Fachrichtung Systemintegration realisieren kundenspezifische Informations- und Kommunikationslösungen. Hierfür vernetzen sie Hard- und Softwarekomponenten zu komplexen Systemen. Daneben beraten und schulen sie Benutzer.
Fachinformatiker/innen der Fachrichtung Systemintegration arbeiten im Fraunhofer ISC in der EDV-Abteilung. In der EDV-Beratung sowie in Fachabteilungen, die mit der Erstellung und Pflege von Systemen und Netzen beschäftigt sind, können sie ebenfalls tätig sein.

Die Berufsausbildung im Fraunhofer ISC wird von mehreren Ausbildern durchgeführt und von weiteren erfahrenen Mitarbeitern unterstützt. In Kooperation mit der Zentralverwaltung der Fraunhofer-Gesellschaft durchlaufen alle Auszubildenden ein speziell auf sie zugeschnittenes Seminar zu den jeweiligen Kernkompetenzen ihres Berufes sowie weitere fachbezogene interne und externe Weiterbildungen. So wird Auszubildenden und Berufsanfängern im interessanten Umfeld eines Forschungsinstituts umfassendes berufliches Know-how vermittelt, verbunden mit höchsten Qualitätsansprüchen.

Kontakt:
Fraunhofer-Institut für Silicatforschung
Neunerplatz 2, 97082 Würzburg
Personalabteilung
Anette Rebohle-Mandel
Telefon +49 931 4100-103
anette.rebohle-mandel@isc.fraunhofer.de

PROJEKTGRUPPE
KERAMISCHE VERBUNDSTRUKTUREN



Konzept eines heißgasbeaufschlagten Compoundrohres: Stahlrohr mit Zwischenschicht und Keramik-Mantel.

Projektgruppe Keramische Verbundstrukturen

Die 2006 in Bayreuth gegründete Projektgruppe Keramische Verbundstrukturen hat sich inzwischen als weiteres Geschäftsfeld des Fraunhofer-Instituts für Silicatforschung ISC etabliert. Sie wird durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie und mit Mitteln der europäischen Regionalförderung (EFRE) gefördert. Insgesamt 7,5 Mio. Euro werden so bis Ende 2011 in den Aufbau fließen. Die Projektgruppe arbeitet in enger Kooperation mit dem Lehrstuhl Keramische Werkstoffe der Universität Bayreuth, deren Forschungsschwerpunkte sich ideal ergänzen.

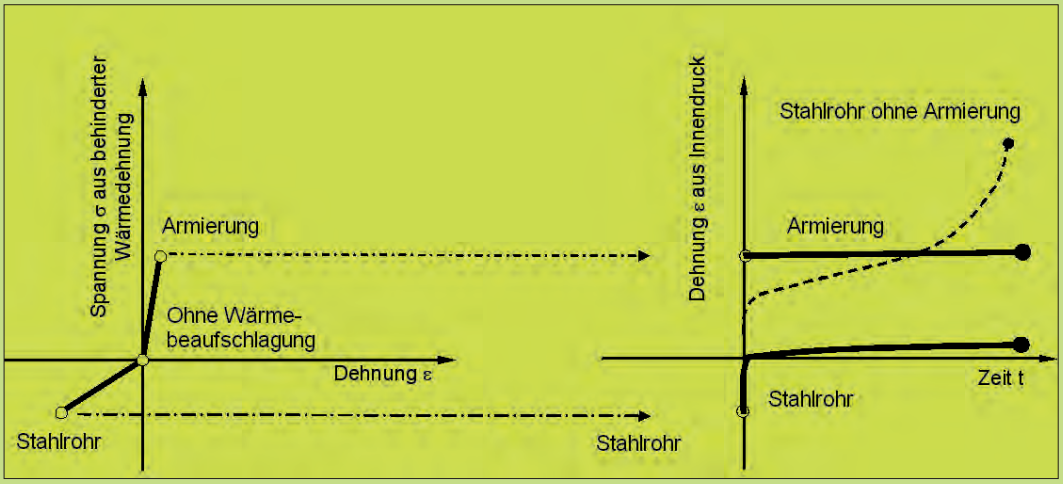
Die Projektgruppe hat das Ziel, eine geschlossene Prozesskette zur Herstellung von oxidischen und nicht-oxidischen Faserverbundkeramiken (sogenannte OFC-, C/SiC-, SiC/SiC-Werkstoffe) aufzubauen und exemplarisch Bauteile im industrienahen Maßstab zu entwickeln. Diese FuE-Arbeiten erfolgen bilateral mit Industriepartnern oder innerhalb von Verbundprojekten mit Partnern aus Hochschulen und Wirtschaft. Damit versteht sich die Projektgruppe als Keimzelle einer zukünftigen eigenständigen Fraunhofer-Einrichtung in Bayreuth.

Keramische Verbundwerkstoffe (Ceramic Matrix Composites – CMC) zeichnen sich gegenüber monolithischen Keramiken durch eine deutlich verbesserte Schadenstoleranz sowie hervorragende massenspezifische Eigenschaften wie Festigkeit, Dichte oder E-Modul aus und bieten mit ihren maßgeschneiderten Eigenschaften das Potenzial für ein breites Spektrum von Anwendungen. Während derzeit faserverstärkte Keramiken vor allem in ultraleichten, verschleißfesten Reibbelägen und Bremsscheiben eingesetzt werden, arbeitet die Projektgruppe intensiv daran, Bauteile aus keramischen Verbundwerkstoffen auch für den Einsatz im Heißgasbereich von Gasturbinen und in der Kraftwerkstechnik zu entwickeln. Hierzu wurde am 1. Juni 2009 zusammen mit Partnern aus Industrie und Forschung das BMBF-Projekt »Compoundrohre« begonnen (siehe Infokasten).

Compoundrohre - Ressourceneffiziente faserummantelte Stahlrohre für Höchsttemperaturanwendungen

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF innerhalb des Rahmenprogramms »Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft - WING« zum Thema »Höchstleistungswerkstoffe für mehr Energieeffizienz«
Förderkennzeichen: 03X3529D
Projektlaufzeit: Juni 2009 bis Mai 2012

Projektpartner:
Schunk Kohlenstofftechnik GmbH, Heuchelheim
Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart
Lehrstuhl Keramische Werkstoffe Universität Bayreuth
Fraunhofer-Projektgruppe Keramische Verbundstrukturen, Bayreuth



Funktionsprinzip des Metall-Keramik-Hybridrohres: Die Ausdehnung des Stahlrohres wird durch die Keramikarmierung reduziert. Es entstehen Zugspannungen im Keramikmantel und Druckspannungen im Stahlrohr (links). Die Faserkeramik ist wesentlich kriechbeständiger als der Stahl und verhindert ein Kriechversagen des Stahls (rechts).

Effizienz- und Lebensdauersteigerung von Kraftwerken

Lebensdauer- und Effizienzerhöhung von Kraftwerken sind wichtige Ziele, um zukünftig knapperen Ressourcen zu begegnen. Moderne Kraftwerke sind oft als Kombikraftwerke (Gas-und-Dampf-Kombikraftwerke, GuD) ausgelegt und erzeugen Strom durch Verbrennung von gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen in Gasturbinen. Die heißen Abgase aus dem Primärkreis der Stromerzeugung werden in einem zweiten System genutzt, um Frischdampf zu erzeugen, der eine Dampfturbine antreibt. In dieser Kombination haben GuD-Kraftwerke heute schon einen hohen Gesamtwirkungsgrad von bis zu 60%. Weitere Steigerungen sind nur durch thermisch höher belastbare Werkstoffe und sogenannte Hybrid-Bauweisen möglich. Die Anhebung des Wirkungsgrades um nur ein Prozent würde beispielsweise bei einer 500 MW-Anlage bei Vollbetrieb in Grundlast eine zusätzliche Stromversorgung von ca. 10.000 Haushalten ermöglichen. So lassen sich nicht nur vorhandene Kapazitäten effizienter nutzen, sondern auch Schadstoffemissionen reduzieren .

Effizienzsteigerung durch höhere Arbeitstemperaturen

Eine effektive Steigerung des Wirkungsgrades kann über zwei Wege erfolgen:

Anhebung der Verbrennungstemperatur

Die aktuelle Verbrennungstemperatur von ca. 1500 °C in Kraftwerken liegt unter der stöchiometrischen Verbrennungstemperatur von Erdgas (2000 °C). Dieser »Verlust« ist bedingt durch die begrenzte Temperaturfestigkeit der Werkstoffe. Keramische Werkstoffe würden zwar prinzipiell höhere Turbineneintrittstemperaturen ermöglichen, die hierfür notwendigen schadenstoleranten Verbundkeramiken sind jedoch derzeit noch nicht Stand der Technik. Das Team der Projektgruppe entwickelt neue Verfahrenstechniken, um für diese Hochleistungsbauteile in Gasturbinen neue Werkstoffe anbieten zu können.

Höhere Abgastemperaturen

Heißere Abgase führen zunächst zu einer Minderung des Wirkungsgrades der Gasturbine. Allerdings steigt damit der Wirkungsgrad der nachgeschalteten Dampfturbine deutlich und macht somit den kombinierten GuD-Prozess im Ganzen effizienter. Auch in diesem Fall limitieren die heute üblichen Stahl-Werkstoffe die maximalen Temperaturen derzeit auf etwa 680 °C. Grundproblem beim Einsatz von Stahl bei hohen Temperaturen ist das tertiäre Kriechen, d. h. die Bauteile verformen sich bei einer dauerhaften (> 100 000 h) mechanischen Belastung plastisch und versagen schließlich.

Lösungsansatz Metall/Keramik-Hybride

Verbundwerkstoffe kombinieren die unterschiedlichen Eigenschaften der Materialien, aus denen sie bestehen, so dass sich neue, verbesserte Werkstoffcharakteristika ergeben. Angewendet auf das Problem der begrenzten Temperaturbeständigkeit der Stahlrohre entstand daraus das Konzept, das dampfführende Metallrohr mit einer lasttragenden keramischen Ummantelung zu versehen. Damit kann eine Funktionstrennung der einzelnen Komponenten erzielt werden: Der Stahl übernimmt die Gas-Dichtheit sowie die mechanischen Lasten unter normalen Bedingungen. Im Überlastfall bietet die Duktilität des Stahls darüber hinaus noch eine gewisse Restfestigkeit. Der Keramikmantel hingegen verhindert das Hochtemperatur-Kriechen, er muss daher zusätzliche Zugkräfte aufnehmen können und absolut kriechbeständig sein.

Die Bauweise als Metall/Keramik-Hybrid stellt dabei besondere Anforderungen an die Werkstoffe: Die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten (Verbundkeramik: -1 bis $7x10^{-6}$/K, Stahl: $13x10^{-6}$/K) machen einen temperaturabhängigen Spalt zwischen Metallrohr und Keramikmantel bzw. eine temperaturabhängige Vorspannung in den Werkstoffen notwendig. Eine große technologische Herausforderung besteht folglich darin, eine Zwischenschicht für diesen Spalt zu entwickeln, die solche bei An- und Abfahrvorgängen auftretenden Spannungen und Dehnungen kompensieren kann. Darüber hinaus muss der Keramikmantel Zugbelastungen mit akzeptabler Schadenstoleranz ertragen, weshalb klassische, monolithische Keramiken nicht eingesetzt werden können. Hier sorgen die Fasern der Verbundkeramiken für eine Quasi-Duktilität im Werkstoff. Rissumlenkungen und -verzweigungen liefern eine ausreichende Energieabsorption im Versagensfall.

Derzeit sind für die Herstellung faserverstärkter Keramiken Prozesstemperaturen von mindestens 1000 °C notwendig. Derartig hohe Temperaturen würden jedoch das innen liegende Stahlrohr schädigen. Eine weitere Herausforderung besteht also darin, ein Herstellverfahren zu entwickeln, das mit Temperaturen von etwa 700 °C auskommt. Sogenannte Silizium-Precursoren oder Geopolymere bieten hier Perspektiven für neue Matrizes.

Kontakt:
Fraunhofer-Projektgruppe Keramische Verbundstrukturen
Prof. Dr.-Ing. Walter Krenkel
Gottlieb-Keim-Straße 60, 95448 Bayreuth
Telefon +49 921 786 931-21
info.bayreuth@isc.fraunhofer.de
www.isc.fraunhofer.de/bayreuth

VERANSTALTUNGSHINWEIS

7TH CONFERENCE ON HIGH TEMPERATURE CERAMIC MATRIX COMPOSITES

20. – 22. September 2010 in Bayreuth

Veranstalter:

Universität Bayreuth, Lehrstuhl Keramische Werkstoffe, und
Fraunhofer Projektgruppe Keramische Verbundstrukturen, Bayreuth
in Zusammenarbeit mit Bayern Innovativ, Nürnberg

Diese internationale Konferenz über Hochtemperatur-Verbundkeramiken setzt die seit 1993 in dreijährigem Turnus stattfindende Tagungsreihe in Bayreuth fort.

In Plenar- und Fachvorträgen wird über den Stand der internationalen Forschung auf dem Gebiet der keramischen Verbundwerkstoffe (CMC), der Carbon/Carbon-Werkstoffe, MAX-Phasen, Ultra-High Temperature Ceramics (UHTC), Polymer Derived Ceramics (PDC) sowie der Thermal- und Korrosionsschutzschichen (TBC, EBC) informiert.

Bisherige Veranstaltungsorte:

1993 – Bordeaux (F)
1995 – Santa Barbara (USA)
1998 – Osaka (JP)
2001 – München (D)
2004 – Seattle (USA)
2007 – New Delhi (IND)

WEITERE INFORMATIONEN UND ANMELDUNG
WWW.HT-CMC7.ORG

OBERFLÄCHEN UND SCHICHTEN

Das Leistungsangebot des Geschäftsfelds Oberflächen und Schichten umfasst Material- und Technologieentwicklungen auf dem Gebiet nasschemischer Beschichtungsverfahren zur Wertsteigerung und Konservierung einer Vielzahl von polymeren, glasartigen, keramischen sowie metallischen Werkstoffen. Dafür steht im Institut ein breites Spektrum an Kompetenzen zur Verfügung. Funktionelle und aktive Schichten verändern die Oberflächeneigenschaften von Bauteilen und Produkten und erweitern so deren Einsatzmöglichkeiten und Funktionsumfang. Farbgebung, Anfälligkeit gegenüber Verschleiß und Korrosion, optisch-funktionelle und elektrische Eigenschaften können ebenso beeinflusst werden wie die Anhaftung von Schmutzpartikeln, die Benetzbarkeit durch Öl oder Wasser oder die Bioverträglichkeit. Die Permeabilität von Schichtsystemen kann selektiv eingestellt werden, so dass sie gegenüber bestimmten Stoffen Barriere-Eigenschaften haben, für andere dagegen durchlässig sind. Je nach Kundenanforderung können die Schichteigenschaften in weiten Bereichen kombiniert und variiert werden.

Als Technologiebasis dient der Sol-Gel-Prozess. Mit diesem etablierten Verfahren lassen sich anorganische und hybride Werkstoffe synthetisieren – ausgehend von molekulardispersen Vorstufen über nanoskalige Cluster und Partikel hin zu dünnen Schichten mit einer Stärke von bis zu einigen Mikrometern. Der Vorteil dieser Methode ist, dass sie zahllose Möglichkeiten eröffnet, um Werkstoffe zu funktionalisieren und die Eigenschaften von Oberflächen und Schichten maßzuschneidern.

Ein Schwerpunkt der Geschäftsfeldaktivitäten ist die Entwicklung, Produktionsanpassung und Charakterisierung von neuartigen Nanokompositen mit multifunktionellem Eigenschaftsprofil unter Einsatz von Verfahren der chemischen Nanotechnologie.

In enger Zusammenarbeit mit Industriepartnern wurden beispielsweise realisiert:

- Hartbeschichtungen und Ultrabarriereschichten für Kunststoffsubstrate
- poröse oder mikrostrukturierte, optisch und katalytisch funktionale Schichten für Glas- und Keramikbauteile
- schaltende Schichten (photochrom, gasochrom und elektrochrom)
- dekorative oder saubere Oberflächen
- leicht zu reinigende Überzüge für Metalle und Leder
- lichtempfindliche hybride Schichten
- umweltverträgliche Korrosionsschutzsysteme

Aktuelle Projekte befassen sich unter anderem mit der Schadstoffsensorik in Transportvitrinen wertvoller Gemälde, mit Ultrabarrieren für die Verkapselung optoelektronischer Bauteile und der Einbindung von Schichtsilicaten in transparenten Lacksystemen zur Brandschutzverbesserung oder mit photokatalytischer Wirkung zur Selbstreinigung von lackierten Flugzeugbauteilen.

Oberflächen und Schichten
Dr. Gerhard Schottner
Geschäftsfeldleiter
Telefon +49 931 4100-627
gerhard.schottner@isc.fraunhofer.de

ORMOCER®E MIT FUNKTIONALISIERTEN NANOPARTIKELN ALS NEUARTIGE SCHUTZ-SCHICHTEN UND KATALYTISCH AKTIVE OBERFLÄCHEN

Materialsynthese im Sol-Gel-Verfahren

Mit dem Einbinden von Nanopartikeln können einem Matrixmaterial neue Funktionen und Eigenschaften verliehen werden. Auf dieser Basis verfolgte das vom BMBF geförderte Verbundprojekt »NanoBase« das Ziel, neuartige Beschichtungen zu entwickeln und damit bisher nicht erreichbare Produkteigenschaften zu realisieren. Dabei standen zwei spezielle, sehr unterschiedliche Fragestellungen im Vordergrund:

Elektronische Baugruppen werden heute vielfach erhöhten Umgebungstemperaturen, extremen klimatischen Bedingungen oder der Einwirkung aggressiver Medien ausgesetzt. Ein Beispiel ist der Einsatz im Motorraum von Kraftfahrzeugen. Diese Bedingungen haben sich in den vergangenen Jahren durch immer höhere Leistung und immer dichtere Integration von Funktionsbauteilen verschärft. Um solche Bauteile zu schützen, ohne ihre Funktion und Einsetzbarkeit einzuschränken, geht man den Weg der mediendichten Kapselung durch Beschichtungen – eine Aufgabe, die trotz vielfältiger Ansätze bisher noch nicht zufriedenstellend gelöst ist. Ein anderes Problem stellen Verschmutzungen speziell im Außenbereich von Flugzeugen dar, die einen hohen Reinigungsaufwand verursachen. In diesem Bereich werden selbstreinigende Oberflächen notwendig, die nicht so oft gesäubert werden müssen. Das Fraunhofer ISC setzt für beide Entwicklungsrichtungen Werkstoffe auf der Basis anorganisch-organischer Hybridmaterialien (ORMOCER®e) ein, die sich zur Beschichtung unterschiedlicher Produkte bereits bewährt haben und durch die Einbindung von funktionalisierten Nanopartikeln einen verbesserten oder erweiterten Funktionsumfang erhalten sollen.

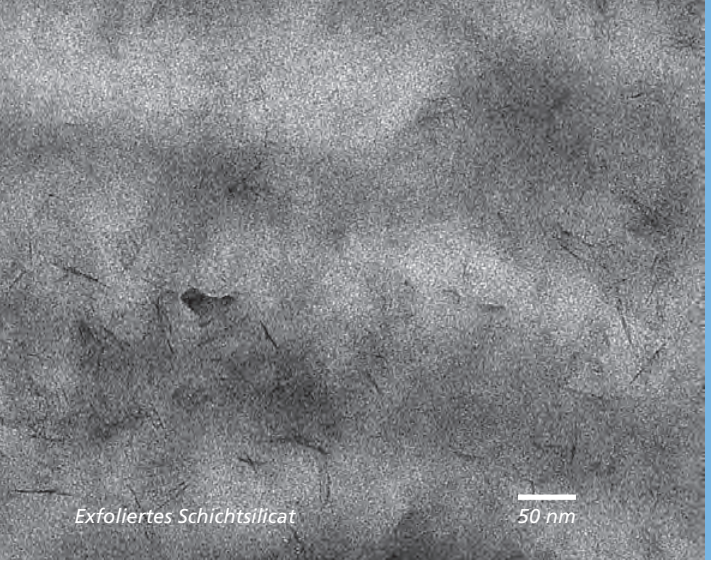
Schutzschichten für die mediendichte Kapselung von elektro- und verkehrstechnischen Systemen

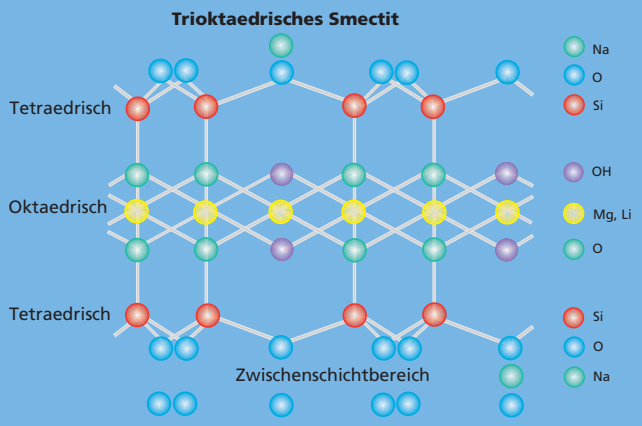
Ziel der mediendichten Kapselung im Rahmen von »NanoBase« war der Schutz gegen Feuchtigkeit, schädliche Gase und Flammen. Dabei wurde vom Fraunhofer ISC der Ansatz verfolgt, Schichtsilicate in bekannte ORMOCER®e mit passenden Eigenschaften für die unterschiedlichen Substratmaterialien einzuarbeiten und ein einheitliches Verfahren dafür zu entwickeln.

Wesentlich für die Schutzeigenschaften der neuen Beschichtung ist die Aufspaltung der Schichtsilicatpakete in ihre Einzelschichten beim Einarbeiten in die ORMOCER®-Matrix. Schichtsilicate sind aus miteinander verknüpften SiO_4-Tetraedern aufgebaut, die zu Tetraeder-Lagen zusammengefügt sind. Je nach Art des Schichtsilicats sind zwischen je zwei Tetraeder-Lagen unterschiedliche Ionen eingelagert. Auf diese Weise entstehen einzelne Silicatschichten. Zwischen diesen Einzelschichten befinden sich Ionen und Wassermoleküle. Die Kräfte zwischen den Einzelschichten sind relativ schwach, so dass sie je nach Matrix mit geeigneten Verfahren voneinander getrennt werden können, man spricht dann von einer Exfolierung. Die im Matrixmaterial ver-

New protective coating and photocatalytically effective surfaces owing to ORMOCER®s with functionalized nanoparticles

The NanoBase joint project funded by the German Federal Ministry of Education and Research was set up to produce new functions and properties in matrix materials using functionalized nanoparticles. The Fraunhofer ISC was involved in two developments, in which inorganic-organic hybrid materials (ORMOCER®) were used as matrices. The first led to the development of a method with which a synthetically produced phyllosilicate in completely exfoliated condition can be integrated in ORMOCER®s used as coatings. This substantially increases the hardness of the coating and reduces the amount of heat released during combustion, thereby improving the flameproofing effect. The second development produced a photocatalytically effective spray paint based on ORMOCER® and titanium-dioxide nanoparticles, which turns hydrophilic in UV radiation and which can be used to minimize the cleaning effort required for components coated with it.





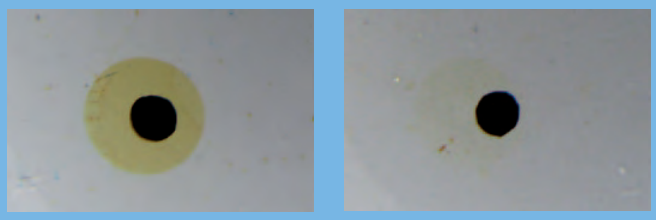
teilten Einzelschichten sind bei dem hier verwendeten Schichtsilicat plättchenförmig, besitzen einen Durchmesser von etwa 10 bis 50 nm und sind etwa 1 nm dick. Sie werden auch als »Nanoclays« bezeichnet. Bei einer optimalen Ausrichtung in der Matrix behindern sie die Diffusion beispielsweise von Gas- und Wassermolekülen. Wird eine Matrix, die Nanoclays enthält, als Beschichtung auf ein Bauteil aufgetragen, wirkt sie auf diese Weise als Schutzschicht. Gleichzeitig kann diese Beschichtung auch als Flammschutz wirken, weil der Sauerstofftransport behindert und damit eine Verbrennung erschwert wird.

Es gelang der Arbeitsgruppe um Dr. Katrin Bokelmann und Dr. Klaus Rose, eine Methode zu entwickeln, mit der ein synthetisch hergestelltes Schichtsilicat (Bild *Laponit-Struktur*) in verschiedene ORMOCER®e eingearbeitet werden kann. Dabei werden bereits während eines Reaktionsschrittes der Lacksynthese die Schichtsilicate eingearbeitet. Sie liegen danach vollständig exfoliert und gleichmäßig verteilt vor, wie Analysen der ausgehärteten Beschichtungen mit dem Transmissionselektronenmikroskop bestätigen (Bild *Exfoliertes Schichtsilicat*). Weitere Untersuchungen der Beschichtungen ergaben, dass sich die mechanischen Eigenschaften durch die exfolierten Schichtsilicate deutlich verbessern. Die Härte der Beschichtung zum Beispiel steigt mit dem Anteil an Schichtsilicat bis auf das Zehnfache des Ausgangswertes. In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner EADS wurde darüber hinaus untersucht, ob die ORMOCER®-Beschichtungen mit Laponit-Nanoclays den Flammschutz für Verbundwerkstoffe aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) verbessern können. Solche Komposite werden z. B. im Flugzeugbau verwendet. EADS arbeitete exfolierte Schichtsilicate in Kunststofffolien ein, die in CFK-Laminate integriert wurden. Dadurch konnten die Flammschutzeigenschaften der Laminate bereits verbessert werden. Als Maß für die Brennbarkeit des Materials wurde die Wärmefreisetzung bei der Verbrennung bestimmt. Sie verringert sich bei hohen Füllungsgraden der Kunststofffolien auf fast Null, da die exfolierten Schichtsilicate den für die Verbrennung notwendigen Sauerstofftransport behindern. Erstrebenswert sind hier jedoch niedrigere Füllungsgrade, denn die sind vorteilhaft für die Verarbeitung der Folien. Durch Einsatz einer Nanoclay-haltigen ORMOCER®-Beschichtung auf den Folien kann deren Schichtsilicatanteil verringert werden bei gleichbleibend guten Flammschutzeigenschaften. Darüber hinaus lassen sich mit den Nanoclay-haltigen ORMOCER®en u. U. auch Schutzfunktionen für andere Brandszenarien erreichen.

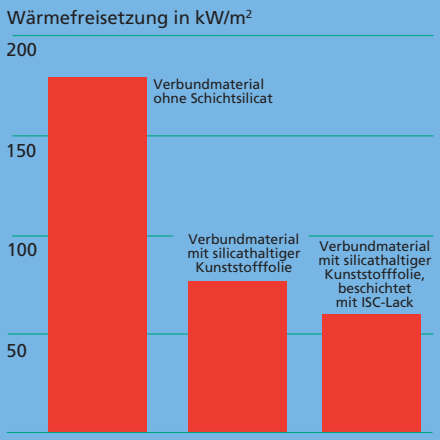
Es konnte also gezeigt werden, dass die Einarbeitung des Schichtsilicats Laponit in ORMOCER®e in einem einfachen Verfahren möglich ist und zu einer Verbesserung der Brandschutzeigenschaften (Grafik *Wärmefreisetzung bei der Verbrennung eines Verbundmaterials*) wie auch zu einer Erhöhung der Härte der Beschichtung führt. Die erwartete Verringerung der Wasserdampfdurchlässigkeit zum Schutz von Bauteilen vor Feuchtigkeit konnte jedoch nicht festgestellt werden. Dafür ist neben einer guten Exfolierung offenbar eine noch bessere Ausrichtung der einzelnen Nanoclay-Partikel notwendig, als mit dem bisherigen Verfahren erreichbar war. Ein Lösungsansatz dafür könnte ein Verfahren sein, das die Schichtsilicate mit hoher Scherung der Matrix einarbeitet (Extrusion) oder bei der Filmbildung für eine geordnete Ausrichtung der Schichtsilicatplättchen sorgt.

Beschichtungen für die katalytische Zersetzung von Ablagerungen

In der Luftfahrt sind Verschmutzungen der Außenhaut von Flugzeugen nicht nur ein ästhetisches Problem, sondern steigern auch den Energieverbrauch. Für die turnusmäßige Reinigung wird deshalb erheblicher Aufwand betrieben. Verschmutzungen durch Chitinreste von Insekten erweisen sich dabei als besonders hartnäckig. Eine Lackierung, die solche organischen Rückstände selbsttätig abbaut, könnte den Reinigungsaufwand vermindern. Im Rahmen des Projekts wurde für diese Aufgabe der Lösungsansatz verfolgt, Titandioxid-Nanopartikel in ORMOCER®-Lacke einzuarbeiten.Titandioxid wird beispielsweise als aktive Beschichtung für die Herstellung von kommerziell erhältlichen selbstreinigenden Gläsern eingesetzt. Es ist als Katalysator für die Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies und Hydroxyl-Radikalen bekannt und lang erforscht. Diese Radikale



Angefärbte Chitosanflecken links ohne und rechts mit UV-Bestrahlung



Wärmefreisetzung bei der Verbrennung eines Verbundmaterials

werden bei Bestrahlung einer titandioxidhaltigen Oberfläche mit UV-Licht einer Wellenlänge von weniger als 400 nm gebildet und zersetzen organische Substanz in einer chemischen Reaktion. Übrig bleiben idealerweise lose, leicht zu entfernende Rückstände. Ein zweiter Reinigungseffekt des Titandioxids besteht darin, dass es durch UV-Licht äußerst hydrophil wird (sogenannte photoinduzierte Ultra- oder Superhydrophilie). Das bedeutet, dass sich Wassertropfen auf einer UV-aktivierten Titandioxid-Oberfläche zu einem dünnen Film ausbreiten; die Oberfläche wird dabei vollständig benetzt. Dadurch können lose Schmutzpartikel unterwandert und leicht abgespült werden.

In der Gruppe um Dr. Frank Hutter wurde am Fraunhofer ISC eine ORMOCER®-Sprühlackierung konzipiert, die kommerziell verfügbare, photokatalytisch aktive Titandioxid-Nanopartikel (P25 von Evonik) enthält. Die Wirksamkeit der neuen Lackierung wurde durch den Abbau von Chitosan, einem Derivat des Chitins, nachgewiesen. Dabei macht man sich zunutze, dass sowohl Chitin als auch Chitosan durch eine Kaliumjodid-Jodlösung in der sogenannten van-Wisseling-Reaktion deutlich sichtbar angefärbt werden. Je mehr Chitin/Chitosan vorhanden ist, desto intensiver ist die Farbe. Vergleicht man mit UV-Licht bestrahlte und dann angefärbte Chitosanflecken mit solchen, die ohne vorherige Belichtung angefärbt wurden, kann man die photokatalytische Wirkung des Titandioxids deutlich sehen (Bilder *Angefärbte Chitosanflecken ohne UV-Bestrahlung; Angefärbte Chitosanflecken nach UV-Bestrahlung*). Auf Lackierungen ohne Titandioxid ist dagegen kein Unterschied zwischen belichteten und unbelichteten Flecken erkennbar. Der Effekt der photoinduzierbaren Hydrophilie lässt sich durch die Bestimmung des Randwinkels zu Wasser nachweisen. Er sinkt auf dem titandioxidhaltigen ORMOCER®-Lack durch eine UV-Bestrahlung von über 90 ° auf nahezu 0 ° ab. Im Unterschied dazu können Flugzeuglackierungen ohne Titandioxid durch UV-Licht nicht hydrophil gemacht werden, der Randwinkel bleibt bei etwa 90 °.
Die Außenflächen von Flugzeugen könnten also allein durch Sonnenlicht und Regenwasser bereits relativ sauber gehalten werden, wenn sie mit titandioxidhaltigem ORMOCER® lackiert werden, der Reinigungsaufwand ließe sich möglicherweise erheblich reduzieren. Projektpartner EADS hat bereits entsprechende Module zu Testzwecken an Flugzeugen hergestellt.

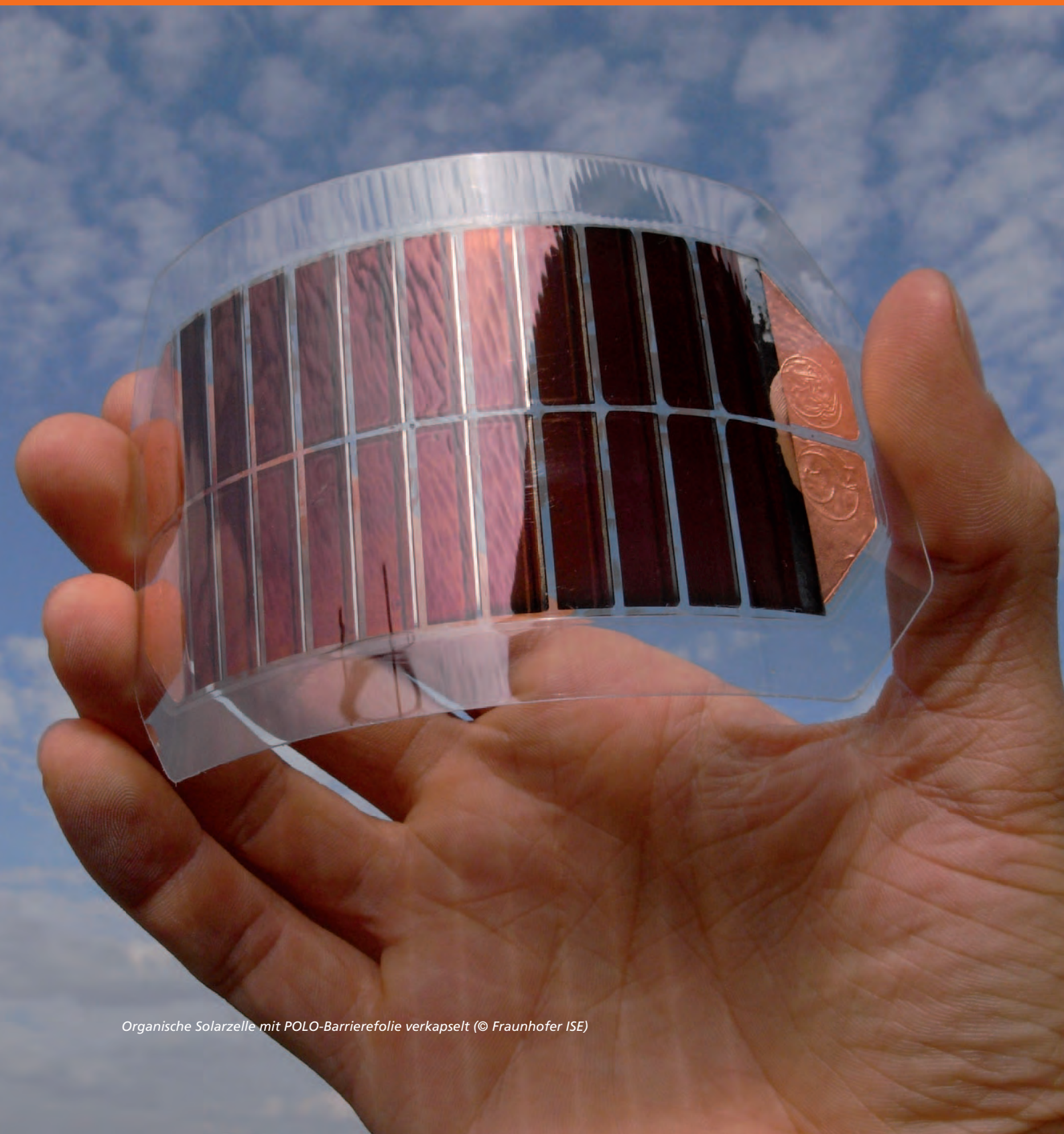
Kontakt
Dr. Katrin Bokelmann
Anorganische Materialien aus flüssigen Vorstufen
Telefon +49 931 4100-403
katrin.bokelmann@isc.fraunhofer.de

Dr. Frank Hutter
Nanopartikel und Komposite
Telefon +49 931 4100-402
frank.hutter@isc.fraunhofer.de

Projektdetails
NanoBase – Neuartige Schutzschichten und katalytisch aktive Oberflächen auf Basis funktionalisierter Nanopartikel für die Elektro- und Verkehrstechnik
Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF im Programm »Nanotechnologische Werkstoffkonzepte«
Förderkennzeichen: CPNC03024406
Projektlaufzeit: Juni 2006 bis Mai 2009

Projektpartner
Deutsches Wollforschungsinstitut an der RWTH Aachen e.V.
EADS Deutschland GmbH, München
ELANTAS Beck GmbH, Hamburg
ItN Nanovation AG, Saarbrücken
Rockwool Clay Additives GmbH, Moosburg
Siemens AG, Berlin

ULTRABARRIERESCHICHTEN FÜR DIE VERKAPSELUNG VON OPTO-ELEKTRONISCHEN BAUTEILEN



Organische Solarzelle mit POLO-Barrierefolie verkapselt (© Fraunhofer ISE)

Flexible transparente Ultrabarrierematerialien sind der Schlüssel zur industriellen Massenproduktion flexibler opto-elektronischer Geräte. Die Barriereanforderungen an die Verkapselungsmaterialien sind jedoch extrem hoch. Für organische Leuchtdioden oder organische Photovoltaik sind Wasserdampfdurchlässigkeiten von weniger als 10 Mikrogramm pro Quadratmeter und Tag ($1x10^{-5}$ g/m^2 x Tag) erforderlich. Im Rahmen eines von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten strategischen Projekts ebnen Forscher des Fraunhofer ISC zusammen mit Partnern der Fraunhofer-Allianz POLO den Weg für eine neue Technologie.

Folien für die Verkapselung von organischen Leuchtdioden (OLEDs) und organischen Solarzellen

Flexible organische Solarzellen liefern umweltfreundlichen Solarstrom aus dünnen Kunststoff-Folien. Ihr größtes Potenzial liegt in den zu erwartenden niedrigen Produktionskosten und der mechanischen Flexibilität. Beides eröffnet vollkommen neuartige Einsatzgebiete, wie z. B. in der Energieversorgung mobiler Kleingeräte oder in der Bauindustrie. Als dünne photoaktive Schichten könnten diese Solarzellen auf Dächern, an Fassaden oder auch an Fenstern angebracht werden.

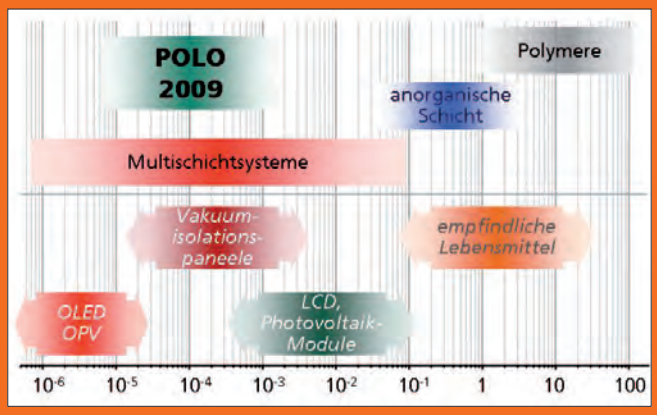
OLEDs werden als Bildschirme der Zukunft betrachtet. Es handelt sich hierbei um elektronische Bausteine, die mindestens eine organische Schicht enthalten, die sich zwischen zwei Stromleitern (Elektroden) befindet. Wird an diese Elektroden elektrische Spannung angelegt, emittiert die organische Schicht ein helles Licht. OLEDs sind sehr dünn, sehr leicht und sparen Energie. Sie erlauben einen größeren Blickwinkel, ein helleres Bild und verursachen weniger Produktionskosten als LCD-Systeme. So werden erste massenproduzierte OLEDs gegenwärtig als farbige Grafikdisplays eingesetzt, z. B. in Kameras, Autoradios oder Mobiltelefonen. Flexible OLEDs werden darüber hinaus noch ganz neue Anwendungen ermöglichen.

Der Markt für OLED-Displays und organische Solarzellen ist folglich gegenwärtig ausgesprochen dynamisch. Eine große technologische Herausforderung, mit deren Bewältigung das Wachstum gesichert werden soll, wird allerdings der Übergang zur Herstellung flexibler Elemente sein. Da die organischen Aktivmaterialien und die Elektroden gegenüber Wasserdampf und Sauerstoff sehr empfindlich sind, werden an die benötigten flexiblen Verkapselungsmaterialien aus heutiger Sicht extreme Barriereanforderungen gestellt (Grafik *Barriereeigenschaften*).

Polymerfolien für die Verkapselung einzusetzen, wäre aus produktionstechnischer Sicht ideal. Sie lassen sich aufgrund ihrer Flexibilität leicht verarbeiten und haben ein geringes Gewicht. Außerdem ist ihre Herstellung und Veredelung im Rolle-zu-

Ultrabarrier coatings for the encapsulation of opto-electronic components

Flexible organic solar cells are being developed to generate cheap, environmentally friendly solar power from thin plastic films. As the organic active materials and the electrodes are very sensitive to water vapor and oxygen, the required flexible encapsulation materials have to meet extreme barrier requirements. The new ultrabarrier films produced by the Fraunhofer Alliance POLO combine barrier layers based on hybrid polymers (ORMOCER®s) with inorganic, vacuum-deposited barrier layers (SiO_x, AlO_x etc.). Even on their own, hybrid polymer layers exhibit good barrier properties, but in combination with inorganic layers the barrier values can be dramatically enhanced. As a result, extremely good protection against water vapor and oxygen can be achieved by means of a sandwich composite barrier with just three layers and a hybrid polymer intermediate layer thickness of less than 0.5 µm.



Barriereeigenschaften von Polymeren und Stand-der Technik-Beschichtungssystemen und erforderliche Barriereeigenschaften für bestimmte Produkte

Rolle Prozess kostengünstig. Leider jedoch haben Polymermaterialien unerwünscht hohe Durchlässigkeiten gegenüber Gasen und Dämpfen. So liegt die geforderte Wasserdampfdurchlässigkeit von Verkapselungsmaterialien um Größenordnungen niedriger. Daher müssen Polymerfolien durch geeignete Barriereschichten weiter veredelt werden. Folien mit niedrigen Durchlässigkeiten werden durch Veredelung mit dünnen anorganischen, im Vakuum applizierten Barriereschichten bzw. auch durch Kombination mit organischen Zwischenschichten hergestellt. Die Folien bestehen z. B. aus »barrier stacks« mit fünf oder mehr Doppelschichten. Selbst bei großtechnischer Produktion bleibt die Herstellung dieser Mehrschichtsysteme auf den Folien jedoch ein nicht unerheblicher Kostenfaktor.

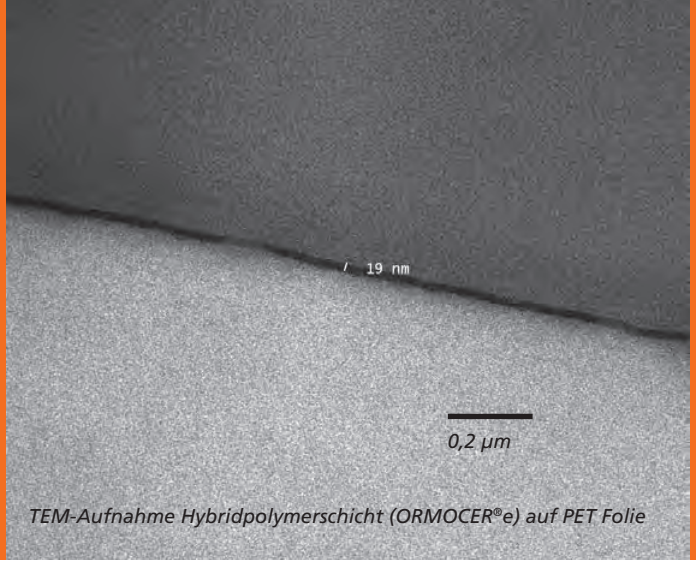
Gerade in letzter Zeit werden viele sehr gute Barrierewerte für derartige Folienmaterialien publiziert. Jedoch sind diese Ergebnisse aus Mangel an Details bezüglich ihrer Auswerteparameter und Herstellungsverfahren schwer einzuordnen. Zur Bewertung der tatsächlichen Qualität solcher Folien ist genau zu prüfen, nach welchen Barrieretestverfahren bzw. bei welchen Temperaturen und relativen Feuchten ausgewertet wurde. Des Weiteren sollte berücksichtigt werden, ob es sich bei den angebotenen Barrierefolien um Rollenware oder lediglich um Sheets handelt, wie viele Schichten appliziert werden müssen, um die Werte zu erzielen (Kostenaspekt) und auf welchen Polymerfolien der Herstellungsprozess durchführbar ist.

Das POLO-Konzept zu Ultrabarriereschichten

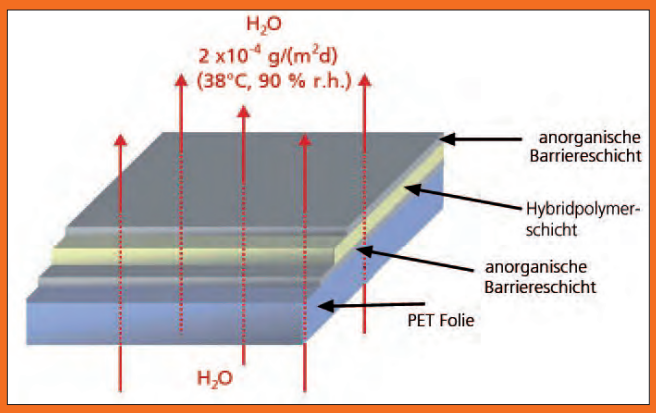
Ein Kernthema der Fraunhofer-Allianz POLO ist die Entwicklung von Hoch- bzw. Ultrabarrierefolien. Eines der verwendeten Basismaterialien sind Hybridpolymere (ORMOCER®e), molekulare Verbundwerkstoffe mit anorganischen und organischen »Nano-building-blocks«, die mit kovalenten Bindungen vernetzt sind. Ihre Eigenschaften lassen sich durch die geschickte Auswahl ihrer Strukturelemente steuern. So können glasartige Hybridpolymere ebenso realisiert werden wie duroplast- oder elastomerartige. Eingesetzt werden die am Fraunhofer ISC entwickelten ORMOCER®e für eine Reihe von sehr unterschiedlichen Anwendungen, insbesondere aber für eine Vielzahl von unterschiedlichen Schutzbeschichtungen.

Für die neuen Ultrabarrierefolien der Allianz POLO werden Barriereschichten auf der Basis von Hybridpolymeren (ORMOCER®e) mit anorganischen, im Vakuum abgeschiedenen Barriereschichten (SiO_x, AlO_x u.s.w.) kombiniert. Schon für sich genommen weisen Hybridpolymerschichten gute Barriereeigenschaften auf. In Kombination mit den anorganischen Schichten lassen sich diese Barrierewerte aber nochmals drastisch verbessern. Entwicklungsarbeiten und numerische Simulationen haben ergeben, dass durch einen sandwichartigen Barriereverbund mit nur drei Schichten und einer Schichtdicke der hybridpolymeren Zwischenschicht von weniger als 0,5 µm außerordentlich gute Werte erzielt werden.

Für eine erfolgreiche Applikation derart dünner Schichten im Rolle-zu-Rolle-Verfahren auf einer Pilotanlage musste zunächst eine neue und hochinnovative Produktionstechnologie von Partnern der Allianz POLO erarbeitet werden. Darauf abgestimmt wurden die ORMOCER®-Lackrezepturen für die hybridpolymeren Schichten von der ISC-Arbeitsgruppe um Dr. Sabine Amberg-Schwab weiterentwickelt und optimiert. Eine neue Beschichtungswalze der Pilotanlage ermöglicht einen ultradünnen, defektarmen ORMOCER®-Auftrag. Die transmissionselektronenmikroskopische Aufnahme einer Hybridpolymerschicht auf einer PET-Folie zeigt eine extrem dünne, gleichmäßige ORMOCER®-Schicht (Bild *ORMOCER® auf PET-Folie, Fraunhofer IVV*). Parallel dazu wurden auch die anorganischen Schichten im Hinblick auf ihre Barriereeigenschaften weiter verbessert. Eine andere Herausforderung bestand darin, die Messverfahren zur Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit so weit zu optimieren, dass auch in den sehr niedrigen Barriereberei-chen reproduzierbare und belastbare Egebnisse erzielt werden können.



TEM-Aufnahme Hybridpolymerschicht (ORMOCER®e) auf PET Folie



Aktueller Barriereaufbau

Aktuelle Ergebnisse

Unter Verwendung der optimierten Barrierelacke auf Hybridpolymerbasis und der verbesserten anorganischen Barriereschichten sowie in Verbindung mit einer technisch ausgefeilten Applikationstechnologie war es möglich, Folien mit deutlich verbesserten Barriereeigenschaften (Bild *Aktueller Barriereaufbau mit den besten Barrierewerten*; Testverfahren: Calcium-Spiegel-Test) in einem produktionsgeeigneten Rolle-zu-Rolle-Verfahren herzustellen.

Durch den gewählten Sandwich-Aufbau werden extrem niedrige Wasserdampfdurchlässigkeiten von $2x10^{-4}$ g/m² x Tag (38 °C, 90 Prozent Feuchte im Calciumspiegeltest) erhalten. Das ergibt bei Umrechnung des Barrierewerts auf Raumtemperaturbedingungen (Umrechnungsfaktor von 2,8 experimentell bestätigt) eine Wasserdampfdurchlässigkeit von nur noch $7x10^{-5}$ g/m² x Tag.

Mit den Arbeiten im Hinblick auf die notwendigen Anschlusstechnologien zur Verklebung und Weiterverarbeitung der neuen Barrierefolie wurde schon begonnen. Die Eignung der hergestellten Barrierefolien konnte daher von POLO auch bereits an elektronischen Testbauteilen überprüft werden. Hierzu wurden organische Leuchtdioden und organische Solarzellen (Bild *Organische Solarzelle, Fraunhofer ISE*) mit der neuen Barrierefolie verkapselt. Versuche zur Langzeitalterung durch die kontinuierliche Beleuchtung mit einer Schwefellampe ergaben eine Degradation von unter 20 Prozent nach 2000 Stunden. Dies entspricht einer Haltbarkeit der Solarzelle von zwei Jahren. Die Folie kann in reproduzierbarer Qualität als Rollenware im Pilotmaßstab für die Kundenbemusterung zur Verfügung gestellt werden. Die Fraunhofer-POLO-Barrieretechnologie ist außerdem auch auf alternative Folienqualitäten (PEN, ETFE) übertragbar. Durch Applikation von weiteren Funktionsschichten können die Folien auf spezifische Kundenwünsche angepasst werden. Diese Technologie steht nun für die Erprobung als Verkapselungsmaterial bzw. der Herstellung von flexiblen elektronischen Bauelementen zur Verfügung.

Kontakt
Dr. Sabine Amberg-Schwab
Hybridpolymere Schichtsysteme
Telefon +49 931 4100-620
sabine.amberg-schwab@isc.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Ulrike Weber
Telefon +49 931 4100-621
ulrike.weber@isc.fraunhofer.de

Projektdetails
ULTRAFLEX – Ein Präsidialprojekt der Fraunhofer-Gesellschaft
Entwicklung, Erprobung und Inline-Qualitätssicherung von flexiblen Ultrabarrierefolien im Pilotmaßstab für die Anwendung in photoelektronischen Systemen
Projektlaufzeit: November 2005 bis November 2009

Projektpartner
Fraunhofer FEP
Fraunhofer IAP
Fraunhofer IPA
Fraunhofer IW

VERBESSERUNG DER AUFBEWAHRUNGS-BEDINGUNGEN VON GEMÄLDEN IN MIKROVITRINEN

Glasdosimeter

Hochrangige Gemälde sind nicht nur wertvoll, sondern auch äußerst empfindlich. Um sie vor Schaden zu schützen, kommen in Ausstellungsräumen, im Depot oder auch während eines notwendigen Transports oft kaum sichtbare, nahe am Bildträger befindliche Glasrahmen zum Einsatz, die sogenannten »micro frames«, in denen das Gemälde wie in einer miniaturisierten, zum Teil hermetisch abgedichteten Vitrine aufbewahrt wird. Innerhalb solcher »micro frames« bildet sich ein spezielles Mikroklima aus, das für das Gemälde nicht immer vorteilhaft sein muss, denn es gehen auch gasförmige Schadstoffe mit ein, zum Beispiel aus den beim Vitrinenbau verwendeten Materialien, aus flüchtigen Emissionen des Gemäldes selbst oder aus Einträgen aus der Raumluft. Ein beschleunigter Abbau des Firnisses, der Leinwand und der Pigmente, das Erscheinen sogenannter »Geisterbilder« an der Glasinnenseite oder Farbveränderungen an der Malschicht selbst sind die Folge.

Anhand verschiedener prominenter Kunstwerke in Europa und Mexiko, wie zum Beispiel dem Gemälde »Frau mit Hermelin« von Leonardo da Vinci im Krakauer Czartoryski Museum, wurden bestehende Mikroklimata untersucht. Dazu wurden einfach zu handhabende Umweltsensoren des Fraunhofer ISC sowie zweier weiterer Projektpartner eingesetzt. Zudem wurden zur Messung einzelner Schadstoffe Passiv-Sammler anderer Projektpartner installiert. Alle hierbei verwendeten Umweltsensortypen stammten aus früheren, von der EU geförderten Projekt-Maßnahmen im Bereich Kulturgüterschutz/Umweltmonitoring/Präventive Konservierung.

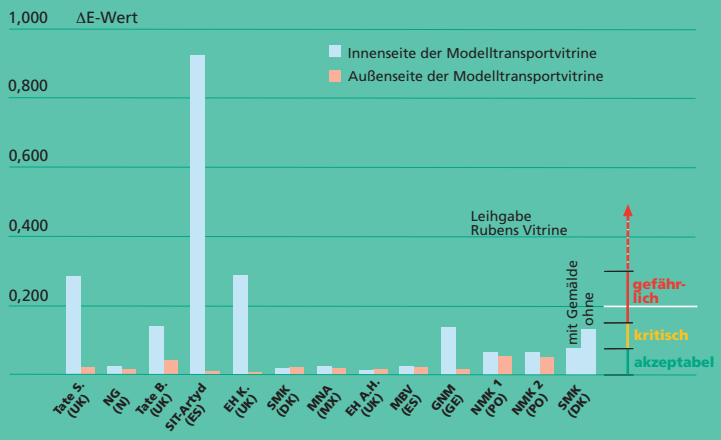
Umweltsensoren als Frühwarnsysteme

Die Wirkungsweise des vom Fraunhofer ISC entwickelten Glasdosimeters beruht auf einer Reaktion der sensitiven Glasoberfläche mit den aggressiven, für empfindliche Kunstwerke gefährlichen Schadstoffen. Linear zum Schädigungsgrad des Sensor-Glases steigt dessen Wassergehalt an. Dieser kann mittels FTIR-Spektroskopie zerstörungsfrei quantifiziert werden. Der durch diese Messungen erhaltene kalkulierte Extinktionswert (ΔE–Wert) spiegelt proportional das Risikopotenzial der umgebenden Atmosphäre wider. Das Glasdosimeter kann also auch präventiv als Frühwarnsystem eingesetzt werden.

Neben dem Umweltwirkungssensor (Bild *Glasdosimeter*) des Fraunhofer ISC kamen noch der EWO-Sensor, Early Warning System for Organic Objects, des Projekt-Partners NILU (Bild *EWO-Dosimeter, Norsk Institutt for Luftforskning/Norwegian Institute for Air Research*) sowie das Piezoelectric Quartz Crystal Sensor Array des Birkbeck College London (Bild *PQC-Dosimeter, Birkbeck College, London*) zum Einsatz. Passivsammler für Schadstoffe wie z. B. Formaldehyd, Ameisensäure, Essigsäure, SO_2, NO_2, Ozon oder VOCs (Volatile Organic Compounds) wurden vom Projektkoordinator NILU zur Verfügung gestellt.

Improving storage conditions of paintings in micro frames

The major EU-funded project PROPAINT is examining the microclimate in micro frames – tightly fitted glass enclosures in which paintings can be transported or stored, while protected against environmental influences. A highly individual microclimate forms in the microframes, which may contain harmful substances, caused, for example, by emissions from the materials used to make the frame or from the painting itself. To detect harmful concentrations, various environmental sensors from the Fraunhofer ISC and other partners were used which determine problematic substances quantitatively. The findings gained will help to considerably improve the storage conditions for art works in future micro frames.



Testanordnung und Messergebnisse

Um die Zuverlässigkeit der Sensoren zu verifizieren, wurde eine neue Modellvitrine des spanischen Herstellers SIT-Artyd in die Messungen mit einbezogen, in die unbehandelte Eichenhölzer, die sonst als Rahmenmaterial Verwendung finden, neue ausdünstende Firnisse, Wachse und zudem VOCs enthaltende Konservierungsmittel und Kleber bewusst eingebracht worden waren. Damit wurde ein Worst-Case-Szenario simuliert.

Erwartungsgemäß sprach der Umweltsensor des Fraunhofer ISC auf die stark erhöhten Schadstoffwerte in der Modellvitrine am stärksten an, während die Auswertung aller platzierten Sensoren insgesamt ein uneinheitliches Abbild unterschiedlichster Aufbewahrungsbedingungen ergab.

Das Mikroklima in einigen der getesteten und üblicherweise genutzten »micro frames« war durch der Raumatmosphäre entsprechende unbedenkliche ΔE-Werte gekennzeichnet. Andere zeigten stark erhöhte, kritische oder sogar gefährlich hohe Werte (siehe Grafik). Besonders hohe Messwerte ergaben sich im Inneren der »micro frames« in britischen Museen (Tate Britain, Tate Store sowie Kenwood House/English Heritage) und in einer der getesteten Vitrinen am Germanischen Nationalmuseum Nürnberg. Überraschend waren die Messergebnisse einer auf Ausstellungsreise befindlichen Vitrine des Staatlichen Kunstmuseums Dänemark in Kopenhagen, die ein Rubens-Gemälde enthielt, denn in diesem Falle scheint das zeitlich begrenzt aufbewahrte Gemälde der Vitrinenatmosphäre sogar noch Schadstoffe entzogen zu haben. Hier lagen jedoch gesonderte Bedingungen vor, die im Einzelnen noch weiter untersucht werden müssen.

Der Umweltsensor des Fraunhofer ISC reagiert besonders sensitiv auf Essigsäureeinfluss – eine Beobachtung, die bereits bei früheren Untersuchungen gemacht wurde. Entsprechend konnten bei den standortabhängig am stärksten reagierenden Umweltsensoren an der Oberfläche primär Formiate und Acetate nachgewiesen werden, was auf die Einwirkung von Formaldehyd/Ameisensäure und Essigsäure im Inneren der »micro frames« schließen lässt. Die im Projekt hierzu entwickelte Dosis-Wirkungsfunktion für das Ansprechen des Glassensors speziell auf Essigsäure ergab folgende einfache Beziehung für den Essigsäuregehalt der umgebenden Mikroklimas:

GSD x 1000 = 0,20 x AcAc
mit GSD (= Glass Slide Dosimeter): ΔE-Wert des ISC-Sensors, AcAc: [Konzentration Acetic Acid (Essigsäure)] / µg/m3

Weitere Aspekte des PROPAINT-Projekts

Beim EWO-Dosimeter, das für die Beurteilung des Schädigungspotenzials der Atmosphäre für organische Materialien und Kunststoffe entwickelt wurde, wird die Veränderung der Transparenz eines speziellen Polymers nach einer bestimmten Expositionszeit beurteilt bzw. gemessen und dadurch das (oxidative) Risikopotenzial der Atmosphäre bestimmt.

Die »Quartz Crystal Technology« macht sich die Veränderung der Eigenresonanz von mit Firnis oder Blei belegten Kristallen zunutze, die direkt auf eine Massenzunahme oder -abnahme des empfindlichen Sensormaterials durch Umwelteinflüsse und damit z. B. (im Falle von Firnis) auch auf das degradative Verhalten von Malmaterialien schließen lässt.

PQC-Dosimeter

EWO-Dosimeter

So konnten durch Passivmessungen eine Vielzahl von VOCs detektiert werden, die u. U. ebenfalls Einfluss auf den Erhaltungszustand der in »micro frames« aufbewahrten Gemälde haben. Messungen wurden auch durchgeführt, um z. B. den Effekt des langsamen, unfreiwilligen Luftaustausches genauer zu bestimmen. Weiterhin wurde die Verwendung von Absorber-Materialien in den Vitrinen und deren Einfluss auf die Schadstoffzusammensetzung des Mikroklimas studiert. Die Forschungen erstreckten sich auch auf das Langzeitverhalten traditionell verwendeter und erhaltener Firnisse in Museumsatmosphären.

Es hat sich gezeigt, dass sowohl das Glasdosimeter als auch die mit Blei belegten PQC-Dosimeter bevorzugt auf den Angriff saurer Bestandteile der Atmosphäre reagieren, während die mit Firnis belegten PQC-Dosimeter sowie die EWO-Sensoren primär auf oxidative Einflüsse ansprechen.

Ziel des Projekts war es, die Auswirkungen des Mikroklimas in unterschiedlichen »micro frames« auf die so geschützten Gemälde zu untersuchen. Für Hersteller solcher »micro frames« – wie den Projektpartner SIT-Artyd – können die Erkenntnisse wesentlich dazu beitragen, die Gestaltung und Materialwahl hinsichtlich der Anforderungen an das Mikroklima in den Vitrinen zu verbessern.

Kontakt
Dr. Gerhard Schottner
Geschäftsfeldleiter Oberflächen und Schichten
Telefon +49 931 4100-627
gerhard.schottner@isc.fraunhofer.de

Projektdetails
PROPAINT – Improved Protection of Paintings during Exhibition, Storage and Transit
EU-Förderprojekt im 6. Rahmenprogramm
Förderkennzeichen: FP6 SSPI 044254
Projektlaufzeit: Februar 2007 bis Januar 2010
Koordination: NILU, Norwegian Institute for Air Research, Kjeller/Oslo

Projektpartner
NILU, Norwegian Institute for Air Research, Kjeller/Oslo (N)
University of London, Birkbeck College (UK)
The Royal Danish Academy of Fine Arts, Kopenhagen (DK)
SIT – International Transporters, Madrid (E)
National Museum of Krakow (PL)
University of Pisa, Department of Chemistry and Industrial Chemistry (I)
Website: http://propaint.nilu.no

ENERGIETECHNIK

Im vergangenen Jahr wurde die Ausrichtung des früheren Geschäftsfelds Energietechnik und Adaptronik neu geordnet und auf den Kernbereich der Energiespeichertechnologien fokussiert. Der Bereich der keramischen Hochtemperaturfasern für Anwendungen in der Energietechnik wurde in das Geschäftsfeld Glas und Keramik übernommen, der Bereich der adaptiven Materialien wurde in das neu gegründete Center Smart Materials eingebracht.

Damit hat sich das Profil des Geschäftsfelds geschärft. Es steht nun im Institut für die Kompetenzen der Angewandten Elektrochemie. Durch umfangreiche Investitionen für Materialentwicklung und Probenpräparation sowie in elektrochemische Charakterisierungsverfahren konnte das Portfolio in diesem Themengebiet erweitert werden. Im Programm LIB 2015 des BMBF, einem wesentlichen Bestandteil des nationalen Strategieplans Elektromobilität, konnte unter der Leitung des Geschäftsfelds letztes Jahr ein Grundlagenprojekt mit sieben Forschungspartnern zur Entwicklung von lösemittelfreien Lithiumpolymerbatterien starten – ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zu leistungsstarken und sicheren leichten Akkumulatoren.

Im Weiteren sollen Aktivitäten im Bereich der dünnen transparenten leitfähigen sowie der elektrochromen Schichten für ihre Anwendung im Bereich Energietechnik qualifiziert werden.

Aktuell arbeitet das Geschäftsfeld neben der Materialentwicklung und Charakterisierung von Lithiumpolymerbatterien an der Entwicklung nanostrukturierter Elektroden für elektrochemische Doppelschichtkondensatoren und an der Weiterentwicklung von Metallhydrid-Batterien.

Energietechnik
Dr. Kai-Christian Möller
Geschäftsfeldleiter
Telefon +49 931 4100-519
kai-christian.moeller@isc.fraunhofer.de

NANOCAP® – SCHNELLE LEISTUNGSSTARKE ENERGIESPEICHER

Nickelsubstrat vor der Beschichtung

Der erwartete Klimawandel und die daraus abgeleiteten klimapolitischen Ziele der Bundesregierung erfordern eine weitaus effizientere Nutzung fossiler Ressourcen als bisher. Dabei wird der Speicherung von elektrischer Energie eine zentrale Rolle zukommen. Steigerung der Energieeffizienz und Senkung der Kosten neuer Speicherkonzepte sind Ziele der gegenwärtigen FuE-Aktivitäten auf diesem Gebiet. Neben der Weiterentwicklung gängiger Batteriesysteme mit hoher Energiedichte sind gerade für schnelle Speichervorgänge, bei denen in sehr kurzer Zeit Energie aufgenommen oder abgegeben werden soll, elektrochemische Doppelschichtkondensatoren – sogenannte Supercapacitors, oder auch »Supercaps« – in den Fokus der Forschung gerückt.

In den vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten NanoCap®-Verbundforschungsprojekten arbeitete das Fraunhofer ISC mit seinen Partnern an der signifikanten Verbesserung der Leistungsfähigkeit, Qualität und Zuverlässigkeit sowie an der nachhaltigen Senkung der Herstellungskosten von Supercaps mit Methoden der Nanotechnologie. Das Fraunhofer ISC hatte in den Projekten die Federführung für eine grundlegende Elektrodenentwicklung sowie deren chemische und elektrochemische Charakterisierung übernommen. Im Vorläuferprojekt NanoCap® I wurde die grundsätzliche Machbarkeit des neuen Elektrodenkonzepts anhand erster einfacher Labordemonstratoren aufzeigt. Im jetzt beendeten Nachfolgeprojekt NanoCap® II wurde die kostengünstige und effiziente Umsetzung dieses Elektrodenkonzeptes im Technikumsmaßstab geprüft, neue Elektroden- und Elektrolytmaterialien entwickelt und NanoCap®-Prototypen unter anwendungsnahen Prüfbedingungen für den mobilen Einsatz getestet.

Funktionsweise

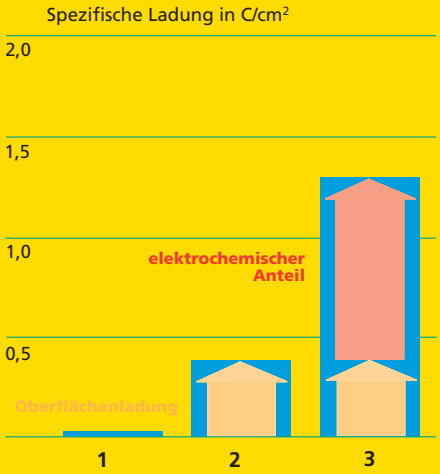
Es gibt im Wesentlichen vier unterschiedliche Konzepte zur elektrochemischen Speicherung von Energie: das Akkumulatorprinzip von herkömmlichen Batterien, die Redox-Flow-Batterie, der Kondensator und die auf einem ähnlichen Prinzip beruhenden Supercaps. Bei Akkumulatoren und Redox-Flow-Batterien wird Energie in chemischer Form durch eine Redoxreaktion gespeichert. Dabei werden Festkörper bzw. im Elektrolyten gelöste Substanzen elektrochemisch umgesetzt. Bei den Akkumulatoren wird der gesamte Festkörper zur Ladungsspeicherung verwendet. Dies ermöglicht hohe Energiedichten, begrenzt aber die Leistungsdichten wegen der langsamen Ionenwanderung im Festkörper.

Das Speicherprinzip von Kondensatoren beruht hingegen nicht auf einer chemischen Reaktion, sondern auf einer Ladungstrennung. Die gespeicherte Energiemenge hängt dabei von der Kondensatorfläche und dem Abstand zwischen den Kondensatorelektroden ab – je kleiner der Abstand und je größer die Fläche, desto höher die Kapazität und umso mehr Energie wird gespeichert. Gemessen wird die Kapazität in der Einheit Farad (F).

Bei Supercaps wird die Ladungstrennung gleichzeitig an je zwei Elektroden erzielt: An den Grenzflächen zwischen den elektrisch geladenen Elektroden mit sehr hoher Oberfläche und dem

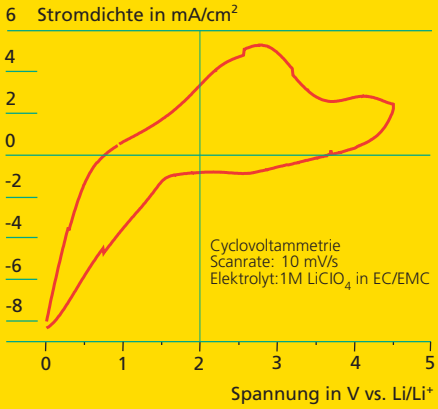
NanoCap® – rapid high-capacity energy storage

Current research work on materials for double-layer capacitors mainly focuses on carbon based materials and the selection of suitable electrolytes. Base materials for electrodes of double-layer capacitors are as a rule carbons made of low-cost precursors which are deployed as high specific surface particles having suitable pore distribution. The Fraunhofer ISC and its partners, however, make use of nanostructured films for energy storage, with a coating of suitable metal oxides such as MnO_2. The key advantage of these materials is their high specific capacity. The project examined the technical feasibility and performance capability of this new approach. Nanostructured metallic films produced at laboratory scale were combined with pseudo-capacitive thin layers, and their very high charge densities were verified.



1 *Ni-Folie*
2 *Ni-Folie + 20 µm Dendriten*
3 *Ni-Folie + 20 µm Dendriten + MnO_2*

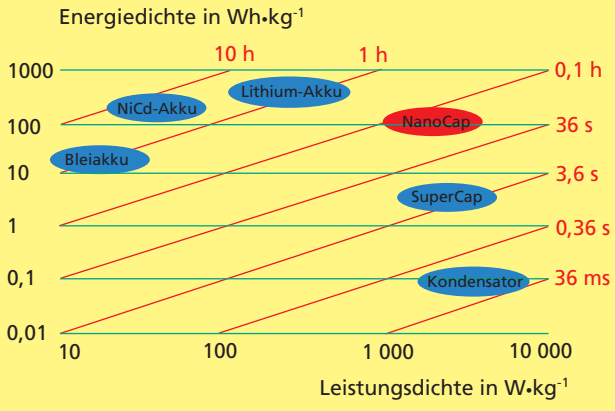
Verbesserung der Ladungsdichte durch Nanostrukturierung mit pseudokapazitiver MnO_2-Schicht gegen über einer Ni-Folie.



ionenhaltigen Elektrolyten bilden sich jeweils elektrochemische Doppelschichten aus – analog zum Kondensator also eine Art Ladungstrennung. Durch die geringe Dicke der elektrochemischen Doppelschicht – je nach Elektrolyt weniger als 1 nm – erhält man so sehr große Kapazitäten. Mit ihrer verhältnismäßig großen Oberfläche und den sehr kurzen Transportwegen für die Ladungstrennung in der elektrochemischen Doppelschicht nehmen Supercaps die Energie sehr schnell auf und stellen sie bei Bedarf auch sehr schnell wieder zur Verfügung (hohe Leistungsdichte). Weil aber nur die Oberfläche, nicht das Volumen genutzt wird, liegt ihre Energiedichte Größenordnungen unter der von beispielsweise Lithiumionen-Batterien (Grafik *Ragone-Plot*).

Stand der Technik

Supercaps zeichnen sich durch hohe Leistungsfähigkeit und hohe Zyklenfestigkeit aus. Derzeit gängige Supercaps nutzen zur Ladungsspeicherung die elektrochemische Doppelschicht, z. B. an (Aktiv-)Kohlenstoffen mit optimierter Porosität und hoher spezifischer Oberfläche (> 2000 m²/g). Damit stehen hohe Kapazitäten zur Verfügung und die Energie kann schnell bereitgestellt werden. Supercaps mit kohlenstoffhaltigen Basismaterialien haben allerdings einige Nachteile: ungenügende Energiedichte, maximale Arbeitstemperatur bis 70 °C und Kosten, die mit 2 ct/F (Zelle) zu hoch sind für wichtige Anwendungsbereiche wie beispielsweise neue Antriebssysteme für Kraftfahrzeuge. Außerdem lassen giftige und niedrig siedende Flüssigelektrolyte den Einsatz in größerem Umfang kritisch erscheinen.



Ragone Plot zum Vergleich der unterschiedlichen Energiespeichertechnologien

Nanostrukturierte Elektroden und abgestimmte Elektrolyte

Supercaps mit höherer Energiedichte können auf der Basis bestimmter Metalloxide hergestellt werden. Durch den Einsatz von Aktivmaterialien mit einer sogenannten Pseudokapazität, z. B. Rutheniumdioxid (RuO_2) oder Mangandioxid (MnO_2) kann die Speicherfähigkeit in den dadurch erhaltenen Hybridkondensatoren durch zusätzliche Redoxprozesse an den Elektrodenoberflächen weiter vergrößert werden. Edelmetalloxide wie RuO_2 sind allerdings sehr teuer. Die aktuelle Forschung zu Doppelschichtkondensatoren am Fraunhofer ISC konzentriert sich deshalb auf neue Dünnfilmelektroden, die mit pseudokapazitiven Speichermaterialien auf der Basis von MnO_2 beschichtet werden. Der Vorteil dieser Materialien liegt insbesondere in der hohen spezifischen Kapazität. Die unterschiedlich strukturierten Substrate (Bild *Ni-Substrat vor der Beschichtung*) wurden mit der modifizierten MnO_2-Elektrodenschicht überzogen (Bild *MnO_2-Beschichtung*) und auf ihre Leistungsfähigkeit hin untersucht. Die vergleichenden Messungen wurden genutzt, um geeignete Kombinationen für kommerziell umsetzbare Supercap-Elektroden zu identifizieren und die dafür passenden schnellen Elektrolytmaterialien zu entwickeln. Zusätzlich wurde die Zusammensetzung der Speicherschicht durch Li-Dotierung verbessert, um die Energiedichte weiter zu erhöhen.

REM-Bild MnO_2-Beschichtung auf dem Nickelsubstrat

Ergebnisse

Bei der Abschätzung der Fertigungskosten für die Elektroden zeigte sich, dass Dank der im Vergleich zu RuO_2 günstigen Grundmaterialien Nickel und MnO_2 und dem Einsatz kontinuierlicher Beschichtungsverfahren Herstellungskosten im Bereich von 1 ct/F erreichbar sind. Damit ist eine wesentliche Hürde vor einer möglichen Weiterentwicklung zur industriellen Anwendung genommen. Am Fraunhofer ISC wurde in diesem Zusammenhang bereits ein MnO_2-Sol entwickelt, mit dem sich durch Tauchziehverfahren die Elektrodenbeschichtung im Minutentakt auch in einem kontinuierlichen Beschichtungsverfahren herstellen lässt. Im Labormaßstab konnte so gezeigt werden, dass mit den NanoCap®s sehr hohe Ladungsdichten erreichbar sind (Grafik *Verbesserte Ladungsdichte*). Um die Zielkosten und die für den Automobilbereich erforderlichen Herstellungskapazitäten zu gewährleisten, war das Elektrodenkonzept aus NanoCap® I im Technikumsmaßstab nur begrenzt umsetzbar. Dementsprechend wurden auch die sehr guten Ergebnisse im Labor nur teilweise und die hohen Ladungsdichten nicht erreicht.

Unter dem Projekt EnergyCap, das seit Juli 2009 vom BMBF gefördert wird, werden die grundsätzlichen Arbeiten zum Konzept von NanoCap®, ein Material mit Pseudokapazität mit einem Material mit einer hohen nanostrukturierten Oberfläche zu kombinieren, fortgeführt. In diesem Projekt soll die bereits entwickelte Beschichtungstechnologie mit pseudokapazitiven Batteriematerialien auf breiter Basis zusammen mit anderen Materialherstellern und Forschungsinstituten weitergeführt und auf weitere Basismaterialien übertragen werden.

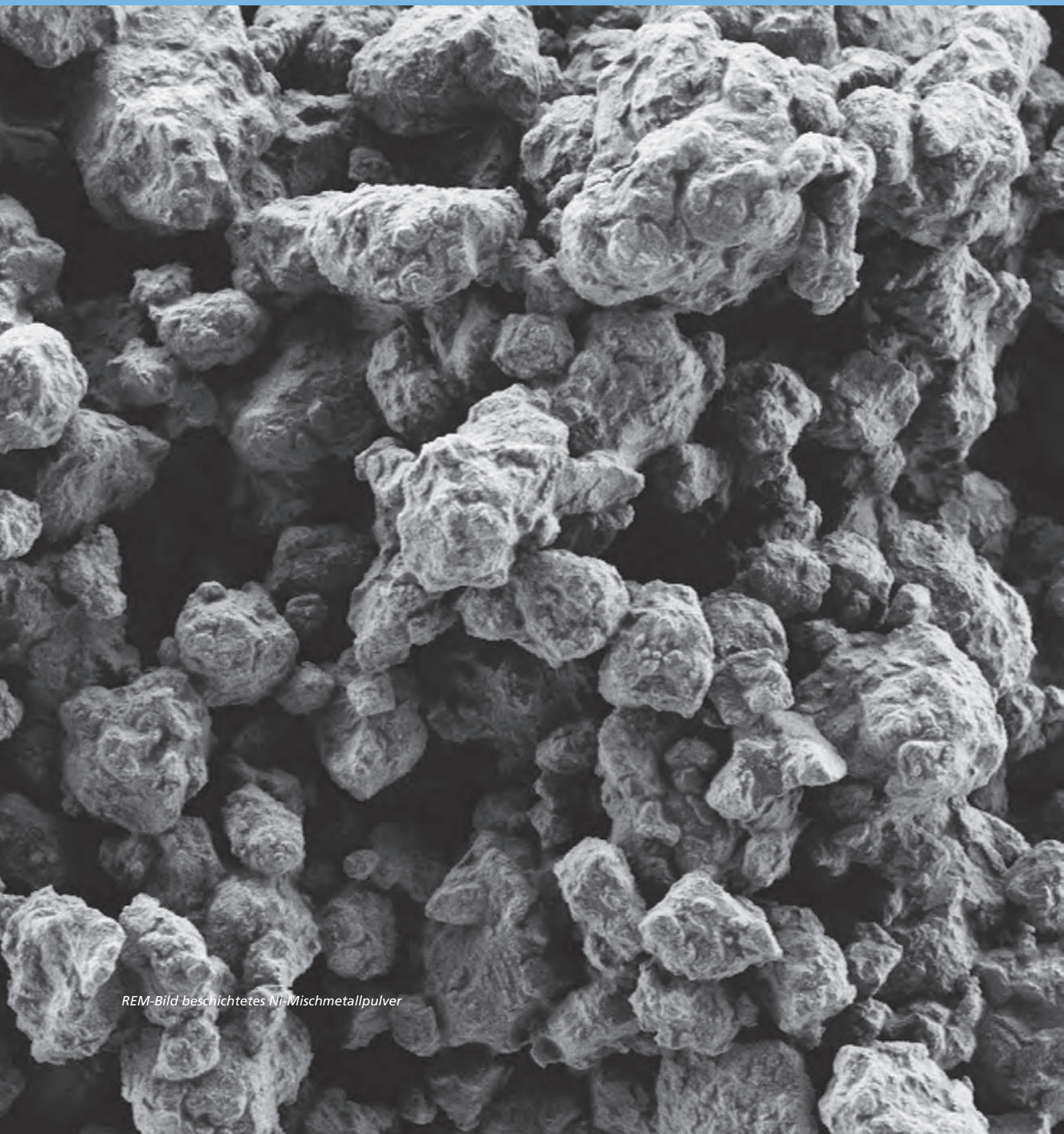
Hauptanwendungsfelder der Hybridkondensatoren sollen die Rückgewinnung der Bremsenergie von Autos, Straßenbahnen und Zügen (Rekuperation), die unterbrechungsfreie Stromversorgung sowie die Zwischenspeicherung und Netzeinkopplung elektrischer Energie aus Quellen erneuerbarer Energien (Windkraftanlagen und Photovoltaik) sein. Aber auch zukünftige Fahrzeuggenerationen mit neuen Antriebskonzepten, wie Wasserstoffverbrennungsmotor, Elektroantrieb oder Brennstoffzelle, können von leistungsfähigen Supercaps mit hoher Energie- und Leistungsdichte profitieren und durch intelligente Kombination weniger Treibstoff benötigen. Im Vergleich zum Akkumulator wird durch die viel schnellere Energieaufnahme beim Bremsen und Bergabfahren oder Ausrollen effizienter Energie gewonnen, die für die nächste Beschleunigung, Bergauffahrt oder den Start wieder zur Verfügung steht. Damit dient ein Hybridkondensator sowohl der Ressourcenschonung als auch der Schadstoffreduktion als übergeordneten ökologischen Aspekten im Fahrzeugbau.

Kontakt
Dr. Kai-Christian Möller
Elektrochemische Energiespeicherung und -wandlung
Telefon: +49 931 4100-519
kai-christian.moeller@isc.fraunhofer.de

Projektdetails
NanoCap® – Advanced Supercaps für automobile Anwendungen auf Basis nanostrukturierter Materialien
Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF
Förderkennzeichen: 19U5021A
Projektlaufzeit: September 2005 bis Dezember 2008

Projektpartner
BMW Group, München
Brandenburgische Kondensatoren GmbH, Brenzlau
Robert Bosch GmbH, Gerlingen-Schillerhöhe
Technische Universität Chemnitz

HYDRONANOPOL: NANOTECHNISCH OPTIMIERTE ELEKTRODE FÜR LEISTUNGSFÄHIGE NiMH-BATTERIEN



REM-Bild beschichtetes Ni-Mischmetallpulver

Das Schwermetall Cadmium ist schon in geringen Konzentrationen giftig, krebserregend und erbgutschädigend. In der Umwelt wird es nicht abgebaut, sondern reichert sich an und kann so leicht in die Nahrungskette gelangen. Aufgrund der hohen Toxizität wurde die Verwendung von Cadmium in den letzten Jahren vom Gesetzgeber stark eingeschränkt. Auch der Einsatz von Nickel-Cadmium(NiCd)-Batterien wurde weitgehend verboten. Bis auf wenige Ausnahmen dürfen gemäß der Batterie-Richtlinie 2006/66EG seit September 2008 in der EU keine cadmiumhaltigen Batterien mehr in Umlauf gebracht werden.

Herkömmliche Nickel-Metallhydrid(NiMH)-Batterien enthalten keine giftigen Schwermetalle, doch können sie NiCd-Batterien nicht lückenlos ersetzen, da ihrer höheren Energiedichte eine geringere Zyklenfestigkeit und vor allem ein geringerer maximaler Lade- und Entladestrom gegenübersteht. Für Anwendungen mit hohem Energieverbrauch, wie z. B. schnurlose Power-Tools, Notstromaggregate und diverse mobile Anwendungen in der Medizintechnik, bleibt der Einsatz von NiCd-Batterien deshalb vorerst erlaubt. Es ist jedoch absehbar, dass cadmiumhaltige Energiespeicher auch in diesen Bereichen verboten werden, sobald technisch gleichwertige Alternativen zur Verfügung stehen.

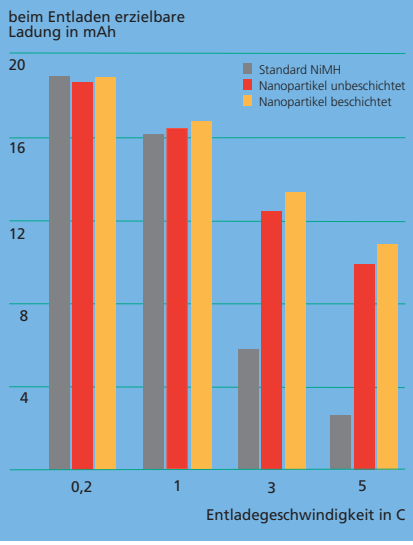
Im Rahmen des EU-geförderten Projekts HydroNanoPol hat das Fraunhofer ISC gemeinsam mit dem Industriepartner Varta Microbattery sowie Forschungseinrichtungen aus drei europäischen Ländern an verbesserten Batteriekonzepten auf NiMH-Basis gearbeitet. Unter der Leitung von Dr. Kai-Christian Möller war das Kompetenzfeld Elektrochemische Energiespeicherung und -wandlung für die Entwicklung multifunktioneller Beschichtungen auf Basis von anorganisch-organischen Hybridpolymeren zuständig. Solche Beschichtungen sollen den Einsatz nanostrukturierter Elektrodenpulver ermöglichen und damit die Leistungsabgabe der Batterien deutlich beschleunigen.

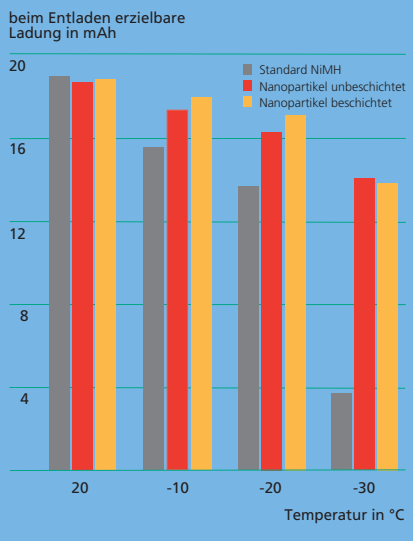
Anode als geschwindigkeitsbestimmende Komponente

Die Anode einer NiMH-Batterie besteht aus Nickel-Mischmetallpulver, das beim Ladevorgang Wasserstoff aufnimmt, so dass sich ein Metallhydrid bildet. Wird gespeicherte Energie abgerufen, diffundiert der Wasserstoff mehr oder weniger schnell aus dem Inneren des Elektrodenmaterials zur Oberfläche, während die Elektronen durch den Stromverbraucher zur anderen Elektrode wandern. Die Anode ist dabei die geschwindigkeitsbestimmende Komponente der wiederaufladbaren Batterie. Je größer die Oberfläche ist und je kürzer die Diffusionswege zur Oberfläche sind, desto schneller erfolgt die Energieabgabe und desto höher sind auch die entnehmbaren

Nanotechnologically improved electrode for high capacity NiMH batteries

Apart from a few exceptions, it is illegal to introduce batteries containing cadmium into circulation in the EU under the Battery Directive 2006/66EC. Conventional nickel-metal-hydride batteries cannot, however, completely replace NiCd batteries. For high-performance applications, the maximum charge and discharge current of normal NiMH batteries is too low. A key factor is that the charge and discharge rate depends decisively on the size of the metal hydride particles. Under the EU-supported HydroNanoPol project, the particle size was reduced and the surface/volume ratio of the cathode increased. The fine crystalline misch metal powder, however, has a much higher surface energy and is highly flammable under the influence of air. Therefore, it must be passivated before processing. An ORMOCER®-based coating developed by the Fraunhofer ISC prevents the metal powder from oxidizing in air. The coating then dissolves in the aqueous KOH electrolyte, which even improves the battery's ion conductivity.





Ströme. Die Leistungsdichte der NiMH-Batterie hängt somit von der vorhandenen aktiven Anodenoberfläche ab. Die geometrische Oberfläche der Anode lässt sich beispielsweise durch noch dünnere Elektroden vergrößern. Effektiver ist es allerdings, die Partikelgröße des Metallpulvers zu verringern, denn auf diese Weise lässt sich das Oberfläche/Volumen-Verhältnis weiter erhöhen. Die Partikelgröße bei handelsüblichen NiMH-Akkus liegt durchschnittlich bei einigen zehn Mikrometern. Im Zuge des HydroNanoPol-Projekts konnten dank innovativer Mahltechniken Partikeldurchmesser von nur wenigen Mikrometern realisiert und so die wirksame Oberfläche der Mischmetallpartikel deutlich erhöht werden. Zudem wurde eine nanokristalline Struktur der Partikel erhalten. Dadurch kann deutlich mehr Wasserstoff pro Zeiteinheit abgegeben werden.

Aufgrund der deutlich höheren Oberflächenenergie hat das feinkristalline Mischmetallpulver jedoch auch einen entscheidenden Nachteil: Es ist unter Lufteinwirkung hochentzündlich. Um diese für die Herstellung von Batteriezellen problematische Reaktivität auszuschalten, muss das Pulver daher vor der Verarbeitung zunächst passiviert werden.

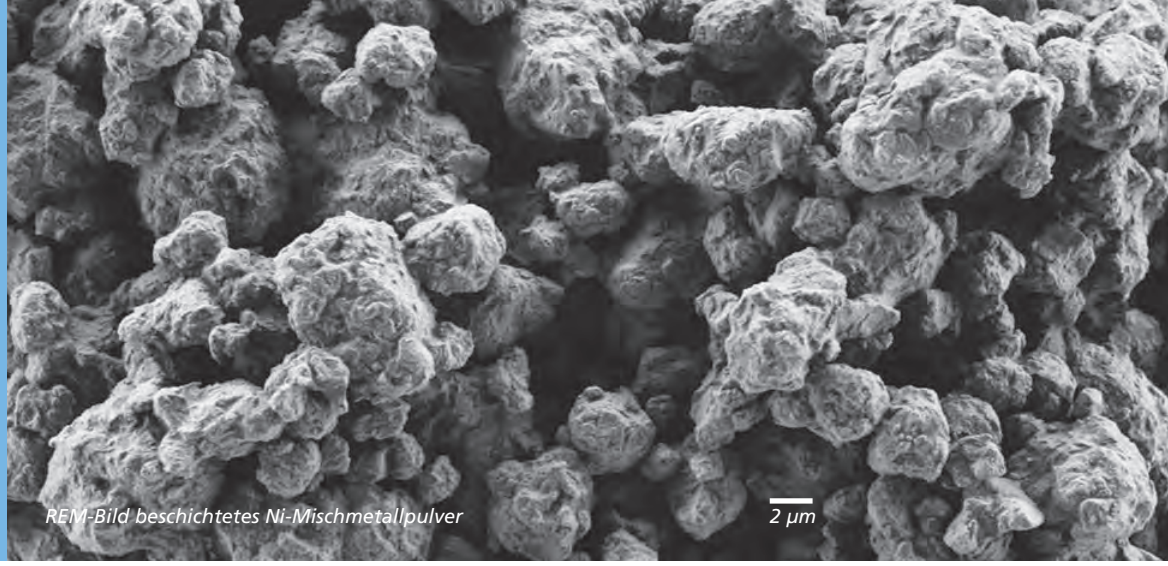
Nanobeschichtete Elektroden

Als eine Art Korrosionsschutz soll die Passivierungsschicht verhindern, dass die Mischmetalllegierung während der Batterieproduktion oxidiert. Auf der anderen Seite darf die Passivierungsschicht in der fertigen Batterie den Ionenübergang vom Elektrolyten zu den Partikeln nicht behindern. Das sind zwei Bedingungen, die ein Material gleichzeitig nur schwer erfüllen kann. Den Wissenschaftlern des Fraunhofer ISC gelang es jedoch, erstmals einen Werkstoff zu entwickeln, der genau das leistet. Der Werkstoff basiert auf einem anorganisch-organischen Hybridpolymer (ORMOCER®), das in einem Sol-Gel-Prozess synthetisiert wird. Dabei werden funktionale anorganische Molekülcluster in einer Größenordnung von 1 bis 10 Nanometern über organische Gruppen vernetzt. Es entstehen hochvernetzte, transparente Materialien, deren Eigenschaften über die Auswahl der anorganischen und organischen Strukturelemente in weiten Bereichen gesteuert werden können. Entsprechend breit ist ihr Anwendungsspektrum.

Ein Beispiel sind spezielle ORMOCER®e, die bereits im Jahresbericht 2007 für die Verwendung als nicht-entzündliche Elektrolyte und Elektrodenbinder in Lithium-Ionen-Batterien vorstellt wurden. Die neue anorganisch-organische Passivierungsschicht auf ORMOCER®-Basis haftet sehr gut auf der Oberfläche der Nickel-Mischmetall-Partikel (Abb. *REM-Bild beschichtetes Ni-Mischmetallpulver*) und löst sich erst nach erfolgter Verarbeitung im alkalischen Milieu des wässrigen KOH-Elektrolyten (Kalilauge) auf, wobei die Ionenleitfähigkeit in der Batterie sogar verbessert wird. Es bildet sich ein Elektrolyt-Gel, das die hohen Entladegeschwindigkeiten ermöglicht, die für Hochleistungsanwendungen benötigt werden.

Diagramm: Entladegeschwindigkeit
Bei wiederaufladbaren Batterien spielt die Leistungsdichte die entscheidende Rolle. Ziel ist es, möglichst hohe Lade- und Entladekapazitäten bei hoher C-Rate – also großer Entladegeschwindigkeit – zu erreichen. NiMH-Testzellen mit Hochleistungselektroden aus beschichteten Nanopartikeln weisen im Vergleich zu herkömmlichen Anodenmaterialien deutlich höhere Entladegeschwindigkeiten auf.

Diagramm: Temperaturabhängigkeit
Im Tieftemperaturbetrieb kann die Leistungsabgabe der Batterie durch Einsatz der Hochleistungselektroden deutlich erhöht werden. Die Leistungsfähigkeit der ORMOCER®-beschichteten Nanopartikel liegt bis zu einer Temperatur von -20 °C sogar über der von unbeschichteten Materialien.



REM-Bild beschichtetes Ni-Mischmetallpulver

Erfolgreiche Umsetzung

Mithilfe der am Fraunhofer ISC durchgeführten thermogravimetrischen Messungen wurde das thermische Verhalten der Ni-Mischmetall-Partikel vor und nach der Beschichtung bestimmt. Während unbehandelte Pulverproben schon bei Temperaturen von 130 °C thermisch instabil werden und sich entzünden, ist das mit ORMOCER® passivierte Pulver bis mindestens 230 °C stabil. Dadurch wird die Verarbeitung der feinkristallinen Elektrodenmaterialien erheblich vereinfacht.

Bei wiederaufladbaren Batterien spielt die sogenannte C-Rate eine entscheidende Rolle. Sie gibt die Größe der Lade- und Entladeströme unabhängig von der Kapazität der verschiedenen Zellen an und ist somit ein Maß für die Leistungsfähigkeit einer Batterie. Während bei niedriger C-Rate (0,2 C und 1 C) kaum oder wenig Unterschied zum herkömmlichen Anodenmaterial festzustellen ist, weisen die mit Hochleistungselektroden ausgestatteten Testzellen bei hoher C-Rate – also bei schnellen Entladevorgängen – eine hohe Entladekapazität auf.

Das bedeutet, dass auch bei schnellen Entladevorgängen ein großer Anteil der in der Batterie gespeicherten Energie wieder abgegeben wird. Gegenüber Standard-NiMH-Batterien konnte die Leistungsabgabe bei einer C-Rate von 3 C (Entladung in 1/3 Stunde = 20 Minuten) um mehr als das Doppelte gesteigert werden. Bei einer C-Rate von 5 C liegt die Entladekapazität sogar um das Vierfache höher als bei herkömmlichen NiMH-Batterien (Grafik *Entladegeschwindigkeit*).

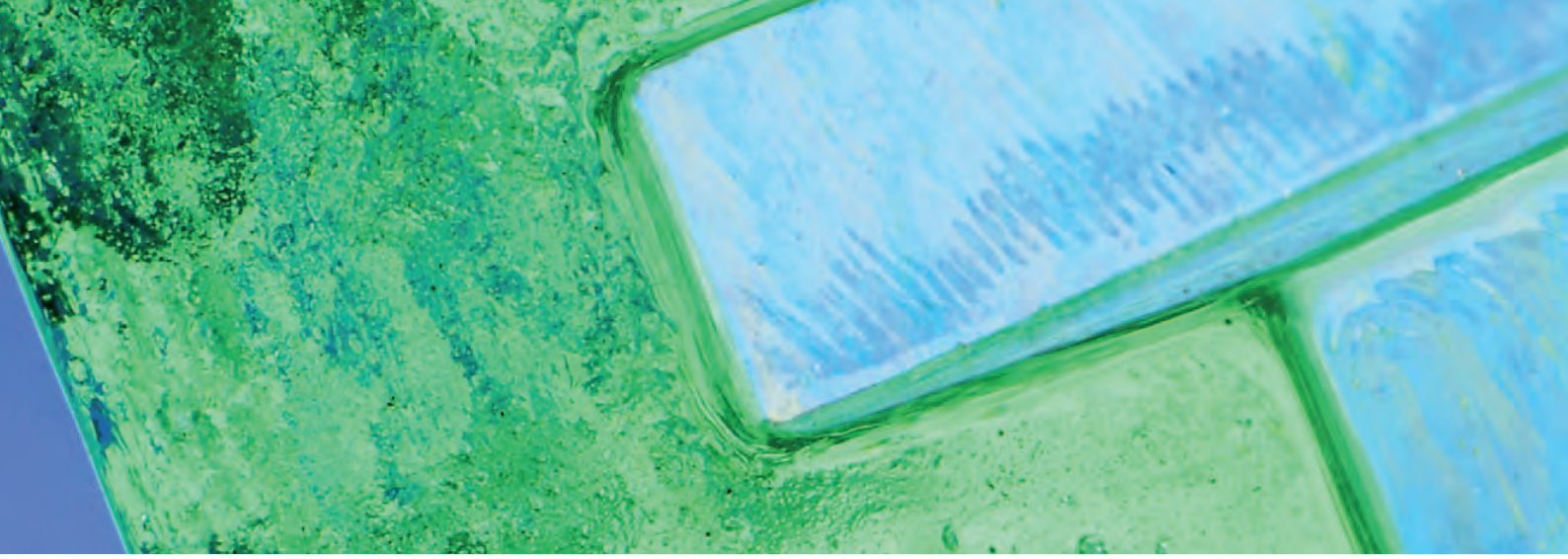
Auch das Verhalten der Batterien bei niedrigen Temperaturen wurde untersucht. Mit konstanter C-Rate von 0,2 C konnte bei Raumtemperatur kaum ein Unterschied zwischen den Anodenmaterialien festgestellt werden. Bei niedrigen Temperaturen jedoch weisen die mit den neuen Hochleistungselektroden ausgestatteten Testzellen eine erheblich höhere Entladekapazität auf. So ist bei einer Temperatur von -30 °C die Leistungsabgabe um einen Faktor 3,5 größer als bei herkömmlichen NiMH-Batterien (Grafik *Temperaturabhängigkeit*). Hier kommt auch der positive Einfluss der ORMOCER®-Beschichtung der Nanopartikel am deutlichsten zum Tragen.

Da die verschiedenen Tests an Hochleistungsbatterien zur Ermittlung der Energiedichte und zur Zyklenfestigkeit positiv verlaufen sind, kann als nächstes die Überprüfung des Einsatzes solcher Hochleistungsmaterialien in kommerziellen Zellen seitens der Batteriehersteller beginnen.

Kontakt
Dr. Kai-Christian Möller
Elektrochemische Energiespeicherung und -wandlung
Telefon +49 931 4100-519
kai-christian.moeller@isc.fraunhofer.de

Projektdetails
HydroNanoPol – Advancement in storage capability and hydrogen kinetics of hydride storage alloys through nano-coating with multifunctional hybrid polymer
Gefördert im 6. EU-Rahmenprogramm, Priority 3 NMP
Förderkennzeichen: 032517 ESR
Projektlaufzeit: Oktober 2006 bis September 2009

Projektpartner
Varta Microbattery GmbH, Ellwangen
M.B.N. Nanomaterialia S.p.A., Vascon di Carbonera (I)
CSGI – Consorzio Interuniversitario per lo Sviluppo dei Sistemi a Grande Interfase, Sesto Fiorentino (I)
AGH University of Science and Technology, Krakau (PL)
Warsaw University, Warschau (PL)



GLAS UND KERAMIK

Das Geschäftsfeld fasst die Kompetenzen des Fraunhofer ISC auf den Gebieten der technischen Spezialgläser, der Glaskeramiken und der Hochleistungskeramiken zusammen. Im vergangenen Jahr wurde das Portfolio um das Themengebiet der keramischen Hochtemperatur-Verstärkungsfasern erweitert und ergänzt so die Aktivitäten im Bereich der Verfahrensentwicklung für Infiltrationskeramiken und Ceramic Matrix Composites.

Ein zentrales Aufgabengebiet ist die Verfahrens- und Parameteroptimierung für eine inhärent sichere und kostengünstige Herstellung von Hochleistungskeramiken in 6-Sigma-Qualität bei gleichzeitig geringem Energieverbrauch. Innerhalb der Prozesskette stehen dabei die zentralen Verfahrensschritte wie Formgebung, Entbinderung und Sinterung im Fokus. Die Kombination von Modellierung und In-situ-Messung ermöglicht die zielgerichtete Optimierung der Materialien sowie die Ausarbeitung angepasster Prozessparameter.

Die Entwicklung und Synthese von Ausgangsmaterialien für hochtemperaturstabile keramische Verstärkungsfasern bis zur Faserherstellung im Pilotmaßstab ist ein weiterer Schwerpunkt der Materialentwicklung im Bereich der technischen Keramik. Extrem belastbare und verschleißarme Materialien und Werkstoffe können einen wichtigen Beitrag zu Effizienzverbesserung von Verbrennungsprozessen leisten. Keramische Leichtbauwerkstoffe, die hohen Temperaturen standhalten können, bei denen klassische metallische Werkstoffe bereits versagen, machen beispielsweise höhere Prozesstemperaturen in der Kraftwerkstechnik möglich und tragen so zur Wirkungsgraderhöhung bei.

Die Entwicklung kundenspezifischer Spezialgläser, wie sie unter anderem in der Optik, der Bautechnik oder der Elektronik eingesetzt werden, ist ein weiteres Leitthema des Geschäftsfelds. Angefangen bei Simulationsverfahren zur Identifizierung geeigneter Glaszusammensetzungen für ein spezifisches Anforderungsprofil über die eigentliche Glasentwicklung und Glascharakterisierung bis hin zur Prozessentwicklung wird der gesamte Entwicklungs- und Herstellungsprozess abgedeckt. Mit der automatisierten Schmelzscreening-Anlage des Fraunhofer ISC wird der Entwicklungszeitraum dabei erheblich verkürzt. Bei Bedarf können die anwendungsspezifisch optimierten Gläser in Kleinmengen bis in den kg-Maßstab an die Kunden geliefert werden.

Vertiefte Materialkenntnis und die Analyse der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen bilden die Grundlage für eine zielgerichtete Verbesserung von Produkten und Prozessen. Im Analytischen Dienstleistungszentrum steht ein breites

Spektrum an Methoden und Verfahren zur chemischen Analyse, Oberflächenanalytik und Gefügeanalyse zur Verfügung. Die Kombination artefaktfreier Präparationsmethoden wie das Cross-Section-Polishing oder das Focused Ion Beam Verfahren (FIB) mit höchstauflösender elektronenmikroskopischer Analytik sind die Basis für eine schnelle Analyse möglicher Schadensursachen einerseits und Verbesserungsansätze andererseits. Das Analytische Dienstleistungszentrum ist damit zentraler Ansprechpartner für analytische Fragestellungen bei industriellen Produktentwicklungen und -optimierungen. Ein weiteres Angebot des Geschäftsfelds umfasst die Entwicklung und den Bau von Sonderanlagen und Messgeräten zur Prozessüberwachung, wie Justieranlagen für Volumenmessgeräte und thermooptische In-situ-Messsysteme, die weltweit von Kunden aus der Glas- und Keramikindustrie nachgefragt werden.

Aktuell wird über den Stand der Entwicklung von hochtemperaturbeständigen keramischen Verstärkungsfasern für keramische und metallkeramische Verbundwerkstoffe berichtet sowie über Struktur-Eigenschaftssimulationen an Nicht-Oxid-Keramiken, ein lasergestütztes Verfahren zur Qualitätskontrolle keramischer Bauteile und die Entwicklung niedrigschmelzender bleifreier Glaslote.

Glas und Keramik
PD Dr. Friedrich Raether
Geschäftsfeldleiter
Telefon +49 931 4100-200
friedrich.raether@isc.fraunhofer.de

NEUE VERSTÄRKUNGSFASERN FÜR METALLISCHE VERBUNDWERKSTOFFE

Fusionsreaktor

Seit Jahrzehnten ist die Kernfusion ein großes Ziel der Grundlagenforschung. Die bestechende Vision, mit harmlosen und reichlich verfügbaren Brennstoffen die Energieversorgung der Menschheit sicherzustellen in einem Prozess, wie er im Inneren der Sonne stattfindet, treibt die Forscher voran (Bild *Schema eines Fusionskraftwerks, MPI für Plasmaphysik*). Andererseits jedoch erfordert die Beherrschung dieses Prozesses enormen Aufwand und heute noch nicht verfügbare Spezialmaterialien, die den Bedingungen der Fusion standhalten können.

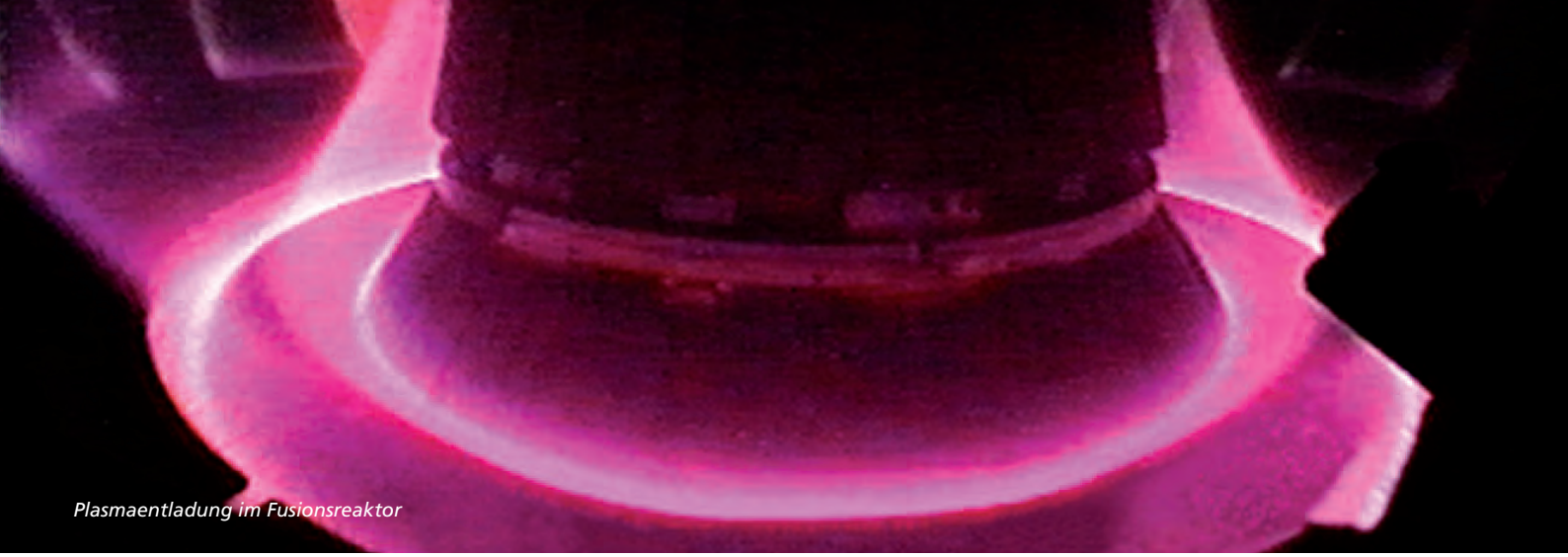
Materialanforderungen, Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit

Neben der hohen Wärmelast, die an manchen Bauteilen bis zu 15 MW/m² betragen kann, werden durch Kernfusion Neutronen freigesetzt, die zu einer radioaktiven Belastung der Materialien führen. Ein Bauteil mit besonders hoher Wärmelast ist der sogenannte Divertor, der zur Reinigung des Plasmas im Fusionsreaktor benötigt wird (Bilder *Fusionsreaktor* und *Plasmaentladung, MPI für Plasmaphysik*). Während der Fusionsreaktion entstehen Helium-Kerne als Fusionsprodukte, dazu kommen Verunreinigungen aus den Wänden des Reaktors – beides würde einen kontinuierlichen Betrieb des Reaktors stören. Diese Teilchen werden auf den Divertor gelenkt (im Bild *Fusionsreaktor* sind die ringförmig umlaufenden Platten des Divertors zu sehen) und geben dort beim Aufprall eine große Menge Energie ab, die den Divertor aufheizt. Für die Wärmesenke des Divertors müssen deshalb Werkstoffe gefunden werden, die nicht nur eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit von mindestens 200 W/mK und ausreichende Festigkeit bei Temperaturen von bis zu 550°C ausweisen, sondern auch möglichst lange der Neutronenbelastung standhalten. Geeignet dafür erscheinen derzeit mit keramischen Siliciumcarbidfasern verstärkte Kupfermatrix-Verbundwerkstoffe (MMC – metal matrix composite). Kupfer weist eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit von 380 W/mK auf. Durch die Verstärkung mit SiC-Fasern soll die geforderte Festigkeit und Kriechbeständigkeit auch bei hohen Temperaturen erreicht werden.

Zurzeit werden für Kupfer-MMC-Werkstoffe SiC-Fasern mit einem Durchmesser von 140 µm eingesetzt, die einen sehr hohen E-Modul von 380 GPa und eine thermische Leitfähigkeit von 250 W/mK aufweisen. Nachteil dieser Fasern ist ihr Kohlenstoffkern, denn dessen Durchmesser vergrößert sich unter Neutronenbelastung, und das führt zu inneren Spannungen. Außerdem sind sie extrem teuer, und alle Bezugsquellen liegen derzeit in den USA. Da sie als strategisches Material eingeordnet werden, gibt es keine Versorgungssicherheit. Ein europäischer Hersteller bietet zwar eine Alternative an, jedoch scheint der Herstellungsprozess nicht stabil genug für eine zuverlässige Versorgung zu sein. Gemeinsam mit dem in der Fusionsreaktorforschung bereits seit langem etablierten Max-Planck-Institut für Plasmaphysik IPP in Garching arbeitet das Fraunhofer

New reinforcing fibers for metallic composites

Nuclear fusion as the energy source of the future is one of the major goals of basic research. Mastering this process will, however, entail enormous expense and require special materials not yet available today that can withstand the extreme conditions of fusion. In cooperation with the Max Planck Institute for Plasma Physics IPP in Garching, the Fraunhofer ISC is working on the development of fiber-reinforced metals (MMC) based on SiC fibers. A new production process is intended to provide cheaper fibers for MMCs. For the synthesis of spinnable polymers SiC copolymers based on chlorosilane fractions are used, which are a waste product from the production of chlorosilanes. The synthesis route developed at the Fraunhofer ISC now makes it possible to produce a polymer precursor from these low-cost waste products that delivers spinnable and pyrolysis-capable precursors for pure stoichiometric SiC.

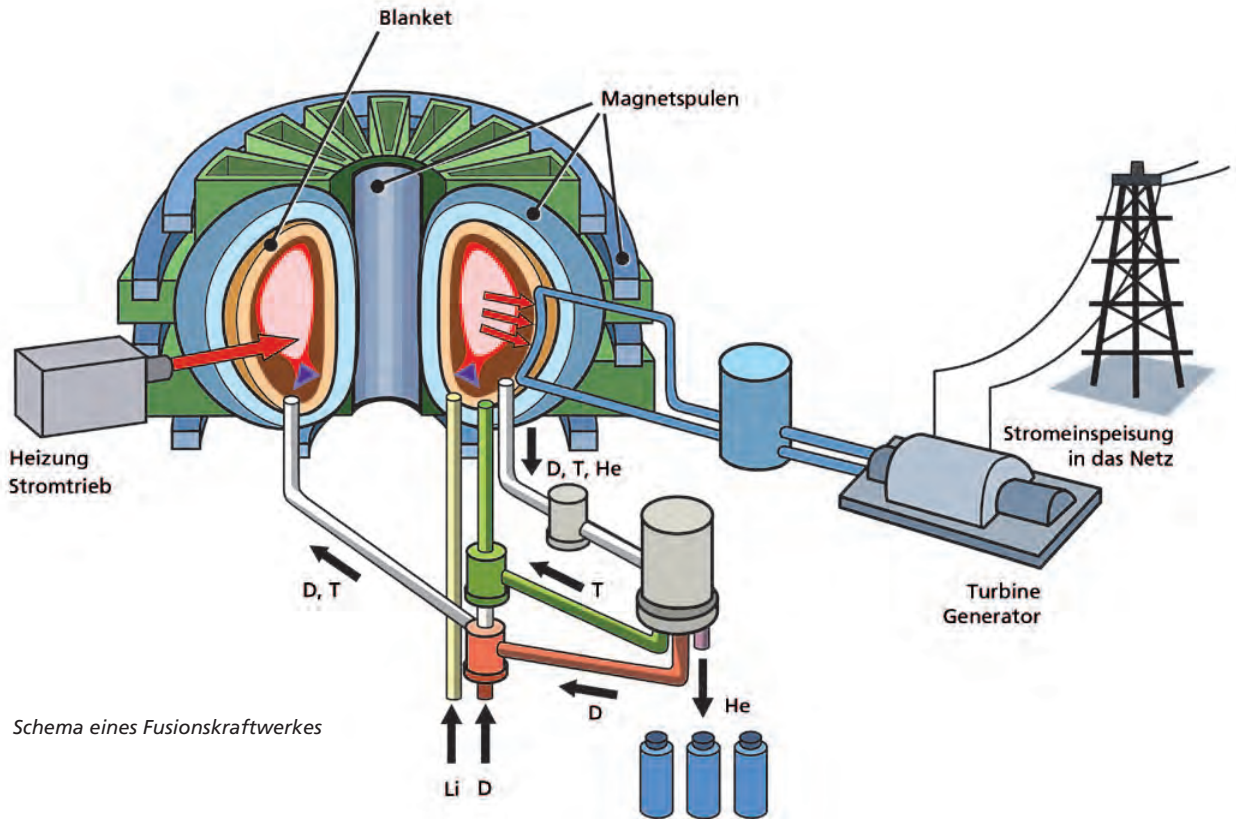


Plasmaentladung im Fusionsreaktor

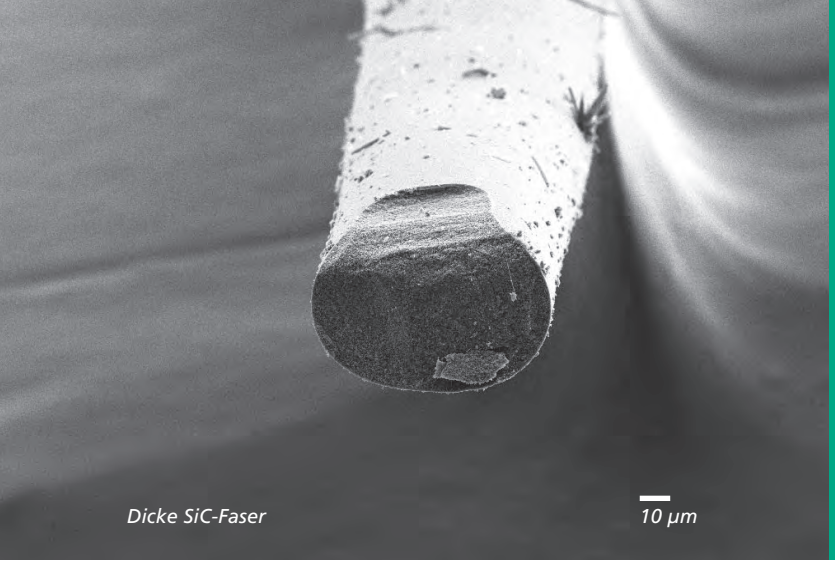
ISC an der Entwicklung eines neuartigen SiC-Fasertyps und dessen Erprobung in Kupfer-MMC. Ziel des Vorhabens ist es, über eine alternative Herstellungsroute kostengünstigere Fasern bereitzustellen und sie für einen möglichen Einsatz in künftigen Fusionsreaktoren zu qualifizieren. Die Grundlagenkompetenz des IPP bei der Herstellung von MMC und die Anwendungskompetenz des ISC bei der Herstellung keramischer Hochtemperaturfasern ergänzen sich dabei perfekt. Das gemeinsam erarbeitete Know-how soll mittelfristig an industrielle Partner übertragen werden. Damit soll eine Werkstoffinnovation ermöglicht werden, die Unternehmen am Standort Deutschland eine Chance gibt, sich den MMC-Markt zu erschließen. In diesem Zusammenhang von besonderem Interesse ist der Einsatz von SiC-Fasern in der Verstärkung von Leichtmetallen. Mit SiC-Fasern verstärktes Titan würde beispielsweise neue Möglichkeiten im Turbinenbau eröffnen, und Komposite mit einer Aluminiummatrix könnten im Motorenbau Anwendungen finden.

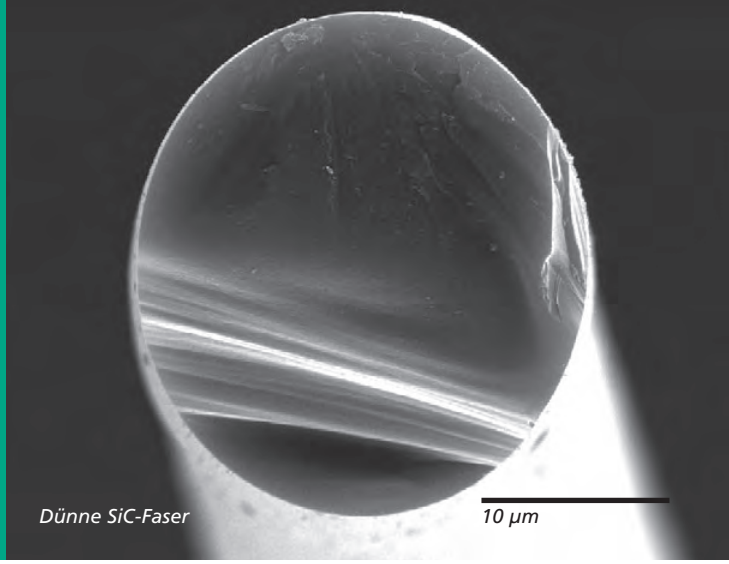
Über polymere Vorstufen zu keramischen Fasern

Um ein kostengünstiges und stabiles Verfahren für SiC-Fasern mit geeigneten Werkstoffeigenschaften zu entwickeln, nutzt das Team um Dr. Andreas Nöth und Arne Rüdinger am Fraunhofer ISC eine alternative Route über die Synthese spinnfähiger Polymere, deren Zusammensetzung nahe bei SiC liegt. Dazu werden SiC-Coplymere, basierend auf Chlorsilanfraktionen, verwendet, die bei der Herstellung von Chlorsilanen als



Schema eines Fusionskraftwerkes





Abfallprodukt anfallen. Die Polymere werden anschließend zu Grünfasern gesponnen, pyrolysiert und gesintert. Damit konnten bereits dünne, textilverarbeitbare SiC-Fasern mit Durchmessern von 10 bis 15 µm für die Verstärkung von Keramik entwickelt werden (Bild *Dünne SiC-Faser*). Die dort bisher erreichten Materialdaten lassen diese Route auch für den neuen Fasertyp für die Verstärkung von Metallen geeignet erscheinen. Die Zugfestigkeiten erreichen zum derzeitigen Projektstand bis zu 1,8 GPa, die gemessenen E-Moduli überschreiten 150 GPa. Ein wesentlicher Vorteil dieser SiC-Fasern liegt darin, dass sie keine Kohlenstoffseele enthalten, sondern vollständig aus Siliciumcarbid aufgebaut sind. Werkstofflich ist diese SiC-Faser also der richtige Kandidat für MMC-Anwendungen im Fusionsreaktor. Darüber hinaus ermöglicht die Route einen günstigen Preis, bedingt durch die Verwendung eines Abfallproduktes als Ausgangsstoff und durch kurze Prozesszeiten.

Die am Fraunhofer ISC entwickelte Syntheseroute wurde im Lauf des Projekts so modifiziert, dass nun ein polymerer Rohstoff hergestellt werden kann, der spinn- und pyrolysefähige Vorstufen für reines stöchiometrisches SiC liefert. Aus den modifizierten Polymervorstufen konnten bereits Langfasern gesponnen, pyrolysiert und gesintert werden. Allerdings sind die Faserquerschnitte derzeit noch oval und entsprechen damit noch nicht den Vorgaben für den Einsatz in den MMC (Bild *Dicke SiC-Faser*). Die Spinn- und Pyrolysetechnik wird in den nächsten Projektschritten optimiert, so dass Fasern mit kreisrunden Querschnitten gesponnen und als gerade Langfasern mit eine Länge von mehr als 100 mm pyrolysiert und gesintert werden können.

Das Verfahren ist durch das Fraunhofer ISC als Patent offengelegt, eine Erteilung ist in Aussicht gestellt (DE102004042531A1). Damit ist auch die Basis für einen späteren Transfer in eine gesicherte industrielle Produktion geschaffen.

Kontakt
Dipl.-Ing. (FH) Arne Rüdinger
Hochtemperaturwerkstoffe und Verfahrenstechnik
Telefon +49 931 4100-433
arne.ruedinger@isc.fraunhofer.de

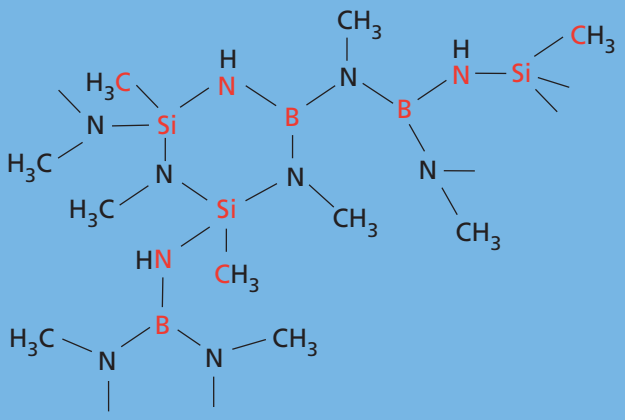
Dr. Andreas Nöth
Hochtemperaturwerkstoffe und Verfahrenstechnik
Telefon +49 931 4100-450
andreas.noeth@isc.fraunhofer.de

Dr. Annegret Brendel
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching
Telefon +49 89 3299-2544
Annegret.Brendel@ipp.mpg.de

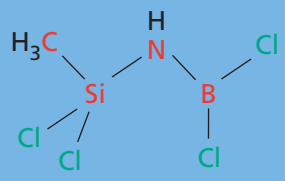
Projektdetails
Neuartige Kupfer-Komposite für extreme Belastungen im Fusionsreaktor.
FhG-Kooperationsprojekt mit der Max-Planck-Gesellschaft
Projektlaufzeit: September 2008 bis August 2009

ENTWICKLUNG VON SiBNC-KERAMIKFASERN FÜR DIE PRODUKTIONS-, ENERGIE- UND VERKEHRSTECHNIK

Aus MADB hergestellte SiBNC-Faserspulen



MADB-Polyborosilazan Struktur



Molekülstruktur MADB

Leistungssteigerung und Energieeffizienz sind wesentliche Innovationstreiber, insbesondere in Branchen wie Fahrzeugbau, Luft- und Raumfahrt, Energie- und Produktionstechnik oder Umwelttechnik und Maschinenbau. In der konventionellen Kraftwerkstechnik mit fossilen Brennstoffen könnten beispielsweise durch eine Erhöhung der Betriebstemperatur der Wärmetauscher um 200 K bei gleicher Leistung rund 15 Prozent an Primärenergie eingespart werden – das bedeutet jedoch hohe Anforderungen an die verwendeten Werkstoffe im Hinblick auf Temperaturbeständigkeit und Festigkeit.

Dort, wo Metalle ihre Leistungsgrenzen erreichen, sind langfaserverstärkte keramische Verbundmaterialien (CMC = Ceramic Matrix Composites) die Werkstoffe der Zukunft: Sie sind bei geringer Dichte sehr fest und steif und darüber hinaus hochtemperaturstabil. Bisher behindern zwei wesentliche Faktoren die Entwicklung und den Einsatz von CMC-Komponenten in der industriellen Fertigung: Die gegenwärtig kommerzialisierten keramischen Hochtemperatur-Fasern amerikanischer und japanischer Hersteller aus Siliciumcarbid (SiC) sind nur im Maßstab weniger Tonnen verfügbar und unterliegen restriktiven Ausfuhrrichtlinien. Darüber hinaus sind sie so teuer (das gegenwärtige Preisniveau liegt bei min. 6000 USD/kg), dass sie nur für Nischenanwendungen infrage kommen. In Europa und damit auch in Deutschland gibt es noch keine industrielle Quelle für keramische Hochtemperaturfasern.

Da auch die Leistungsfähigkeit von SiC-Fasern im Bereich von Temperaturen über 1300 °C an ihre Grenzen stößt, wird im Fraunhofer ISC neben kostengünstigen Herstellverfahren für SiC seit Jahren auch eine weitere nichtoxidische Hochtemperaturkeramik entwickelt, deren Einsatzbereich noch jenseits von SiC liegen wird. Diese neuartige Keramik stammt aus dem Stoffsystem Si-B-N-C und wurde vom Fraunhofer ISC gemeinsam mit dem Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart aus der Grundlagen- in die Anwendungsforschung überführt. Im BMBF-Verbundprojekt »SiBNC-Werkstoffe für Produktions-, Energie- und Verkehrstechnik (SiPEVe) « entwickelt das Fraunhofer ISC in diesem Stoffsystem eine hochtemperaturstabile Keramikfaser, die aus dem neuartigen Precursor Polyborosilazan (PBS) hergestellt wird. Das Projekt zielt darauf ab, erstmalig die Fertigung und Testung von CMC-Werkstoffen, deren Matrix mit den neuartigen SiBNC-Fasern verstärkt wird, durch industrielle Anwender zu ermöglichen. Die Voraussetzung dafür schafft die Arbeitsgruppe am Fraunhofer ISC um Dipl.-Ing. Heiko Spaniol mit der Herstellung von spinnfähigen polymeren Vorstufen im Technikumsmaßstab und der Entwicklung einer Fasertechnologie zur Herstellung der SiBNC-Keramikfaser im Technikumsmaßstab.

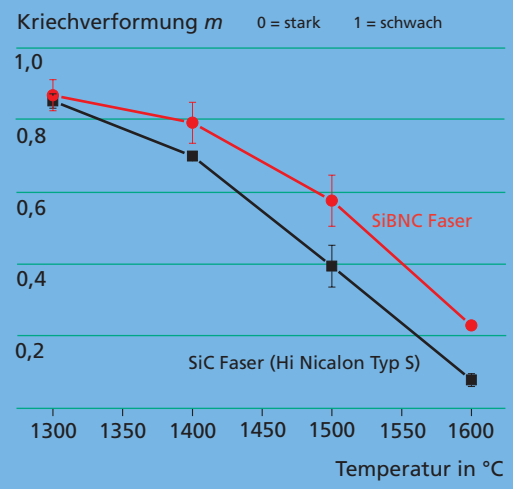
Der Rohstoff: Ein Polyborosilazan

Das PBS-Polymer ist ein anorganisches Polymer, abgeleitet aus **M**ethyldichlorsilyl**a**mino**d**ichlor**b**oran (MADB). Im Gegensatz zu den aus dem Alltag bekannten Polymeren wie Polyethylen, Polyester oder PVC besteht sein »molekulares Rückgrat« nicht

Novel SiBNC ceramic fibers for production, energy and traffic engineering

Ceramic composite materials could in future make an important contribution to the efficient use of energy and natural resources. They are lighter than metallic materials and can be used in higher temperature ranges. For high-temperature applications, e. g. in power plant engineering, non-oxidic ceramic reinforcing fibers are needed. These are currently available only to a limited extent on the market and are too expensive for broad use. In the SiPEVe joint project funded by the German Federal Ministry of Education and Research, the Fraunhofer ISC developed ceramic precursors from the material system Si-B-N-C as well as the associated spinning and sintering technologies for the production of ceramic high-temperature reinforcing fibers specially for the temperature range around 1300 °C. Results from the project indicate the technical feasibility of producing the fibers at pilot plant scale.

Rührkesselreaktor



Vergleich der Kriechverformung von SiBNC- und SiC-Fasern

aus Kohlenstoff-, sondern aus Silizium-, Bor- und Stickstoffatomen. Kohlenstoffatome sind seitlich an dieses Rückgrat gebunden, so dass sich die charakteristische Atomsequenz C-Si-N-B im Molekül wiederholt (rot hervorgehoben im Bild *Strukturmodell MADB-Polyborosilazan*).

Die Atomsequenz C-Si-N-B wird durch die molekulare Vorstufe (Bild *Molekülstruktur MADB*) vorgegeben. Diese wird in einem zweistufigen Prozess aus kommerziell erhältlichen Ausgangssubstanzen hergestellt und durch Destillation gereinigt. Anschließend erfolgt der vollständige Austausch der Chloratome durch Methylamin (Bild *Rührkesselreaktor*). Das nun chlorfreie Zwischenprodukt wird in einem letzten Syntheseschritt durch Temperaturbehandlung zum MADB-PBS-Polymer polykondensiert. Wichtig hierbei ist, die Temperaturbehandlung so zu steuern, dass das Produkt bei Temperaturen von 100 – 200 °C schmelzflüssig ist, bei Raumtemperatur jedoch erstarrt. Dies ist eine Voraussetzung für die Verarbeitbarkeit zu Fasern nach dem Schmelzspinnverfahren.

Die Eigenschaft des Precursors: Zu Fasern verarbeitbar

Die Fließeigenschaften der PBS-Schmelze werden zur detaillierten Beurteilung mittels rheologischer Messungen ermittelt. Die Fließeigenschaften müssen so beschaffen sein, dass die Schmelze beim Spinnprozess durch eine feine Düsenkapillare fließt und beim Austritt einen Faden bildet, ohne in Tropfen zu zerfallen. Charakteristische Kenngrößen hierfür sind die Viskosität (Zähigkeit) und der Verlustfaktor tan δ, der sowohl Informationen über das viskose Fließen als auch über die elastischen Eigenschaften der Schmelze liefert. Für optimale Spinnbarkeit sollten bei einer Temperatur von 150 °C die Viskosität bei 100 – 200 Pa·s und tan δ oberhalb 7,5 liegen (Grafik *Vergleich der Kriechverformung*).

Die Faser: Eine Keramikfaser im System Si-B-N-C

Das als Granulat vorliegende PBS-Polymer wird in einem Extruder aufgeschmolzen und in einem Schmelzspinnverfahren zu Endlos-Grünfasern versponnen. Im Rahmen des Verbundprojekts konnte das Upscaling von 300 auf 500 Filamente erfolgreich realisiert werden. Das Bild SiBNC-Spulen zeigt die aus MADB-PBS hergestellte SiBNC-Faserspulen mit 500 Filamenten und über 300 m Fadenlängen bei einem Faserdurchmesser von 10 µm. Derzeit erfolgt die Umsetzung zu 1000 Filament-Endlosfasern. Die Grünfasern werden anschließend durch einen chemisch-thermischen Umwandlungsprozess in eine unschmelzbare, duromere Grünfaser umgewandelt und schließlich pyrolysiert und gesintert.

Die Endlosfasern wurden den Projektpartnern zur Herstellung von CMC-Testbauteilen zur Verfügung gestellt. Erste Ergebnisse werden Mitte 2010 erwartet. Die Kennwerte der mechanischen Eigenschaften der 500 Filament-Endlosfasern sind in der Tabelle zusammengestellt. Die Spitzenwerte liegen über den von den Anwendern definierten maximalen Zielwerten. Auch im Durchschnitt erreichen die Fasern aus der Technikumsanlage des Fraunhofer ISC die als Mittelwert geforderten Zielwerte.

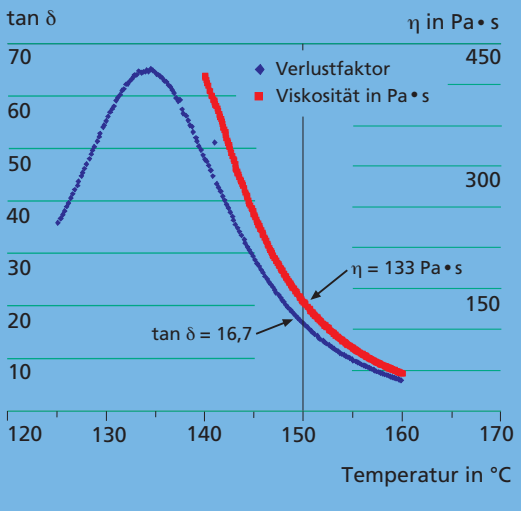
Die Eigenschaften der Faser: Geringes Gewicht und gutes Kriechverhalten bei hohen Temperaturen

Ein wesentlicher Vorteil der SiBNC-Faser im Hochtemperatur-Leichtbau ist ihre geringe Dichte von weniger als 2 g/cm^3, die um ein Drittel niedriger liegt als die der SiC-Fasern. Die im PBS-Polymer enthaltene Atomsequenz C-Si-N-B ist auch in der SiBNC-Faser noch homogen verteilt erhalten. Die Faser bleibt deshalb bis > 1700 °C amorph, eine Voraussetzung für die geforderte Hochtemperaturbeständigkeit.

Eine Eigenschaft von großer Bedeutung für den Einsatz von Fasern in Hochtemperaturanwendungen ist die Kriechfestigkeit. Das Kriechen eines Werkstoffs bezeichnet das Auftreten

	Zielvorgaben	Stand Juni 2009
Faserdurchmesser [µm]	8-15	8-10 (einstellbar ± 10%)
Zugfestigkeit [MPa]	≥ 2000	Mittelwerte 1500 bis 2000 Maximalwerte bis 3000
E-Modul [GPa]	≥ 200	Mittelwerte 140 bis 160 Maximalwerte bis 240
Sauerstoffgehalt [Ma.-%]	≤ 1	< 0,5

Tabelle: Mechanische Kennwerte



Rheologische Eigenschaften einer MADB-PBS-Schmelze

einer bleibenden Verformung des Werkstoffs unter mechanischer Last. Das Kriechen von Werkstoffen tritt vor allem bei erhöhten Temperaturen auf. Für den Einsatz von Werkstoffen bei hohen Temperaturen von über 1300 °C sollte dieses Kriechen möglichst schwach ausgeprägt sein, die Fasern also eine hohe Kriechfestigkeit aufweisen. Das Kriechverhalten der SiBNC-Fasern wurde mittels der BSR (Bend Stress Relaxation)-Methode untersucht. Mit dieser Methode wird als Maß für das thermisch bedingte Verformungsverhalten eines Werkstoffs der Kriechparameter m ermittelt. Je geringer der Parameter m, desto geringer ist die Kriechfestigkeit des Werkstoffs. Der Maximalwert von m = 1 bedeutet, dass keine Kriechverformung auftritt.

Die rechte Grafik zeigt einen Vergleich des Kriechparameters für SiBNC- und SiC-Fasern bei verschiedenen Temperaturen. Bei einer Temperatur von 1300 °C sind keine signifikanten Unterschiede im Kriechverhalten der SiBNC- und SiC-Faser sichtbar. Beide Fasertypen weisen eine relativ geringe Kriechverformung auf, was sie für den Einsatz in Hochtemperaturanwendungen bei Temperaturen um 1300 °C qualifiziert. Das Bild ändert sich bei steigenden Temperaturen: Im Bereich von 1400 °C bis 1600 °C zeigt die SiBNC-Faser eine deutlich geringere Kriechverformung als die SiC-Faser. Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass sich Fasern von Typ SiBNC bezüglich des Kriechverhaltens für höhere Einsatztemperaturen als SiC-Fasern eignen.

Ausblick

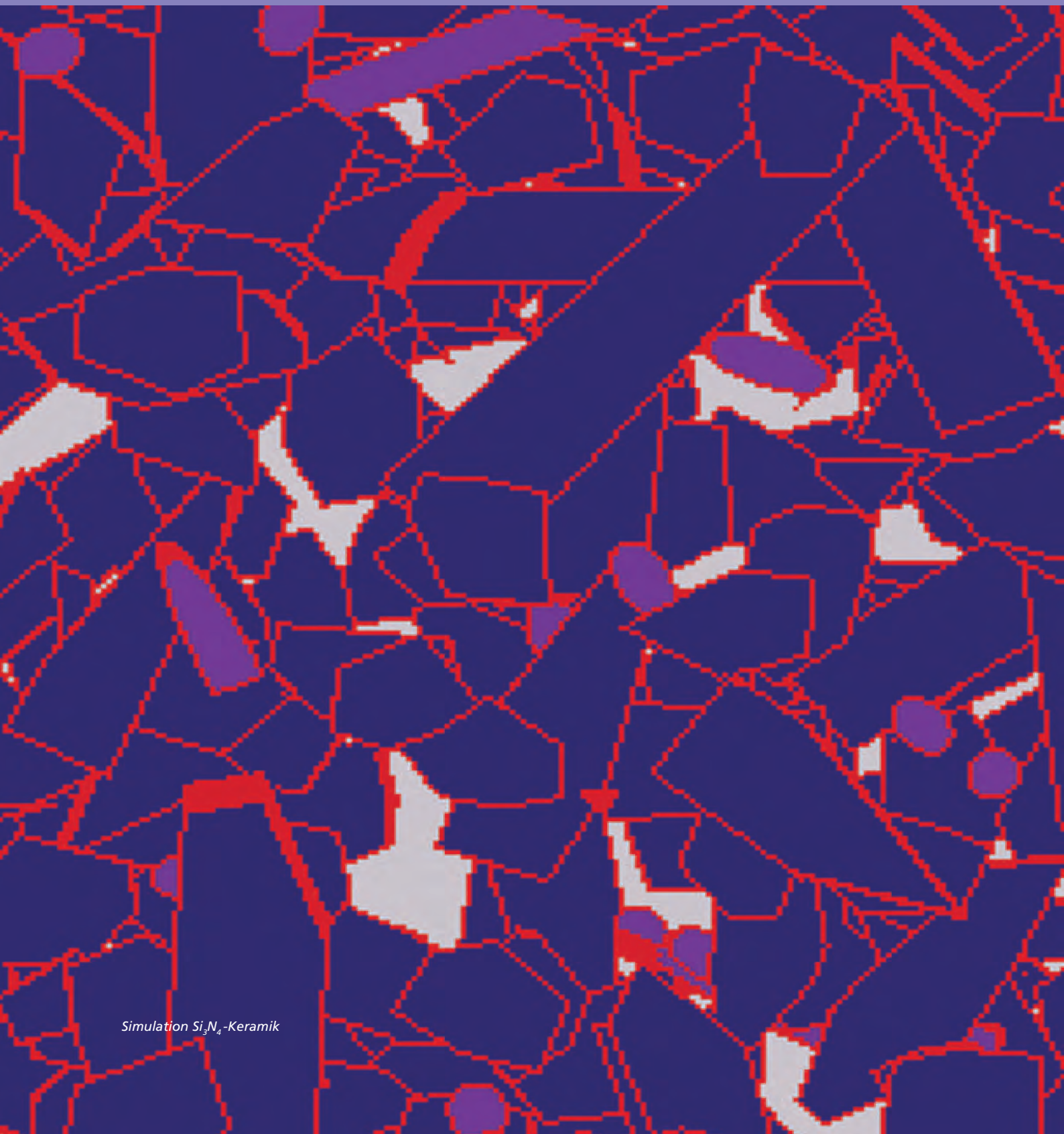
Die Faserentwicklung hat einen Reifegrad erreicht, der die qualifizierte Bemusterung der CMC-werkstoffentwickelnden Projektpartner mit Fasern erlaubt. Die Untersuchungen dazu dauern an. Es wird erwartet, dass die in nächster Zeit bei den Partnern vorliegenden CMC-Werkstoffdaten klare Perspektiven für neue Werkstoffentwicklungen und Anwendungen im Hochtemperaturbereich eröffnen, die mit SiC-faserverstärkten CMC nicht umsetzbar sind.

Kontakt
Dipl.-Ing. Heiko Spaniol
Hochtemperaturwerkstoffe und Verfahrenstechnik
Telefon +49 931 4100-413
heiko.spaniol@isc.fraunhofer.de

Projektdetails
Die Entwicklung des MADB-PBS-Polymers und der SiBNC-Faser im Technikumsmaßstab und der aus der SiBNC-Faser hergestellten CMCs erfolgte im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts SiPEVe »SiBNC-Werkstoffe für Produktions-, Energie- und Verkehrstechnik« Förderkennzeichen: 03X 3514

Projektpartner
Schunk Kohlenstofftechnik GmbH, Heuchelheim
EADS Deutschland GmbH, Ottobrunn
CVT GmbH & Co. KG, Halblech
SGL Carbon GmbH, Meitingen
H. C. Starck Ceramics GmbH & Co. KG, Selb
DLR-Instituts für Werkstoff-Forschung IWF, Köln
DLR-Instituts für Bauweisen und Konstruktionsforschung IBK, Stuttgart
Universität Bremen
Universität Bayreuth
BASF AG, Ludwigshafen (beratend)

PRODUKTOPTIMIERUNG DURCH MIKRO-STRUKTUR-/EIGENSCHAFTSSIMULATIONEN AN DEN NICHT-OXID-KERAMIKEN Si_3N_4 UND SiC



Simulation Si_3N_4-Keramik

Die Abbildung der Mikrostruktur von Keramiken war bis vor wenigen Jahren durch die Schwierigkeit geprägt, Anschliffe mit guter Oberflächenqualität ohne Artefakte der Präparation herzustellen. Diese Schwierigkeiten traten insbesondere bei teilgesinterten oder bei Grünproben auf, welche nur durch einen Binderzusatz stabilisiert sind. Dort sind sehr harte Partikel (Keramikpulverteilchen) in einer sehr weichen Matrix (Polymer) eingebettet, was zum Ausbruch der harten Keramikteilchen beim konventionellen Schleifen und Polieren führte. Dadurch war eine quantitative Analyse der Mikrostruktur fast unmöglich, da die Schlifffläche nicht mit hinreichendem Kontrast abgebildet werden konnte. So waren keine automatischen Verfahren zur Bildauswertung einsetzbar.

Abbildung der keramischen Mikrostruktur

Jedoch wurden in den letzten Jahren große technische Fortschritte beim gleichmäßigen Absputtern von Schichten mittels fokussierten Ionenstrahlen (»Focussed Ion Beam«) und dem sogenannten »Cross-Section-Polishing« (CSP) erzielt. Bei der erst vor wenigen Jahren zur Marktreife entwickelten Technik des CSP wird die interessierende Probenstelle mittels eines Ar-Ionen-Strahls – durch eine spezielle Blende abgeschattet – unter einem Winkel von 0 ° herauspräpariert. Dieses Verfahren erlaubt die fast artefaktfreie Präparation von grünen und teilgesinterten Keramiken. Es wird im Folgenden anhand von zwei Beispielen aus der Projektarbeit am ISC vorgestellt:

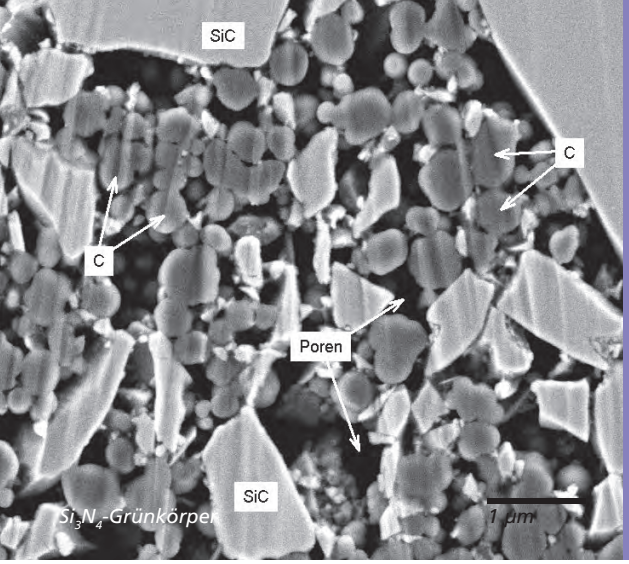
Grünprobenpräparation

Bei der CSP-Präparation gelingt es dem Ar-Ionen-Strahl, sauber durch harte und weiche Bereiche der Proben zu schneiden (Bilder *Si_3N_4-Grünkörper und SiC-Grünkörper*). In der Si_3N_4-Probe erkennt man deutlich die einzelnen Bestandteile des Gefüges: Y_3O_2-Körner als helle, Si_3N_4-Körner als graue, Binder als dunkelgraue Bereiche. Poren sind schwarz. Im SiC erkennt man die großen und kleinen SiC-Körner (bimodale Fraktion) als hellgraue Bereiche, dazwischen die Poren (schwarz), die zum Teil mit Binder gefüllt sind, sowie den zur Reaktion mit den infiltrierten Silizium zugesetzten Kohlenstoff (dunkelgrau). So werden die harten SiC-Partikel im Binder (Polymer) und die sehr weichen Ruß-Partikel sauber durchtrennt und sind schon von ihrer Morphologie her von einander zu unterscheiden. Zusätzlich wird eine Elementanalyse mit EDX durchgeführt.

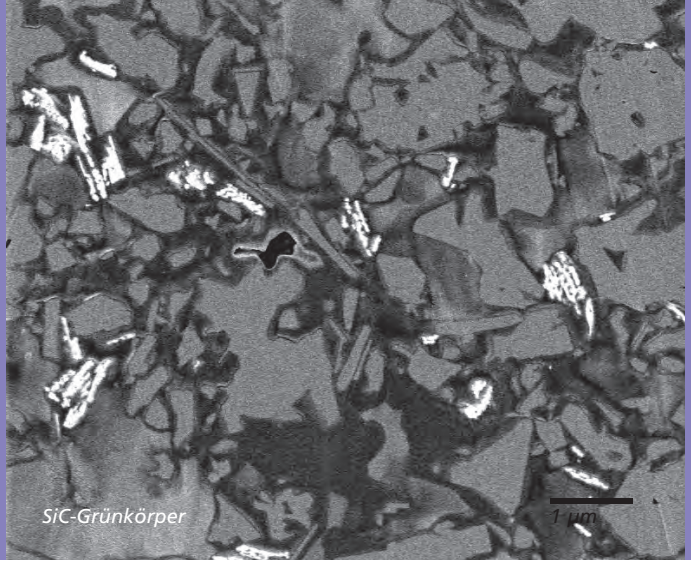
Diese artefaktfreie Präparation bietet die Möglichkeit, die Mikrostruktur des untersuchten Materials genau zu analysieren und in Relation zu den Eigenschaften des Materials zu setzen. Kennt man diesen Zusammenhang, lassen sich Formgebung und Herstellungsprozess der Grünkörper gezielt optimieren, um die gewünschten Eigenschaften zu erzielen. Darüber hinaus kann auch die Prozesszeit optimal eingestellt werden.

Optimized green bodies through microstructure/property simulation of non-oxidic ceramics Si_3N_4 and SiC

To optimize the shaping and debinding of ceramic green bodies and thus to enhance the subsequent product characteristics, it is necessary to have a precise knowledge of the structure/property correlations and the microstructure of the green bodies. It is now possible for the first time to study precisely the microstructure of green bodies with new artefact-free preparation techniques. A number of in situ measurement methods for determining properties and the refinement of existing simulation techniques make it possible to achieve a good correlation between structure and properties. The Fraunhofer ISC can therefore now assist the ceramic industry in optimizing the production processes at the early stage of green body manufacture.



Si_3N_4-Grünkörper



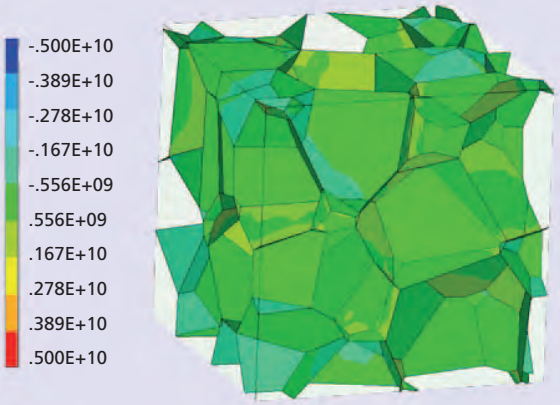
SiC-Grünkörper

Mikrostruktur-Eigenschaftskorrelation

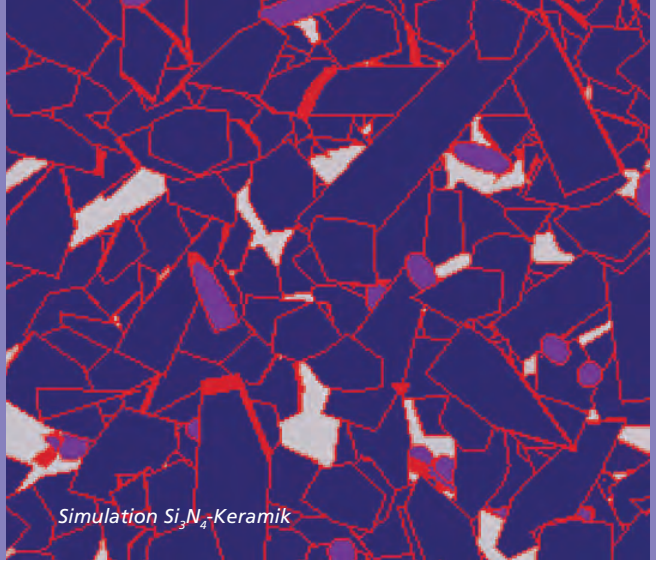
Dreidimensionale Finite-Elemente-Methoden (FEM) werden im Fraunhofer ISC – begleitend zu Experimenten – seit Jahren erfolgreich benutzt, um makroskopische Materialeigenschaften von Verbundkeramiken (u.a. Zirconia Toughened Alumina – ZTA) zu simulieren. Das Bild *Simulation ZTA* stellt die simulierten Spannungen an Korngrenzen dar. Dazu ist es notwendig, repräsentative Volumenelemente (RVE) zu konstruieren, die die globalen Eigenschaften realer Mikrostrukturen enthalten, wie zum Beispiel die verschiedenen keramischen Phasen mit ihren Volumenanteilen, Grenzflächen und Poren. Diese können mit sogenannten Strukturgeneratoren wie GeoDict erzeugt werden. GeoDict, eine Software des Fraunhofer ITWM in Kaiserslautern, wurde zum Teil im Rahmen des Fraunhofer-internen Projekts »Multiscale Material Modelling« von 2003 bis 2005 entwickelt (Projektpartner: ITWM, EMI, IWM, IKTS, ISC). Für die FEM-Simulationen werden die konstituierenden Phasen vereinfachend als isotrop – also richtungsunabhängig – und linear-elastisch angenommen. Dies wurde in der Vergangenheit schon erfolgreich für annähernd sphärische Partikel durchgeführt.

Nun sollen mit einer analogen Vorgehensweise die mit GeoDict erzeugten Mikrostrukturen nicht-sphärischer Partikel für FEM-Simulationen vernetzt werden. Nach der Lösung des Finite-Elemente-Problems werden die resultierenden mechanischen (E-Modul) und thermischen (Temperaturleitfähigkeit) Eigenschaften berechnet. Diese können dann direkt mit experimentellen Werten aus quantitativen Phasenanalysen an rasterelektronenmikroskopischen Bildern verglichen werden, wie im Beispiel der Si_3N_4-Keramik.

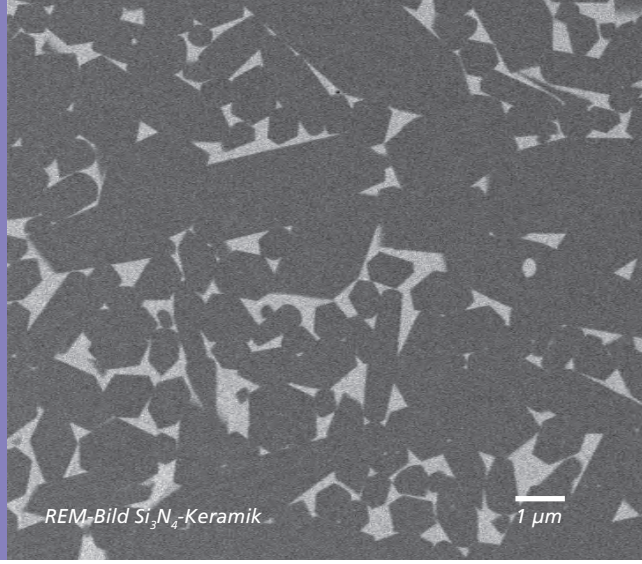
Im REM-Bild Si_3N_4-Keramik erkennt man das zwei-phasige Gefüge aus Si_3N_4 (dunkel – niedrige Kernladungszahl) und Y_2O_3/Al_2O_3 (hohe Kernladungszahl). Im Bild *Simulation Si_3N_4-Keramik* sind erste auf dem Rechner mit der Software GeoDict erzeugte Strukturen sichtbar (bimodale Verteilung planarer Polyeder). Die Parameter zur Strukturerzeugung müssen so lange variiert werden, bis erzeugte und im REM abgebildete Strukturen weitgehend übereinstimmen. Dann werden für die so generierten Strukturen Materialeigenschaften berechnet und mit dem Experiment verglichen.



ZTA-Keramik: Simulation von Spannungen an Korngrenzen



Simulation Si_3N_4-Keramik



REM-Bild Si_3N_4-Keramik *1 µm*

Dienstleistung

Das profunde Know-how des Fraunhofer ISC durch seine langjährige Erfahrung mit Verbundprojekten zu thermooptischen und anderen In-situ-Messverfahren (Laser-Flash-Methode zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit, Röntgenbeugung zur Phasenanalyse, Thermogravimetrie kombiniert mit Infrarot und Massenspektroskopie) gewährleistet einen Mehrwert für Kunden aus der Industrie, die mit Problemen in der laufenden Produktion oder bei der Entwicklung neuer Produkte konfrontiert werden.

Als weitere Dienstleistung in der keramischen Prozesstechnik bietet das Fraunhofer ISC die produktspezifische, individuell auf die Bedürfnisse des Kunden zugeschnittene Parameteroptimierung bei der Entbinderung und anschließenden Sinterung an. Mit den hier zur Verfügung stehenden Optimierungswerkzeugen kann – bei gleichbleibenden Produkteigenschaften – eine Verkürzung der Prozesszeiten um durchschnittlich 30 – 40 Prozent erreicht werden.

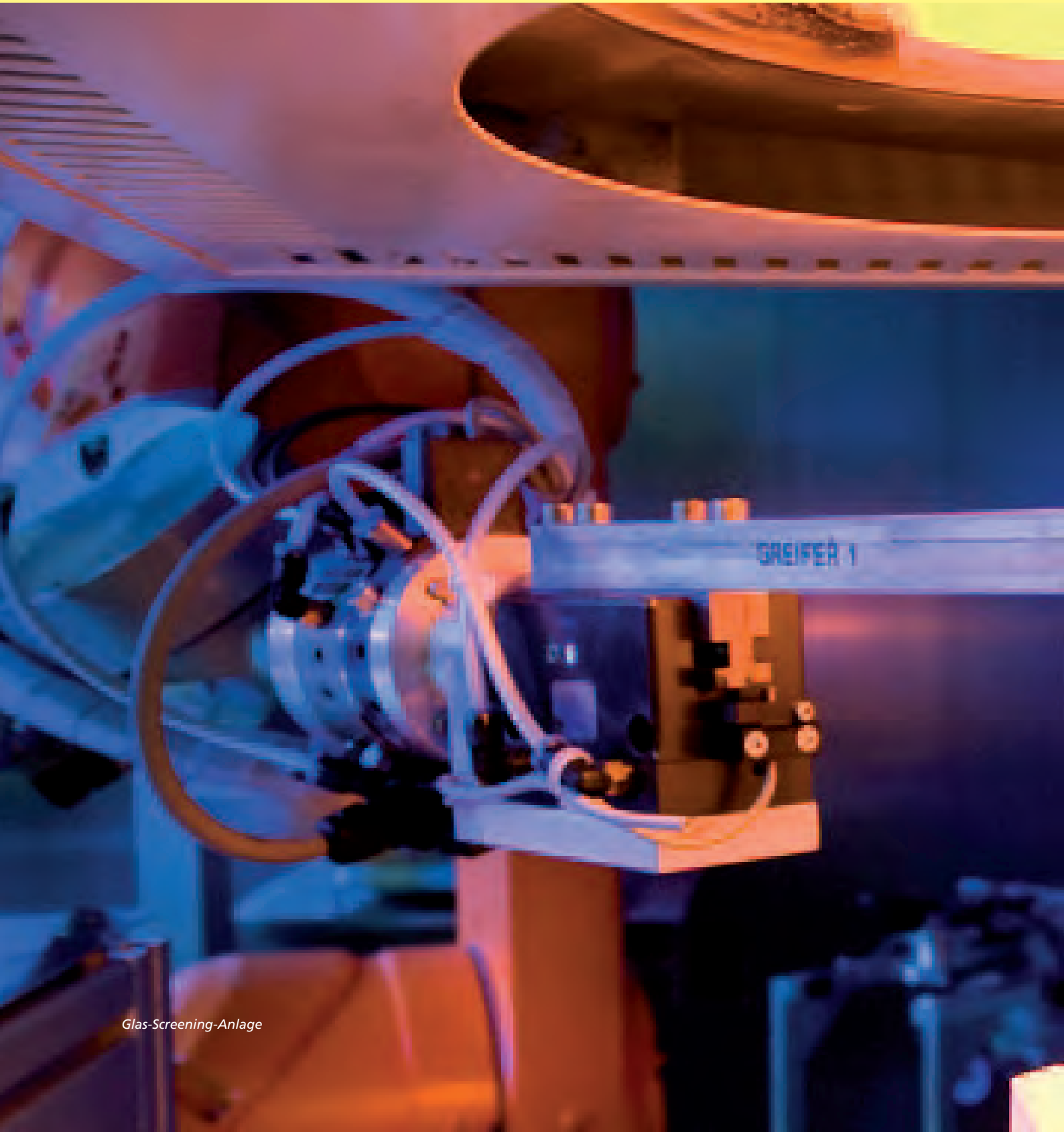
Qualitativ höchster Anforderung entspricht die Probenpräparation und -charakterisierung durch artefaktarmes »Cross-Section-Polishing« am Analytischen Dienstleistungszentrum des Fraunhofer ISC. Hier stehen in der Rasterelektronenmikroskopie modernste Geräte und analytische Ausrüstungen wie beispielsweise EDX zur Verfügung.

Kontakt
PD Dr. Torsten Staab
Sinterwerkstoffe
Telefon +49 931 4100-443
torsten.staab@isc.fraunhofer.de

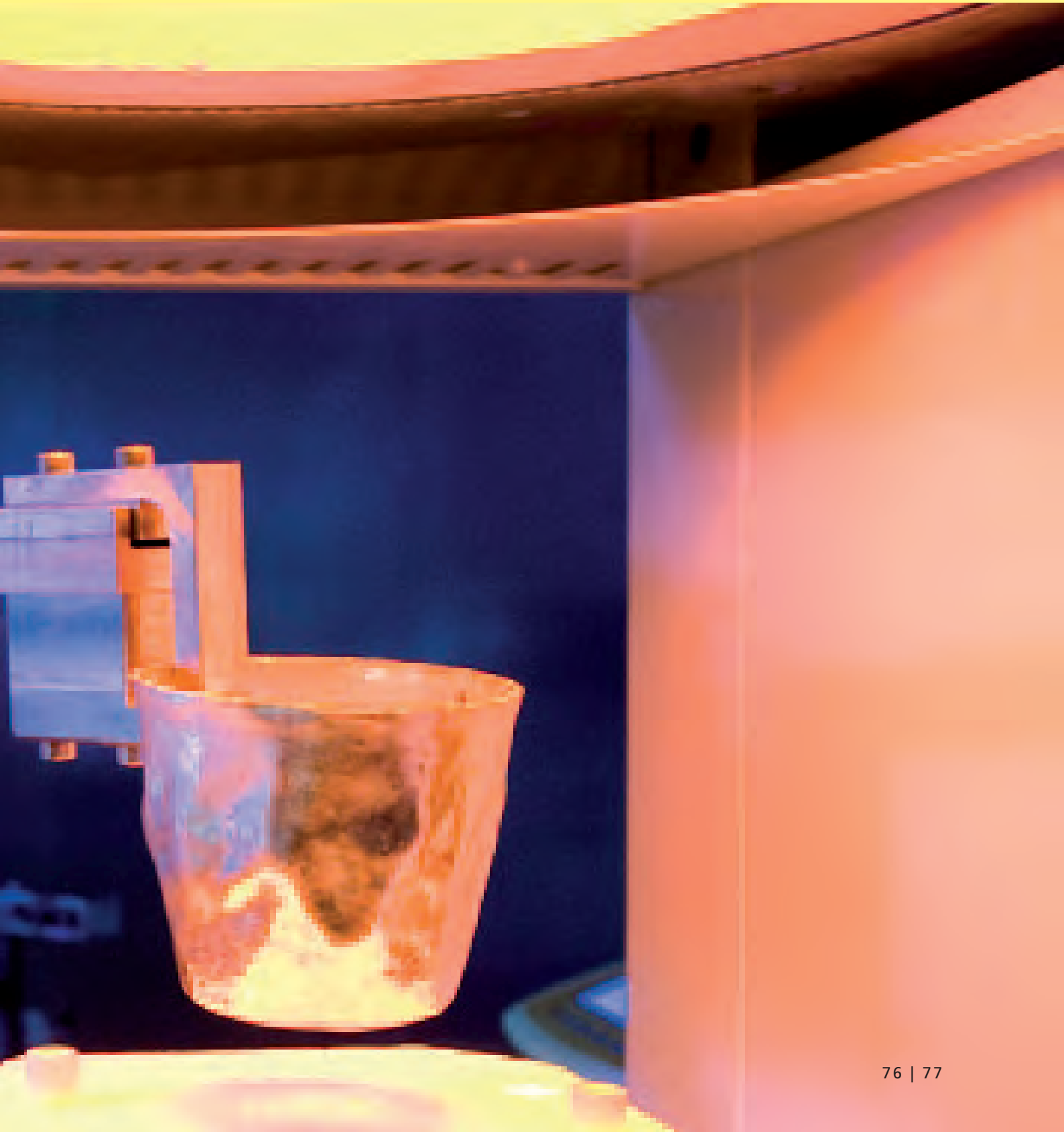
Projektdetails
MIKFORM – Herstellung großformatiger Bauteile aus Nichtoxidkeramik durch Einsatz optimierter Formgebungsverfahren und Mikrostruktur-Eigenschaftssimulation
Förderung durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie im Rahmen des Programms »Neue Werkstoffe in Bayern«
Projektlaufzeit: März 2008 bis August 2010

Projektpartner
ANCeram Gmbh & Co. KG, Bindlach
Staint Gobain Industriekeramik Rödental GmbH, Rödental
Lehrstuhl Keramische Werkstoffe der Universität Bayreuth

ENTWICKLUNG NIEDRIGSCHMELZENDER, BLEIFREIER GLASLOTE

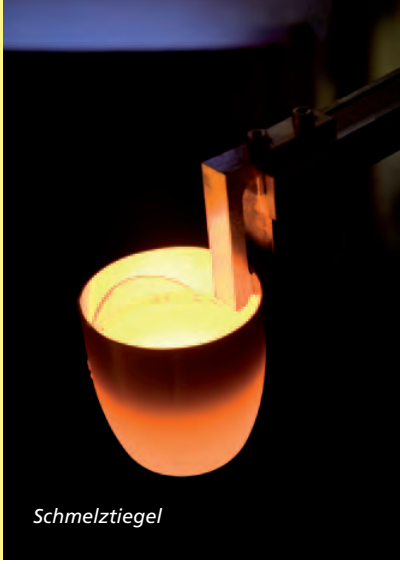


Glas-Screening-Anlage



Automatisches Einwiegen der Gemengeanteile

Automatische Ofenbestückung



Schmelztiegel

Siliziumbasierte Sensoren, wie z. B. Drucksensoren, Beschleunigungssensoren und Gassensoren, werden in der Regel aus Multilagen-Komponenten mittels anodischem oder Glas-Frit-Bonden bei Temperaturen oberhalb 400 °C aufgebaut. Zunehmend werden bei diesen Bauteilen Beschichtungen und Werkstoffe eingesetzt, die diesen hohen Temperaturen nicht standhalten, wie z. B. Kunststoffe. Auch in den Gebieten OLED und polymere Photovoltaik zeichnet sich ein Bedarf nach Packaging-Techniken ab, die schon bei Temperaturen unter 100 °C langzeitstabile und gasdichte Verbindungen bieten.

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ILT entwickelt das Fraunhofer ISC jetzt ein neues Niedertemperatur-Packaging-Verfahren, bei dem die Temperaturbelastung der aktiven Komponenten unterhalb 100 °C bleibt. Bei diesem Verfahren werden die Bauteile mit einem speziellen Glaslot versehen und dieses mit einem hochenergetischen Laserstrahl durch die Bauteile hindurch aufgeschmolzen. Durch die sehr selektive Energieeinwirkung wird zwar im Lotbereich selbst eine Temperatur von bis zu 400 °C erzeugt, in unmittelbarer Umgebung, d. h. nur wenige 100 µm außerhalb des Laser-Fokusses, wird die Temperatur jedoch unterhalb 100 °C gehalten.

Development of lead-free glass solders with low melting temperatures

New rules and regulations such as REACH and RoHS require toxic additions, such as lead, arsenic and other substances used in the manufacture of glass to achieve certain effects, to be replaced by less harmful elements. Using a glass screening system developed at the Fraunhofer ISC, a new lead-free glass solder was produced for use at temperatures below 400 °C. The glass solder achieves very high optical absorption. It can be used at temperatures around 300 – 350 °C and still exhibits adequate chemical stability.

Die benötigten Glaslote müssen einerseits hinsichtlich Absorption und Transmission dem Prozess angepasst werden und andererseits eine möglichst geringe Löttemperatur haben. Außerdem dürfen sie angesichts der neuen EU-Verordnungen wie z. B. REACH keine toxischen Elemente wie Blei oder Arsen enthalten, die in vielen kommerziellen niedrigschmelzenden Glasloten vorhanden sind.

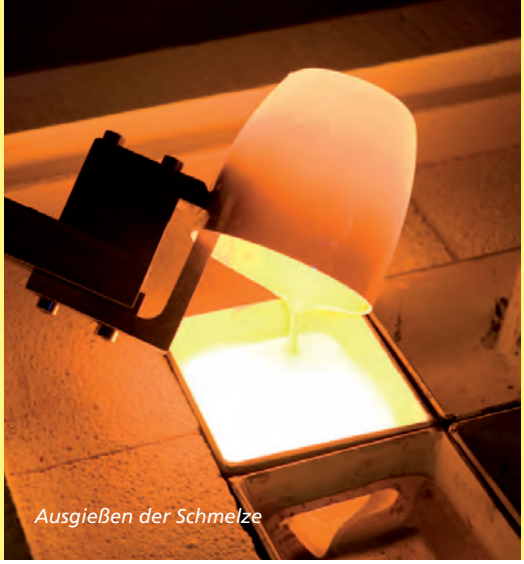
Basierend auf neuartigen, siliziumoxidfreien Glassystemen wurden Glaslote entwickelt, die für das gasdichte Packaging von Glas- und Silizium-Bauteilen verwendet werden können. Diese Glaslote weisen ein geeignetes Transmission-Absorption-Verhältnis für die eingesetzte Laserstrahlung auf, können bei niedrigen Fügetemperaturen verarbeitet werden und zeichnen sich darüber hinaus durch eine geringe Kristallisationsneigung aus. Mithilfe statistischer Versuchsplanung konnten Glaslote hergestellt werden, die bezüglich Ausdehnungskoeffizienten und Wasserbeständigkeit auf den neuartigen Laserprozess optimiert sind und sich bei Temperaturen von 300 °C bis 350 °C verarbeiten lassen.

Zur Entwicklung dieser Glaslote wurde am Fraunhofer ISC eine automatisierte Glas-Screening-Anlage verwendet, eine neue Eigenentwicklung des Fraunhofer ISC, die den zeitintensiven Prozess der Herstellung von Testschmelzen beschleunigt.

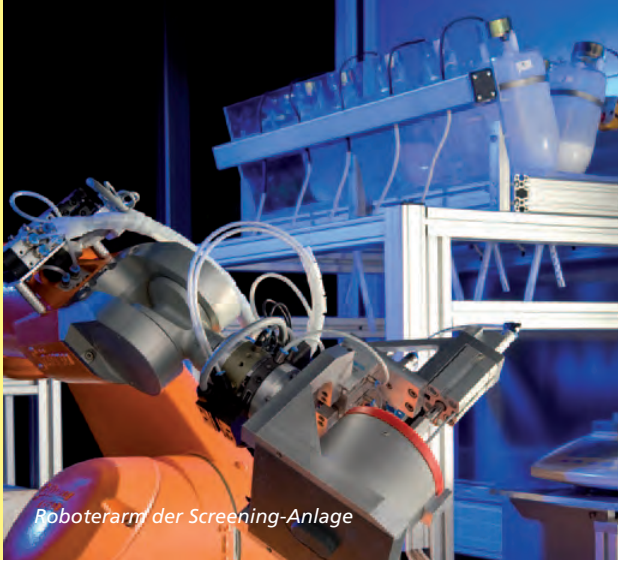
Aufwendige Spezialglasentwicklung in der Praxis

Die Optimierung von Spezialgläsern ist häufig ein sehr langwieriger und damit teurer Prozess: Um die für den jeweiligen Einsatzzweck bestgeeignete Glasvariante zu ermitteln, ist ein umfassendes, in der Praxis weitgehend manuell durchgeführtes Screening erforderlich. Proben unterschiedlichster Rohstoffzusammensetzung werden erstellt, charakterisiert und mit den anderen Proben der Testreihe verglichen. Die jeweiligen Aus-

Entnahme des Schmelztiegels



Ausgießen der Schmelze



Roboterarm der Screening-Anlage

gangsrohstoffe werden dabei mittels Präzisionswaage abgewogen, in einen Tiegel gefüllt, in einem Hochtemperaturprozess aufgeschmolzen und anschließend kontrolliert abgekühlt. Die gefertigten Glasproben werden anschließend präpariert und analysiert.

Schritt für Schritt nähert man sich so den gewünschten Glaseigenschaften an – ein aufwendiger Prozess, der immer wieder Fehlerquellen birgt, die Einfluss nehmen können auf die Zuverlässigkeit der statistischen Aussage. Mit der vom Kompetenzfeld Glas des Fraunhofer ISC entwickelten und im Kompetenzfeld Mess- und Prozesstechnik gebauten neuen Glas-Screening-Anlage werden wesentliche Schritte in der Glasprobenerstellung automatisiert und diese Fehlerquellen so von Anfang an ausgeschlossen. Einmalig in Europa, gestattet die Glas-Screening-Anlage die automatische Herstellung homogener Proben in Glasmengen von bis zu 100 ml. Eine zuverlässige Charakterisierung der Glasproben und damit eine einfache Übertragung der Versuchsergebnisse in die industrielle Fertigung sind gewährleistet. Die neue Anlage zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Automatische Herstellung des Gemenges aus bis zu 10 Komponenten.
- Optimale Homogenisierung des Stoffgemenges über einen Industrieroboter.
- Vollautomatisches »Nachlegen« von Gemenge während des Schmelzprozesses.
- Maximale Betriebstemperatur bis zu 1700 °C.
- Kontrolliertes Abkühlen der Glasschmelze in einem separaten Entspannungsofen.

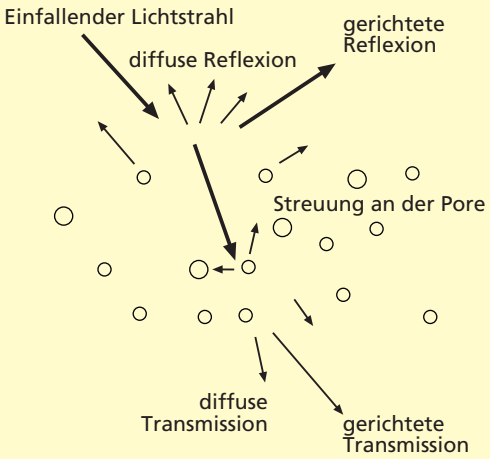
Die Bilderreihe zeigt die einzelnen Arbeitsschritte der am Fraunhofer ISC entwickelten Glas-Screening-Anlage.

Der Roboterarm übernimmt viele Arbeitsschritte, die bisher manuell durchgeführt werden mussten. Die jetzt absolut identisch ablaufende Homogenisierung und Nachdosierung und der Einsatz eines Kühlofens bilden die Grundlage für die zuverlässige Charakterisierung und hohe Qualität der Spezialgläser. Ein weiterer Vorteil: Die jetzt möglichen größeren Glas-Mengen erlauben eine bessere Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die industrielle Produktion.

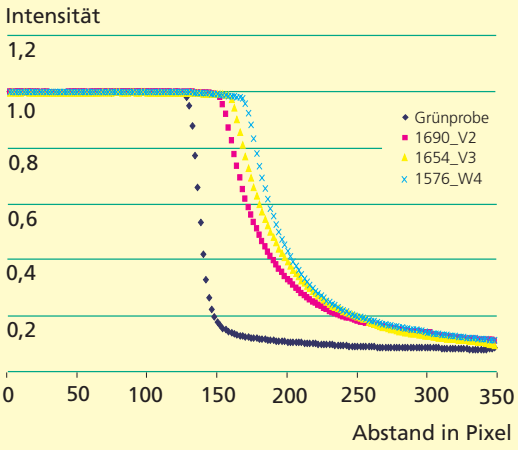
Kontakt
PD Dr. Martin Kilo
Glas
Telefon +49 931 4100-234
martin.kilo@isc.fraunhofer.de

ENTWICKLUNG EINES DEMONSTRATORS ZUR MESSUNG DER LASERSTRAHLAUFWEITUNG FÜR DIE QUALITÄTSKONTROLLE VON KERAMISCHEN BAUTEILEN

Querschnitt eines aufgeweiteten Laserstrahls



Prinzip der Lichtstreuung an Materie



Laserstrahlaufweitung an Grünproben und gesinterten Proben

Wesentliches Ziel bei der Herstellung keramischer Bauteile ist ihre Zuverlässigkeit im späteren Betrieb. Die Produktionstechnik soll dahingehend optimiert werden, dass sogenannte 6-Sigma-Qualitäts-Standards eingehalten werden. Voraussetzung dafür ist eine schnelle und sichere produktionsbegleitende Qualitätskontrolle. Zur Qualitätsbewertung eignet sich die Porengrößenverteilung, denn von ihr hängen Lebensdauer und Zuverlässigkeit einer Keramik ab. Kennt man die Porengrößenverteilung und das Porenvolumen, lassen sich sofort Rückschlüsse auf die Homogenität und Festigkeit einer Keramik ziehen.

New quality control method for ceramic components

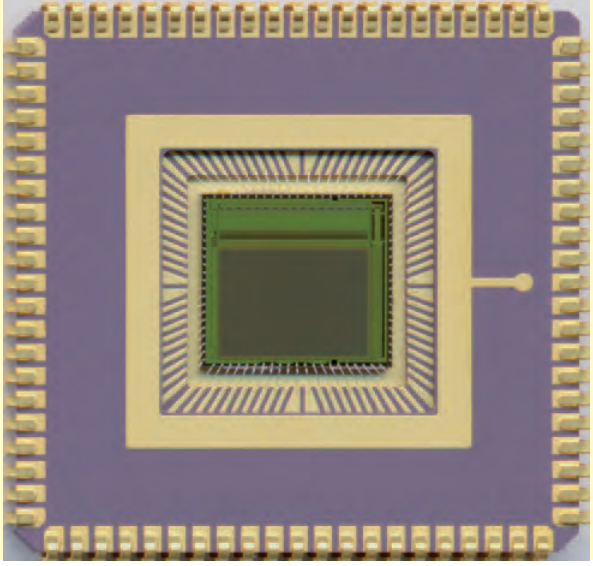
High-performance ceramics are used in microelectronics as well as in the energy and transport sectors. Checking the quality of ceramic components, however, requires elaborate high-cost methods. As the volume and distribution of residual pores has a decisive bearing on the service life of ceramics, the quality of ceramic components can be assessed on the basis of their microstructure properties. At present, however, there is no cheap and quick method for measuring these properties. Against this background the Fraunhofer ISC developed a fast online evaluation process specifically for use in production control. The new method analyzes the widening of the laser beam and makes quality control easy and affordable.

So dürfen Bauteile, von denen hohe Festigkeit erwartet wird, nur sehr kleine Poren haben. Gemessen wird die Porosität entweder über Quecksilberporosimetrie oder durch die Anwendung des Archimedischen Prinzips. Beide Verfahren sind aufgrund ihrer Komplexität und Dauer jedoch nur im Labor einsetzbar. Um die für den 6-Sigma-Standard erforderliche produktionsbegleitende Qualitätskontrolle zu ermöglichen, bedarf es also eines neuen Weges.

Neues Verfahren zur Bestimmung der Porengrößenverteilung

Die Idee für diesen neuen Weg hatten Dr. Friedrich Raether, Geschäftsfeldleiter Glas und Keramik, und Dr. Andreas Diegeler, Leiter des Kompetenzfelds Mess- und Prozesstechnik: Die Porengrößenverteilung über den Effekt der Lichtstreuung in fester Materie zu messen. Aus der Idee entwickelten sie ein neues, schnelles Messverfahren, das nicht nur bei der Produktionsüberwachung, sondern sogar schon bei der Grünkörperherstellung eingesetzt werden kann.

Lichtstreuung erfolgt an kleinen Objekten, die einen Brechzahlunterschied zur Umgebung aufweisen. Auch Poren in keramischen Bauteilen können als Streuzentren wirken. Isolierte Poren bilden sich während des Sinterprozesses aus den im Grünteil vorhandenen Porenkanälen. Porenvolumen und Porengrößenverteilung beeinflussen entscheidend das Streuverhalten von Licht – und lassen sich durch den Herstellprozess beeinflussen. Messbar wird die Lichtstreuung in fester Materie durch das Prinzip der Laserstrahlaufweitung. Es beruht darauf, dass Laser-



Neuentwicklung CMOS-Chip

licht je nach Porengröße und deren Verteilung unterschiedlich tief in die Probe eindringt und an den Poren gestreut wird. Ein gewisser Anteil des Laserlichts tritt wieder aus der Probenoberfläche aus und erscheint als reflektiertes Laserlicht, das die Umgebung des Primärstrahls umgibt (Bild *Querschnitt eines aufgeweiteten Laserstrahls*). Dieses reflektierte Laserlicht, auch als Laserstrahlaufweitung bezeichnet, fängt ein spezieller CMOS-Chip auf, der am Fraunhofer IMS in Duisburg eigens für diese Anwendung konzipiert wurde.

Bei der Auswertung der Experimente mit keramischen Bauteilen konnte nachgewiesen werden, dass Unterschiede in der Qualität der Keramik zu deutlichen Unterschieden in der Laserstrahlaufweitung führen (Grafik *Laserstrahlaufweitung an Grünprobe und gesinterten Proben*). Mit einer am Fraunhofer ISC entwickelten Software wird die Laserstrahlaufweitung online analysiert und mit einem festgelegten Qualitätsstandard verglichen. Liegt das Ergebnis innerhalb der festgelegten Toleranz, passiert das Bauteil die Qualitätskontrolle, anderenfalls wird es ausgesondert.

Das Analyseverfahren liefert nach 1 bis 2 Minuten eine eindeutige Aussage über die Qualität des untersuchten Bauteils und ist wegen seines einfachen Aufbaus leicht in den Produktionsprozess zu integrieren. Außerdem hat es das Potenzial, auch bei anderen Materialien zur Qualitätskontrolle eingesetzt zu werden, da es im Wesentlichen Streumuster miteinander vergleicht. Das Materialspektrum reicht dabei von der Hochleistungskeramik für die Elektronik oder Automobilindustrie bis hin zu verwebten Glasfasermatten in der Baustoffindustrie.

Zurzeit wird ein verbesserter Prototyp für das Messverfahren erarbeitet, um Industriepartnern die Leistungsfähigkeit des Verfahrens zu verdeutlichen und sie für die Weiterentwicklung bis zur Anwendungsreife zu gewinnen.

Kontakt
Dr. Andreas Diegeler
Mess- und Prozesstechnik
Telefon +49 9342 9221-702
andreas.diegeler@isc.fraunhofer.de

MIKROSYSTEME

Wachsende Mobilität der Menschen und die immer dichter ausgebaute Datenvernetzung stellen gerade Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik vor immer neue Herausforderungen. Systemlösungen für energieeffiziente und zuverlässige Daten- und Telekommunikation sind für eine nachhaltige Entwicklung ebenso gefordert wie eine umweltfreundliche Produktion.

Vor diesem Hintergrund verfolgt das Geschäftsfeld Mikrosysteme mit der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) und der flexiblen Elektronik sowie sicherer Energieversorgung mobiler Geräte große Leitthemen in der Mikrosystemtechnik und der Mikroelektronik. In allen drei Bereichen ermöglicht der Einsatz innovativer Werkstoffe neue Ansätze für Miniaturisierung, Leistungssteigerung der Komponenten und kostengünstige Produktion gegenüber etablierten Verfahren. Das Geschäftsfeld greift hier sowohl auf profunde Materialkompetenzen auf dem Gebiet der anorganisch-organischen Hybridpolymere, der Gläser und Glaskeramiken zurück als auch auf neue verfahrenstechnische Möglichkeiten wie die Strukturierung durch 3D-Laserdirektschreiben.

Insbesondere die speziell für den Einsatz in der Mikrooptik und Photonik im Fraunhofer ISC entwickelten ORMOCER®e werden bereits vielfach als strukturierbare Dielektrika und für optische Komponenten eingesetzt. Damit lassen sich noch kompaktere und leistungsfähigere Endgeräte z. B. für Multimedia-Anwendungen und für das weite Feld der Sicherheitstechnik und der Sensorik konstruieren. Bereits realisiert wurden Lichtwellenleiter und optische Koppler für die hochfrequente Signalübertragung, druckbare Dielektrika und

strukturierbare Passivierungsschichten für den Einsatz in der Polymerelektronik und beim Rapid Prototyping. Aktuell sind Entwicklungen im Bereich der druckbaren low-k-Dielektrika, die einen breiten Einsatz der kosteneffizienten Nanoimprint-lithographie unterstützen werden.

Das Geschäftsfeld bietet den Industriepartnern nach Wunsch komplett ausgearbeitete Technologien an. Ausgehend von der Materialcharakterisierung bis in den Nanomaßstab hinein werden nicht nur Werkstoffe mit neuen Funktionen entwickelt, sondern auch die entsprechend angepassten Fertigungsverfahren erarbeitet und Demonstratoren gebaut.

Mikrosysteme
Dr. Michael Popall
Geschäftsfeldleiter
Telefon +49 931 4100-522
michael.popall@isc.fraunhofer.de

ORMOCER®E ALS LOW-K-DIELEKTRIKA FÜR DIE UV-NANOIMPRINT-LITHOGRAPHIE

Elektronische Geräte sollen immer kleiner, aber dennoch immer leistungsstärker werden. Ihre Komponenten – die integrierten Schaltungen in der Halbleiterelektronik – müssen immer schneller immer mehr Informationen verarbeiten können. Das erfordert eine stetige Erhöhung der Integrationsdichte und damit der Transistorenanzahl pro Fläche. Schaltungen werden also immer weiter miniaturisiert.

Diese fortschreitende Miniaturisierung mikroelektronischer Bauelemente birgt immer neue Herausforderungen: So muss zum Beispiel der Widerstand metallischer Leiterbahnen reduziert und die Dielektrizitätskonstante ε_r (k) der Zwischenlagen-Dielektrika verringert werden. Aus diesem Grund wird für die leitenden Schichten statt Aluminium inzwischen nur noch Kupfer eingesetzt, obwohl die Prozessführung dadurch komplexer wird. Im Bereich der Zwischenlagen-Dielektrika sagte die National Technology Roadmap for Semiconductors (NTRS) [1] bereits für 2001 die Einführung von Materialien voraus, die als low k-ILD (Inter-Layer Dielectrics) dielektrische Permittivitäten von 2,5 bis 2,0 erreichen – eine Vorhersage, die sich jedoch nicht erfüllte. Die Entwicklung von UV-strukturierbaren low-k-Resisten mit relativen Permittivitäten von 2,5 bis 2,0 blieb bis heute Forschungsgegenstand.

Bei der Realisierung eines kontinuierlich steigenden Integrationsgrads stoßen inzwischen aber auch die gängigen optischen Lithographietechniken an ihre physikalischen Grenzen. Entsprechende Verfahren werden immer aufwendiger und damit auch drastisch teurer. Als Alternative zu optimierten Immersionslithographietechniken werden daher Strukturierungsmethoden mittels extrem kurzwelliger UV-Strahlung (EUV) oder Nanoimprintlithographie (NIL) diskutiert.

Im Rahmen des europäischen Industrieprojekts FANTASTIC übernahm das Fraunhofer ISC die Aufgabe, ein niedrig-viskoses Dielektrikum als ILD (Inter-Layer Dielectric) zu entwickeln, das über die erforderlichen dielektrischen Eigenschaften verfügt und durch Nanoimprintlithographie strukturierbar ist. Ziel der Arbeitsgruppe um Gerhard Domann und Dr. Christine Spitzlei war die Entwicklung eines Funktionsresists – einer Art Fotolack zur Verwendung in der Halbleiterelektronik – mit einer niedrigen relativen Permittivität von $\varepsilon_r \leq 2{,}5$. Insgesamt untersucht und bewertet das Projekt FANTASTIC die Nanoimprintlithographie hinsichtlich ihrer generellen Eignung zur Herstellung hochintegrierter Schaltungen in der CMOS-Technologie und soll auch klären, ob der nächste Meilenstein in der Halbleiterelektronik, nämlich die Realisierung von 32 nm-Strukturen, mit dieser Technik erreicht werden kann.

ORMOCER®s as low-k dielecrics for UV nanoimprint lithography

The advancing miniaturization of microelectronic components poses a number of challenges. For example, to achieve high integration densities, smaller and smaller structures have to be reliably produced. Also, the dielectricity constant ε_r (k) of the intermediate layer dielectrics has to be reduced. Nanoimprint lithography (NIL) is a comparatively low-cost method of producing tiny structures. Up to now, however, suitable materials for this method with low values for the dielectricity constant have not been available. In the European industrial project FANTASTIC the Fraunhofer ISC developed low-viscosity ORMOCER®-based dielectrics which are patternable by NIL and have a low relative permittivity of $\varepsilon_r \leq 2.5$. These low-k ORMOCER®s also exhibit high resistances ($\rho > 1013\ \Omega$). They can be applied by means of spin coating and after the imprint process require only brief thermal treatment at a temperature of at most 150 °C.

[1] *National Technology Roadmap for Semiconductors, Semiconductor Industry Association (1997).*

UV-Nanoimprintlithographie

Während die herkömmliche Photolithographie zweidimensionale Strukturen in einem Resist durch das Belichten von Masken erzeugt, beruht das Prinzip der Nanoimprintlithographie auf der mechanischen Übertragung einer dreidimensionalen Struktur mit einem Stempel (Templat). Das formbare, UV-vernetzende Resistmaterial wird dabei direkt auf dem jeweiligen Substrat innerhalb des schichtweisen Aufbaus eines elektronischen Halbleiterbauelements aufgebracht (z. B. Silizium-Wafer, Zwischenschichten). Nach dem Strukturübertrag wird der Resist durch den z. B. aus Quarzglas bestehenden, transparenten Stempel mit UV-Licht gehärtet bzw. die Formgebung fixiert. Die vollständige Aushärtung erfolgt durch eine thermische Nachbehandlung, wenn das Bauelement vollständig aufgebaut ist. Der Imprint-Prozess repliziert exakt die Templatstruktur. Dementsprechend bestimmt die akkurate Fertigung des Templats wichtige Parameter wie Auflösung, Linearität, Präzision und fehlerfreie Replikation. Bei der Nanoimprintlithographie werden weder komplexe Optiken noch hochenergetische Strahlenquellen benötigt, wodurch der NIL-Prozess eine kostengünstige Alternative zur EUV-Lithographie darstellt.

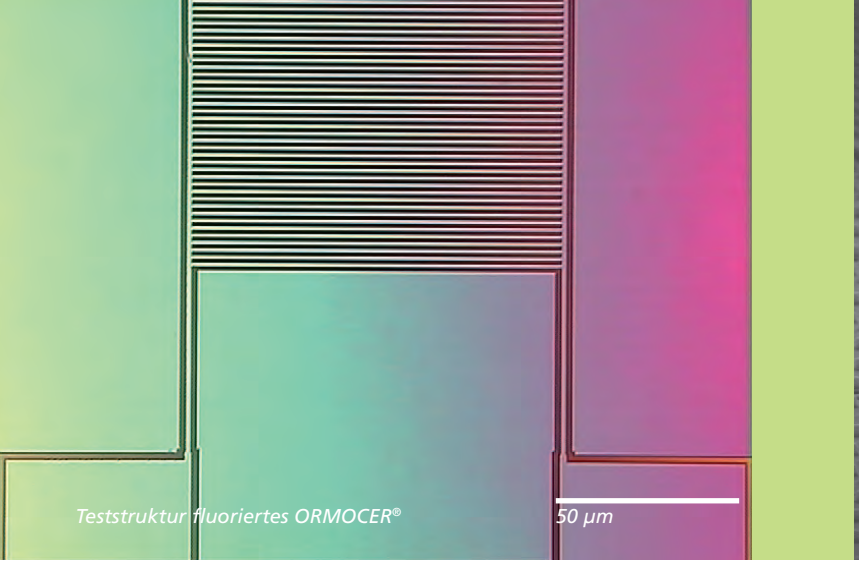
Verringerung der dielektrischen Permittivität

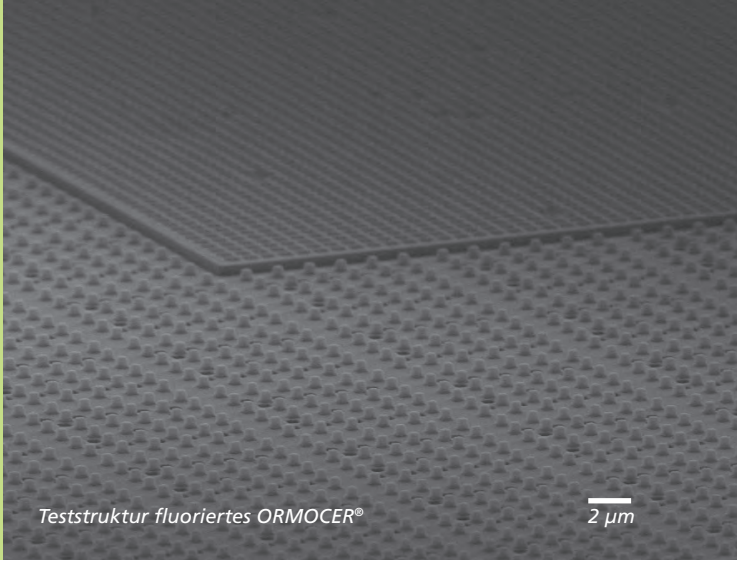
ORMOCER®e werden bereits seit vielen Jahren als Dielektrika für unterschiedliche Anwendungen in der Mikroelektronik verwendet. Ihre gute Modifizierbarkeit und dadurch hohe Anpassungsfähigkeit machte sie auch in diesem Projekt zum idealen Basismaterial. ORMOCER®e bestehen aus einem organisch funktionalisierten ≡Si-O-Si≡-Netzwerk. Zum Vergleich, reines SiO_2 hat eine relative Permittivität von $\varepsilon_r = 3{,}9$. Das schrittweise modifizierte Ausgangsmaterial hatte eine relative Permittivität von 3,0. Zur gewünschten Reduktion der dielektrischen Permittivität der ORMOCER®e sind verschiedene Methoden anwendbar. Eine Möglichkeit ist die Verringerung der Dichte des Materials. So kann man z. B. durch sogenannte Porogene die Porosität erhöhen. Da die relative Permittivität der in den Poren eingeschlossenen Luft klein ist (ε_r(Luft) ≈1), reduziert sich so die Permittivität insgesamt. Nachteil der erhöhten Porosität ist die daraus oft resultierende Verringerung der mechanischen Stabilität. Durchgeführt wurden Arbeiten zur Inkorporation von Porogenen, wie z. B. verschiedenen POSS-Strukturen (Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes), in die vom Fraunhofer ISC entwickelten ORMOCER®e. Die angestrebte signifikante Senkung der relativen Permittivität konnte damit jedoch nicht erreicht werden.

Eine weitere Methode, die Permittivität zu reduzieren, besteht in der Verringerung der Polarisierbarkeit. In die ORMOCER®e können beispielsweise wenig polarisierbare chemische Gruppen eingebunden werden, die vorwiegend C-C-, C-F-, Si-C-, C-O- oder C-H-Bindungen enthalten. Hier bietet eine Modifizierung mit fluorierten Substituenten zusätzlich den Vorteil, dass aufgrund repulsiver Wechselwirkung, mit der sich die fluorierten Gruppen gegenseitig abstoßen, zugleich auch die Materialdichte reduziert wird, so dass die Fluorierung der ORMOCER®e sogar beide Methoden zur Senkung der Permittivität miteinander vereint. Darüber hinaus wird auch die thermische Stabilität verbessert.

Im Anfangsstadium des Projekts wurden daher zunächst vorwiegend fluorierte, UV-vernetzbare ORMOCER®e synthetisiert, deren dielektrische Permittivität bis auf 2,7 verringert werden konnte. Diese Materialien erwiesen sich als sehr geeignet für den NIL-Prozess (Bilder *Teststruktur fluoriertes ORMOCER®, AMO GmbH*). Die im Resist enthaltenen fluorierten Substituenten ermöglichen außerdem eine schadensfreie Entformung nach der Strukturierung ohne eine Antihaftschicht am Templat, die die Abformgenauigkeit beeinträchtigen könnte.

Im weiteren Projektfortschritt wurde der Zielwert der dielektrischen Permittivität von $\varepsilon_r \leq 2{,}5$ durch Materialmodifizierungen auch unter Verwendung unfluorierter Ausgangsstoffe erreicht. Auch diese Materialien lassen sich mit dem NIL-Prozess sehr gut strukturieren. Für einige der unfluorierten ORMOCER®e





war die NIL-Strukturierung auch ohne Antihaftbeschichtung des Stempels möglich (Bild *Strukturiertes fluorfreies ORMOCER®, AMO GmbH*).

Die Charakterisierung der dielektrischen Eigenschaften der vernetzten low-k ORMOCER®e erfolgte durch den Aufbau von Dünnfilmkondensatoren unter Anwendung der Impedanzspektroskopie im unteren Frequenzbereich (<1 MHz). Weil die relative Permittivität ε_r mit steigender Frequenz sinkt, ist anzunehmen, dass die gemessenen ε_r-Werte für die spätere Anwendung im hohen Frequenzbereich (GHz) niedriger sind.

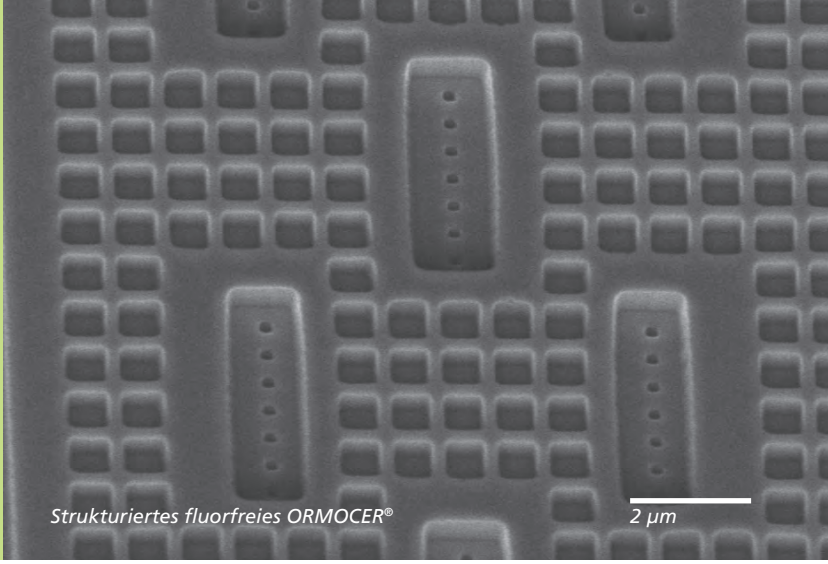
Die am Fraunhofer ISC entwickelten low-k ORMOCER®e weisen neben ihren niedrigen Permittivitäten hohe Widerstände ($\rho > 1013\ \Omega$) auf. Sie lassen sich durch Spin-Coating auftragen und erfordern nach dem Imprintprozess nur eine kurze thermische Behandlung von höchstens 150 °C. Die mechanische Stabilität ist ausreichend, um die Strukturtreue auch während des Entformungsprozesses zu gewährleisten. Dabei spielen vor allem die oben erwähnten Adhäsionseigenschaften zu den betreffenden Substraten und Templaten eine wesentliche Rolle. Ziel weiterer Entwicklungen ist die Erhöhung der Materialstabilität bei nachfolgenden Prozessen, insbesondere bei anspruchsvollen mechanischen Methoden wie dem »chemical-mechanical polishing« (CMP).

Nutzen und Anwendungsmöglichkeiten

Zurzeit wird die Anwendbarkeit der Nanoimprintlithographie vor allem im Zusammenhang mit reinen Imprintresisten diskutiert. Die Strukturen in den funktionellen Materialien werden dann mittels Ätzverfahren und mithilfe der strukturierten Resiste übertragen. Die Nanoimprintlithographie kann jedoch vor allem dann erhebliche Kostenvorteile erzielen, wenn die Strukturen direkt in dem Funktionsmaterial erzeugt werden. Deshalb sind die vom Fraunhofer ISC entwickelten Funktionsresiste Schlüsselmaterialien für die Etablierung dieser Technologie.

Zusätzlich ermöglichen die low-k ORMOCER®e, komplexe Strukturen (sogenannte »dual damascene«-Strukturen) zu erzeugen, die eine Durchkontaktierung von drei Metalllagen in einem einzigen Schritt bei der Chipherstellung erlauben. Das schafft einen weiteren Kostenvorteil gegenüber planaren Strukturierungstechniken wie der Photolithographie und kann auch helfen, den Platzbedarf auf dem Chip weiter zu reduzieren.

Die Durchkontaktierung – Teil der Umverdrahtung auf Chip-Ebene – erfolgt nach der Strukturierung der Transistorebene (»Back-end of line«).



Strukturiertes fluorfreies ORMOCER®

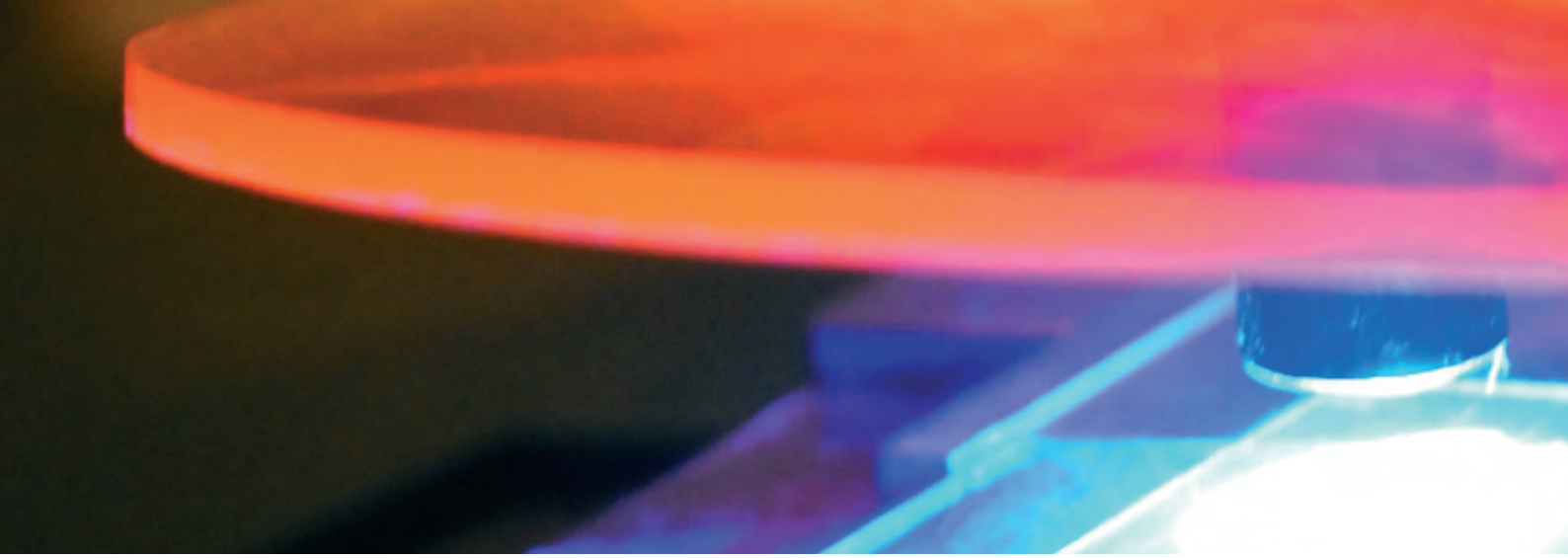
Die beschriebenen low-k ORMOCER®e erfüllen alle Anforderungen, um in den jeweiligen Prozessumgebungen verarbeitet zu werden (vakuumstabil, reinraumgeeignet etc.). Neben den Verwendungsmöglichkeiten in der Halbleiterindustrie sind die low-k-Resiste auch für andere elektronische Anwendungen interessant, beispielsweise bei Multilagenaufbauten von Multi-Chip-Modulen oder in der Leiterplattentechnik.

Für die Nanoimprintlithographie werden zurzeit auch zahlreiche Anwendungsszenarien in der Optik und Mikrofluidik diskutiert. Die Kenntnisse, die das Fraunhofer ISC bei der Entwicklung von low-k-Dielektrika gewonnen hat, lassen sich auch auf diese Forschungs- und Entwicklungsfelder übertragen. Der Durchbruch der NIL-Technologie hängt dabei von der Verfügbarkeit der Materialien ab, die sowohl bezogen auf den Prozess als auch auf die Anwendung die gestellten Spezifikationen erfüllen müssen.

Kontakt
Gerhard Domann
Hybridmaterialien für Mikrosysteme und Mikromedizin
Telefon +49 931 4100-551
gerhard.domann@isc.fraunhofer.de

Dr. Christine Spitzlei
Hybridmaterialien für Mikrosysteme und Mikromedizin
Telefon +49 931 4100-551
christine.spitzlei@isc.fraunhofer.de

Projektdetails
MEDEA+ Projekt FANTASTIC 2T 305
Full Assessment of Nano-imprint Technology Addressing Sub-35nm IC's
15 Industriepartner, 6 Forschungsinstitute,
Gesamtkoordintion CEA-LETI, Dr. Serge Tedesco
http://www.fantastic-project.org



LIFE SCIENCE

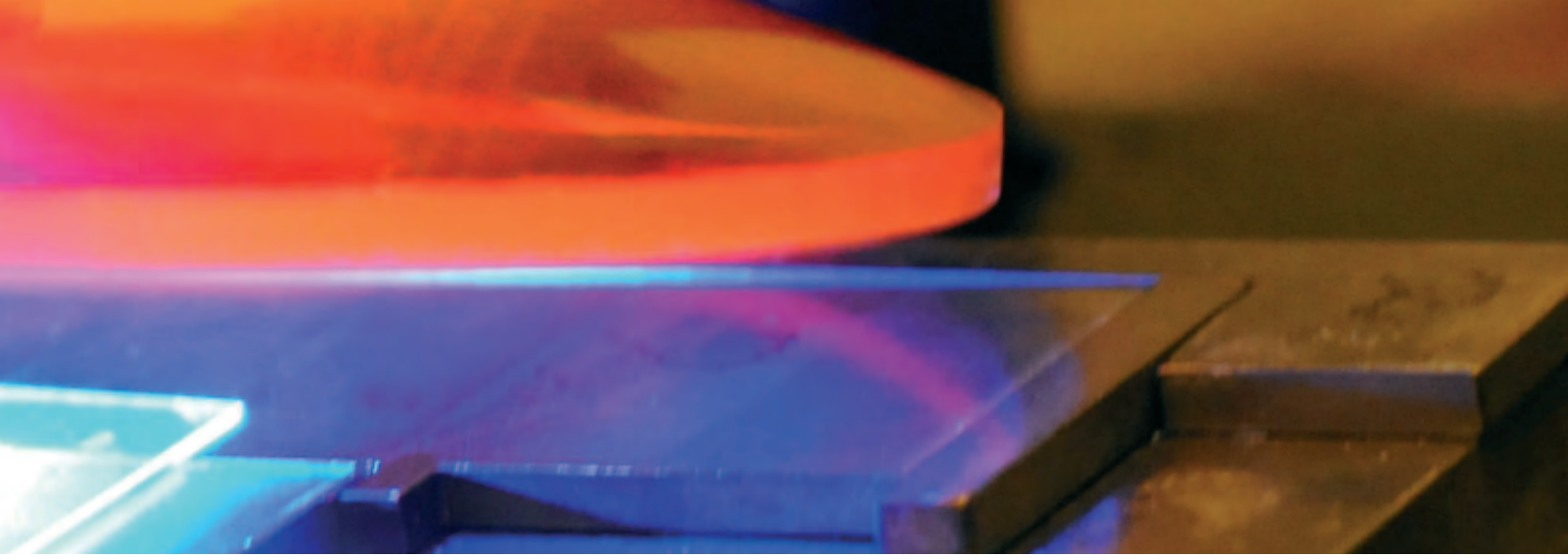
Auf dem weiten Gebiet innovativer medizinischer und biotechnologischer Produkte konzentriert sich das Geschäftsfeld Life Science auf Werkstoffanwendungen in der regenerativen Medizin, der Diagnostik und der Zahnheilkunde. In diesen Bereichen steigt vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklung und der damit verbundenen typischen Erkrankungen in den Industrienationen der Bedarf an kostengünstiger und gleichzeitig individualisierter Medizin besonders an.

Für diese Bereiche entwickelt das Geschäftsfeld Life Science nichtmetallische Werkstoffe auf Hybridpolymer-, Keramik- und Glas-Basis für medizintechnische und biotechnologische Anwendungen. Aus dem Verständnis der Wechselwirkungsmechanismen zwischen biologischen Systemen und anorganischen bzw. hybriden Werkstoffen insbesondere auf nanoskaliger Ebene ergeben sich zahlreiche Ansatzpunkte für Materialien mit zum Teil ganz neuen und/oder kombinierten Funktionen. Besonders zukunftsweisend sind in dieser Hinsicht bioaktive Werkstoffe mit integrierten diagnostischen und therapeutischen Funktionen und die Kombination von Biomolekülen und synthetischen Materialien zu Biohybridwerkstoffen.

Anwendungsbeispiele sind dreidimensionale Zellträgerstrukturen aus resorbierbaren Fasern oder frei strukturierbare Hybridpolymere für die regenerative Medizin, monomerfreie Hybridpolymere, Glasionomerzemente und Infiltrationskeramiken für die Dentalmedizin sowie multifunktionale (Nano-) Partikel und -komposite für den Einsatz in der Diagnostik und Theranostik. Hinzu kommen Hohlfasern, Membranen, Folien und nasschemische Beschichtungen mit speziellen biotechnologischen und medizinischen Funktionen.

Aktuell werden für die vom Fraunhofer ISC entwickelten bioresorbierbaren Wundauflagen vom Projektpartner Bayer Innovation GmbH mit klinischen Studien die Voraussetzungen für eine baldige Zulassung geschaffen, wie im Gastbeitrag der Bayer Innovation GmbH berichtet.

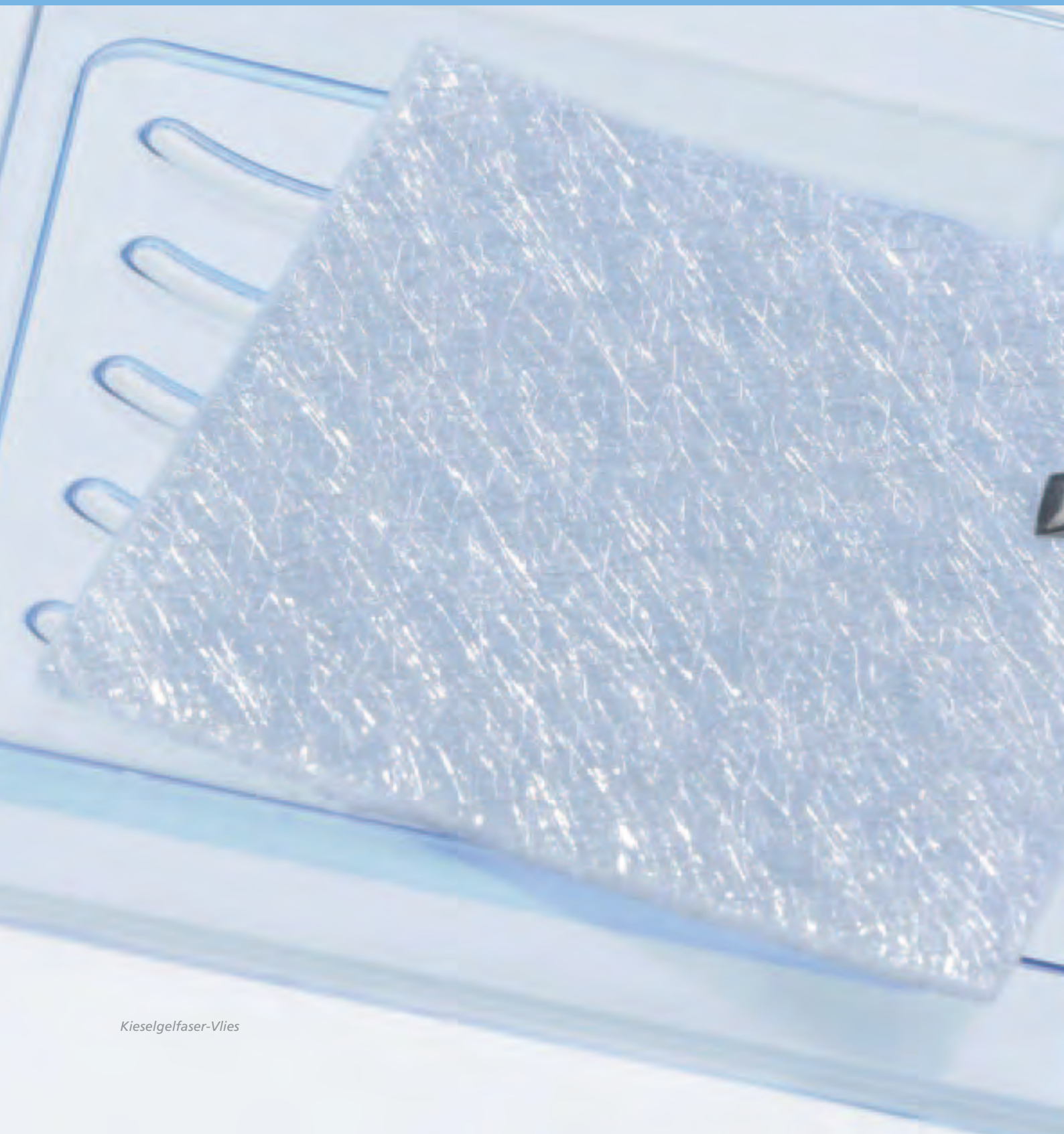
Im Bereich der biohybriden Werkstoffe wurde ein Verfahren zur synthetischen Herstellung von Klebstoffen für Anwendungen im wässrigen Milieu auf der Basis von Muschelproteinen entwickelt. Diese bioverträglichen und synthetischen Muschelkleber sind nicht nur für den Einsatz in der Medizin interessant, sondern darüber hinaus auch für die Fügetechnik allgemein.



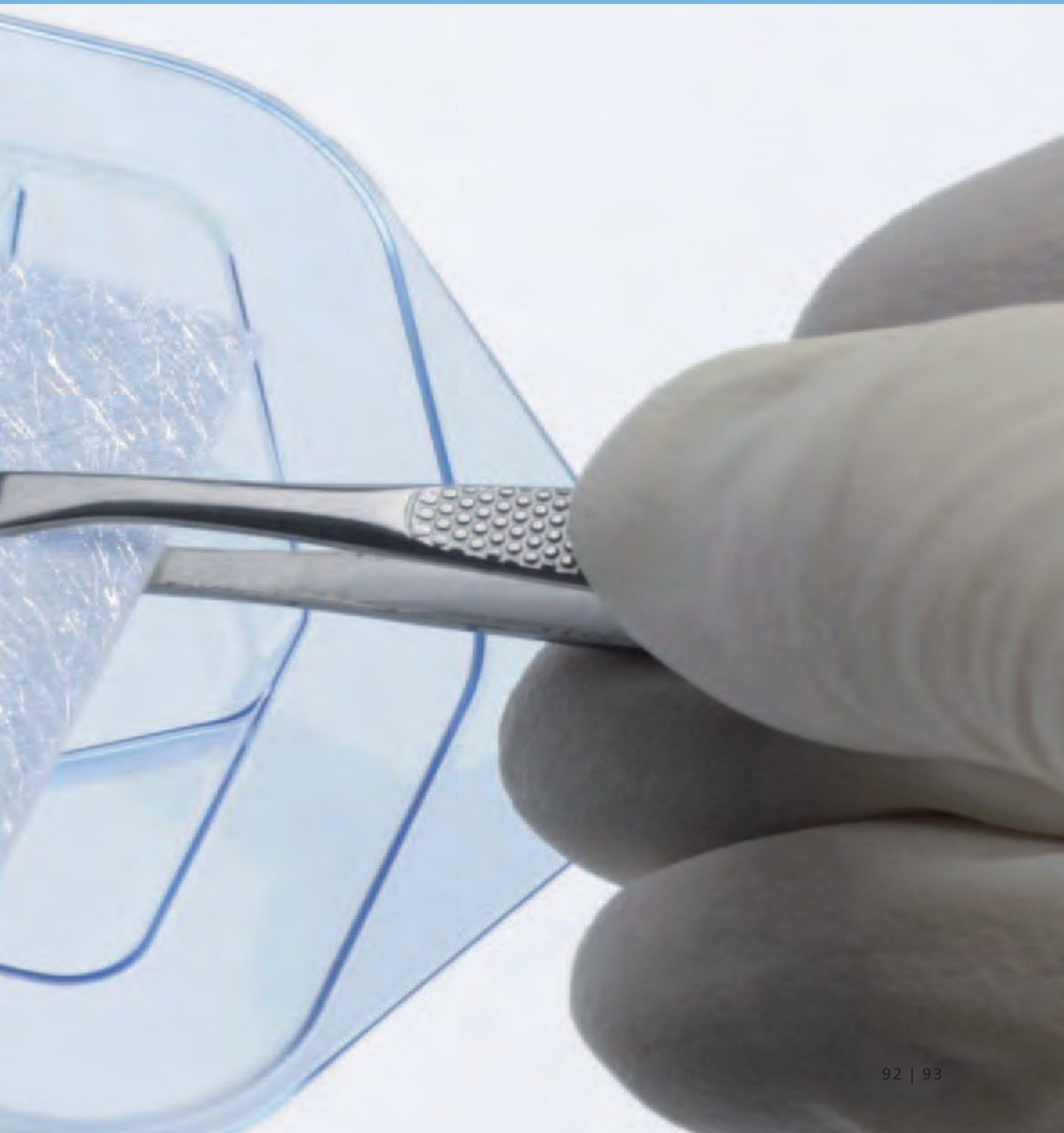
Life Science
Dr. Jörn Probst
Geschäftsfeldleiter
Telefon +49 931 4100-249
joern.probst@isc.fraunhofer.de

KLINISCHE STUDIE ZUR NEUEN KIESELGEL-WUNDAUFLAGE

NEUER HOFFNUNGSTRÄGER ZUR HEILUNG VON CHRONISCHEN WUNDEN



Kieselgelfaser-Vlies



Wundauflage (© Bayer Innovation GmbH)

Die Zeit heilt alle Wunden? Leider nicht. Bei manchen Menschen heilen schwere Hautdefekte nur sehr langsam oder gar nicht. Für solche chronischen Wunden hat die Bayer Innovation GmbH (BIG) in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISC eine spezielle Gewebeauflage entwickelt, die den Heilungsprozess beschleunigen soll. Für ihr Verfahren zur Herstellung des zugrunde liegenden Materials erhielten die beiden Forscher Dipl-Ing. Walther Glaubitt und Dr. Jörn Probst 2008 den renommierten Joseph-von-Fraunhofer-Preis der Fraunhofer-Gesellschaft.

Bayer Innovation hat zusammen mit dem Fraunhofer ISC und unterstützt von Experten bei Bayer HealthCare die Wundauflage für den klinischen Einsatz qualifiziert. Auch Kollegen von Bayer Technology Services und der Currenta wirken mit – etwa bei der Produktion der Wundauflagen für die Klinik sowie bei der Analytik.

Clinical trial on new wound dressing

Poorly healing wounds and chronic injuries have always been a problem for physicians. A new type of wound dressing based on silica gel fiber fleece can greatly improve the healing process. This inorganic material is fully absorbed by the body in the course of the healing process. The basic technology for the synthesis and production of the new materials was developed at the Fraunhofer ISC.

Clinical trials are presently underway at the universities of Cologne and Hamburg. Patients suffering from chronic venous leg ulcers are being treated with the new wound dressing. The early results are most encouraging.

An den Universitätskliniken Köln und Hamburg startete eine erste klinische Studie mit Patienten, die an chronisch venösen Unterschenkel-Geschwüren leiden. Sie wurden mit dem neuartigen Wundverschluss behandelt. Die Ergebnisse waren ermutigend. In der zweiten Jahreshälfte 2009 ist die Studie auf 15 Kliniken in Europa und den USA mit insgesamt 250 Patienten ausgeweitet worden. Für die BIG war der Studienbeginn ein wichtiger Meilenstein. »Es ist unser erstes Projekt, mit dem wir in eine klinische Studie gehen«, so Dr. Detlef Wollweber. Und noch etwas freut den BIG-Geschäftsführer: »Wir haben dies nach nur drei Jahren eigener Entwicklungszeit erreicht.« Die Studie soll zeigen, ob die neue Wundauflage von Bayer den Heilungsprozess von chronischen Wunden fördert. »Dazu wird eine Hälfte der Teilnehmer mit unserem neuen Produkt behandelt, während die übrigen Patienten eine handelsübliche Auflage erhalten«, erklärt Iwer Baecker, Projektleiter bei der BIG.

In definierten Zeitabständen werde dann der jeweilige Heilungsprozess gemessen. Die Hoffnungen sind groß, dass die Neuentwicklung von Bayer helfen kann, eine Behandlungslücke großen Ausmaßes zu schließen. Der Berufsverband Deutscher Chirurgen schätzt die Zahl der Patienten, die in Deutschland mit nicht heilenden, häufig schmerzhaften Wunden zu kämpfen haben, auf zwei bis vier Millionen. Dazu zählen beispielsweise Menschen mit einem diabetischen Fuß oder mit bestimmten Gefäßerkrankungen. Vor allem ältere Patienten haben es häufig mit chronischen Wunden zu tun. Dank einer Gewebeauflage aus Kieselgelfaser-Vlies soll der neue Wundverschluss von Bayer den natürlichen Heilungsprozess aktiv unterstützen. Versuche haben bereits gezeigt, dass das Material dafür gute Voraussetzungen liefern könnte. Die Gewebefasern bieten gesunden Zellen offenbar optimale Möglichkeiten zum Anhaften, so dass sich entlang den Fasern der Auflage schnell neue Hautschichten ausbilden können.

»Eine solche aktive Unterstützung des Heilungsprozesses fehlt bisher am Markt«, so Prof. Dr. Sabine Eming von der Klinik für Dermatologie an der Universität zu Köln, Leiterin der Studie. Ein weiterer Vorteil: Die Kieselgelfasern werden mit der Zeit vom Körper abgebaut. Der Wundverschluss muss daher nicht mehr entfernt werden. Am Ende bleibt lediglich die neu gebildete Haut zurück – und schließt die Wunde.

Die Studie soll 2011 abgeschlossen sein. »Wir hoffen aber, schon vorher auf Basis von Zwischenbefunden den kommerziellen Erfolg eines solchen Produkts abschätzen – und entsprechend vorbereiten – zu können«, so Baecker.

Kontakt
Iwer Baecker
Bayer Innovation GmbH
40225 Düsseldorf
Telefon +49 211 758458-37
iwer.baecker@bayer-innovation.de

Walther Glaubitt
Anorganische Materialien aus flüssigen Vorstufen
Telefon +49 931 4100-406
walter.glaubitt@isc.fraunhofer.de

Dr. Jörn Probst
Geschäftsfeldleiter Life Science
Telefon +49 931 4100-249
joern.probst@isc.fraunhofer.de

BIOMIMETISCHER KLEBSTOFF

Muschelbank

Klebstoffe, die in wässrig-feuchtem Milieu eine hohe Klebekraft entwickeln und zugleich biologisch verträglich sind, wären für viele Anwendungsgebiete speziell in der Medizin und der Biotechnologie interessant. »Biokleber« für Gewebe könnten postoperativ das Nähen ersetzen oder als Fixierhilfen für Knochen, Bänder und Sehnen eingesetzt werden. Bioverträgliche Knochenklebstoffe für lasttragende Bereiche könnten langwierige Heilungsprozesse verkürzen. Weitere bedeutende Einsatzfelder werden im Dentalbereich als Haftvermittler, in der Ophthalmologie für Netzhautreparaturen oder in der Biotechnologie z. B. für die Enzym-Immobilisierung gesehen.

Muscheln als Vorbild

Für viele Fragestellungen hält die Natur schon perfekte Lösungen bereit, die nur darauf warten, in technische Konzepte übersetzt zu werden. Diese als Biomimetik bekannte Vorgehensweise hatte bereits in den 1970ern die Miesmuschel im Visier (Bild *Muschelbank*), da diese über die Fähigkeit verfügt, sich im Wasser unter extremsten Bedingungen auf nahezu beliebigen Substraten fest und dauerhaft zu fixieren. Ihre Fähigkeit basiert auf Klebeproteinen, zu deren Gewinnung pro Gramm die enorme Menge von 10 000 Muscheln benötigt wird. Das entspricht in etwa einer Ausbeute, wie sie die alten Römer bei der Gewinnung von Purpur aus Purpurschnecken hatten. Wenn solche Biokleber einigermaßen kostengünstig zum Einsatz kommen sollen, dann wird dies nur mit einem zeitgemäßen und wirtschaftlicheren materialsynthetischen Ansatz möglich sein.

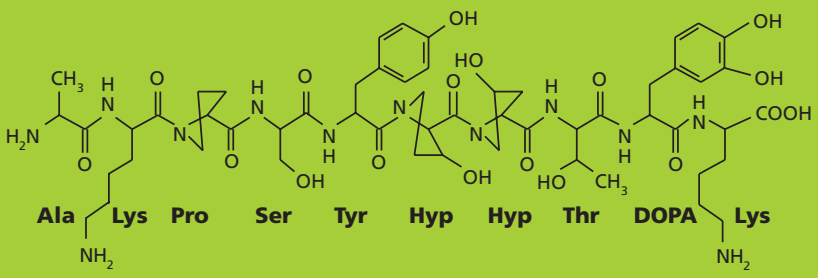
Für die Klebewirkung der Muschelproteine entscheidend ist eine Sequenz von 10 Aminosäuren, das sogenannte Dekapeptid, als Untereinheit. Eine Schlüsselrolle spielt dabei das Fragment 3,4-Dihydroxyphenylalanin (DOPA). Zahlreiche Forschungsgruppen arbeiten zurzeit daran, diese auf synthetischem Wege herzustellen und als Klebstoff verfügbar zu machen. Überzeugende Lösungen liegen bislang jedoch nicht vor. Mit einem neuen Lösungsansatz wollen die drei Schwesterinstitute ISC, IBMT und IFAM in einem Eigenforschungsprojekt der Fraunhofer-Gesellschaft diese Lücke nun schließen und die Machbarkeit für synthetische Biokleber auf Muschelproteinbasis nachweisen.

Synthetischer Muschelkleber – Lösungsansatz

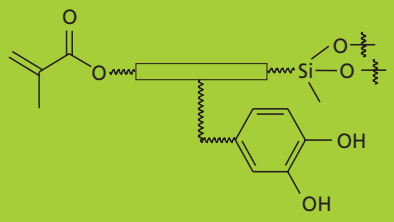
Eine Klebeverbindung wird durch zwei entscheidende Kenngrößen charakterisiert: Die Haftkraft oder Adhäsion, mit der der Klebstoff an den zu verbindenden Oberflächen haftet, und die innere Festigkeit, die sogenannte Kohäsion. Für einen festen Verbund müssen beide Größen möglichst hoch sein. Im natürlichen Muschelkleber wird die Adhäsion im Wesentlichen durch die Dekapeptide mit der Aminosäure DOPA übernommen (Bild *Struktur des Dekapeptids*). Für die Kohäsion sind weitere, strangbildende Peptide verantwortlich. Um in einem synthetischen Kleber die kurzen funktionellen Aminosäuresequenzen zur Wirkung zu bringen, müssen sie in einer Matrix verankert werden, die die Adhäsion unterstützt und für ausreichende Kohäsion sorgt. Matrix und funktionelle Aminosäuren müssen kompatibel sein. Standardpolymere sind hierfür nicht geeignet, weil sie in der Regel hydrophob und nur in der

Biomimetic adhesive

Mussels produce glue which in a watery environment exhibits great adhesive strength to a wide range of different material surfaces. This provides the model for a new type of adhesive which has been synthetically produced in a biomimetic approach. To amplify the adhesive effect, the respective amino acids, in particular 3.4-dihydroxy-phenylalanine (DOPA) and the amino acid sequences (decapeptides), were anchored in a light-curable hybrid-polymer matrix. Studies of the adhesive effect and biological compatibility of the new compound are highly promising.



Struktur des Dekapeptids



Trifunktionale Verbindung

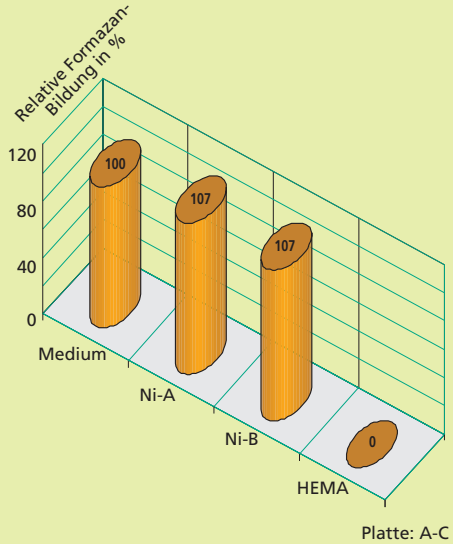
Schmelze verarbeitbar sind. Wasserlöslichen Polymeren wie Polyethylenglykol (PEG) fehlt andererseits die innere Festigkeit.

Die Schlüsselidee war, die Peptidchemie mit der Sol-Gel-Chemie zu verbinden und das synthetisch hergestellte Dekapeptid, oder dessen leichter verfügbare Untereinheiten, insbesondere den 3,4-Dihydroxyphenyl-Rest in Form der Verbindung DOPAMIN in ein hybridpolymeres anorganisch-organisches Netzwerk zu integrieren. Damit sollte eine geeignete Gerüststruktur zur Verfügung gestellt werden, die in ihrem anorganischen Rückgrat die Peptidfäden der Miesmuschel nachahmt, die adhäsive Wirkung der Klebeeinheiten verstärkt und darüber hinaus einen Licht-/UV-Vernetzungsmechanismus zur gezielten Härtung ermöglicht.

Ergebnisse

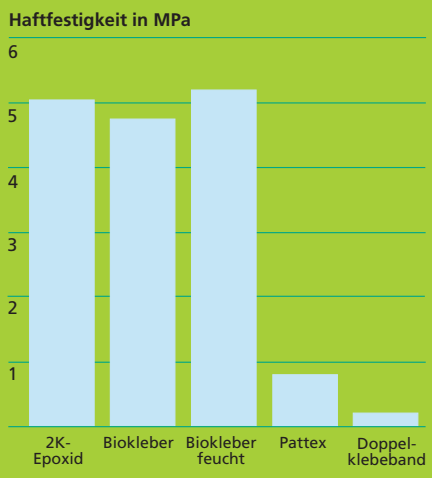
Es gelang die Darstellung von trifunktionalen Verbindungen, die die anorganische und organische Vernetzbarkeit mit einer peptidabgeleiteten Klebeeigenschaft in einem Molekül kombinieren (Bild *Trifunktionale Verbindung*). Die gewünschten kohäsiven und adhäsiven Eigenschaften lassen sich mit Licht-/UV-induzierter Härtbarkeit vereinen, und somit ist ein technisch verarbeitbarer Klebstoff realisierbar.

Das Dekapeptid wurde von dem Projektpartner Fraunhofer IFAM kombinatorisch über die Festphasensynthese, d. h. durch sukzessive Aneinanderreihung der entsprechenden Aminosäuren, hergestellt. Unter Anwendung der aus der Peptidchemie bekannten Techniken waren die reaktiven Seitenketten inaktiviert, indem sie mit Schutzgruppen versehen wurden. Im Fraunhofer ISC erfolgten die Synthese der trifunktionalen molekularen Vorstufen und die Weiterverarbeitung über einen Sol-Gel-Prozess in lichthärtende, lösungsmittelfreie anorganische Kondensate (Harze). Die anschließende Entfernung der Schutzgruppen und damit die Aktivierung des Klebesegments waren ohne Beeinträchtigung der anorganischen Vernetzungsstruktur oder Verlust der organischen Reaktivität möglich. Erste zytotoxische Untersuchungen am Fraunhofer IBMT zeigten jedoch, dass prozessbedingte Verunreinigungen störend wirken können.



Biokompatibilität

Das DOPAMIN-modifizierte (Ni-B) wie auch das unmodifizierte Hybridpolymer (Ni-A) beeinflussen die Stoffwechselaktivität von L-929-Zellen nicht nachteilig (WST-1-Test). Bezugspunkte sind das Zellkultur-Medium (100 %) und das positive Referenzmaterial Hydroxyethylmethacrylat (HEMA) (0%).



Haftfestigkeit

Test der Klebewirkung

In gleicher Weise wurden auch Fragmente des Dekapeptids in die Matrix integriert. Von diesen DOPAMIN-Untereinheiten wurde zwar nicht die volle adhäsive Wirkung erwartet, dafür sind sie aber leichter handhabbar und quasi unbegrenzt verfügbar. Die lichthärtenden Harze auf Basis einer DOPAMIN-modifizierten trifunktionalen Verbindung weisen bereits akzeptable Klebeeigenschaften auf. Der Vergleich mit den Referenzproben zeigt, dass die neue Verbindung eine Klebekraft vergleichbar mit der eines 2K-Epoxidharzes besitzt (Bild *Test der Klebewirkung*; Grafik *Haftfestigkeit*). Testverklebungen von mit Wasserdampf befeuchteten Oberflächen zeigten im Vergleich zu trockenen Oberflächen keine verringerte Klebwirkung. Der gehärtete Klebstoff auf DOPAMIN-Basis ist nach Auswertung erster Untersuchungen zur Zytotoxizität biokompatibel (Grafik *Biokompatibilität*). Damit sind grundlegende Voraussetzungen für die Entwicklung eines neuen Bioklebers auf der Basis des leichter verfügbaren Dekapeptidfragments erfüllt.

Nächste Schritte

Beide im Rahmen des Eigenforschungsprojekts getesteten Lösungsansätze erwiesen sich als machbar und bilden jetzt den Ausgangspunkt für die Realisierung von Bioklebern auf Muschelproteinbasis. Nach den ersten orientierenden Untersuchungen muss die DOPAMIN-Modifikation auf ihre Tauglichkeit unter In-vivo-Bedingungen geprüft werden, z. B. als Haftvermittler im Dentalbereich. Ebenso sollen die Applikationen im Bereich Gewebe und Knochen untersucht werden. Die Darstellung der Dekapeptid-Modifikation muss noch auf ihre Klebewirkung überprüft und ein Verfahren zur Inaktivierung oder Beseitigung störender Verunreinigungen, beispielsweise durch eine geeignete Schutzgruppenchemie, entwickelt werden. Für technische Anwendungen, die keine besonderen Anforderungen an die biologische Verträglichkeit stellen, bieten die bisherigen Ansätze jedoch bereits eine gute Basis, um stabile Klebverbindungen auch unter feuchten Umgebungsbedingungen herzustellen.

Kontakt
Thomas Ballweg
Nanopartikel und Komposite
Telefon +49 931 4100-512
thomas.ballweg@isc.fraunhofer.de

Dr. Somchit Nique
Hybridmaterialien für Mikrosysteme und Mikromedizin
Telefon +49 931-4100-425
somchit.nique@isc.fraunhofer.de

Projektdetails
»Peptid-basierte Klebstoffe« ist ein Förderprojekt der Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen einer Mittelstandsorientierten Eigenforschung

Projektpartner
Fraunhofer IFAM, Bremen
Fraunhofer IBMT, St. Ingbert

BAU UND UMWELT

Das Anfang 2009 neu gegründete Geschäftsfeld Bau und Umwelt bündelt die Material- und Verfahrenskompetenzen des Fraunhofer ISC im Bereich klassischer Bauwerkstoffe wie Beton oder Gips sowie anorganischer und hybrider Funktionsmaterialien, um die vielfältigen Möglichkeiten der chemischen Nanotechnologie für die Baustoffindustrie und für den nachhaltigen Schutz der Umwelt nutzbar zu machen.

Ein typisches Anwendungsbeispiel für nanobasierte Funktionsmaterialien sind innovative multifunktionelle, nanotechnologisch optimierte Beschichtungen, die sich leichter reinigen lassen, antimikrobiell wirken oder über photokatalytische Prozesse in der Luft enthaltene Schadstoffe wie NO_x und Formaldehyd abbauen können. Im Hinblick auf die Sanierung von wärmegedämmten Bauten können Fassadenfarben, die durch Einmischung infrarot reflektierender Füllstoffe die Betauung von Außenwänden reduzieren, ein Beitrag zur Erhöhung der Nachhaltigkeit sein.

Zentrales Anliegen des neuen Geschäftsfelds ist die Verbesserung der Ressourceneffizienz (Energie und Material) auch bereits bestehender Technologien.

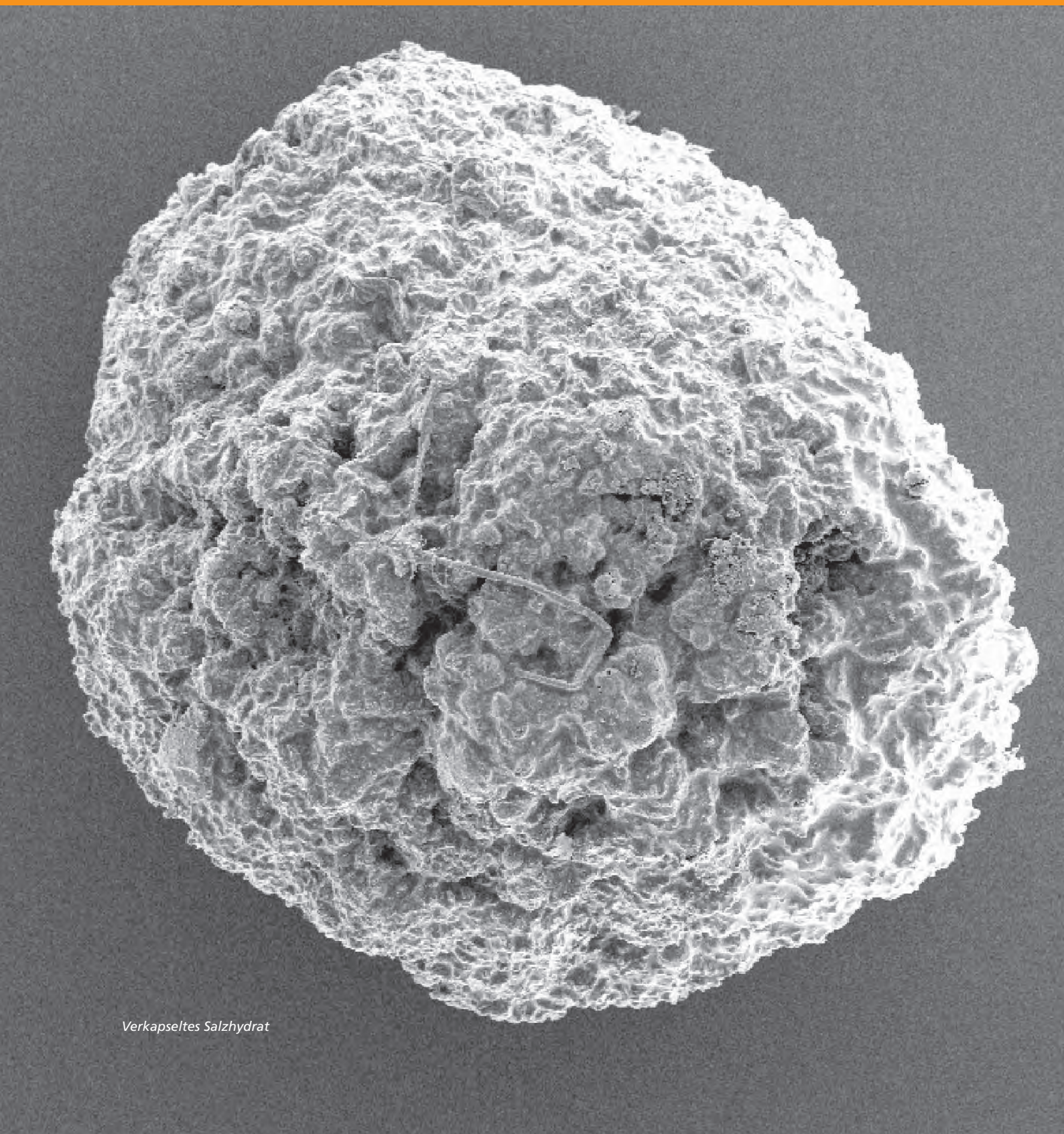
Dazu können neben der Synthese und Verarbeitung von Nanopartikeln und Hohlfasermembranen (Gas- bzw. Abwasserreinigung) sowie der Nutzbarmachung von Sekundärrohstoffen auch analytische Dienstleistungen beitragen, wie sie das hochmodern ausgestattete Analytische Dienstleistungszentrum des Fraunhofer ISC anbietet.

Aktuell werden in einem EU-Projekt neue Materialien zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden entwickelt. Beitrag des Fraunhofer ISC dazu sind neuartige verkapselte Latentwärmespeicher auf Salzhydratbasis. Vorteil dieser anorganischen, auch Phasenwechselmaterialien genannten Werkstoffe ist, dass sie nicht brennbar sind und somit die Brandlast beim Einsatz in Gebäuden nicht erhöhen.

In verkapselter Form lassen sie sich flexibel für die energieautarke Klimatisierung von Räumen einsetzen, in denen die bisher verfügbaren Latentwärmespeicher auf Paraffinbasis nicht zum Einsatz kommen können.

Bau und Umwelt
Dr. Karl-Heinz Haas
Geschäftsfeldleiter
Telefon +49 931 4100-500
karl-heinz.haas@isc.fraunhofer.de

VERKAPSELUNG VON ANORGANISCHEN LATENTWÄRMESPEICHERN



Verkapseltes Salzhydrat

Bei vielen Prozessen entsteht Wärmeenergie, die als »Abfall« entsorgt wird. Das bedeutet, dass Energiequellen hier nicht effizient genutzt werden. Durch die erforderliche Kühlung entstehen außerdem nicht nur zusätzliche Kosten, sondern Klima und Umwelt werden weiter belastet. Daher bergen solche Prozesse ein erhebliches Verbesserungspotenzial im Sinne einer nachhaltigen Energienutzung, das die Materialentwicklung am Fraunhofer ISC erschließen möchte.

Höhere Energieeffizienz durch Speicherung von Wärmeenergie

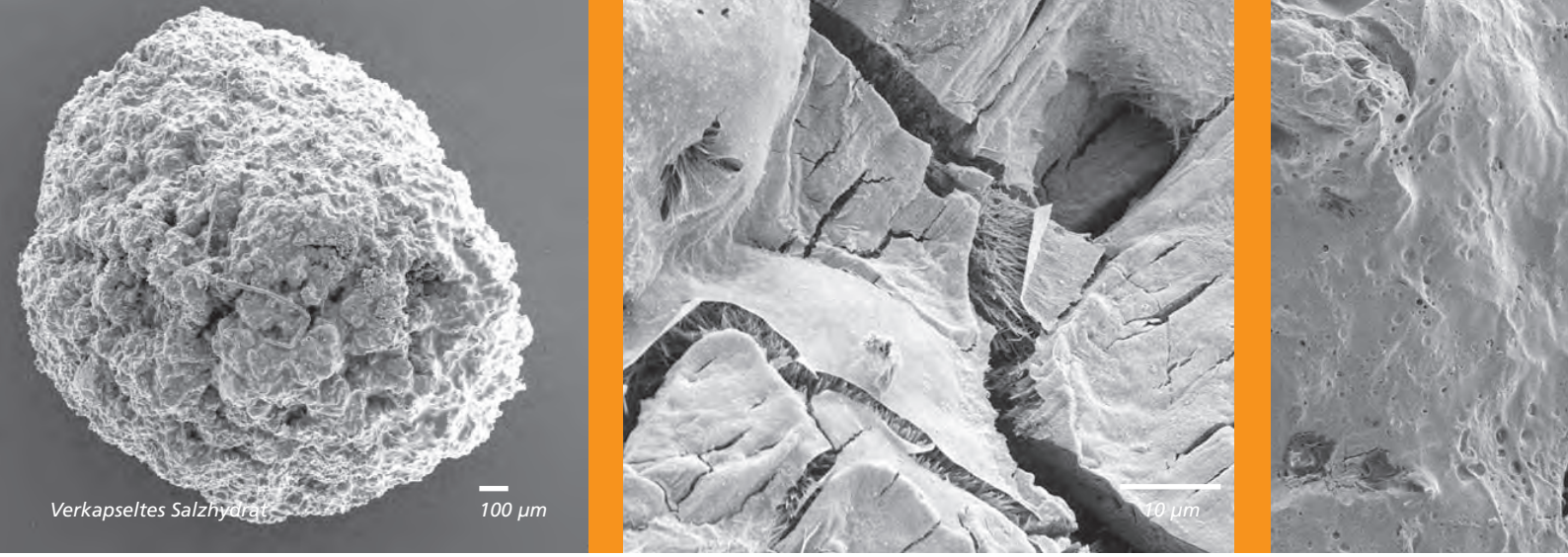
Ein möglicher Ansatz ist die Speicherung und weitere Verwertung von Wärmeenergie. Geeignet dafür sind Flüssigkeiten wie z. B. Wasser, aber auch Feststoffe. Die Wärmeenergie wird hierbei im Allgemeinen einfach über eine Temperaturerhöhung des gewählten Materials gespeichert. Allerdings erfordert diese Methode aufwendige Isolierungen und, bezogen auf die Masse an Speichermedium, kann nur ein geringer Energiebetrag gespeichert werden. Leistungsfähiger sind Verfahren, die Phasenübergänge eines Materials ausnutzen, wie das Schmelzen und Wiedererstarren. Beim Schmelzen wird Wärmeenergie aufgenommen, ohne dass die Temperatur des Materials erhöht wird. Beim Erstarren wird diese Wärmemenge dann wieder abgegeben und ist damit erneut verfügbar. Diese »gespeicherte« Wärmemenge bezeichnet man als »latente Wärme« und Materialien, die auf diese Weise eine große Menge Energie aufnehmen und wieder abgeben können, als »Latentwärmespeicher« oder auch »Phasenwechselmaterialien«. Damit der Speicherprozess bei der gewünschten Temperatur abläuft, werden Materialien mit geeigneten Schmelz- und Erstarrungstemperaturen ausgesucht und auf den erforderlichen Bereich abgestimmt. Solche Latentwärmespeicher werden beispielsweise in Warmhaltesystemen in der Gastronomie oder in tragbaren Handwärmern eingesetzt. Im industriellen Maßstab nutzt man sie bei der Rückgewinnung von Abwärme.

Vorteile beim Brandschutz durch anorganische Phasenwechselmaterialien

Latentwärmespeicher müssen nicht nur auf den richtigen Temperaturbereich abgestimmt werden, sondern physikalisch und chemisch so stabil sein, dass sie die gewünschte Wandlung mehrere tausend Male vollständig umkehrbar zulassen, ohne sich zu zersetzen oder an Speicherkapazität zu verlieren. Da sie in die flüssige Phase übergehen, müssen sie zudem in geeignete Behälter eingeschlossen werden. Das können Rohrleitungssysteme, Container oder auch mikroskopisch kleine Kapseln sein. Derzeit eingesetzt werden im Wesentlichen zwei Systeme: Organische Latentwärmespeicher auf der Basis mikroverkapselter Paraffine und makroverkapselte anorganische Latentwärmespeicher.

Encapsulation of inorganic latent heat storage materials

In many processes heat energy is generated, which is discharged as a waste product. Latent heat storage devices could be used to harness this energy. With a new encapsulation technique the Fraunhofer ISC has taken another important step on the way to combining the versatility of microencapsulated latent heat storage devices with the fire safety and high storage capacity of inorganic storage materials. For this purpose, inorganic salt hydrates are coated with a hybrid polymer (ORMOCER®). The encapsulation is based on interfacial reactions. In the current EU project MESSIB the capsule size and barrier effect of the capsule material are being optimized and the energy saving effect quantified.



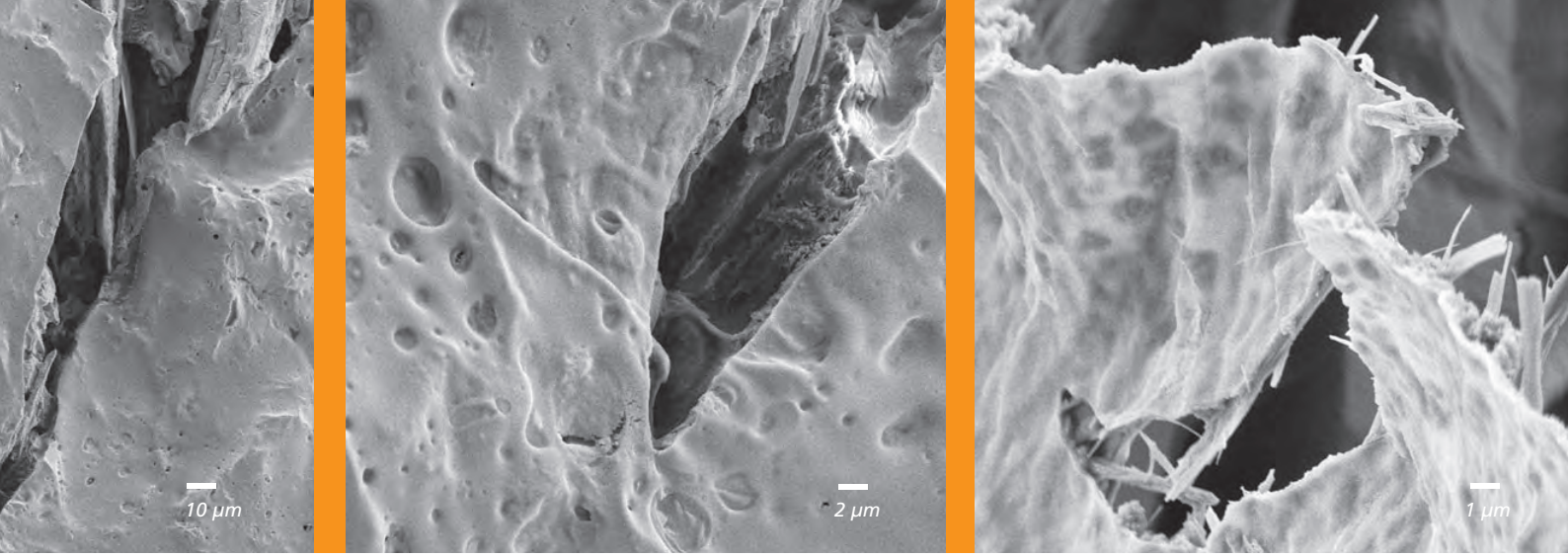
Mikroverkapselte Paraffine können anderen Materialien mit einem geringeren Wärmespeichervermögen – beispielsweise Baustoffen wie Gipsen oder Putzen – beigemengt werden, um deren Isoliervermögen beträchtlich zu verbessern. Verbundmaterialien dieser Art sind bereits auf dem Markt. Soll der Stoff zur Klimatisierung von Gebäuden eingesetzt werden, darf das Speichermaterial jedoch nicht gesundheitlich bedenklich sein und möglichst keine Erhöhung der Brandlast verursachen. Das ist der Schwachpunkt bisher eingesetzter Paraffin-Systeme. Im Brandfall könnten die schützenden Umhüllungen zerstört werden, die Paraffine austreten und den Brand weiter fördern. Die derzeit für die Isolation von Gebäuden kommerziell erhältlichen Produkte müssen daher in die Brandklasse B1 eingestuft werden. Vorbedingung für einen breiteren Einsatz wäre daher ein verbesserter Brandschutz.

Die anorganischen Latentwärmespeicher basieren auf bestimmten Salzen und Salzhydraten. Es handelt sich dabei um anorganische Salze mit einem sehr hohen Anteil an Wasser, das in das Kristallgitter eingelagert ist. Durch diese Wassereinlagerung liegt der Schmelzpunkt je nach Salztyp zwischen 15 °C und 110 °C, was diese Substanzen auch für Anwendungen im Raumtemperaturbereich attraktiv macht. Sie sind nicht brennbar oder brandfördernd und bieten zusätzlich den Vorteil, dass wesentlich mehr Wärmeenergie bezogen auf das Volumen des Materials gespeichert werden kann. Während Paraffinsysteme eine thermische Speicherkapazität von etwa 50 – 180 kJ/L haben, kann sie bei anorganischen Materialien 500 kJ/L erreichen. Aufgrund ihrer hohen Wasserempfindlichkeit eignen sie sich bisher aber nur für hermetisch abgeschlossene stationäre Anlagen.

Flexible Handhabung durch Verkapselung

Das Fraunhofer ISC hat sich zum Ziel gesetzt, ein Verfahren zur Verkapselung der technisch vorteilhafteren anorganischen Latentwärmespeicher zu entwickeln, um sie ebenso flexibel nutzbar zu machen wie organische Systeme. Die Herausforderung liegt dabei in der Wasserempfindlichkeit der anorganischen Speichermaterialien. Manche der grundsätzlich geeigneten Salzhydrate nehmen Wasser aus der Umgebung auf, andere geben das eingelagerte Wasser auch unter Normalbedingungen bereitwillig in die Umgebung ab – Eigenschaften, die für ein Latentwärmespeichermaterial unbrauchbar sind. Das Verkapselungsmaterial muss also eine hinreichend gute Barrierewirkung gegen Wasser gewährleisten. Für Verpackungen und in der Mikroelektronik werden Hybridmaterialien aus der Klasse der ORMOCER®e bereits als Barrierematerial eingesetzt. Das qualifizierte sie als geeignete Kandidaten für das gesuchte Verkapselungsmaterial. Die besondere Schwierigkeit liegt hier jedoch in der Form des zu verkapselnden Materials. Die Beschichtung von Partikeln erfordert vollständig anders geartete Prozesse, die für das ORMOCER® entwickelt und optimiert werden mussten. Zusätzlich stellt die Volumenänderung der Salzhydrate beim Speichern und Abgeben von Wärme, die durch das Kapselmaterial ausgeglichen werden muss, eine besondere Herausforderung dar.

Zur Lösung dieser Aufgabenstellung hat die Arbeitsgruppe um Dr. Uta Helbig und Dr. Ruth Houbertz-Krauß ein neues Härtungsverfahren entwickelt, das auf einer Grenzflächenreaktion beruht. Als Modellsystem wurde Natriumcarbonat-Wasser ausgewählt. Unter geeigneten Reaktionsbedingungen bildet sich auf dem Latentwärmespeichermaterial Natriumcarbonat-Dekahydrat eine Hybridpolymerschicht.



Die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen zeigen eine so hergestellte Kapsel – bei höheren Vergrößerungen sind gezielt erzeugte Risse zu erkennen. An einem Riss erkennt man die glatte Hybridpolymerschicht und die stängeligen Kristalle des Salzhydrates.

Auslaugtests an entsprechenden Kapseln belegen eine gute Sperrwirkung gegen Wasser. Diese Arbeiten konnten auf ein für die Gebäudeklimatisierung geeignetes Latentwärmespeichermaterial übertragen werden, wenn auch die erforderliche Barrierewirkung gegen Wasser noch optimiert werden muss.

Ausblick

Die grundsätzliche Eignung von Latentwärmespeichern zur effizienteren Nutzung von Energie ist bereits bekannt. Dem Fraunhofer ISC ist mit einem neuen Verkapselungsverfahren ein wichtiger Schritt gelungen, um die Vielseitigkeit mikroverkapselter Latentwärmespeicher mit der Brandsicherheit und der hohen Speicherkapazität anorganischer Speichermaterialien zu verbinden. Im Rahmen eines laufenden EU-Projekts werden Kapselgröße und Barrierewirkung des Kapselmaterials optimiert und die energiesparende Wirkung quantifiziert.

Kontakt
Dr. Uta Helbig
Hybridmaterialien für Mikrosysteme und Mikromedizin
Telefon +49 931 4100-523
uta.helbig@isc.fraunhofer.de

Projektdetails

MESSIB – Multi-source Energy Storage System Integrated in Buildings
Projektförderung im 7. EU-Forschungsrahmenprogramm
Förderkennzeichen: 211624
Projektlaufzeit: Januar 2009 bis Dezember 2013
Koordinator: Acciona Infraestructuras S. A

SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME

MESSIB
Multi-source Energy Storage System Integrated in Buildings

CENTER SMART MATERIALS CESMA

Am 12. Mai 2009 wurde am Fraunhofer ISC das neue Center Smart Materials – kurz CeSMa – offiziell gestartet. Mit CeSMa soll der Transfer aktiv steuerbarer Materialien in neue Produkte forciert und beschleunigt werden. Rund 40 geladene Gäste und Partner aus Industrie und Forschung kamen am Neunerplatz zusammen, um das neue Bayerische Entwicklungs-Zentrum für intelligente Materialien aus der Taufe zu heben.

Mit der vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie geförderten Einrichtung des CeSMa in Würzburg werden die bestehenden Kompetenzen in Bayern so ausgebaut, dass der Transfer von Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Smart Materials in die industrielle Umsetzung beschleunigt werden kann. Initiator ist das Kompetenzfeld Adaptive Materialien des Fraunhofer ISC. Im CeSMa wird die gesamte Entwicklungskette »aus einer Hand« angeboten, angefangen bei Grundlagenuntersuchungen über den Prototypenbau bis hin zur Lebensdauerprüfung.

Die im Rahmen von CeSMa geplanten Entwicklungsprojekte verbinden die Fraunhofer-Forscher um Dr. Holger Böse mit Arbeitsgruppen aus Universitäten, Fachhochschulen und der Industrie. Partner sind die bayerischen Cluster »Neue Werkstoffe« und »Mechatronik und Automation«. Bayern stellt als Anschubfinanzierung in den nächsten fünf Jahren Fördermittel in Höhe von rund 3 Mio. Euro aus dem Programm Bayern FIT zur Verfügung, denen noch einmal etwa die gleiche Summe aus Projekterträgen aus der Industrie gegenüberstehen wird.

Intelligente Materialien

Unter »intelligenten« oder adaptiven Materialien (oft auch »Smart Materials«) versteht man Werkstoffe, deren Eigenschaften sich elektrisch oder magnetisch schalten lassen.

Nützlich sind solche Materialien v. a. deshalb, weil sie ansonsten komplizierte technische Systeme vereinfachen und ganz neue Funktionen und Eigenschaften erreichen. So sollen intelligente Materialien in der Zukunft einfachere Bauformen von Kupplungen oder integrierte Bauteil- und Systemüberwachung möglich machen, wie auch präzise Positionierungssysteme, eine autarke Energieversorgung von mikroelektronischen Bauteilen oder intelligente Bedienelemente mit haptisch integrierten Funktionen.

Im Fraunhofer ISC werden eine Reihe von verschiedenen Materialklassen aus dem Bereich der Smart Materials genutzt – das Spektrum ist in dieser Form einzigartig und ermöglicht die gezielte Auswahl und Kombination verschiedener Materialkomponenten, um auch komplexe Fragestellungen zu lösen.

Zur adaptiven Schwingungsdämpfung, aber auch zur steuerbaren Kraftübertragung in Kupplungen und Bremsen, als Aufpralldämpfung oder für haptische Bedienelemente werden magnetorheologische und elektrorheologische Flüssigkeiten (MRF und ERF) sowie magnetorheologische Elastomere (MRE) eingesetzt. Ihre Viskosität bzw. Elastizität kann mit elektrischen

oder magnetischen Feldern schnell und reversibel verändert werden. Während ERF und MRF nur in gekapselter Form eingesetzt werden können, lassen sich die MRE frei formen und auch ohne Kapselung verwenden.

Ihre Vorteile liegen in der einfachen und robusten Technologie, in der Reduzierung beweglicher Teile, z. B. sonst erforderlicher Stellglieder, wie auch in der Sicherheit und Ressourcenschonung. So wurde beispielsweise bereits ein Stoßdämpfer auf der Basis magnetorheologischer Flüssigkeiten konstruiert, der selbst bei Ausfall des Bordnetzes noch die Fahrwerksstabilität gewährleisten kann. Durch bedarfsgerechte Drehmomentübertragung auf der Basis von steuerbaren MRF lassen sich weitere Energiesparpotenziale erschließen.

Die zweite Gruppe der im Fraunhofer ISC genutzten Smart Materials umfasst Werkstoffe, mit denen sich auch Kräfte übertragen lassen, indem elektrische Signale in mechanische Bewegung umgesetzt werden und/oder umgekehrt auch Bewegung in elektrische Signale. Dazu zählen Piezokeramiken, elektroaktive Polymere (EAP) und Carbon-Nanotube-Komposite (CNT). Sie lassen sich als aktorische und sensorische Komponenten einsetzen, für Stellantriebe, als Ultraschallwandler, zur Online-Strukturüberwachung und in der Energiewandlung (micro energy harvesting).

Je nach Anwendungsbereich und Anforderungsprofil müssen dabei die geeigneten Materialien ausgewählt und ggf. kombiniert werden. Eine mobile Energieversorgung auf der Basis elektromechanischer Wandler durch das Nutzen von Schwingungen eines Bauteils oder einer Anlage eröffnet die Möglichkeit zu einer autarken Sensorik und Überwachung von technischen Anlagen.

Marktpotenzial erschließen – CeSMa im bayerischen Verbund

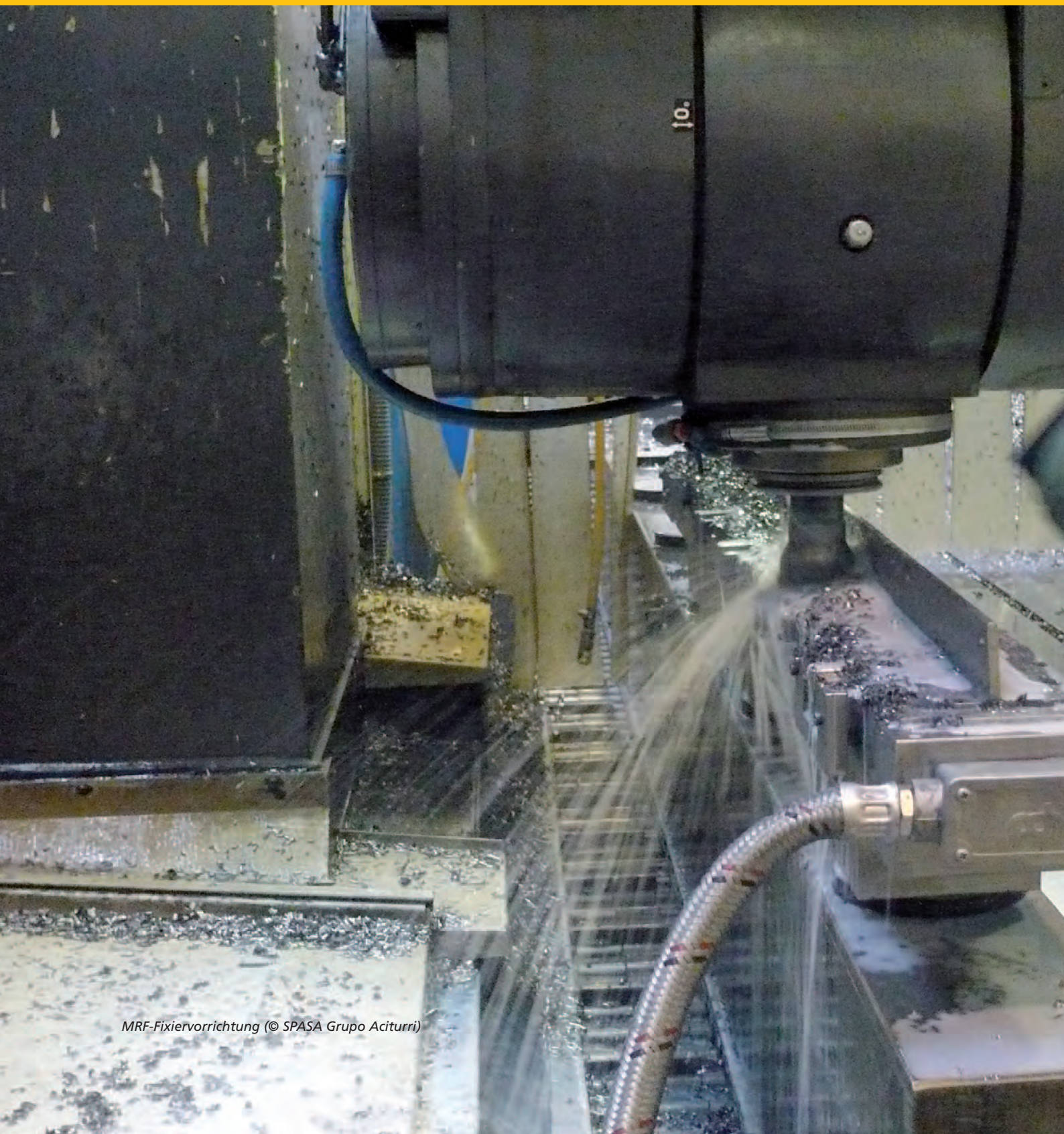
In Trendstudien renommierter Marktforscher wie Frost & Sullivan oder BBC Research & Consulting wird den intelligenten Bauteilen und Strukturen in Hightech-Branchen wie dem Automobilbau, der Luft- und Raumfahrt oder dem Maschinen- und Anlagenbau großes Wachstumspotenzial zugebilligt. Trotz der absehbaren Fülle von Einsatzmöglichkeiten steht die Mehrzahl der intelligenten Materialien immer noch erst an der Schwelle zur Anwendungsreife.

Um sie in neuen Produkten einsetzen zu können, muss die bisher unzureichende Systemintegration von intelligenten Materialien und Bauteilen weiterentwickelt werden. Ein weiterer wichtiger Schritt ist der Nachweis der langfristigen Material- und Bauteilzuverlässigkeit mit geeigneten Verfahren. CeSMa wird für industrielle Anwender in Bayern ein breites, wissenschaftlich-technisch fundiertes Material- und Technologieangebot bereitstellen und mit der Kombination unterschiedlicher Materialgruppen neue nutzbare Effekte erschließen.

Kontakt
Dipl.-Chem. Dieter Sporn
Center Smart Materials
Telefon +49 931 4100-401
dieter.sporn@isc.fraunhofer.de

Center Smart Materials
CeSMa
Partner der Wirtschaft

NEUARTIGES FIXIERSYSTEM AUF BASIS MAGNETORHEOLOGISCHER FLÜSSIGKEITEN



MRF-Fixiervorrichtung (© SPASA Grupo Aciturri)

Grundvoraussetzung für die maschinelle Bearbeitung komplexer Werkstücke ist ihre zuverlässige Fixierung während des Bearbeitungsprozesses. Dazu werden üblicherweise teilespezifische, mechanische Spannvorrichtungen eingesetzt, deren Herstellung jedoch aufwendig und teuer sein kann. Insbesondere bei großen, schwer zu handhabenden Teilen, die noch dazu nur in geringer Stückzahl produziert werden, können die Kosten für entsprechende Haltesysteme bis zu 80 Prozent der Prozessgesamtkosten ausmachen. In Branchen wie der europäischen Luft- und Raumfahrtindustrie, die einem hohen Kostendruck ausgesetzt sind, besteht deshalb ein Bedarf an alternativen Fixiervorrichtungen, die sich weitgehend unabhängig von der Form und Beschaffenheit des Werkstücks einsetzen lassen.

Bereits erprobt sind Haltesysteme auf der Grundlage von Flüssigkeiten, die z. B. durch Gefrieren zum Erstarren gebracht werden. Solche auf temperaturinduzierten Phasenübergängen beruhende Fixierverfahren verbrauchen in der Regel viel Energie und sind in ihrer Anwendung sehr zeitintensiv. Eine interessante Alternative sind hier Haltesysteme auf Basis von magnetorheologischen Flüssigkeiten (MRF), deren Konsistenz sich durch das Anlegen eines Magnetfelds schnell und reversibel verändern lässt.

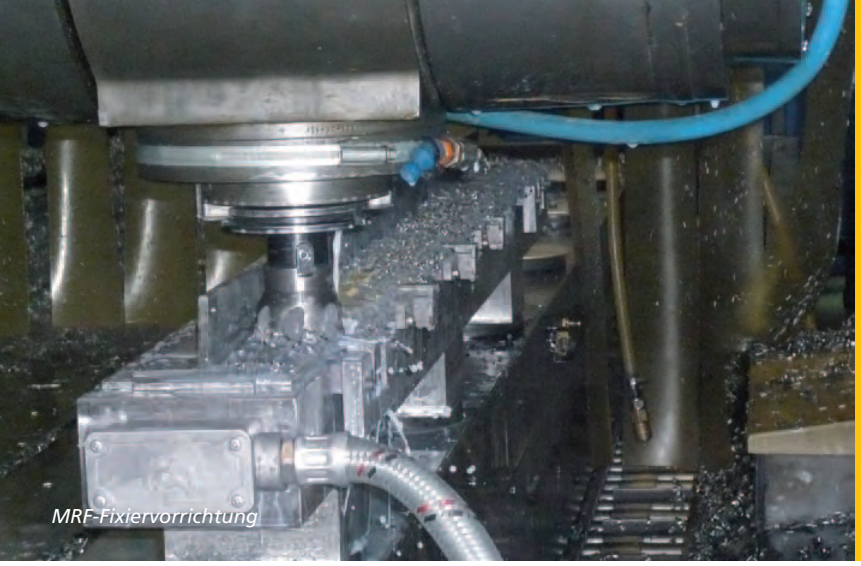
Das Fraunhofer ISC verfügt über langjährige Erfahrung mit MRFs und hat ihre Eigenschaftsprofile bereits an die verschiedensten Anwendungszwecke angepasst. Für das EU-Verbundprojekt MAFFIX (Completely flexible and reconfigurable fixturing of complex shaped workpieces with magnetoreological fluids), an dem drei Forschungseinrichtungen und fünf Industriepartner aus vier europäischen Ländern beteiligt waren, entwickelte das Institut eine schnell schaltbare MRF, mit der komplex geformte und schwer zu handhabende Werkstücke schonend eingespannt werden können.

Schonende Werkstückbearbeitung

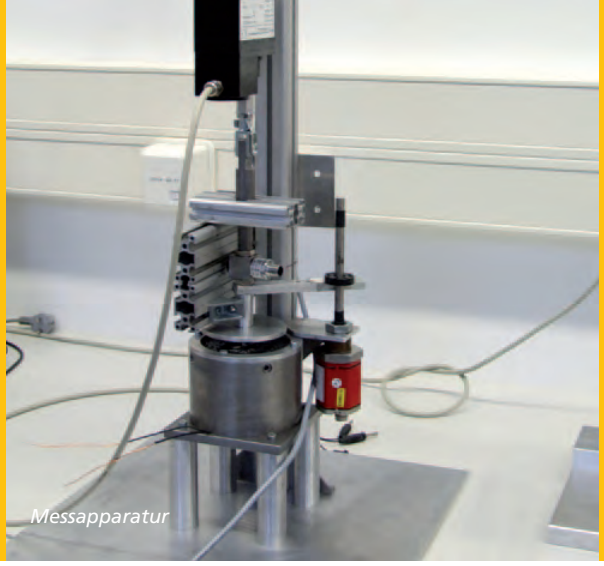
Bei den meisten flüssigkeitsbasierten Verfahren werden die Werkstücke ganz oder teilweise in ein Becken mit einer Flüssigkeit – wie Wasser oder einem speziellen Polymermaterial – getaucht, die anschließend abgekühlt wird, dabei erstarrt und so das zu bearbeitende Teil in Position hält. Bei diesen temperaturinduzierten Phasenübergängen besteht jedoch die Gefahr, dass sich das zu bearbeitende Teil selbst ausdehnt oder zusammenzieht.

Innovative magnetorheological-fluid workholding system

Before they can be precision-machined, workpieces have to be fixed in place. Customized mechanical clamping systems, however, are very expensive. Especially where small quantities of large, complex parts have to be machined they increase process costs considerably. A flexible alternative is presented by fluid-based techniques in which the workpiece is completely or partially immersed in a tank containing a liquid which solidifies when cooled and in result supports the part to be machined – a time and energy consuming process. By contrast, magnetorheological fluids (MRFs) solidify under the influence of a magnetic field in fractions of a second. For the EU-supported MAFFIX project, the Fraunhofer ISC developed a quick-action MRF with which workpieces of complex shape can be gently but securely held in position. The oil-based MRF attains particularly high shear stresses in the magnetic field and therefore provides high holding strength. Preliminary investigations have shown that particularly environment-friendly and more cost-efficient water-based MRFs are also suitable for fixturing workpieces.



MRF-Fixiervorrichtung



Messapparatur

Solche Dimensionsänderungen können im Extremfall die Präzision und die Reproduzierbarkeit des anschließenden mechanischen Bearbeitungsprozesses beeinflussen. Außerdem benötigen die Phasenübergänge der Flüssigkeit viel Zeit und Energie.

Magnetorheologische Flüssigkeiten hingegen, die im flüssigen Zustand die Konsistenz eines zähflüssigen Öls haben, verfestigen sich unter Einfluss eines Magnetfelds innerhalb von Sekundenbruchteilen. Dabei passt sich die MRF kleineren Geometrieschwankungen an und ermöglicht damit gleichmäßige Haltespannungen auch bei großflächigen Werkstücken. Geringe Formungenauigkeiten oder eventuelle Formveränderungen werden ausgeglichen. Da MRFs gleichzeitig Schwingungen, wie sie z. B. beim Fräsen der Teile auftreten können, gut dämpfen, ist eine präzise und besonders schonende Bearbeitung empfindlicher Bauteile möglich.

Hohe Anforderungen an MRF-basierte Fixiersysteme

Magnetorheologische Flüssigkeiten sind Suspensionen kleinster Eisenpartikel, die in einer Trägerflüssigkeit – in der Regel Mineralöl oder Siliconöl – fein verteilt sind. Wird ein Magnetfeld angelegt, ordnen sich die Eisenpartikel entlang der Feldlinien an und verändern damit das Fließverhalten der Flüssigkeit. Mit wachsender Feldstärke verwandelt sich die Flüssigkeit zu einer gelartig festen Masse. Die Zugabe spezieller chemischer Additive verhindert eine vorzeitige Sedimentation und sorgt für eine lange Lebensdauer der MRF.

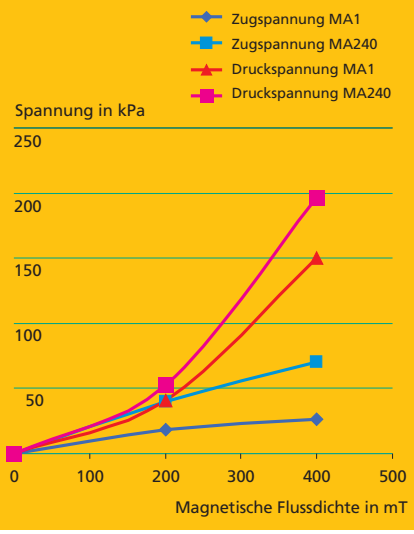
Bei den gängigen Anwendungen von magnetorhelogischen Flüssigkeiten wie z. B. der Schwingungsdämpfung spielt der Fließmodus eine große Rolle. Dabei wird über das Magnetfeld der Strömungswiderstand beim Fließen der Flüssigkeit durch eine Öffnung gesteuert. Bei der Fixierung eines in die MRF getauchten Werkstücks treten dagegen überwiegend Scherkräfte sowie Druck- und Zugbelastungen auf.

Zur sicheren Fixierung großer Teile braucht die MRF eine besonders hohe Haltekraft. Eine wichtige Größe ist hierbei die sogenannte Fließgrenze, die die Kraft angibt, die aufgewendet werden muss, um einen Stoff zum Fließen zu bringen. Je höher die Magnetfeldstärke, desto höher ist auch die Fließgrenze und damit die Haltekraft der magnetorheologischen Flüssigkeit. Weist die MRF eine hohe Fließgrenze auf, muss nur ein geringer Teil des Werkstücks in die Flüssigkeit eingetaucht werden. Die Bearbeitungsfläche ist dann größer. Bei der Bearbeitung des Werkstücks wirken, abhängig von der Geometrie und dem Eintauchgrad des zu bearbeitenden Teils, zusätzlich zur Scherkraft unterschiedlich starke Zug- und Druckkräfte auf die MRF.

Messung der Haltekraft

Um eine geeignete MRF entwickeln zu können, muss zunächst die Haltekraft unter verschiedenen Belastungen gemessen werden. Zu diesem Zweck wurde eine spezielle Prüfvorrichtung entwickelt, mit der sich die von der Magnetfeldstärke abhängige Haltekraft gegenüber den auf eine Testplatte wirkenden Scherbelastungen ermitteln lässt. Mit diesem Messsystem wurden die Fließgrenzen (Grafik) der verschiedenen MRF exakt bestimmt. Gleichzeitig ermöglicht es die Apparatur auch, eventuell auftretende Kriecheffekte zu messen. Wird nämlich die magnetorheologische Flüssigkeit bis nahe an die Fließgrenze belastet, kann es vorkommen, dass sich das eingebettete Werkstück leicht bewegt – es kriecht. Um eine hohe Präzision und Wiederholgenauigkeit bei der spanenden Bearbeitung zu gewährleisten, müssen diese störenden Kriecheffekte vermieden werden. Da bei der Bearbeitung eines Werkstücks auch Zug- und Druckkräfte eine entscheidende Rolle spielen, wurde im Rahmen des Projekts eine spezielle Prüfapparatur (Bild *Messapparatur*) entwickelt, die erstmals die magnetfeldabhängige Messung von Zug- und Druckbelastungen ermöglicht. Dabei wird die Kraft bestimmt, die erforderlich ist, um eine Testplatte senkrecht zu ihrer Fläche in die versteifte Flüssigkeit einzutauchen bzw. sie wieder herauszuziehen.

Messapparatur - Nahaufnahme



Fließgrenzen der MRF

Erfolgreiche MRF-Entwicklung

Der Arbeitsgruppe um Dr. Holger Böse gelang es, eine ölbasierte MRF mit besonders hohen Fließgrenzen zu entwickeln, die damit eine sehr gute und gleichmäßige Fixierung großer Werkstücke ermöglicht. In der optimierten MRF konnte die Haltekraft im Vergleich zur Ausgangsflüssigkeit bei Projektbeginn nahezu verdoppelt werden. Erste Praxistests beim spanischen Projektpartner SPASA Grupo Aciturri mit einem langen Bauteil für die Flugzeugindustrie, das an der Verbindung der Tragflächen am Flugzeugrumpf eingesetzt wird, verliefen erfolgreich (Bild *MRF-Fixiervorrichtung, SPASA Grupo Aciturri*) und haben gezeigt, dass sich die MRF gut für die schnelle und schonende Fixierung empfindlicher und großer Bauteile eignet. Die MRF sorgt für eine gleichmäßige Haltespannung über große Flächen und gleicht kleine Formungenauigkeiten und Formveränderungen des Werkstücks aus. Bei der Bearbeitung kann damit auf mehrfaches Umspannen verzichtet werden. So sind eine Reduzierung der Anzahl erforderlicher Prozessschritte während der Bearbeitung und eine Verkürzung der Einspannzeiten im Vergleich zu Spannverfahren mit Gefrieren oder anderen Phasenübergängen mit MRF realisierbar. Die genaue Kostenersparnis gegenüber komplexen, speziell angefertigten Spannwerkzeugen wird erst nach weiteren Tests zur technischen und wirtschaftlichen Einsatzfähigkeit zu beziffern sein.

Im Zuge der Entwicklungsarbeiten hat das Fraunhofer ISC zusätzlich untersucht, ob auch besonders umweltfreundliche und kostengünstigere wasserbasierte magnetorheologische Flüssigkeiten zur Fixierung von Werkstücken eingesetzt werden können. Nach Abschluss der ersten Voruntersuchungen sind die Wissenschaftler am Fraunhofer ISC zuversichtlich, dass sich auch mit wasserbasierten MRF hohe Haltekräfte erreichen lassen. Hinsichtlich der Korrosionsstabilität der MRF konnten bereits gute Erfolge erzielt werden, doch ist die Entwicklung noch nicht abgeschlossen.

Kontakt
Dr. Holger Böse
CeSMa – Center Smart Materials
Telefon +49 931 4100-203
holger.boese@isc.fraunhofer.de

Projektdetails
Maffix – Completely flexible and reconfigurable fixturing of complex shaped workpieces with magnetoreological fluids – ist im Programmteil CRAFT des 6. Rahmenprogramms für Forschung und technologische Entwicklung der Europäischen Union angesiedelt.
Förderkennzeichen: COOP-CT-2006-032818
Projektlaufzeit: Oktober 2006 bis September 2008

Projektpartner
FATRONIK-Tecnalia, Donostia-San Sebastián (E)
SPASA Grupo Aciturri, Miranda de Ebro (Burgos) (E)
Highftech Engineering S.R.L., Modena (I)
ROEHMHELD GmbH, Laubach (D)
Talleres AIBE, S.A., Eibar (Gibuzkoa) (E)
IMA-METAV S.A., Bucharest (RO)
Zentrum für Innovative Produktion,
Universität des Saarlandes, Saarbrücken (D)

INTEGRIERTE SENSORIK FÜR GLASFASSADEN

Sensormodul zur Rissdetektion

Moderne Architektur setzt auf die Wirkung großer Glasflächen, von großen Fensterbändern bis hin zu Ganzglasfassaden. Sie stellen besondere Anforderungen an Gebäudeklimatisierung, Lichtsteuerung und vor allem auch an die Berücksichtigung sicherheitstechnischer Aspekte. So haben wiederkehrende Meldungen über herabstürzende Glasfassadenelemente inzwischen zu einer Verschärfung der Qualitätsstandards für die Verwendung von Glaselementen geführt. Für Fassadenverkleidungen sind heute nur noch Einscheibensicherheitsglas (ESG) oder Verbundsicherheitsglas (VSG) zugelassen, und die Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von Gebäuden (RÜV) schreibt für die Gebäude des Bundes sogar eine regelmäßige Überprüfung des Gefährdungspotenzials vor. Geeignete Überwachungsinstrumente, die rechtzeitig vor dem Bruch eines Glaselements warnen oder sogar schon vor seinem Einbau auf eventuelle Transportschäden hinweisen können, gibt es jedoch nicht. Gebraucht wird ein intelligentes und möglichst unauffälliges Überwachungssystem, das bereits kleinste Schäden erkennt und so den Reparatur- oder Austauschbedarf anzeigt, bevor das Glas tatsächlich zerbricht und sich von der Fassade löst.

In einem von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschung (AiF) geförderten Projekt arbeitet das Fraunhofer ISC mit TILSE FORMGLAS GmbH, KT-Systems GmbH und dem Institut für Fertigteiltechnik und Fertigbau Weimar e.V. an der Entwicklung solch einer intelligenten Glas-Schadenssensorik, die möglichst kostengünstig einsetzbar sein soll. Die Arbeitsgruppe um Dr. Bernhard Brunner hat bereits langjährige Erfahrung bei der sensorgestützten Zustandsüberwachung von Bauteilen aus Verbundwerkstoffen. Diese Erkenntnisse konnten jetzt auf den Werkstoff Glas übertragen werden. Ziel des Projekts sind integrierbare Sensormodule sowie standardisierte Schnittstellen und Auswertungsalgorithmen, die an Facility-Management-Systeme anknüpfen können. Darüber hinaus sollen weitere Sensorfunktionen wie Licht- und Temperaturerfassung integriert werden. Angebunden an eine Gebäudeleittechnik sollen sie eine bedarfsgerechte, energieeffiziente Steuerung von Raumtemperatur und Lichtsituation ermöglichen.

Stand der Technik

Bisher kommerziell verfügbar sind piezokeramische Schallsensoren oder »Spinnen« aus transparenten leitfähigen Schichten, die als Detektoren für Alarmanlagen in Gebäuden und Fahrzeugen eingesetzt werden. Sie registrieren aber lediglich den vollständigen Bruch einer Scheibe und sind daher für die Erfassung kleiner Anrisse in Glaskonstruktionen nicht geeignet. Auch eine optische Überwachung scheidet gerade bei den unzugänglichen Glasflächen moderner Hochhäuser in der Regel aus. Licht- und Temperatursensorik werden derzeit nur für größere Flächeneinheiten realisiert und gestatten beispielsweise keine gezielte Verschattung nur einzelner Scheiben.

Integrated sensor system for glass façades

The safety requirements for glass façades on buildings are very stringent, but there are no suitable monitoring tools available to provide early warning about the fracture of a glass element or better still about possible transport damage even before installation. In a project funded by the German Federation of Industrial Research Associations (AiF) the Fraunhofer ISC is cooperating with industrial partners on the development of an intelligent glass damage sensor system. This is intended to detect (micro)cracks, which are difficult to find using other methods but are the most common cause of glass fracturing. A newly developed sensor module system based on modified low-cost piezo sensors can detect even the smallest crack, measuring just 5 mm in length. In addition, further sensor functions can be integrated to monitor and control the individual room climate, for example.

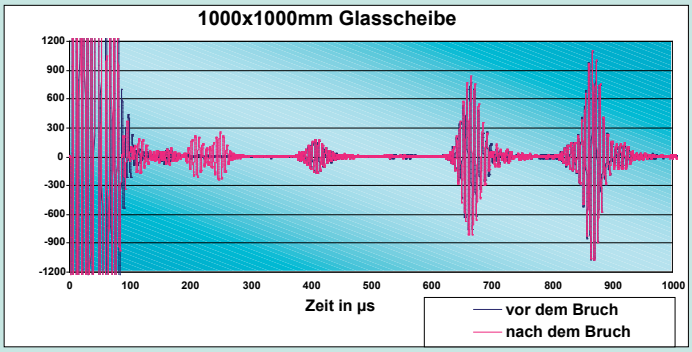
Eingebaute Glassensorik

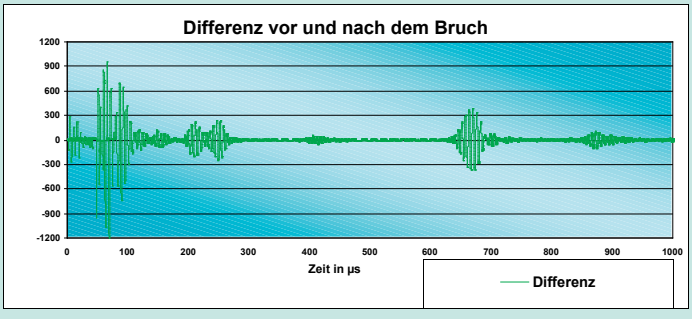
Neuer Ansatz zur Schadenserkennung

Von äußerer Gewalteinwirkung einmal abgesehen, sind in der Regel (Mikro-)Risse die Ursache für den Bruch einer Fensterscheibe oder eines Glasfassadenelements. Oft entstehen solche Risse durch mechanische Spannungen an den Aufhängepunkten oder durch thermische Spannung. Sie können aber auch Folge eines unerkannt gebliebenen Transportschadens sein, denn kleinste Vorschädigungen vergrößern sich im Lauf der Zeit durch Windlast oder Temperaturschwankungen und führen schließlich zu einem katastrophalen Versagen. Ziel einer intelligenten Glasbruchsensorik muss also das Aufspüren solcher Mikrorisse sein. Ausgehend von der Anwendung piezoelektrischer Fasersensoren bei der Zustandsüberwachung von Verbundwerkstoffen, wie z. B. für die Rotoren von Windkraftanlagen, wurde am Fraunhofer ISC dazu ein Konzept entwickelt, das auf der Analyse von Ultraschallwellenfeldern beruht.

Hierbei werden piezoelektrische Sensor-Aktor-Module zur Erzeugung und Aufnahme von Ultraschall-Oberflächenwellen mit einer Frequenz bis zu 200 kHz eingesetzt, um die Glasstruktur zu überwachen. Die dabei gewonnenen Ultraschall-»Momentaufnahmen« der Glaselemente werden mit einer Referenz-Aufnahme im ungestörten Zustand abgeglichen. Veränderungen werden sofort festgestellt und hinsichtlich ihres Gefährdungspotenzials von der Analysesoftware bewertet.

Wesentlich für das Funktionieren beider Konzepte sind die Anordnung der Sensormodule und ihre Ankopplung an das Glas. Es gelang am Fraunhofer ISC, kostengünstige Piezosensoren so zu modifizieren, dass sie sich zwischen die Glasplatten einer VSG-Scheibe einbringen lassen (Bild *Eingebaute Glassensorik, Bischof+Broel für Fraunhofer ISC*). Damit wird eine optimale Übertragung der Schallwellen zwischen Glas und Sensor ge-





Vergleich der Signale bei intaktem Glas und nach einem Riss im Glas

Präsentation auf der Messe IENA

währleistet und selbst kleinste Anrisse von nur knapp 5 mm Länge können erkannt werden – durch optische Inspektion aus der Ferne so gut wie ausgeschlossen, zumal Risse gerade an den Glasrändern oft von Halterungen oder Zierelementen verdeckt werden.

Funktionsintegration zur intelligenten Steuerung

Mit den im Projekt »Glassensorik« entwickelten Sensormodulen, den standardisierten Schnittstellen und der Analysesoftware stehen wirkungsvolle und bedarfsgerechte Werkzeuge zur Verfügung, um einzelne Fenster- oder Glasfassadenelemente zu überwachen, detektierte Schäden zu bewerten und rechtzeitiges Eingreifen zu ermöglichen (Bild *Präsentation auf der Messe IENA, IFF e.V. Weimar*). Die zusätzlich angeordnete Licht- und Temperatursensorik ermöglicht zudem eine viel feinere Steuerung der haustechnischen Anlagen und so die individuelle Klimatisierung und Beschattung einzelner Segmente. So kann intelligente Sensorik nicht nur vor Schäden warnen, sie erhöht auch den Nutzungskomfort im Gebäude und trägt zur Energieeffizienz bei.

Kontakt
Dr. Bernhard Brunner
CesMa – Center Smart Materials
Telefon +49 931 4100-416
bernhard.brunner@isc.fraunhofer.de

Projektdetails
PRO INNO II – Entwicklung von multifunktionellen Sensoren zum Nachweis der Glasbruchentstehung und zur Ansteuerung von Facility-Management-Systemen
Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi
Projektlaufzeit: Dezember 2007 bis Januar 2010

Projektpartner
TILSE FORMGLAS GmbH, Nennhausen OT Liepe
KT-Systems GmbH, Euerbach
Institut für Fertigteiltechnik und Fertigbau Weimar e. V.

INHALTSVERZEICHNIS ANHANG

Wissenschaftliche Vorträge und Veröffentlichungen	118 – 133
Projektübersicht	134 – 139
Patente	140 – 141
Wissenschaftliche Kooperationen	142 – 145
Lehrtätigkeiten	146 – 149
Gastreferenten des ISC-Seminars in Würzburg	150 – 151
Veranstaltungen am Fraunhofer ISC	152
Messen und Ausstellungen	153
Ausblick Messen und Veranstaltungen 2010	154
Allianzen und Netzwerke	155 – 157
Mitgliedschaften und Mitarbeit in Gremien	158 – 159
Die Fraunhofer-Gesellschaft	160 – 161

Scientific presentations and publications	118 – 133
Project overview	134 – 139
Patents	140 – 141
Scientific cooperations	142 – 145
Teaching activities	146 – 149
Guest speakers at the Fraunhofer ISC	150 – 151
Conferences and events at the Fraunhofer ISC	152
Fairs and exhibitions	153
Fairs and exhibitions planned for 2010	154
Alliances and networks	155 – 157
Activities in associations and committees	158 – 159
The Fraunhofer-Gesellschaft	160 – 161

Diplomarbeit
Diploma theses

Albert, Christian:
Inbetriebnahme und verfahrenstechnische Optimierung eines Vernetzungsreaktors zur Herstellung von Polysilan-Polycarbosilan-Copolymeren.
Technische Universität München

Bausen, Denise:
Untersuchungen zur Thiol-En-Polyaddition auf Basis Norbornen-funktionalisierter ORMOCER®-Harze zur Evaluierung der Einsatzmöglichkeiten bezüglich verschiedener dentaler Indikationen.
Fachhochschule Osnabrück

Bywalez, Robert:
Herstellung und Charakterisierung von $Cu(Al_{1-x-(y/2)}Cr_{x-(y/2)}Mg_y)O_2$ Delafossitschichten
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Fenten, Dominik:
Konstruktion und Aufbau eines modularen, magnetorheologischen Dämpfers zur Evaluierung verschiedener magnetorheologischer Wirkprinzipien.
Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt

Fodermeyer, Verena:
Spektroskopische Untersuchung zur lichtinduzierten Vernetzung von Hybridpolymeren.
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Geist, Matthias:
Mesoporöse Kohlenstoffe und ihre Anwendung in Doppelschichtkondensatoren.
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Geulen, Philipp:
In-situ-Modalanalyse bei der Entbinderung von Keramiken.
Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt

Häusler, Florian:
Untersuchungen zur 2-Komponenten-Härtung von monomerfreien dentalen ORMOCER®-Harzen/Kompositen.
Fachhochschule Osnabrück

Hoffmann, Jeannette:
Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Füllstoffkombinationen und Einarbeitungsverfahren auf die physikalischen Eigenschaften dentaler ORMOCER®-basierter Komposite.
Fachhochschule Osnabrück

Keil, Gennadij:
Drahtlose Energie- und Datenübertragung mit Hilfe von piezoelektrischen Ultraschallwandlern in Festkörpern.
Fachhochschule Aschaffenburg

Merkel, Benjamin:
Rheologische Untersuchungen an Faservorstufen zur Herstellung eines bioresorbierbaren Implantats.
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Rumpel, Johannes:
Konstruktion und Aufbau einer Prüfapparatur der Kraftwirkung magnetorheologischer Flüssigkeiten zwischen speziell geformten Oberflächen.
Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt

Schumacher, Thomas:
Untersuchungen zur Herstellung von Silica-Mikrokapseln über Emulsionsverfahren.
Fachhochschule Südwestfalen

Vrabata, Jiri:
Design und Aufbau eines energieeffizienten magnetorheologischen Stoßdämpfers.
Fachhochschule Aschaffenburg

Dissertationen
Theses

Arefin, Mohammed Lutful:
In situ measurements of the liquid-phase sintering of zinc oxide.
Universität Bayreuth

Cochet, Ayse:
On the preparation and properties of electrochromic hybrid polymer films derived from substituted thiophenes.
Julius-Maximilians-Universtität Würzburg

Herbig, Bettina:
Redispersible nanocrystalline TiO_2 particles by hydrothermal treatment of precursor powder sols for photocatalytic applications.
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Huang, Xianliang:
Sintering kinetics and properties of highly pure lead zirconate titanate ceramics.
Universität Bayreuth

Habilitation
Postdoctural lecture qualification

Raether, Friedrich:
Vom Küchenrezept zum Material – Transportprozesse für Gaumen und Wärmetechnik.
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Vorträge
Oral presentations

Amberg-Schwab, S.:
Inorganic-organic polymers in combination with vapor deposited inorganic thin layers: An approach to ultra barrier films for technical applications.
LOPE-C – Large-area Organic & Printed Electronics Convention,
Frankfurt am Main, 23. – 25. Juni 2009

Amberg, S., Dietzel, Y.:
Effiziente Filtermedien für Luftfiltration durch Funktionalisierung mit nano-skaligen anorganisch-organischen Beschichtungssolen.
48. Chemiefasertagung Dornbirn,
Dornbirn, 16. – 18. September 2009

Amberg-Schwab, S.:
Antimikrobielle Ausrüstung von ETFE-Folien.
2. Fachsymposium zum konstruktiven Membranbau,
Holzkirchen, 29. September 2009

Bausen, D.:
Härtungsuntersuchungen an funktionalisierten Harzsystemen.
Praxissemestervortrag an der Fachhochschule Osnabrück,
Osnabrück, 26. März 2009

Bellendorf, P.:
Umweltmonitoring und Kulturgüterschutz in Bronnbach: Forschen im und für das Kulturerbe.
Mitgliederversammlung des Rotary Clubs,
Bestenheid, 18. Dezember 2009

Bock, A., Pieper, T., Houbertz, R. und Sextl, G.:
Impact of technological processing conditions on optical properties of inorganic-organic hybrid polymers.
Photonics West 2009,
San Jose, CA (USA), 24. – 29. Januar 2009

Brunner, B.:
Smart Materials für adaptronische Anwendungen.
Cluster-Workshop »Materialien und Methoden zur aktiven Schwingungsreduzierung in den Anwendungsfeldern Aktive Lagerung, Akustik/Körperschall/Leichtbau und Antriebsstränge«,
Höchberg, 25. März 2009

Brunner, B.:
Adaptive Faserverbundstrukturen: Kurz-, mittel- und langfristige Chancen.
Geschäftsstellentreffen Carbon Composites e.V.,
Augsburg, 4. September 2009

WISSENSCHAFTLICHE VORTRÄGE UND VERÖFFENTLICHUNGEN

Brunner, B.:
Center Smart Materials.
International Workshop on »Novel Developments and Applications in Sensor Technology«,
Coburg, 14. September 2009

Brunner, B.:
Piezoelektrische Wandler zur Strukturüberwachung von Bauteilen.
KooperationsForum »Trends der Sensorik und Messtechnik«,
Dresden, 14. Oktober 2009

Brunner, B.:
Großflächige Strukturüberwachung mit piezoelektrischen Wandlern.
Internationales Forum Mechatronik,
Linz (A), 10. – 11. November 2009

Böse, H.:
Magnetorheologische Flüssigkeiten – Eigenschaften, Potentiale und Anwendungen.
Forum »Intelligente Werkstoffe«,
Stuttgart, 19. März 2009

Böse, H.:
Materialien für polymere MEMS – dielektrische Elastomeraktoren.
Mikrosystemtechnik-Kongress 2009,
Berlin, 12. – 14. Oktober 2009

Böse, H.:
Intelligente Fluide und Elastomere zur Bewegungssteuerung.
DGM Themenfindungsworkshop Intelligente Werkstoffe,
Aachen, 15. Oktober 2009

Böse, H.:
Magneto- und elektrorheologische Aktoren: Materialien und Technik.
Sitzung des AK Polymere Aktoren und Sensoren des DKI, Schwerpunkt: Elektromechanisch aktive Elastomere (EAE),
Darmstadt, 2. Dezember 2009

Dembski, S.:
Inorganic and hybrid luminescent nanoparticles: Fabrication, biofunctionalization, and applications.
Nanotech Europe 2009,
Berlin, 28. – 30. September 2009

Diegeler, A.:
Entwicklung eines Demonstrators zur Messung der Laserstrahlaufweitung für die Qualitätskontrolle von keramischen Bauteilen.
2. MEF-Tage 2009,
München, 15. – 16. Juli 2009

Diegeler, A.:
Astronomie erleben.
Bronnbacher Akademie 2009,
Reicholzheim, 20. August 2009

Diegeler, A.:
Thema: Berufsfelder der Physik.
Orientierungstutorium für Erstsemester der Fachschaft Physik und medizinische Physik der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf,
Düsseldorf, 26. November 2009

Diegeler, A., May, M., Schmelz, C., Schießer, S., Hahn, T. und Endrich, D.:
Präsentation des Projekts »ABF 750« der Projektgruppe der ISC Außenstelle Bronnbach.
Tag der Offenen Tür der Franz-Oberthür-Schule,
Würzburg, 14. März 2009

Domann, G.:
Tunable dielectric hybrid polymers and their application for flexible electronics.
MRS Spring Meeting 2009,
San Francisco, CA (USA), 13. – 17. April 2009

Durschang, B., Krauß, M. und Raether, F.:
In-situ-Messungen der Wärmetransporteigenschaften von Gläsern im Bereich von T_g.
83. Glastechnische Tagung, Amberg, 18. – 20. Mai 2009

Gellermann, C.:
- Erzeugung und Charakterisierung von Füll- und Effektstoffen.
- Duroplastische Nanokomposite
- Medizinische und dentale Anwendungen von Nanokompositen.
IIR-Seminar Polymerbasierte Nanokomposite,
Karlsruhe, 29. – 30. April 2009 und Würzburg, 9. – 10. Juni 2009

Götzendörfer, S.:
Transparente Elektronik – p-leitfähige TCOs.
OTTI-Seminar »Transparent leitfähige Schichten«,
Neu-Ulm, 30. November – 2. Dezember 2009

Haas, K.-H.:
Werkstoffe: Chancen durch chemische Nanotechnologie in der Bauanwendung.
Fraunhofer-Fachforum Bau 2009,
München, 16. Januar 2009

Haas, K.-H.:
Nützliche Zwerge – angewandte Nanotechnologie am Fraunhofer ISC.
3. Würzburger Wirtschaftstage,
Würzburg, 26. Januar 2009

Haas, K.-H.:
Nanotechnology for Energy and Environment in Germany.
Japan Nano 2009, Tokio (JP), 18. Februar 2009

Haas, K.-H.:
Fraunhofer Alliance Nanotechnology: Overview and examples of successful industrial implementation of nanotechnologies.
NanoTech 2009, Seeds&Needs Seminar,
Tokio (JP), 19. Februar 2009

Haas, K.-H.:
Fraunhofer Alliance Nanotechnology: Examples for material developments with chemical nanotechnologies.
Joint Seminar MIE-Prefecture,
Yokkaichi (JP), 23. Februar 2009

Haas, K.-H.:
Nanotechnologie: Strukturen, Anwendungen und wirtschaftliche Potentiale.
Zukunftskonferenz Nanowissenschaften und Nanotechnologie,
Graz (A), 3. März 2009

Haas, K.-H.:
Nützliche Zwerge – Angewandte Nanotechnologie am Fraunhofer ISC.
Besuch Berufsoberschule Bad Neustadt,
Würzburg, 5. März 2009

Haas, K.-H.:
Fraunhofer Alliance Nanotechnology: Nanomaterials R&D.
German-French Research Institute ISL Saint-Louis,
Saint-Louis (F), 19. März 2009

Haas, K.-H. :
Erfahrungen als Gutachter in EU-Projekten.
2. Fraunhofer-EU-Networkshop,
Würzburg, 26. März 2009

Haas, K.-H.:
- Einführung in die neuartige Welt der Nanokomposite.
- In-situ-Verfahren, Schichtsysteme, optische und elektronische Anwendungen.
- Märkte/Chancen/Risiken.
IIR-Seminar Polymerbasierte Nanokomposite,
Karlsruhe, 29. – 30. April 2009 und Würzburg, 9. – 10. Juni 2009

Haas, K.-H.:
Nanoskalige Hybridpolymerlacke für Multifunktionsschichten.
HK-Veranstaltung »Nano-Zirkel«: Nanotechnologie in der industriellen Anwendung: Farben und Lacke,
Stuttgart, 7. Mai 2009

Haas, K.-H.:
Nanoscaled hybrid polymers with inorganic and organic structural units: processing, properties and applications.
ACHEMA 2009,
Frankfurt am Main, 11. – 15. Mai 2009

WISSENSCHAFTLICHE VORTRÄGE UND VERÖFFENTLICHUNGEN

Haas, K.-H.:
Nanotechnologie: Materialien, Produkte, Märkte – Chancen und Risiken einer Querschnittstechnologie.
Jahrestagung des Verbands für Krankenhaus- und Laborbedarf e.V.,
Stuttgart, 22. Mai 2009

Haas, K.-H.:
Materialien und Systeme für innovative Bauanwendungen: Beispiele und Ideen aus der Fraunhofer-Allianz Bau.
SmartMaterials für den Bau – IBA-Konferenz,
Hamburg, 28. Mai 2009

Haas, K.-H.:
Material developments with chemical nanotechnologies: Examples from the Fraunhofer Alliance Nanotechnology.
EuroNanoForum 2009,
Prag (CZ), 1. – 5. Juni 2009

Haas, K.-H.:
Fraunhofer Society: Applied R&D.
Forschungsmarketingseminar BMBF Novosibirsk – Haus der Wissenschaft der Russischen Akademie der Wissenschaften,
Novosibirsk (RUS), 16. September 2009

Haas, K.-H.:
Fraunhofer Society: Applied R&D.
Forschungsmarketingseminar BMBF Tomsk – Haus der Wissenschaft der Russischen Akademie der Wissenschaften,
Tomsk (RUS), 17. September 2009

Haas, K.-H.:
Nanoskalige Hybridlacke: Schützen und Veredeln.
Informationsveranstaltung in der Veranstaltungsreihe »Nano-Zirkel«: Einsatz und Nutzen der Nanotechnologie in der Oberflächenbeschichtung,
Nagold, 27. Oktober 2009

Hausherr, J. M., Herrmann, C., Spatz, C. und Krenkel, W.:
Qualitative und quantitative mikrostrukturelle Untersuchungen der Werkstoffe bei der Herstellung von C/SiC-Hochleistungskeramiken mittels Computertomographie.
17. Symposium »Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde«,
Bayreuth, 2. April 2009

Hausherr, J. M., Herrmann, C., Liensdorf, T. und Krenkel, W.:
Mikrostrukturuntersuchungen an in-situ belasteten C/SiC Kurzbiegeproben mittels der Computertomographie.
15. Fachtagung Festkörperanalytik,
Chemnitz, 15. Juli 2009

Hausherr,J. M.:
Einsatz der hochauflösenden Computertomografie – Möglichkeiten und Grenzen.
ECREF Seminar »Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde«,
Hardheim, 8. – 9. September 2009

Hausherr, J. M., Krause, M., Hermann, C. und Krenkel, W.:
Einsatz der Computertomografie zur quantitativen Ermittlung der Faserorientierung.
Arbeitskreis Verstärkung keramischer Werkstoffe,
Bremen, 9. Oktober 2009

Helbig, U.:
Verfahren zur Verkapselung auf Basis von Hybridpolymeren.
Forum Business Model Innovation »Neue Einsatzmöglichkeiten für Mikroverkapselung«,
Stuttgart, 7. Oktober 2009

Herbig, B.:
Photokatalytisch aktive Oberflächen.
OTTI-Seminar Aktive Oberflächen und Schichtsysteme,
Regensburg, 18. – 19. Februar 2009

Herbig, B.:
Photokatalytisch aktive Oberflächen über das Sol-Gel-Verfahren – Herstellung, Charakterisierung, Anwendung.
Bayerischer Cluster Nanotechnologie »Nano trifft Umwelt«,
Teil 4: Photokatalyse – Reinigung durch Sonnenlicht,
Würzburg, 21. Juli 2009

Herrmann, C., Hausherr, J.M. und Krenkel, W.:
Einsatz der Computertomografie zur zerstörungsfreien Prüfung und Charakterisierung von Faserverbundwerkstoffen.
17. Symposium »Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde«,
Bayreuth, 2. April 2009

Houbertz, R.:
Optoelectronic printed circuit board: 3D structures written by two-photon absorption in organic-inorganic hybrid polymers.
Hybrids 2009,
Tours (F), 15. – 19. März 2009

Houbertz, R.:
Index tuning of nanomaterials for photonic applications.
ICCE-17 – International Conference of Nano Engineering,
Honolulu, HI (USA), 26. Juli – 1. August 2009

Krauß, M. und Kalkowski, G.:
Niedertemperaturfügen von Glas für Optik und Präzisionsmechanik.
83. Glastechnische Tagung,
Amberg, 18. – 20. Mai 2009

Krauß, M.:
Online-Temperaturmessung im Ofen.
VDMA Industriearbeitskreis Forschung&Technologie des Forums Glastechnik,
Frankfurt am Main, 23. September 2009

Krenkel, W. und Mucha, H.:
Advanced Processing and Manufacturing Technologies for Carbon Fiber Reinforced CMCs.
33rd International Conference on Advanced Ceramics and Composites,
Daytona Beach, FL (USA), 18. – 23. Januar 2009

Krenkel, W., Mucha, H. und Richter, D.:
Ceramic Matrix Composites for Advanced Friction Applications.
8th Pacific RIM Conference on Ceramic and Glass Technology,
Vancouver (CA), 31. Mai – 5. Juni 2009

Krenkel, W.:
CMCs for high temperature application.
Air Force Research Laboratory (AFRL),
Dayton, OH (USA), 5. Juni 2009

Krenkel, W.:
Fibre ceramic based friction linings.
Braking 2009, York (UK), 9. – 10. Juni 2009

Krenkel, W.:
Hybrid Ceramic-Metal Construction for High Temperature Application.
International Symposium on Advanced Ceramics and Technology for Sustainable Energy Applications (ACTSEA),
Taipei (TW), 1. – 4. November 2009

Krenkel, W. und Wölling, J.:
Aktuelle Entwicklungen bei der Herstellung keramischer Faserverbundwerkstoffe.
Clustertreff »Industrialisierung und Anwendung von keramischen Verbundwerkstoffen«,
Bayreuth, 19. November 2009

Kron, J.:
Korrosionsschutz durch hybride Nanomaterialien zur Substitution Chrom(VI)-haltiger Systeme.
3. Korrosionsschutz-Symposium »Korrosionsschutz durch Beschichtungen in Theorie und Praxis«,
Titisee-Neustadt, 17. – 19. Juni 2009

Kron, J.:
Eco-friendly corrosion protection based on hybrid nano-materials.
EUROCORR 2009,
Nizza (F), 6. – 10. September 2009

Kron, J.:
Korrosionsschutz durch hybride Nanomaterialien zur Substitution Chrom(VI)-haltiger Systeme.
Nanotechnologie in der Oberflächenbehandlung,
Stuttgart, 4. November 2009

Krüger, R.:
Scale-up of SiBNC fiber processing and structural fiber properties.
DGM-Tagung: 17. Symposium »Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde«,
Bayreuth, 1. – 3. April 2009

Löbmann, P.:
Von der Sol-Gel-Chemie zur biologisch-inspirierten Materialsynthese.
Chemisches Institutskolloquium, Institut für Chemie der HU Berlin,
Berlin, 14. Januar 2009

Löbmann, P.:
Saubere Oberflächen – Ansätze der Oberflächenfunktionalisierung.
Saubere-Oberflächen-Workshop,
Augsburg, 29. Januar 2009

Löbmann, P.:
Fraunhofer-Institute for Silicate Research: Our Profile and Approaches to Slag Valorisation.
1st International Slag Valorisation Symposium,
Leuven (B), 6. – 7. April 2009

Löbmann, P.:
Von der Sol-Gel-Chemie zur biologisch-inspirierten Materialsynthese.
Kolloquium TU Ilmenau,
Ilmenau, 6. Mai 2009

Löbmann, P.:
Nasschemische Darstellung funktionaler Schichten für die transparente Elektronik und Solaranwendungen.
V2009 Vakuumbeschichtung und Plasmaoberflächentechnik,
Dresden, 20. – 22. Oktober 2009

Löbmann, P.:
Transparent leitfähige Schichten durch nasschemische Verfahren: eine flexible Alternative.
Workshop »Transparente leitfähige Schichten«,
Goslar, 16. November 2009

Löbmann, P.:
Grundlagen der Herstellung und Prozesse von TCOs.
OTTI-Seminar »Transparent leitfähige Schichten«,
Neu-Ulm, 30. November – 2. Dezember 2009

Meinhardt, J., Raether, F. und Klimera, A.:
In-situ-Messung der Siliziuminfiltration von porösen C/C Materialien.
17. Symposium »Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde«,
Bayreuth, 2. – 3. April 2009

Meinhardt, J.:
In-situ-Analyse der Si-Infiltration von C/C-Preformen.
DKG-Arbeitskreis Verstärkung keramischer Werkstoffe,
Bremen, 9. Oktober 2009

Möller, K.-C.:
NanoCaps – Energiespeicher auf Basis nanostrukturierter Materialien für automobile Anwendungen.
6. Braunschweiger Symposium Hybridfahrzeuge und Energiemanagement,
Braunschweig, 18. – 19. Februar 2009

Möller, K.-C.:
Neue Werkstoffe für die mobile Energiespeicherung – Hybridkondensatoren und Hybridelektrolyte.
NanoMat 10. Szene,
Karlsruhe, 13. März 2009

Möller, K.-C.:
Elektrische Speicher in Hybrid-Antrieben.
5. CTI-Forum EE-Systems,
Stuttgart, 1. April 2009

Möller, K.-C.:
NanoCap – Advanced Supercaps für automobile Anwendung auf Basis nanostrukturierter Materialien.
2. Entwicklerforum Akkutechnologien der batteryuniversity.eu,
Aschaffenburg, 21. – 23. April 2009

Möller, K.-C.:
SuperCaps based on nanostructured materials for automotive applicants.
Achema 2009,
Frankfurt am Main, 14. Mai 2009

Möller, K.-C:
Materials for energy storage systems with enhanced energy and power density.
ECSSC XII – XIIth European Conference on Solid State Chemistry,
Münster, 20. – 23. September 2009

Möller, K.-C.:
Combining Batteries and Supercaps – High Energy vs. High Power.
Batteries 2009,
Cannes-Mandelieu (F), 30. September – 2. Oktober 2009

Popall, M.:
Functional Class-II- Sol-Gel Hybrids (ORMOCER®s): Benefits for polymer ionic conductors from an application point of view.
JOINT Seminar MIE-Prefecture,
Yokkaichi (JP), 23. Februar 2009

Popall, M.:
Applications of Hybrids.
Hybrids 2009,
Tours (F), 7. März 2009

Popall, M.:
Benefits of Class-II- Sol-Gel-Hybrids, ORMOCER® s, for industrial production focussing on electronic and photonic devices.
15th Int. Sol-Gel Conference Sol-Gel 09,
Porto de Galinhas, Pernambuco (BR), 23. – 27. August 2009

Popall, M.:
Nanostructured hybrids as alternative materials for advanced batteries and supercapacitors.
Hyceltec 2009 – Iberian Symposium on Hydrogen, Fuel Cells and Advanced Batteries, Vila Real (P), 13. – 17. September 2009

Popall, M.:
Advanced inorganic-organic hybrid polymers, ORMOCER®s, for application in electronics and photonics.
50-Jahr-Feier der Japan Society for the Promotion of Science,
Tokio (JP), 29. Oktober 2009

Posset, U.:
Elektrochrome Schichten und Systeme.
OTTI Seminar »Aktive Oberflächen und Schichtsysteme«,
Regensburg, 18. – 19. Februar 2009

Probst, J.
Nanostrukturierte Materialien für Mikrosysteme in biomedizinischen Anwendungen.
Fachtagung Kleinheubach,
Miltenberg, 28. September – 1. Oktober 2009

Probst, J.
Bioresorbierbares Kieselgel-Faservlies zur Therapie chronischer Wunden.
Biomaterialien für die regenerative Medizin,
Würzburg, 15. Oktober 2009

Raether, F.:
Inhärent sichere Keramikherstellung – Beitrag der Wärmebehandlung.
VKI-Sitzung Technische Kommission,
Würzburg, 13. März 2009

Raether, F.:
Investigation of sintering phenomena using optical dilatometry.
Risø National Laboratory for Sustainable Energy,
Risø (DK), 5. Mai 2009

Raether, F.:
Messung von Glaseigenschaften im Bereich um die Transformationstemperatur.
DGG Fachausschuss I,
Würzburg, 30. September 2009

WISSENSCHAFTLICHE VORTRÄGE UND VERÖFFENTLICHUNGEN

Rota, S.:
Das Internationale Zentrum für Kulturgüterschutz und Konservierungsforschung IZKK.
Mitgliederversammlung des Rotary Clubs,
Bestenheid, 23. Januar 2009

Rota, S., Sextl, G. und Leissner, J.:
Klosteranlage Bronnbach: Internationales Zentrum für Kulturgüterschutz und Konservierungsforschung IZKK.
1. Sitzung der Forschungsallianz Kulturerbe,
Bronnbach, 2. März 2009

Rota, S.:
Das Internationale Zentrum für Kulturguterschutz und Konservierungsforsschung IZKK.
Betriebsausschuss für Umwelt, Wirtschaft und Verkehr,
Tauberbischofsheim, 4. März 2009

Rota, S. und Bellendorf, P.:
Der Einsatz von 3D-Scannern zum Schutz von Kunst- und Kulturgut.
Forschungsallianz Kulturerbe – FALKE,
Bremerhaven, 26. Oktober 2009

Rüdinger, A.:
Long-term behaviour of OCMC parts in industrial applications.
17. Symposium »Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde«,
Bayreuth, 1. – 3. April 2009

Ruffo, R., Beverina, L., Cochet, A., Posset, U., Mari, C., Pagani, G. und Schottner, G.:
High contrast nanocomposite material for ophthalmic electrochromic devices.
216th Meeting der Electrochemical Society,
Wien (A), 4. – 9. Oktober 2009

Schottner, G.:
Quo Vadis: z.B. Online-Charakterisierung.
Multifunktionsoberflächen – auf dem Weg zur intelligenten Oberflächentechnik.
Review on Photochromes: Structures, Reactivity, Apllications.
OTTI Seminar »Aktive Oberflächen und Schichtsysteme«,
Regensburg, 18. – 19. Februar 2009

Schottner, G.:
Nasschemische Synthese kristalliner Titandioxid-Nanopartikel mit Kern/Schale-Struktur.
Abschlusspräsentation FOROXID,
Augsburg, 22. Juli 2009

Selvam, T.:
Zeolites in aerated concrete.
Rodgauer Baustoffwerke GmbH & Co. KG,
Rodgau, 10. März 2009

Sextl, G.:
Silicium-Verbindungen als Schlüssel zu innovativen Werkstoffen.
GDCh-Kolloquium,
Krefeld, 22. Januar 2009

Sextl, G.:
Das Fraunhofer ISC in Würzburg – Partner für angewandte Materialentwicklung.
Sitzung des Industrie-, Technologie- und Forschungsausschusses der IHK Würzburg-Schweinfurt bei der Südzucker AG,
Ochsenfurt, 8. Dezember 2009

Sporn, D.:
Keramische Verstärkungsfasern.
VKI-Sitzung der Technischen Kommission, Würzburg, 12. – 13. März 2009

Sporn, D.:
Development of new ceramic fiber types.
DGM-Tagung: 17. Symposium »Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde«,
Bayreuth, 1. – 3. April 2009

Sporn, D.:
Elektroaktive Polymere auf Basis von CNT/Elektrolyt-Komposit.
FAA-Workshop Elektronik: Technik, die verändert,
Hannover, 22. April 2009

Sporn, D.:
Polymer derived ceramic fiber types.
8th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology,
Vancouver (CAN), 31. Mai – 5. Juni 2009

Staab, T.:
In situ monitoring of silicon infiltration of SiC ceramics.
11th International Conference and Exhibition of the European Ceramic Society,
Krakau (PL), 21. – 25. Juni 2009

Szyszka, B., Loebmann, P., Georg, A., May, C. und Elsaesser, C.:
Development of new transparent conductors and device applications utilizing a multi disciplinary approach.
TOEO 6th International Symposium on Transparent Oxide Thin Films for Electronics and Optics,
Tokio (JP), 15. – 17. April 2009

Szyszka, B., Georg, A., Loebmann, P., May, C. und Elsaesser, C.:
A multidisciplinary approach towards advanced transparent conductive electrodes.
Glass Performance Days,
Tampere (FIN), 12. – 15. Juni 2009

Szyszka, B., Löbmann, P., Elsässer, Ch., May, Ch. und Georg, A.:
Das Fenster als Display: zum Potential der oxidischen Elektronik.
Materialica 2009,
München, 14. Oktober 2009

Teixeira, V., Carneiro, J.O., Carvalho, P., Lanceros, S., Cochet, A., Posset, U. und Schottner, G.:
Analysis of the mechanical stability during tensile testing of conductive polymer and TCO thin films on PET for flexible hybrid electrochromic devices.
6th International Conference on Nanosciences & Nanotechnologies,
Thessaloniki (GR), 13. – 15. Juli 2009

Teixeira, V., Carneiro, J.O., Carvalho, P., Lanceros, S., Cochet, A., Posset, U. und Schottner, G.:
Mechanical behaviour study on conductive polymer and TCO thin films on PET for smart flexible devices.
SVC 52nd Annual Technical Conference,
Santa Clara, CA (USA), 9. – 14. Mai 2009

Wölling, J.:
Grundlagen keramischer Faserverbundstrukturen.
euroLITE 2009,
Salzburg (A), 23. – 25. Juni 2009

Wolter, H.:
Monomer-free ORMOCER® based nano-hybrid composites for dental application.
Hybrids 2009,
Tours (F), 15. – 19. März 2009

Wolter, H.:
Variationspotential und Einsatz von ORMOCER®-basierten Werkstoffen im Dentalbereich.
Seminarvortrag an der Fachhochschule Osnabrück,
Osnabrück, 26. März 2009

Zaghib, K., Labrecque, J., Guerfi, A., Posset, U., Cochet A. und Schottner, G.:
Solid polymer-ionic liquid electrolyte for flexible electrochromic devices under a European Community Program.
216th Meeting der Electrochemical Society,
Wien (A), 4. – 9. Oktober 2009

Poster

Poster presentations

Amberg-Schwab, S.:
Beschichtungsmaterialien auf der Basis anorganisch-organischer Hybridpolymere für die antimikrobielle Ausrüstung von Membrankissen.
2. Fachsymposium zum konstruktiven Membranbau – Multifunktionale Membrankissen-Konstruktionen,
Holzkirchen, 29. September 2009

WISSENSCHAFTLICHE VORTRÄGE UND VERÖFFENTLICHUNGEN

Amberg-Schwab, S.:
Transparent ultra-barrier films.
International Converting Exhibition ICE,
München, 24. – 29. November 2009

Bellendorf, P. und Mottner, P.:
Dosimetry for evaluation of environmental conditions in museums.
Final Seminar Workshop PROPAINT,
Krakau (PL), 20. – 21. November 2009

Beyer, M., Helbig, U., Houbertz, R. und Sextl, G.:
Encapsulation of phase change materials with titania thin-films.
11th JCF-Frühjahrssymposium,
Essen, 11. – 14. März 2009

Bock, A.:
Inorganic-organic hybrid materials for optical applications.
Hybrids 2009,
Tours (F), 15. – 19. März 2009

Dembski, S.:
Nanoparticle-based immunodetection of the tumor marker CD30.
5. Jahrestagung Arbeitskreis BioMST und Lifesciences e.V.,
Garching, 23. – 24. Juni 2009

Dewald, W., Polenzky, C., Sittinger, V., Götzendörfer, S. und Bywalez, R.:
Seebeck and Hall measurements on p- and n-TCOs.
Jahrestagung DPG,
Dresden, 22. – 27. März 2009

Domann, G., Helbig, U., Zirkl, M. und Stadlober, B.:
Combination of polymer sensors with organic electronics: ideas and development.
Sensor+Test Conference 2009,
Nürnberg, 26. – 28. Mai 2009

Haas, K.-H.:
Chemische Nanotechnologie am ISC.
Cluster Offensive Bayern – Stark im Wettbewerb,
Nürnberg, 22. Juli 2009

Herrmann, C., Schulte, R., Wölling, J., Rabenstein, M., Hausherr, J. M. und Krenkel, W.:
Kostenbetrachtung bei der Herstellung von keramischen Verbundstrukturen nach dem LSI-Verfahren.
17. Symposium »Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde«,
Bayreuth, 1. - 3. April 2009

Iuga, M. und Müller, Th.:
Measurement and simulation of the electrical properties of sintered ceramics.
11th International Conference and Exhibition of the European Ceramic Society,
Krakau (PL), 21. – 25. Juni 2009

Kraxner, J., Palfinger, U., Stadlober, B., Auner, C., Haase, A., Gold, H., Belegratis, M., Jakopic, G., Krenn, J. R. und Domann, G.:
Ultra-thin hybrid dielectrics in sub-µm NIL OTFTs.
OSC 2009,
London (UK), 28. – 30. September 2009

Metz, S.:
Functional microporous hollow fiber membranes based on inorganic-organic hybrid polymers (ORMOCER®s).
Hybrids 2009,
Tours (F), 15. – 19. März 2009

Moeller, K.-C.:
Concept of durable high power hybrid battery capacitor.
216th Meeting der Electrochemical Society,
Wien (A), 4. – 9. Oktober 2009

Platte, D.:
Encapsulation of phase-change materials for energy storage applications.
Hybrids 2009,
Tours (F), 15. – 19. März 2009

Polenzky, C., Szyszka, B., Goetzendoerfer, S., Loebmann, P., Koerner, W. und Elsaesser, C.:
p-type transparent materials for application in transparent electronics and thin film photovoltaics.
16th International Workshop on Oxide Electronics,
Tarragona (E), 4. – 7. Oktober 2009

Polenzky, C., Szyszka, B., Ulrich, S., Bywalez, R., Götzendörfer, S. und Loebmann, P.:
Transparent p-type materials for application in thin film solar cells.
24th EU PVSEC,
Hamburg, 21. – 25. September 2009

Römer, M.:
Slope cutting with a broad Ar ion beam for SEM investigations – studies and artefacts on porous, inhomogeneous and temperature-sensitive materials.
Joint Meeting of Multinational Congress on Microscopy,
Graz (A), 30. August – 4. September 2009

Rose, K.:
Mechanism of the interaction of CO_2 and humidity with primary amino group systems for room temperature CO_2 sensors.
Eurosensors XXIII,
Lausanne (CH), 6. – 9. September 2009

Rota, S.:
Das Internationale Zentrum für Kulturgüterschutz und Konservierungsforschung IZKK.
ERA-NET-Eröffnungsveranstaltung DBU,
Osnabrück, 19. – 20. Februar 2009

Szyszka, B., Ulrich, S., Polenzky, C., Loebmann, P., Goetzendoerfer, S., Georg, A., Borchert, C., Elsässer, C., Körner, W. und May, C.:
A multidisciplinary approach towards novel conductive electrodes for PV applications.
24th EU PVSEC,
Hamburg, 21. – 24. September 2009

Wang, C. und Krauß, M.:
Glass structures at long range and at atomic scale revealed at HRTEM.
83. Glastechnische Tagung,
Amberg, 18. – 20. Mai 2009

Werner, C., Ruttkowski, V., Maiwald, M., Zöllmer, V., Bahr, J., Domann, G. Wolf, H., Gieser, H., Curran, B., Ndip, I. und Oehler, F.:
Design, direct write deposition and characterization of multilayer.
Euromat 2009,
Glasgow (UK), 7. – 10. September 2009

Wolter, H., Nique, S., Gellermann, C., Storch, W., Maletz, R. und Neumann,T.:
Nano-hybrid composites for dental application based on monomer-free ORMOCER® resins.
NanoMed 2009,
Berlin, 4. – 6. März 2009

Wolter, H., Storch, W., Nique, S., Gellermann, C., Seyfried, M., Maletz, R. und Neumann, T.:
Monomer-free ORMOCER®-based nano-hybrid composites for dental restoration.
Hybrids 2009,
Tours (F), 15. – 19. März 2009

Wissenschaftliche Veröffentlichungen
Scientific publications

Arefin, M.L., Raether, F., Dolejs, D. und Klimera, A.:
Phase formation during liquid phase sintering of ZnO ceramics.
Ceramics International 35 (2009) 3313-3320

Bockmeyer, M., Herbig, B. und Loebmann, P.:
Microstructure of sol-gel derived TiO_2 thin films characterized by atmospheric ellipsometric porosimetry.
Thin Solid Films 517 (2009) 1596-1600

Böse, H. und Ehrlich, J.:
Performance of Magnetorheological Fluids in a Novel Damper With Excellent Fail-Safe Behavior.
Journal of Intelligent Materials Systems and Structures 7 (2009)

Detsch, R., Hausherr, J. M., Schlüfter, S., Deisinger, U., Roldan, C. Fischer, J., Chang, E., Ziegler, G. und Krenkel, W.:
Charakterisierung von Knochenwachstum auf einer Calciumphosphat-Mischkeramik: Beurteilung einer zerstörungsfreien und 3-dimensionalen Charakterisierungsmethode.
In: Verbundwerkstoffe (Editor: W. Krenkel), WILEY-VCH Weinheim, Germany, 2009, pp. 707

Georgiou, D., Lascarakis, A, Logothetidis, S., Amberg-Schwab, S., Weber, U., Schmidt, M. und Noller, K.:
Optical properties of hybrid polymers as barrier materials.
Applied Surface Science 255 (2009) 8023 - 8029

Goetzendoerfer, S., Bywalez, R. und Loebmann, P.:
Preparation of p-type conducting transparent $CuCrO_2$ and $CuAl0{,}5Cr0{,}5O_2$ thin films by sol-gel processing.
Journal of Sol-Gel-Science and Technology 52 (2009) 113-119

Haas, K.-H.:
Nanotechnologie für industrielle Anwendungen – Werkstoffentwicklungen der Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie.
Werkstoffe in der Fertigung 2 (2009) 38/39

Haas, K.-H.:
Nanoskalige Schichtsysteme auf Kunststoffen.
Hessen-Agentur Kunststoff 2009:
Nanotechnologie in Kunststoff (2009) 59-62

Haas, K.-H.:
Leitartikel von Forschung und Innovation made in Germany.
Hochschulzeitschrift audimax ING vom 9.12.2009

Haas, K.-H. und Heubach, D.:
Produktion im Nanokosmos: Nanotechnologien werden mittel- und langfristig tief greifende Veränderungen für die Produktion bringen.
Wer macht was (2009) 18-21

Haas, K.-H. und Niesing, B.:
Hilfreiche Zwerge für neue und etablierte industrielle Anwendungen.
Sonderbeilage Nanotechnologie (Sustainable Austria Nr. 49) in SOL 138 (2009)

Hausherr, J.M., Fischer, F., Krenkel, W. und.Altstädt, V.:
Non-destructive Characterization of High Performance C/SiC-Ceramics using X-Ray Computed Tomography.
Int. J. Appl. Ceram. Technol. 2009 (im Druck)

Hausherr, J. M., Zeppenfeld, T. und Krenkel, W.:
Computertomografische Bestimmung von morphologischen Eigenschaften mittels angepasster Algorithmen.
In: Verbundwerkstoffe (Editor: W. Krenkel), WILEY-VCH Weinheim, Germany, 2009, pp. 210

Hausherr, J. M., Herrmann, C., Spatz, C. und Krenkel, W.:
Qualitative und quantitative mikrostrukturelle Untersuchungen der Werkstoffe bei der Herstellung von C/SiC-Hochleistungskeramiken mittels Computertomografie.
In: Verbundwerkstoffe (Editor: W. Krenkel), WILEY-VCH Weinheim, Germany, 2009, pp. 233

Herrmann, C., Hausherr, J. M. und Krenkel, W.:
Einsatz der Computertomografie zur zerstörungsfreien Prüfung und Charakterisierung von Faserverbundwerkstoffen.
Iin: Verbundwerkstoffe (Editor: W. Krenkel), WILEY-VCH Weinheim, Germany, 2009, pp. 249

Huang, X. und Raether, F.:
Role of impurities in the sintering behavior and properties of lead zirconate titanate ceramics.
Journal of American Ceramic Society 92 (2009) 2011-2016

Krause, M., Hausherr, J. M., Burgeth, B., Herrmann, C. und Krenkel, W.:
Determination of the fibre orientation in composites using the structure tensor and local X-ray transform.
Journal of Materials Science 45 4 (2009) 888-896

Laskarakis, A., Georgiou, D., Logothetidis, S., Amberg-Schwab, S. und Weber, U.:
Study of the optical response of hybrid polymers with embedded inorganic nanoparticles for encapsulation of flexible organic electronics.
Materials Chemistry and Physics 115 (2009) 269 - 274

Laskarakis, A., Logothetidis, S., Georgiou, D., Amberg-Schwab, S. und Weber, U.:
On the influence of silicon oxide nanoparticles on the optical and surface properties of hybrid (inorganic-organic) barrier materials.
Thin Solid Films Vol. 517 Issue 23 (2009) 6275-6279

Mucha, H., Kim, Y.-E., Kuroda, K., Krenkel, W. und Wielage, B.:
Untersuchungen zur Entstehung von Porosität in Phenolharzmatrices bei der Härtung.
In: Verbundwerkstoffe (Editor: W. Krenkel), WILEY-VCH Weinheim, Germany, 2009, pp. 226

Neubert, H., Wamser, T., Barthmann, F., Lehmann, J. und Krenkel, W.:
Oxidkeramische Verbundwerkstoffe auf der Basis von Yttrium-Aluminium-Granat (YAG).
In: Verbundwerkstoffe (Editor: W. Krenkel), WILEY-VCH Weinheim, Germany, 2009, pp. 285

Pastewski, N., Lang-Coetz, K., Heubach, D. und Haas, K.-H.:
Materialeffizienz durch den Einsatz von Nanotechnologien und neuer Materialien.
Broschüre Nr. 14 Hessen-Agentur Wiesbaden (2009)

Pientschke, C., Kuvatov, A., Steinhausen, R., Beige, H., Krüger, R., Müller, T., Helbig, U., Sporn, D., Schuh, C., Denneler, S., Richter, T. und Schlich, H.:
Bipolar strain hysteresis of poled composites with Nd-Mn-doped PZT fibres.
Journal of the European Ceramic Society 29 (2009) 1713-1720

Pientschke, C., Steinhausen, R., Beige, H., Krüger, R., Muller, T., Sporn, D., Schuh, C., Denneler, S. und Schlich, H.:
Poled Composites with Nd-Mn-Doped PZT Fibers Under Bipolar Electrical Load.
IEEE Transactions 56 (2009)

Probst, J.:
Implants and prostheses.
Technology Guide; Ed. Hans-Jörg Bullinger; Springer Verlag Berlin-Heidelberg 2009;
ISBN 978-3-540-88545-0 (2009) 196-205

Probst, J.:
Anwendungen in Pharmazie und Medizin.
Glastechnik Band 4, Teil 1, 40 (Deutsches Museum)

Raether, F.:
Current state of in situ measuring methods for the control of firing processes.
Journal of the American Ceramic Society 92 (2009) 146-152

Raether, F. und Schulze Horn, P.:
Investigation of sintering mechanisms of alumina using kinetic field and master sintering diagrams.
Journal of the European Ceramic Society 29 (2009) 2225-2234

Rohde, M., Fischer, F., Altstädt, V., Herrmann,C., Krenkel, W. und Hausherr, J.M.:
IMC-Spritzgießcompounder – Potentiale der Langfaserverstärkung.
In: Verbundwerkstoffe (Editor: W. Krenkel),
WILEY-VCH Weinheim 2009, pp. 482

Righi, M.-L., Steenhusen, S. und Houbertz, R.:
Laserstrukturierung: Mikrostrukturen für optische Bauelemente.
ElektronikPraxis 11 (2009) 34 - 37

Rota, S.:
Internationales Zentrum für Kulturgüterschutz und Konservierungsforschung IZKK: Austauschen – Forschen – Konzentrieren.
Der Bausachverständige ISSN 1614-6123; Jahrgang 5, Heft 2 (2009) 36-37

Schmid, G., Leeb, W.R., Langer, G., Schmidt, V. und Houbertz, R.:
Gbit/s transmission via two-photon-absorption-inscribed optical waveguides on printed circuit boards.
Electronics Letters Vol. 45, 4 (2009) 219-221

Sha, J., Hausherr, J. M. und Krenkel, W.:
Characterization of Fiber-Matrix Interface Bonding at the CFRP Step of Fiber Fabrication Process by Single Fiber Push-out Technique.
In: Verbundwerkstoffe (Editor: W. Krenkel), WILEY-VCH Weinheim, Germany, 2009, pp. 202

Vasko, K., Noller, K., Mikula, M., Amberg-Schwab, S. und Weber, U.:
Multilayer coatings for flexible high-barrier materials.
Centr. Eur. J. Phys. 7 (2) (2009) 371-378

Voigt, R., Krenkel, W. und Motz, G.:
Entwicklung von Ultrahochtemperatur-beständigen Karbidkeramiken.
In: Verbundwerkstoffe (Editor: W. Krenkel), WILEY-VCH Weinheim, Germany, 2009, pp. 292

Wang, C. Meinhardt, J. und Loebmann, P.:
Growth mechanism of Nb-doped TiO_2 sol-gel multilayer films characterized by SEM and focus/defocus TEM.
Journal of Sol-Gel-Science and Technology published on line 11 September 2009

Yang, F., Kunz, D. und Krenkel, W.:
Matrixharzkonzepte für die Herstellung von C/SiC-Verbundkeramiken.
In: Verbundwerkstoffe (Editor: W. Krenkel), WILEY-VCH Weinheim, Germany, 2009, pp. 305

Tagungsbände / Proceedings

Amberg-Schwab, S. und Weber, U.:
Antimikrobielle Ausrüstung von ETFE-Folien.
Tagungsband 2. Fachsymposium zum konstruktiven Membrankissenbau, Holzkirchen

Amberg-Schwab, S. und Weber, U.:
Inorganic-organic polymers in combination with vapor deposited inorganic thin layers - An approch to ultra barrier films for technical applications.
Tagungsband LOPE-C 2009

Amberg-Schwab, S. und Dietzel, Y.:
Efficient filter media for the air filtration by functionalization with nano-scaled inorganic-organic coating sols.
Tagungsband des 48. Chemiefaser-Kongresses, Dornbirn

Bock, A., Pieper, T., Houbertz, R. und Sextl, G.:
Impact of technological processing conditions on optical properties of inorganic-organic hybrid polymers.
Proceedings Photonics West 2009

Brunner, B.:
Großflächige Strukturüberwachung mit piezoelektrischen Wandlern.
Tagungsband Internationaler Cluster Mechatronik (2009) 6

Domann, G., Helbig, U., Zirkl, M. und Stadlober, B.:
Combination of polymer sensors with organic electronics: ideas and development.
Tagungsband Sensor+Test 2009

Durschang, B.:
In-situ-Messungen der Wärmetransporteigenschaften von Gläsern im Bereich von T_g. Tagungsband 83. Glastechnische Tagung

Götzendörfer, S., Wang, C.. und Löbmann, P.:
Nass-chemische Aufbringung von TCOs: Eine flexible Alternative.
Tagungsband OTTI-Fachtagung Transparent leitfähige Schichten TCO (2009) 95-104

Haas, K.-H.:
Nanoscaled hybrid polymers with inorganic and organic structural units: processing, properties and applications.
Book of Abstracts on CD-ROM ACHEMA 2009

Hausherr, J.-M., Meinhardt, J., Hassink, B., Herrmann, C., Daimer, J., Raether, F. und Krenkel, W.:
In-situ-measurement of the Si-infiltration process of C/C-preforms and 3-D analysis of the resulting C/SiC microstructure.
Proceedings of the 11th International Conference of the European Ceramics Society, Krakow (PL)

Herbig, B.:
Photokatalytisch aktive Oberflächen.
Tagungsband OTTI-Seminar Aktive Oberflächen und Schichtsysteme, Regensburg 2009

Krauß, M.:
Niedertemperaturfügen von Glas für Optik und Präzisionsmechanik.
Tagungsband 83. Glastechnische Tagung

Popall, M.:
Benefits of Class-II- Sol-Gel-Hybrids, ORMOCER®s, for industrial production focussing on electronic and photonic devices.
Proceedings sol-gel 09:15th Int. Sol-Gel Conference, ISGS (2009) 35

Popall, M.:
Applications of Hybrids.
Delegate Manual of Hybrids 2009, First Int. Conf. On Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials (2009) Tutorial 2

Popall, M. und Moeller, K.-C.:
Nanostructured hybrids as alternative materials for advanced batteries and supercapacitors.
Delegate Manual of Iberian Symposium on Hydrogen, Fuel Cells and Advanced Batteries (Hyceltec 2009) PL3

Posset, U.:
Elektrochrome Schichten und Systeme.
Tagungsband OTTI Seminar Aktive Oberflächen und Schichtsysteme, Regensburg 2009

Rikel, M. O., Isfort, D., Klein, M., Ehrenberg, J., Bock, J., Specht, E. D., Sun-Wagener, M., Weber, O., Sporn, D., Engel, S., de Haas, O., Semerad, R., Schubert, M. und Holzapfel, B.:
Simplified procedure for estimating epitaxy of $La_2Zr_2O_7$-buffered NiW RABITS using XRD.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity; Special Issue from the Applied Superconductivity Conference 2009

Sha, J., Hausherr, J.-M., Konschak, A. und Krenkel, W.:
The influence of thermal treatment of carbon fibers on the interfacial shear strength during the pyrolysis of CFRP to C/C composites.
Proceedings of the 11th International Conference of the European Ceramics Society, Krakow (PL)

Stegmeier, S., Fleischer, M., Tawil, A., Hauptmann, P., Egly, K. und Rose, K.:
Mechanism of the interaction of CO_2 and humidity with primary amino group systems for room temperature CO_2 sensors.
Proceedings of the Eurosensors XXIIIth conference, Procedia Chemistry 1,1 (2009) 236 - 239

Szyszka, B., Gombert, A, Loebmann, P., May, C. und Elsaesser, C.:
Development of advanced transparent conductive electrodes for large-area opto electronic devices.
Annual Technical Conference Proceedings – Society of Vacuum Coaters (2009) 395-401

Wolter, H., Nique, S., Gellermann, C., Storch, W., Maletz, R. und Neumann, T.:
Nano-Hybrid Composites for Dental Application based on Monomer-free ORMOCER® Resins. Proceedings NanoMed 2009

Wolter, H., Storch, W., Nique, S., Gellermann, C., Seyfried, M., Maletz, R. und Neumann, T:
Monomer-free ORMOCER®-based Nano-Hybrid Composites for Dental Restoration. Proceedings Hybrids 2009

PROJEKTÜBERSICHT

Geschäftsfeld Oberflächen und Schichten
Business Unit Surfaces and Coatings

Aktive, schaltende Schichten
Active switchable coatings

Flexibles Energieversorgungssystem für energieautarke Mikrosysteme (BMBF)

Nanobase - Neuartige Schutzschichten und katalytisch aktive Oberflächen auf Basis funktionalisierter Nanopartikel für die Elektro- und Verkehrstechnik (BMBF)

Korrosionsschutz durch hybride Nanomaterialien zur Substitution Chrom(VI)-haltiger Systeme (AiF/BMBF)

Funktionalisierung von Vliesstoffen für die Tiefenfiltration mit wasserbasierten anorganisch-organischen Beschichtungssolen (AiF/BMBF)

Entwicklung von Klebstoffen mit Hochbarriereeigenschaften auf Basis nanoskaliger Hybridpolymere (BMBF)

Entwicklung, Erprobung und Inline-Qualitätssicherung von flexiblen Ultrabarrierefolien im Pilotmaßstab für die Anwendung in fotoelektronischen Systemen (FhG)

Innovative switchable shading appliances based on nanomaterials and hybrid electrochromic device configurations (EU)

Saubere / leicht zu reinigende Schichten
Self-cleaning / easy-to-clean surfaces

Erhöhung der aktiven und passiven Sicherheit von Fahrzeugen durch neuartige multifunktionelle Nanobeschichtungen (BMBF)

Herstellung von organisch-anorganischen Nanokompositbeschichtungen für Bildschirm- und Mobiltelefonoberflächen zur Selbstreinigung von Fingerabdrücken (BMBF)

Permanente Trennmittelbeschichtung auf Basis hybrider Nanokomposite (BMBF)

Innovative Plasmatechnik zur Erzeugung aktiver, hybrider Schichten (VDI/BMBF)

Atmospheric Plasmas for Nanoscale Industrial Surface Processing (EU)

Optisch-funktionale Schichten
Optical functional coatings

Innovative Beschichtungssysteme für optische Spezialfasern (BMBF)

UV-härtbare Digitaldruckfarbe auf Hybridpolymerbasis zur Bedruckung von Glas (FhG)

Entwicklung abriebbeständiger Antireflexschichten für hochtransparente Verglasungen im Baubereich (BMBF)

Barriereschichten
Barrier coatings

Plasmaaktivierung und plasma-unterstützte Beschichtung von Kunststoff-Folien für Anwendungen in der Elektrotechnik (BMBF)

Entwicklung der Grundlagen für eine polymere Low-Cost-Elektronik im Rahmen der Marktorientierten Vorlaufforschung (FhG)

Multifunktionale Membrankissenkonstruktionen (FhG)

Development and integration of processes and technologies for the production of organic low cost and large-area flexible electronics (EU)

Umweltmonitoring und präventive Konservierung
Environmental monitoring and preventive conservation

Improved protection of paintings during exhibition, storage and transit (EU)

Climate for Culture: Damage risk assessment, macroeconomic impact and mitigation strategies for sustainable preservation of cultural heritage in the times of climate change (EU)

Plasmatechnologie Kulturerbe: Plasmatechnologie - eine innovative Technologie zur Konservierung und Restaurierung von Kulturgütern und öffentliche Präsentation der Forschungsallianz Kulturerbe (FhG)

Entwicklung und modellhafte Erprobung von energetisch optimierten Schutzverglasungen für anthropogen umweltgeschädigte historische Verglasungen am Beispiel des Xantener Domes (DBU)

Entwicklung und Bewertung von Restaurierungsmethoden und Konservierungsmaterialien („active conservation measurements")

Umweltmonitoring (Umweltwirkungsmessungen, „preventive conservation", Glassensoren)

Klimamessungen im Innen- und Außenraum (Industrie und Denkmalpflege)

Lichtdosimeter zur Bestimmung der Gesamtmenge Licht, die auf ein Objekt/Exponat fällt, z.B. während einer Museumsausstellung

Klimasimulation und Schadensanalytik für Industriekunden

Beständigkeits- bzw. Bio-Löslichkeitstests (in-vitro) für industrielle Glasfasererzeugnisse

Entwicklung transparenter Lacke zur Konservierung von Glas, Metall, Industriedenkmälern etc.

Forschungen zur nachhaltigen Sicherung von mittelalterlicher Kirchenverglasung
Sustainable conservation of medieval church windows

Conservation materials for stained glass windows – assessment of treatments, studies on reversibility and performance of innovative restoration strategies and products (EU)

Craquelée Schäden: Anwendung innovativer Restaurierungsmaterialien und -methoden zur Sicherung und Konservierung craquelierter Glasmalereien, modellhaft angewendet an Glasfenstern des 19. Jahrhunderts im Kölner Dom (Weltkulturerbe) (DBU)

Geschäftsfeld Energietechnik
Business Unit Energy Technology

Energiespeicherung
Energy storage

Supraleitende nanostrukturierte Schichtsysteme aus Sol-Gel-Vorstufen – Teilvorhaben Supraleiter aus Nano-Sol-Material (BMBF)

Konzeptstudien für neuartige Lithium-Ionen-Zellen auf der Basis von Werkstoff-Innovationen – Teilvorhaben: Elektrodenbeschichtung, hybride Elektrolyte und elektrochemische Charakterisierung (BMBF)

Entwicklung und Charakterisierung nanoskaliger Hybridelektroden und dafür abgestimmte Elektrolytsysteme
Verbundprojekt Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität – Teilvorhaben: Materialentwicklung für Li-Ionen Batterien (BMBF)

Schichten
Coatings

Membranen für die Kraftwerkstechnologie – Teilprojekt: Entwicklung, Charakterisierung und Test nanoskaliger, dichter Membranschichten für die Sauerstoffabtrennung (BMWi)

Machbarkeit und Evaluierung transparenter und elektrisch leitfähiger Dünnfilmsysteme mit oxidischen Halbleitereigenschaften (FhG)

Energiesysteme
Energysystems

Verbundprojekt Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität – Teilvorhaben: Technische Systemintegration, gesellschaftliche Fragestellungen und Projektmanagement (BMBF)

Integriertes europäisches System zur Reduzierung industrieller Risiken (EU)

Glas
Glass

Produkt- und Verfahrensentwicklung eines Vakuum-Flachkollektors (BMWi)

Mobile Energieversorgung
Mobile energy supply

Autarke Energieversorgung über intelligente Piezogenerator/Polymer-Supercap/Lithium-Polymerakku-Mikrosysteme (BMBF)

Advancement in storage capability and hydrogen kinetics of hybride storage alloys through nanocoating with multifunctional hybrid polymer (EU)

Nanotechnology for advanced rechargeable polymer lithium batteries (EU)

Geschäftsfeld Glas und Keramik
Business Unit Glass and Ceramics

Keramische Fasern
Ceramic fibers

SiBNC-Werkstoffe für Produktions-, Energie- und Verkehrstechnik (BMBF)

Entwicklung und Upscaling von Chemie und Technologie für SiC-Fasern (STMWIVT)

Neuartige Kupferkomposite für extreme Belastungen im Fusionsreaktor (FhG)

Simulationsbasiertes Prozessdesign für die Entwicklung innovativer Keramik-Hochleistungsfasern (BMBF)

Kundenspezifisches Spezialglas
Customized special glasses

Flexibles Flachglas-Biegeverfahren (BMBF)

Laserstrahl-Glasfrit-Bonden zum Packaging temperaturempfindlicher Glas- und Siliziumbauteile (BMBF)

Entwicklung von hermetisch dichten Titan-Glas-Durchführungen

Entwicklung der Prozesskette zum thermischen Wiederziehen komplexer Mikrokomponenten aus hochbrechenden Glaswerkstoffen (BMWi)

Inhärent sichere Keramikherstellung
Inherently safe ceramics production

C/SiC-Kupplung – Kupplung mit Keramikreibpaarung (StmWIVT)

Herstellung großformatiger Bauteile aus Nichtoxidkeramik durch Einsatz optimierter Formgebungsverfahren und Mikrostruktur-Eigenschaftssimulation (StmWIVT)

Multiskalendesign oxidischer Funktionsmaterialien (Bayerische Forschungsstiftung)

Kontinuierliche Silizierung von Bremsscheiben (Bayerische Forschungsstiftung)

Mikrostrukturentwicklung und Sintern bei Co-Firing von keramischen Mehrschichtsystemen (DFG)

Thermoschockbeständiges Keramik-Kompositmaterial für die Wärmetechnik; Materialentwicklung des Keramik-Matrixmaterials (BMWi)

Ressourcenschonung
Sustainable consumption and production

ECO-Zement – Energieeinsparung und CO_2-Minderung bei der Zementproduktion durch die Herstellung hüttensandreicher Hochofenzemente mit verbesserter Anfangsfestigkeit (BMWi)

Effiziente Entbinderungs- und Sintertechnik in der Keramikherstellung; Teilprojekt: Entwicklung effizienter Optimierungsmethoden für die Entbinderungs- und Sintertechnik (BMBF)

Mess- und Prozesstechnik
Measuring and process technology

Online-Temperaturmessung des heißen Glastropfens (AiF)

Untersuchung zur Entwicklung eines quecksilberfreien Präzisionsthermometers (AiF)

Zertifizierter Standardgerätebau im Bereich Volumendosierung, Laborglasjustierung und thermo-optischer Messverfahren

Volumenmesstechnik

Ofenbau im Bereich Sonderanlagen

Robotik
Softwareentwicklung im Bereich Mess-, Steuerungs- und Automatisierungstechnik

Prototypen-Anlagenbau

Geschäftsfeld Mikrosystemtechnik
Business Unit Microsystems

Optische Aufbau- und Verbindungstechnik
Optical packaging

Optisch erzeugte Sub-100 nm-Strukturen für biomedizinische und technische Applikaltionen: Materialien und Technologien zur Erzeugung kleinster Sturkturen mittels Femtosekundenlaser- induzierter Mehrphotonenpolymerisation (DFG-SPP)

Functionalized Advanced Materials Engineering of Hybrids and Ceramics (EU)

EMMI European Multifunctional Materials Institute

Nanochemistry and self-assembly routes to nanomaterials (EU)

Optische Tranceiver-Module mit in-situ definierbaren spektralen Eigenschaften für optische Zugangsnetze (BMBF)

Extrem flache Kamerasysteme für Anwendungen im Automobil (BMBF)

Industrial projects on optical applications with Japanese companies

Mikro- und Polymerelektronik
Micro and polymer electronics

Printable pyroelectrical and piezoelectrical large area sensor technology (EU)

Evaluierung der Nano-Imprint Technologie für die Herstellung von sub 35 nm IC" – Teilprojekt Entwicklung von low-k-Dielektrika für die Nano-Imprint-Lithographie auf Basis von anorganisch-organischen Hybridpolymeren (BMBF)

Nanoparticles and layers of semiconductors and dielectrics, ferroelectrics, piezoelectrics of AIST in and on multifunctional OC-matrices and layers including relevant thin-film and micro-technology of ISC (FhG)

Entwicklung der Grundlagen für eine polymere Low-Cost-Elektronik (FhG)

Aerosolgedruckte Dünnfilmschaltungen für den elektrischen Funktionstest hochperformanter integrierter Schaltungen-Aerosol Printed Loadboard (FhG)

Geschäftsfeld Life Science
Business Unit Life Science

Photoinitiierte Mikrostrukturierung von piezoelektrischen Werkstoffen für die Medizintechnik und die Mikrosystemtechnik (FhG)

Diagnostik
Diagnostics

BioDots für biomedizinische Anwendungen (FhG)

Integrierte mikrofluidische Diagnostiksysteme (BMBF)

Verfahrensentwicklung zur schonenden Kapselung von Wirkstoffen (FhG)

Regenerative Medizin
Regenerative medicine

EAP mit magnetisch steuerbarer Elastizität zur Interaktion mit Bindegewebszellen (BMBF)
Entwicklung eines bioresorbierbaren Kieselgelfaservlieses zur Versorgung schlecht heilender Wunden

Peptid-basierte Klebstoffe (FhG)

Physiologisch degradierbare, mittels Zwei-Photonen-Absorption (TPA) strukturierte Hybridwerkstoffe für die Regenerative Medizin (FhG)

Dentalmedizin
Dental medicine

Allergenfreies dentales Basismaterial (FhG)

All-in-one Adhäsiv: Einfach applizierbare, langzeitstabile Materiallösung für die Dentalmedizin (MEF)

Chairside-Kronen (FhG)

Entwicklung neuer Werkstoffe mit optimierter Strukturkompatibilität für den Aufbau endodontisch behandelter Zähne (BMBF)

Prothesenzähne aus Hybridpolymeren - Mechanisch hochwertiger Zahnersatz (FhG)

Geschäftsfeld Bau und Umwelt
Business Unit Construction and Environment

Nanotechnologie
Nanotechnology

Best practices for IPR and technology transfer in NT-devolopments (EU)

BMBF-Marketing Nanotechnologie Japan (BMBF)

(Nano)poröse Materialien
(Nano)porous materials

Entwicklung einer Technologieplattform für die Herstellung multifunktionaler Hybridschäume (FhG)

Funktionsfüllstoffe
Functional filling materials

Multi-source energy storage systems integrated in buildings (EU)

Kalthärtende Keramik durch nanotechnologische Gefügeoptimierung (BMBF)

Baustoffe auf Basis von porösen Glasflakes für das Klimamanagement (Bayerische Forschungsstiftung)

Zeolithe mit absorberkatalytischer Wirkung für Formaldehyd in Holzwerkstoffen (FhG)

Center Smart Materials CeSMa

Innovatives Condition Monitoring System zur nachhaltigen Überwachung sicherheitsrelevanter Komponenten (BMBF)

Entwicklung von multifunktionellen Sensoren zum Nachweis der Glasbruchentstehung und zur Ansteuerung von Facility-Management-Systemen (BMWA)

Modellgestütztes Structural Health Monitoring für Rotorblätter von Windenergieanlagen (BMBF)

Aktorik
Actuators

Integration neuartiger Funktions- und Konstruktionswerkstoffe und deren Anwendung in einem miniaturisierten Ventilsystem (BMBF)

Erforschung betriebsfester und langlebiger Materialsysteme von dielektrischen Elastomeraktoren – Teilvorhaben: Organisch modifizierte Silikonmaterialien für dielektrische Elastomeraktoren (BMBF)

Magnetorheologische Kupplung mit steuerbarem Übertragungsverhalten für sicherheitstechnische Anwendungen (FhG)

The integrated safe-secure-smart-built conecpt (EU)

Sensorik
Sensors

Einsetzbare adaptronische Module zur Kompensation von Echtzeitfehlern (thermisch und Schwingungen) und zur supergenauen Positionierung in rekonfigurierbaren Hochpräzisions-Werkzeugmaschinen (EU)

PATENTE

Amberg-Schwab, S.; Friedrich, H.; Haas, K.-H.
Hybridpolymere Nanokomposit-Beschichtungsmaterialien mit Kohlenstoff-Nanoröhren.
DE 10-2008-039129 A1, Offenlegungstag: 2009/05/20

Bockmeyer, M.; Guntow, U.; Pietschmann, B.
Amorphe metallorganische Makromoleküle, Verfahren zu deren Herstellung und ihre Verwendung.
WO 09-19234, Offenlegungstag: 2009/02/12
DE 10-2007-036998 A1, Offenlegungstag: 2009/02/19

Bockmeyer, M.; Herbig, B.; Löbmann, P.
Stabile Suspensionen von kristallinen Titandioxid Partikeln aus hydrothermal behandelten Sol-Gel-Vorstufenpulvern.
DE 10-2006-032755 A1, Offenlegungstag:2008/01/17
EP 2041031 A, Offenlegungstag: 2009/04/01
US 09-0223412 A1, Offenlegungstag: 2009/09/10

Böse, H.; Ehrlich, J.
Magnetorheologische Kraftübertragungsvorrichtung sowie deren Verwendung.
DE 2065614 A1, Offenlegungstag: 2009/06/03
US 2009-133976 A1, Offenlegungstag: 2009/05/28
EP 2065614 A1, Offenlegungstag: 2009/06/03

Böse, H.; Gerlach, Th.; Ehrlich, J.; Merlo, A.; Massimo, I.
Active vibration-extinguisher containing magneto- or electrorheological liquids, method for reducing vibrations and uses thereof.
EP 09-2098747 A, Offenlegungstag: 2009/09/09

Böse, H.; Janssen Ch.; Ehrlich, J.; Wölcken, P.
Formverfahren sowie insbesondere magnetorheologisches Schmiermittel und Vorrichtung hierfür.
DE 10-2007-026592 B4, Erteilungstag: 2009/06/04

Böse, H.; Röder, R.
Magnetorheologische Elastomerekomposite sowie deren Verwendung.
US 2009-39309 A1, Offenlegungstag: 2009/02/12

Böse, H.; Röder, R.
Magnetorheologische Elastomere und deren Verwendung.
US 7608197, Tag der Erteilung: 27.10.2009

Böse, H.; Röder, R.; Rennar, N.
Magnetorheologische Elastomere (MRE) mit Polynorbornen als Trägermedium, Verfahren zur Herstellung solcher Elastomerkomposite sowie deren Verwendung.
US 09-0173908 A1, Offenlegungstag: 2009/07/09

Brunner, B.; Keil, G.; Durschang, B.; Krüger, R.; Roth, H.
Hochtemperatur-Ultraschallwandler zum permanenten Betrieb.
EP 2093563 A2, Offenlegungstag: 2009/08/26
DE 10-2008-010-546 A1, Offenlegungstag: 2009/09/10

Brunner, B.; Merk, J.; Biehl, S.; Zettler, J.
Tool holder and incremental sheet forming method using the same.
EP 2052810 A1, Offenlegungstag: 2009/04/29

Brunner, B.; Stöhr, Th., Olsowski, K.; Merlo, A.; Ricciardi, D.
Smart disc spring for integrated force and displacement measurements.
EP 1857220 B, Erteilungstag: 2009/04/15

Celik, A.; Schottner, G.; Posset U.; Pagani, G.; Abbotto, A.; Mari, C.; Beverina, L.; Ruffo, R.; Patriarca, G.
Highly transparent electrochromic coating material with improved adhesion performance and method for producing the same.
EP 1928000 B1, Erteilungstag: 2009/05/20

Clade, J.; Sporn, D.; Seider, E.; Roewer, G.; Lange, Th.; Meinhold, D.; Brendler, E.
Polysilan-Polycarbosilan-Copolymer-Lösungen und daraus hergestellte sauerstoffarme keramische Formkörper mit Zusammensetzungen nahe SiC.
EP 1756201 B1, Erteilungstag: 2009/09/23

Glaubitt, W.; Graf, W.; Gombert, A.
Mit einer staub- und aerosolabweisenden Beschichtung versehene Substrate, Verfahren zur Herstellung derselben und Materialien dafür.
DE 10-2007-039164 A1, Offenlegungstag: 2009/02/26
WO 09-024511 A1, Offenlegungstag: 2009/02/26

Glaubitt, W.; Probst, J.
Verwendung eines beschichteten, transparenten Substrates zur Beeinflussung der menschlichen Psyche »Therapieglas«.
DE 10-2007-053839 A1, Offenlegungstag: 2009/05/20
DE 10-2007-053839 B4, Erteilungstag: 2009/09/24
WO 10-2009-062871, Offenlegungstag: 2009/05/22

Glaubitt, W.; Rüdinger, A.
Schlicker und damit hergestellter keramischer Verbundwerkstoff.
DE 10-2006-011-224 B4, Erteilungstag: 2009/04/24
US 09-0221414 A1, Offenlegungstag: 2009/09/03

Houbertz-Krauß, R.; Sextl, G.; Helbig, U.; Platte, D.; Punnoose, A.
Verfahren zum Verkapseln von Latentwärmespeichermaterialien sowie damit erhaltene Produkte.
DE 10-2008-015302 A1, Offenlegungstag: 2009/09/24
WO 2009/115468 A1, Offenlegungstag: 2009/09/24

Krauß, M.; Leopoldsberger, G.; Kalkowski, G.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.; Jahnke, C.; Fabian, S.
Niedertemperaturfügen von Glas, Keramik und Glaskeramik für Optik und Präzisionsmechanik.
DE 10-2007-060784 A1, Offenlegungstag: 2009/06/18
WO 2009-077458 A1, Offenlegungstag: 2009/06/25

Krauß, M.; Raether, F.; Hoffmann, D.; Siedow, N.; Kreutz, E.W.; Talkenberg, M.
Gläser mit farbiger Innenmarkierung.
DE 10-2004-26257 B4, Erteilungstag: 2009/08/06

Löbmann, P.; Jahn, R.; Merklein, St.
Verfahren zur Abscheidung von TiO_2-Schichten unter Verwendung von löslichen Pulvern.
EP 1045815 B2, Erteilungstag: 2009/04/22

Rose, K.; Paulussen, S.; Rego, R.; Havermans, D.; Cools, J.; Vangeneugden, D.
Method and apparatus for coating a substrate using dielectric barrier discharge.
EP 1729892 B1, Erteilungstag: 2009/06/17

Schottner, G.
Mechanisch stabile, leicht zu reinigende Beschichtung für verchromte Oberflächen mit erhöhter Chemikalienbeständigkeit.
EP 1806385 B1, Erteilungstag: 2009/04/29

Uebe, J.; Seider, E.; Gaul, S.; Böse, H.
Sedimentationsstabile Dispersion, Verfahren zur Herstellung sowie deren Verwendung.
EP 2016117, Offenlegungstag: 2009/01/21

Uebe, J.; Seider, E.; Gaul, S.; Böse, H.
Stable sediment dispersion, method for production and use thereof.
US 2009-250652 A1, Offenlegungstag: 2009/10/08

Wolter, H.
Phosphorhaltige, organisch polymerisierbare Silane und damit hergestellte Kieselsäure-Polykondensate.
US 2009-0023883 A1, Offenlegungstag: 2009/01/22

Offenlegungstag/Publication date
Erteilungstag/Date of patent
Datum/Date: YYYY/MM/DD

Mit Hochschulen
With universities

Academy of Fine Arts, Faculty of Art Conservation, Krakau (PL)
AGH-University of Science and Technology, Krakau (PL)
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Aristotle University of Thessaloniki (GR)

Bauhaus-Universität Weimar

Charité Campus Benjamin Franklin, Berlin
Czech Technical University, Prag (CZ)
- Faculty of Mechanical Engineering

Ecole Nationale Supérieure de Céramique Industrielle, Limoges Cedex (F)

Fachhochschule Potsdam
- Studiengang Restaurierung, Studienrichtung Metallkonservierung
Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt-Aschaffenburg
- Fachbereich Informatik
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Ghent University (B)
- Department of Geology and Soil Science
- IMEC Center for Microsystems Technology
Glasgow Caledonian University (UK)
Gotland University, Visby (S)
- Department of Building Conservation
(A Baltic Sea Region Network on Indoor Climate in Churches)

Hochschule Regensburg
- Fakultät Elektro- und Informationstechnik

Institut National Polytechnique de Grenoble, Saint Martin d'Heres (F)
- Laboratoire SIMAP (Science et Ingénierie des Materériaux et Procédés)
Institute Electronic Structure and Laser, Heraklion (GR)
- Holography Lab - Laser Applications

Johannes Kepler Universität Linz (A)

Julius-Maximilians-Universität Würzburg
- Lehrstuhl für Funktionswerkstoffe der Medizin und Zahnheilkunde
- Lehrstuhl für Klassische Archäologie

Katholieke Universiteit Leuven (B)

Leibniz Universität Hannover
London School of Economics & Political Science (UK)
- Grantham Research Institute on Climate Change and Environment

Medizinische Hochschule Hannover
- Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Biomedizinische Werkstoffkunde

Nagoya University (JP)
- National Institute of Advanced Industrial Science and Technology AIST
National Technical University of Athens (GR)
- School of Mechanical Eng., Lab. of Heterogeneous
Mixtures & Combustion Systems
- School of Civil Engineering, Lab. for Earthquake Engineering

Otto-Friedrich-Universität Bamberg
- Institut für Archäologie, Denkmalkunde und Kunstgeschichte

Philipps-Universität Marburg
Polytecnio di Torino (I)

Rheinisch Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen
- Institut für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystem-
technik
- Institut für Gesteinshüttenkunde
- Institut für Werkstoffanwendungen
- Klinik für Plastische Chirurgie, Hand- und Verbrennungschirurgie

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. an der TU Chemnitz

Tampere University of Technology, Tampere (FIN)

Technical University of Denmark, Kongens Lyngby (DK)

Technische Universität Bergakedemie Freiberg
- Institut für Automatisierungstechnik

Technische Universität Braunschweig

Technische Universität Darmstadt

Technische Universität Dresden
- Institut für Festkörperelektronik

Technische Universität Graz (A)
- Institut für Chemische Technologie von Materialien

Technische Universität München
- Studiengang für Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft

Technische Universität Wien (A)
- Institut für Angewandte Synthesechemie
- Institut für Nachrichten- und Hochfrequenztechnik

Technische Universiteit Eindhoven (NL)
- Department Technology, Unit Building Physics and Systems

The Royal Danish Academy of Fine Arts, Kopenhagen (DK)
- The School of Conservation

Tokyo Institute of Technology (JP)

Tokyo University of Agriculture and Technology, Ohno-Lab (JP)

Universidade do Minho, Braga (P)
- Grupo de Revestimentos Functionais

Università di Genova (I)

Università Milano-Bicocca, Mailand (I)

Universität Alicante (E)

Universität Augsburg
- Anwenderzentrum Material- und Umweltforschung

Universitat Autònoma de Barcelona (E)
- Instituto de Ciencia de Materiales

Universität Bayreuth
- Bayerisches Geoinstitut
- Lehrstuhl keramische Werkstoffe

Universität Bremen

Universität Erlangen-Nürnberg
- Institut für Werkstoffwissenschaften
- Lehrstuhl Werkstoffe der Elektrotechnik

Universität Karlsruhe (TH)
- Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik

Universität Rostock
- Institut für Biomedizinische Technik
- Kompetenzzentrum für Biomaterialien
- Medizinische Fakultät, Institut für Biomedizinische Technik
- Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde

Universität Stuttgart

Universität Ulm
- Abt. Anorganische Chemie I

Universität zu Köln

Universitätsklinikum Würzburg
- Augenklinik und Poliklinik

Université de Haute-Alsace, Mulhouse-Colmar (F)
- Département de Photochimie Générale CNRS-UMR 7525

Université de Picardie Jules Verne, Amiens (F)
- Laboratoire de réactivité et Chimie des Solides LRCS

Université Montpellier (F)

Université Pierre et Marie Curie, Paris (F)

University College of Antwerp, Hogeschool Antwerpen (B)

University of Huddersfield (UK)

University of Leeds (UK)
- Nanomanufacturing Institute

University of Ljubljana (SLO)
- Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Chair for Research in Materials and Structures

University of London, Birkbeck College (UK)

University of Manchester (UK)

University of Patras (GR)
- Department of Civil Engineering, Structural Materials Laboratory

University of Pisa (I)
- Department of Chemistry and Industrial Chemistry

University of Sheffield (UK)

University of Thessaloniki (GR)

University of Twente (NL)
Department of Civil Engineering

University of Valencia (E)

University of Zagreb (CRO)
- Faculty of Civil Engineering

Warsaw University (PL)
- Laboratory of Electrochemical Power Sources
Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Yonsei University Seoul (KO)
- Mechanical Engineering

Mit anderen Forschungseinrichtungen
With other research institutions

Acreo AB, Printed Electronics Group and Interconnect and Packaging Group, Norrköping (S)
Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik, Prag (CZ)
- Institute of Radio Engineering and Electronics
- Institute of Chemical Process Fundamentals
Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V., Köln

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM, Berlin

Center for Documentation of Cultural & Natural Heritage, Giza (ET)
Centro de Tecnologías Electroquímicas, San Sebastián (E)
Cercle des Partenaires du Patrimoine, Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, Champs sur Marne (F)
Commissariat à l'énergie atomique CEA, Laboratoire d'Électronique des Technologies de l'Information (Leti), Grenoble (F)

Deutsches Kunststoff-Institut, Darmstadt
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR, Stuttgart und Köln
- Institut für Technische Thermodynamik
Dombauamt Erfurt, Glaswerkstatt
Dombauhütte Köln, Glasrestaurierungswerkstatt

Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Daejeon (KO)
- Optical Interconnection Team
- Basic Research Laboratory
Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V., Dresden

Flemish Institute for Technological Research (VITO), Mol (B)
Forschungsgemeinschaft Technik und Glas e.V., Wertheim
Forschungskuratorium Textil e. V., Berlin
Forschungszentrum Jülich
- Ernst-Ruska-Centrum
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH (FZK)

Gradbeni Institut ZRMK, Centre for Indoor Environment, Building Physics and Energy, Ljubljana (SLO)

Hermsdorfer Institut für Technische Keramik e.V., Hermsdorf
Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie HVG, Offenbach

Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (F)
Institut de Recherche d'HydroQuébec (IREQ), Montreal (CAN)
Institut für Bioprozess- und Analysenmesstechnik e. V., Heiligenstadt
Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt, Halle/Saale
Institut für Energie- und Umwelttechnik (IUTA), Dresden
Institut für Fertigteiltechnik und Fertigbau Weimar e.V.
Institut für Klinische Hygiene und Qualitätssicherung e. V. (IKHQ), Köthen
Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH, Dresden
Institut für Physikalische Hochtechnologie e.V., Jena
Instituto di Scienze dell'atmosfera e del Clima, Consiglio Nazionale Delle Ricerche, Rom (I)

Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Graz (A)

Laser Labor Göttingen

Max-Planck Institut für Meteorologie, Hamburg
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching

National Institute of Chemistry, Ljubljana (SLO)
Norwegian Institute for Air Research, Kjeller (N)

Research Center on Nanoscience and Nanotechnology, CIN2: CSIC-ICN, Bellaterra-Barcelona (E)
Staatliche Museen Preußischer Kulturbesitz, Berlin
Swiss Research Centre for Stained Glass and Glass Art, Romont (CH)

The Chapter of Canterbury Cathedral (UK)
- The Cathedral Studios

VTT Technical Research Centre of Finland, Tampere (FIN)

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung, Ulm

Mit Fraunhofer-Instituten
With Fraunhofer Institutes

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau (IRB)
Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT, Sankt Augustin
Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena
Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP, Potsdam
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Darmstadt
Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT, St. Ingbert
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal (Berghausen)
Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP, Dresden
Fraunhofer-Institut für Elektronische Schaltungen und Systeme IMS, Duisburg
Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Bremen
Fraunhofer-Institut für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart
Fraunhofer-Institut für Holzforschung WKI, Braunschweig
Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IIS und IISB, Erlangen
Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund
Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS, Duisburg
Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME, Aachen und Schmallenberg
Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS, Dresden
Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT, Aachen
Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig
Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT, Itzehohe
Fraunhofer-Institut für Solare Energietechnik ISE, Freiburg
Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Kaiserslautern
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen.
Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV, Freising
Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI, Dresden
Fraunhofer-Institut für Werkstoff und Strahltechnik IWS, Dresden
Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg/Halle
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Chemnitz
Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken und Dresden
Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, Berlin und München

LEHRTÄTIGKEIT

Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Lehrstuhl für Chemische Technologie der Materialsynthese
Lehrstuhlinhaber: Prof. Dr. Gerhard Sextl

Vorlesungen Wintersemester 2008/2009

Helbig, U.:
Von der Biomineralisation zur biologisch-inspirierten Materialsynthese

Helbig, U.:
Einführung in die Kristallograhie und Röntgenbeugung

Löbmann, P.:
Sol-Gel-Chemie II: Schichten und Beschichtungstechnik

Selvam, T.:
Chemistry of porous materials

Sextl, G.; Hilbig, A.:
Materialwissenschaften I (Struktur, Eigenschaft und Anwendungen von anorganischen Werkstoffen)

Sextl, G., Kurth, D., Hilbig, A.:
Chemische Technologie der Materialsynthese

Sextl, G., Kurth, D., Löbmann, P., Helbig, U., Raether, F., Selvam, T.:
Anleitung zum selbstständigen wissenschaftlichen Arbeiten

Vorlesungen Sommersemester 2009

Helbig, U.:
Von der Biomineralisation zur biologsch-inspirierten Materialsynthese

Helbig, U., Löbmann, P.:
Chemische und biologisch-inspirierte Nanotechnologie für die Material-synthese

Löbmann, P.:
Sol-Gel-Chemie I: Grundlagen

Sextl, G., Kurth, D., Hilbig, A., Löbmann, P., Schwarz, G., Selvam, T.:
Anleitung zum selbstständigen wissenschaftlichen Arbeiten

Sextl, G., Löbmann, P., Hilbig, A., Bastian, M.:
Materialwissenschaften II (Die großen Werkstoffgruppen)

Selvam, T.:
Chemistry of porous materials

Vorlesungen Wintersemester 2009/2010

Löbmann, P.:
Sol-Gel-Chemie II: Schichten und Beschichtungstechnik

Möller, K.-C.:
Elektrochemische Energiespeicher und -wandler

Schwarz, Löbmann, P.:
Chemische Nanotechnologie: Analytik und Applikationen

Sextl, G., Löbmann, P., Hilbig, A.:
Materialwissenschaften I (Struktur, Eigenschaft und Anwendungen von anorganischen Werkstoffen)

Übungen und Praktika

Sextl, G., Hilbig, A.:
Übungen zur Vorlesung „Materialwissenschaften I"
WS 2008/2009

Sextl, G., Kurth, D., Hilbig, A.:
Übungen zur Vorlesung Chemische Technologie der Materialsynthese
WS 2008/2009

Sextl, G., Kurth, D., Hilbig, A.:
Praktikum Chemische Technologie der Materialsynthese
WS 2008/2009

Sextl, G., Kurth, D., Hilbig, A.:
Praktikum Chemische Technologie der Materialsynthese für Studenten der Chemie
WS 2008/2009

Sextl, G., Löbmann, P., Hilbig, A., Bastian, M.:
Übungen zur Vorlesung Materialwissenschaften II
SS 2009

Sextl, G., Löbmann, P., Kurth, D., Hilbig, A., Schwarz, G.:
Praktikum Chemische Technologie der Materialsynthese für Studenten der Chemie
SS 2009

Sextl, G., Löbmann, P., Schwarz, G.:
Praktikum Chemische Technologie der Materialsynthese für Studenten der Chemie
WS 2009/2010

Möller, K.-C.:
Praktikum Elektrochemische Energiespeicher und -wandler
WS 2009/2010

Sextl, G., Löbmann, P., Hilbig, A.:
Übungen zur Vorlesung Materialwissenschaften I
WS 2009/2010

Seminare

Helbig, U., Löbmann, P., Selvam, T.:
Seminar für Doktoranden
WS 2008/2009

Löbmann, P.:
Seminar zur Vorlesung »Sol-Gel-Chemie I: Grundlagen«
SS 2009

Sextl, G., Kurth, D., Löbmann, P., Selvam. T.:
Seminar für Doktoranden im Fraunhofer ISC
SS 2009 und WS 2009/2010

Sextl, G., Kurth, D.:
Seminar für wissenschaftliche Mitarbeiter
SS 2009 und WS 2009/2010

Universität Bayreuth
Lehrstuhl Keramische Werkstoffe des Instituts für Materialforschung
Lehtstuhlinhaber: Prof. Dr.-Ing. Walter Krenkel

Vorlesungen und Veranstaltungen Sommersemester 2009

Hausherr, J.M.:
Hochleistungskeramik

Hausherr, J.M.:
Physikalisch-Ingenieurwissenschaftliches Grundpraktikum

Krenkel, W.:
Hochtemperatur-Leichtbau

Krenkel, W.:
Projektseminar Keramik

Krenkel, W.:
Summerschool – Graduiertenkolleg

Mucha, H.:
Metallinfiltrierte Keramiken

LEHRTÄTIGKEIT

Vorlesungen und Veranstaltungen im Wintersemester 2008/09 und 2009/10

Hausherr, J.M.:
Praktikum Werkstofftechnologien

Krenkel, W.:
Einführung in die Materialwissenschaft (Keramiken)

Krenkel, W.:
Eigenschaften von Verbundwerkstoffen

Krenkel, W.:
Aufbau und Eigenschaften von Keramiken

Krenkel, W.:
Verbundkeramiken

Krenkel, W.:
Projektseminar Keramik

Mucha, H.:
Praktikum Materialwissenschaften

Ringvorlesung »Structure-property relations in materials – from crystal structures to textures to macroscopic properties« im Elitenetzwerk Bayern der Universität Bayreuth

Möller, K.-C.:
Lithium-ion batteries - principle, new materials, applications.

Staab, T.:
In-situ observation of different properties during heat treatment of ceramic materials.

Technische Universität Clausthal
Fakultät für Natur- und Materialwissenschaften

Kilo, M.:
Werkstoffe der Elektronik
Vorlesung
SS 2009

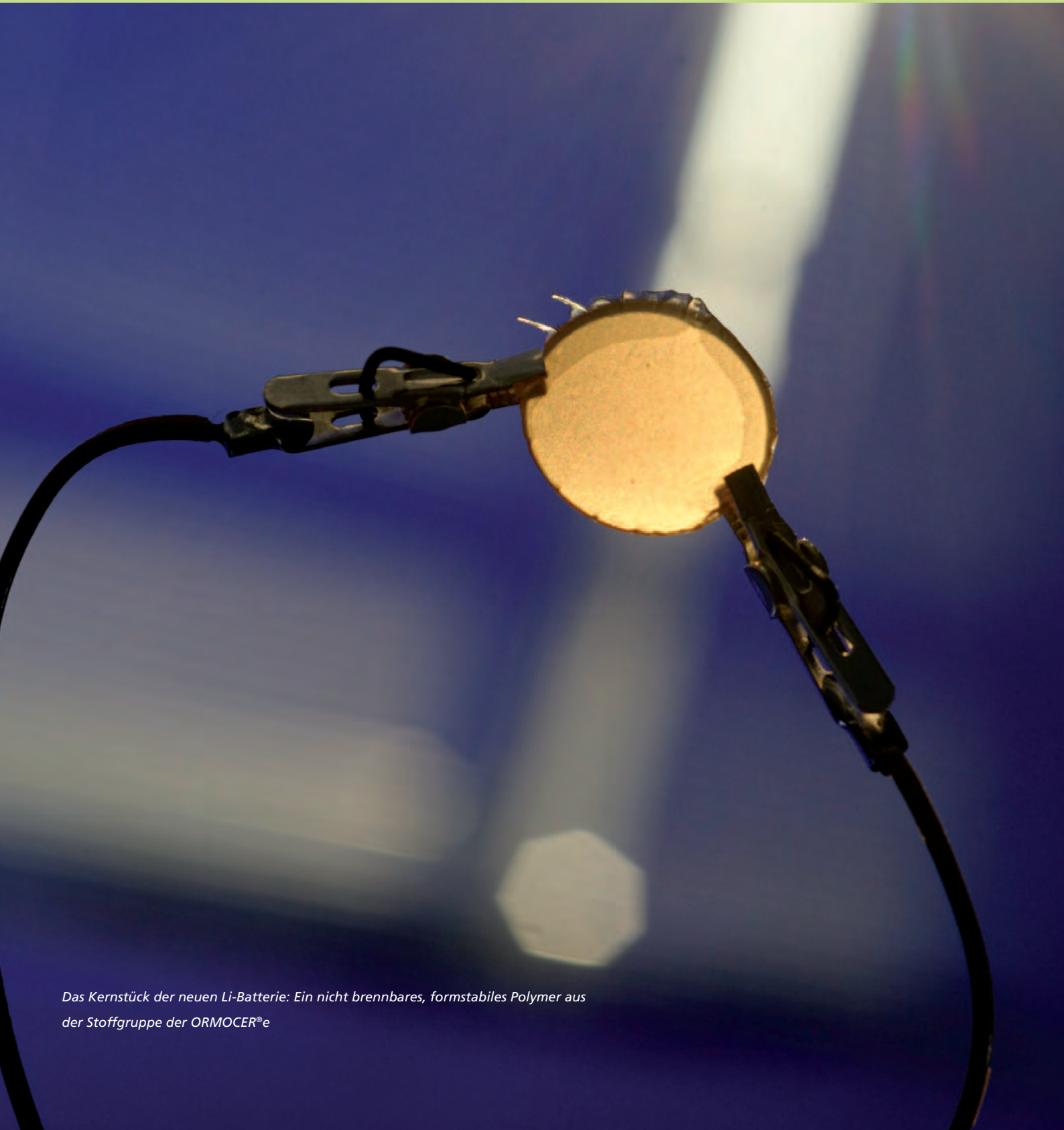
Hochleistungsmaterialien: Physikalisch-Chemische Eigenschaften und Anwendungen
WS 2009/2010

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Diegeler, A.:
Berufsfelder der Physik.
Orientierungstutorium für Erstsemester der Fachschaft Physik und medizinische Physik der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
26. November 2009

Fachhochschule Osnabrück

Wolter, H.:
Variationspotential und Einsatz von ORMOCER®-basierten Werkstoffen im Dentalbereich.
Seminarvortrag
26. März 2009



Das Kernstück der neuen Li-Batterie: Ein nicht brennbares, formstabiles Polymer aus der Stoffgruppe der ORMOCER®e

GASTREFERENTEN DES ISC-SEMINARS IN WÜRZBURG

GUEST SPEAKERS AT THE FRAUNHOFER ISC

20. Januar 2009
Dr.-Ing. Olivier Guillion
TU Darmstadt, FB Material- und Geowissenschaften
Constrained sintering: Experimental and modelling challenges

6. Februar 2009
Dr. Tilman Breitenstein
Bayer AG
Patentstrategien der Industrie

4. Mai 2009
Dr. Andreas Pfeifer
Carl Zeiss AG
Rasterelektronenmikroskopie

13. Juli 2009
Prof. Dr. Rolf Clasen
Universität Saarbrücken
Feldunterstützte Verfahrenstechnik zur Herstellung von Hochleistungswerkstoffen aus Glas und Keramik

16. Juli 2009
Dr. Wolfgang Schäfer
ehemals EADS und DaimlerChrysler
Innovationsmanagement aus industrieller Sicht

12. Oktober 2009
Prof. Dr.-habil. Michael Schmidt
Universität Kassel
Stärken und Schwächen zementgebundener Baustoffe

6. November 2009
Andreas Leupolz
EADS Astrium
Automobilverglasung

GASTREFERENTEN »BRONNBACHER GESPRÄCHE 2009«

GUEST SPEAKERS AT THE BRONNBACH BRANCH

21. Januar 2009
Stefanie Schaupp
Dipl.-Ing. Architektin im Praktikum
Die Gamburg und ihre Gärten - was die Burg zum Schloss machte

28. Januar 2009
Dr. Johanna Leissner
Fraunhofer-Repräsentanz-Büro Brüssel
Warum ist das kulturelle Erbe für Europa so wichtig?

11. Februar 2009
Katrin Wittstadt
Fraunhofer ISC, Kompetenzfeld Umweltmonitoring und Kulturgüterschutz
Lebenslauf eines Glasmalereizyklus – Die spätmittelalterliche Chorverglasung des Freiburger Münsters

18. März 2009
Anne Kaiser
Diplom-Restauratorin der Glaswerkstätte Rothkegel e.K.
Glasmalereirestaurierung – Theorie und Praxis

22. April 2009
Katrin Wittstadt
Fraunhofer ISC, Kompetenzfeld Umweltmonitoring und Kulturgüterschutz
Kunstkammerobjekte aus Elfenbein

21. September 2009
Dr. Paul Bellendorf
Fraunhofer ISC, Leiter des Kompetenzfelds Umweltmonitoring und Kulturgüterschutz
Kulturgüterschutz – Eine Herausforderung für die Naturwissenschaft

14. Oktober 2009
Dr. Karin Drda-Kühn
Geschäftsführerin des Vereins Kultur und Arbeit e.V. und Kulturunternehmerin
Kulturerbestätten und Kulturtourismus – das Kapitel für den ländlichen Raum

VERANSTALTUNGEN AM FRAUNHOFER ISC

CONFERENCES AND EVENTS AT THE FRAUNHOFER ISC

Treffen des Fraunhofer-Verbunds Nanotechnologie
Würzburg, 22. Januar 2009

3. Würzburger Wirtschaftstage
Expedition in Mikro- und Nanowelten
Würzburg, 26. Januar 2009

1. Sitzung der Forschungsallianz Kulturerbe
Bronnbach, 2. März 2009

GCTP Fachgruppensitzung
Bronnbach, 3. März 2009

ISC-Hauspräsentation »(Nano-, micro-) partikuläre und strukturierte Systeme für die Diagnostik/Theranostik«
Eine Veranstaltung im Rahmen des Arbeitskreises BioMST – Mikrosysteme für Biotechnologie und Lifesciences BioMST
Würzburg, 12. März 2009

VKI-Sitzung der Technischen Kommission
Würzburg, 12. – 13. März 2009

2. Fraunhofer-EU-NetWorkshop
Erfahrungen als Gutachter in EU-Projekten.
Würzburg, 26. März 2009

International Experts Meet Nanotechnology
BMBF-Veranstaltung im Rahmen der Hannovermesse
Würzburg, 23. April 2009

Girl's Day
Würzburg, 23. April 2009

Kick-off Meeting CeSMa
Würzburg, 12. Mai 2009

IIR-Seminar Polymerbasierte Nanokomposite
Würzburg, 9. – 10. Juni 2009

Bayerischer Cluster-Treff Neue Werkstoffe: Glas
Glaslote für innovative Fügetechnologien
Würzburg, 7. Juli 2009

Bayerischer Cluster-Treff Nanotechnologie: Nano trifft Umwelt
Teil 4: Photokatalyse – Reinigung durch Sonnenlicht
Würzburg, 21. Juli 2009

Würzburger PR-Kreis
Podiumsdiskussion Kulturmarketing
29. September 2009

DGG Fachausschuss I
Würzburg, 30. September 2009

Themenworkshop » (Nano-) Partikelsysteme für Diagnostik und Therapie«
Würzburg, 20. Oktober 2009

Der Fraunhofer-Truck in Würzburg
Würzburg, 21.-23. Oktober 2009

Einweihung und Besichtigung des neuen Technikums der Fraunhofer Projektgruppe Keramische Verbundstrukturen
Bayreuth, 19. November 2009

MESSEN UND AUSSTELLUNGEN

FAIRS AND EXHIBITIONS

Photonics West 2009
San José, CA (USA), 24. – 30. Januar 2009

NanoTech 2009
Tokyo (JP), 15. – 21. Februar 2009

Symposium Material Innovativ
Ansbach, 4. März 2009

Forum Intelligente Werkstoffe
Stuttgart, 19. März 2009

17. DGM-Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde
Bayreuth, 1. – 3. April 2009

83. Glastechnische Tagung
Amberg, 18. – 20. Mai 2009

15. Fachtagung Natursteinsanierung
Stuttgart, 20. März 2009

European Coating Show
Nürnberg, 31 März – 2. April 2009

Hannover Messe Industrie
Hannover, 20. – 24. April 2009

Wissenschaftstag Metropolregion Nürnberg
Amberg 26. Mai 2009

Deutschlandpromenade Shenyang
Shenyang (RC), 12. – 21. Juni 2009

Cluster Offensive Bayern – Stark im Wettbewerb
Nürnberg, 22. Juli 2009

Podiumsdiskussion Elektromobilität im Rahmen der Mainfrankenmesse
(FH-SW Solar Racing e.V.)
Würzburg, 30. September 2009

CERAMITEC 2009
München, 19. – 23. Oktober 2009

Internationale Fachmesse »Ideen, Erfindungen, Neuheiten« iENA
Nürnberg, 6. November 2009

Clusterforum Innovationen der Glastechnologie
Amberg, 11. November 2009

EXPONATEC COLOGNE 2009
Köln, 17. – 20. November 2009

AUSBLICK MESSEN UND VERANSTALTUNGEN 2010

FAIRS AND EVENTS PLANNED FOR 2010

Photonics West
San Francisco, CA (USA), 26 – 28. Januar 2010

NanoTech 2010
Tokio (JP), 17. – 19. Februar 2010

Hannover Messe
Hannover, 19. – 23. April 2010

CeSMa-Meeting
Smart Materials für Sicherheit, Haptik und Komfort
Würzburg, 5. Mai 2010

Sensor + Test
Nürnberg, 18. – 20. Mai 2010

Clustermeeting Nanotechnologie
Oberflächenmodifizierung durch Nanotechnologie
Würzburg, 17. Juni 2010

Composites Europe
Essen, 14. – 16. September 2010

HT-CMC 7
Bayreuth, 20. – 22. September 2010

3. Sol-Gel-Tagung
Würzburg, 28. – 29. September 2010

GlassTec 2010
Düsseldorf, 28. September – 1. Oktober 2010

denkmal
Leipzig, 18. – 20. November 2010

Das Fraunhofer ISC ist aktives Mitglied in zahlreichen nationalen und internationalen Forschungsnetzwerken. Ziel der Kooperationen ist es, den interdisziplinären Wissensaustausch mit der Industrie und anderen universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen zu fördern, die eigene Kompetenz einzubringen und neue Partner zu gewinnen.

Innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft führen Mitarbeiter des Fraunhofer ISC die Verbünde »Nanotechnologie« und »POLO – Polymere Oberflächen«. Auf Geschäftsfeldebene bestehen zusätzlich eine Reihe weiterer enger Kooperationen mit weiteren Allianzen sowie mit zahlreichen Universitäten und Forschungsinstituten außerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft.

Das Institut ist Mitglied beim »Wilhelm Conrad Röntgen Research Center for Complex Material Systems« (RCCM) an der Universität Würzburg, auf nationaler Ebene im Kompetenznetz für Materialien der Nanotechnologie (NanoMat) und im Kompetenznetzwerk für Materialforschung und Werkstofftechnik Materials Valley e.V. sowie auf europäischer Ebene im »European Mulitfunctional Materials Institute« (EMMI).

Als Materialentwicklungsinstitut gehört das Fraunhofer ISC dem Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – Materials an. Vorsitzender ist Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka, Leiter des Fraunhofer LBF. Weitere Mitglieder sind die Fraunhofer-Institute EMI, IAP, IBP, ICT, IFAM, IGB, IKTS, ISE, ISI, ITWM, IWM, IZFP und WKI. Das Institut ist außerdem vertreten in dem als Demonstrationszentrum etabliertenThemenverbund »AdvanCer« (System development with high-performance Ceramics - Weitere Informationen unter www.advancer.fraunhofer.de).

Das Fraunhofer ISC in Allianzen und Netzwerken

Fraunhofer-Allianz Polymere Oberflächen (POLO)
Sprecherin der Allianz und Leiterin der Geschäftsstelle:
Dr. Sabine Amberg-Schwab, Fraunhofer ISC
Telefon +49 931 4100-620
sabine.amberg-schwab@isc.fraunhofer.de
www.polo.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie
Sprecher der Allianz und Leiter der Geschäftsstelle:
Dr. Karl-Heinz Haas, Fraunhofer ISC
Telefon +49 931 4100-500
karlheinz.haas@isc.fraunhofer.de
www.nano.fraunhofer.de

Weitere Fraunhofer-Allianzen
Adaptronik, Bau, Energie, Hochleistungskeramik, Leichtbau, Nanotechnologie, Nummerische Simulation von Produkten, Prozessen, Optic Surfaces, Photokatalyse
www.fraunhofer.de/institute-einrichtungen/verbuende-allianzen

FALKE Forschungsallianz Kulturerbe
Ansprechpartner:
Dr. Johanna Leissner
Scientific Representative für Fraunhofer IBP, IAP, ICT, IGB, IST, ISC und MOEZ
Telefon +32 2 506-4243
johanna.leissner@zv.fraunhofer.de

Dr. Stefan Brüggerhoff
Deutsches Bergbau-Museum DBM, Bochum
stefan.brueggerhoff@bergbaumuseum.de

Dr. Stefan Simon
Rathgen-Forschungslabor, Staatliche Museen zu Berlin, Stiftung Preußischer Kulturbesitz
s.simon@smb.spk-berlin.de

Fraunhofer-Arbeitsgruppe »Nachhaltigkeit und Forschung«
Ansprechpartner
Fraunhofer Vertretung Brüssel
Dr. Johanna Leissner
Rue du Commerce 31
1000 Brüssel/Belgien
Telefon +32 2 506-4243
johanna.leissner@isc.fraunhofer.de

Cluster der Allianz Bayern Innovativ

Cluster Chemie
Sprecher: Prof. Dr. Wolfgang A. Herrmann und Prof. Dr. Utz-Hellmuth Felcht
Kontakt: herrmann@cluster-chemie.de; felcht@cluster-chemie.de
www.cluster-chemie.de

Cluster Mechatronik & Automation
Sprecher: Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann
Kontakt: gunther.reinhart@cluster-ma.de, klaus.feldmann@cluster-ma.de
www.cluster-ma.de

Cluster Medizintechnik
Sprecher: Prof. Dr. med. Michael Nerlich
Kontakt: michael.nerlich@medtech-pharma.de
www.cluster-medizintechnik.de/

Cluster Nanotechnologie
Sprecher: Prof. Dr. Alfred Forchel
Kontakt: info@nanoinitiative-bayern.de
www.nanoinitiative-bayern.de

Cluster Neue Werkstoffe
Sprecher: Prof. Dr. Rudolf Stauber und Prof. Dr. Robert F. Singer
cluster-neuewerkstoffe@bayern-innovativ.de
www.cluster-neuewerkstoffe.de

MITGLIEDSCHAFTEN UND MITARBEIT IN GREMIEN

Ad-hoc Advisory Group for Industrial Nanotechnology (EU-Kommission Brüssel)
Academy of Dental Materials (ADM)
AMA Fachverband für Sensorik e.V.
AGEF Arbeitsgemeinschaft Electrochemischer Forschungsinstitutionen e.V.
American Ceramic Society (ACerS) – Fellow
Arbeitsgemeinschaft Wirtschaftsnaher Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg
Arbeitskreis Mikrosysteme für Biotechnologie und Lifesciences e.V. BioMST

Bayern Innovativ GmbH
bayern photonics e.V.
Kompetenznetz optische Technologien
BMBF NanoExperts Working Group Russland-Deutschland
BioMedTec Franken e.V.
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM
- Arbeitsgruppe glasig-kristalline Multifunktionswerkstoffe

Ceramic Composites im Carbon Composites e.V.
Cluster INNOB – Innovative Oberflächen
Cluster TEMASYS – Technologie und Management intelligenter Systeme

DECHEMA Gesellschaft für chemische Technik und Biotechnologie e.V.
- ConNeCat Kompetenznetzwerk Katalyse
- Fachsektion Nanotechnologie
Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e. V.
- Fachausschuss Oberflächenbehandlung von Stahl und Multisubstraten
Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V. (DGM)
- Arbeitskreis Verstärkung keramischer Werkstoffe
- Fachausschuss Biomaterialien
Deutsche Glastechnische Gesellschaft (DGG)
- Fachausschuss I
Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)
- Expertenausschuss Abwassersysteme
Deutsches Institut für Normung (DIN)
Normenausschuss für
- Volumenmessgeräte
- UA Volumenmessgeräte mit Hubkolben
- UA I/ FA I
- NMP 261 (Chemische Analyse von oxidischen Materialien und Rohstoffen)
Deutsche Keramische Gesellschaft (DKG)
- Arbeitsgruppe Keramografie
- Fachausschuss (FA1) Physikalische und chemische Grundlagen
- Arbeitsgruppe Thermoplastische Formgebung von Technischer Keramik
Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e. V. (DVM)
- Arbeitsgruppe Zuverlässigkeit adaptiver Systeme

Electrochemical Society ECS
EU Ad-hoc Advisory Group on Industrial Nanotechnologies for the NMP Program
European Multifunctional Materials Institute EMMI

Fachausschuss Biomaterialien der DGM
Firmenausbildungsverbund e.V. Main-Tauber (Fabi)
Förderkreis Kloster Bronnbach
Forum für Medizin Technik und Pharma in Bayern e.V.
Forschungsgemeinschaft Technik und Glas e.V., Bronnbach (FTG)
- Technischer Ausschuss
Forum Innovation und Technologie Heilbronn Franken
Fraunhofer-Demonstrationszentrum AdvanCer
- Mitglied des Projektleitungsrats
- Adaptronik
- Werkstoffe, Bauteile
- Hochleistungskeramik
- Nanotechnologie
- Numerische Simulation von Produkten und Prozessen
- Polymere Oberflächen (POLO)
- Optisch-funktionale Oberflächen
- Photokatalyse
- Energie
- Elektrochemie
- Netzwerk Batterien
- Bau

Gemeinschaftsausschuss Hochleistungskeramik der Deutschen Keramischen Gesellschaft DKG und der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde DGM
- Arbeitsgruppe Keramische Schichten
- Arbeitsgruppe Verstärkung keramischer Werkstoffe
- Arbeitsgruppe Polymerkeramik
- Arbeitsgruppe Ausgangspulver

Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)
- Arbeitsgruppe Chemie am Bau
- Fachgruppe Anstrichstoffe und Pigmente
- Fachgruppe Angewandte Elektrochemie

Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)
- Fachausschuss 4.16 Unkonventionelle Aktorik

GfKORR Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V.
- Arbeitskreis Korrosionsschutz in der Elektronik und Mikrosystemtechnik

ICOM International Council of Museums
- Committee for Conservation

Institute for Environmental Simulation (GUS)
International Advisory Board of Journal of Sol-Gel-Science and Technology
International Conference on Coatings on Glass and Plastics (ICCG)
- Programm-Ausschuss

ISGS International Sol-Gel-Society

Journal of Nano Research (TTP Switzerland, ed.)
- Editorial Board

LEADER-Aktionsgruppe Neckar-Odenwald-Tauber

Materials Valley e.V. – Kompetenznetzwerk für Materialforschung und Werkstofftechnik

mst–Netzwerk Rhein Main
- Kompetenznetzwerk Mikrosystemtechnik

Nano and Hybrid Coatings Conference
- Konferenzpräsidium

NanoMat – Netzwerk Nanomaterialien
Nanonetz Bayern e.V.
Nanotech Europe Berlin 2009 Mitglied Programmkommission

Photonics West
- Programme Committee Optoelectronic Interconnects and Component Integration

Quadriga – Associated Network on Organic and Large Area Electronics

VDMA
- OEA-Plattform (Arbeitsgemeinschaft Organic Electronics Association)

Verein Deutscher Ingenieure (VDI/DIN)
- Kommission Reinhaltung der Luft

Wirtschaftförderung Heilbronn, Industrie und Handelskammer (IHK)
Würzburger Forschungsverbund Funktionswerkstoffe

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 59 Institute. 17 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,6 Milliarden Euro. Davon fallen 1,3 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studentinnen und Studenten eröffnen sich an Fraunhofer-Instituten wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

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

Itzehoe
Lübeck
Rostock
Bremerhaven
Oldenburg
Bremen
Hannover
Potsdam
Berlin
Teltow
Braunschweig
Oberhausen
Dortmund
Paderborn
Magdeburg
Cottbus
Halle
Duisburg
Aachen
Schmallenberg
Kassel
Schkopau
Leipzig
Dresden
Sankt Augustin
Erfurt
Euskirchen
Jena
Freiberg
Gießen
Ilmenau
Wachtberg
Chemnitz
Darmstadt
Würzburg
Bayreuth
Kaisers-
lautern
St. Ingbert
Wertheim
Bronnbach
Erlangen
Saarbrücken
Fürth
Karlsruhe
Nürnberg
Pfinztal
Ettlingen
Straubing
Stuttgart
Freising
Augsburg
Garching
Freiburg
München
Oberpfaffenhofen
Kandern
Prien
Holzkirchen
Efringen-Kirchen

IMPRESSUM

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC
Marketing und Kommunikation
Neunerplatz 2
97082 Würzburg
www.isc.fraunhofer.de

Konzeption und Koordination

Marie-Luise Righi

Texte und Redaktion

Marie-Luise Righi
Beatrix Dumsky
Martina Hofmann
Prof. Dr. Gerhard Sextl
oder genannte Ansprechpartner

Grafiken und Diagramme

Winfried Müller

Layout und Produktion

Katrin Selsam-Geißler
Frank-Wolf Zürn, Profil G.b.R, Reichenberg

Übersetzung

Burton, Van Iersel & Whitney GmbH, München

Bildquellen

wie angegeben, alle anderen Abbildungen: Fraunhofer ISC und
Knud Dobberke für Fraunhofer ISC
Ingo Peters für Fraunhofer ISC
Robert Emmerich, Universität Würzburg

© Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC, Würzburg 2010