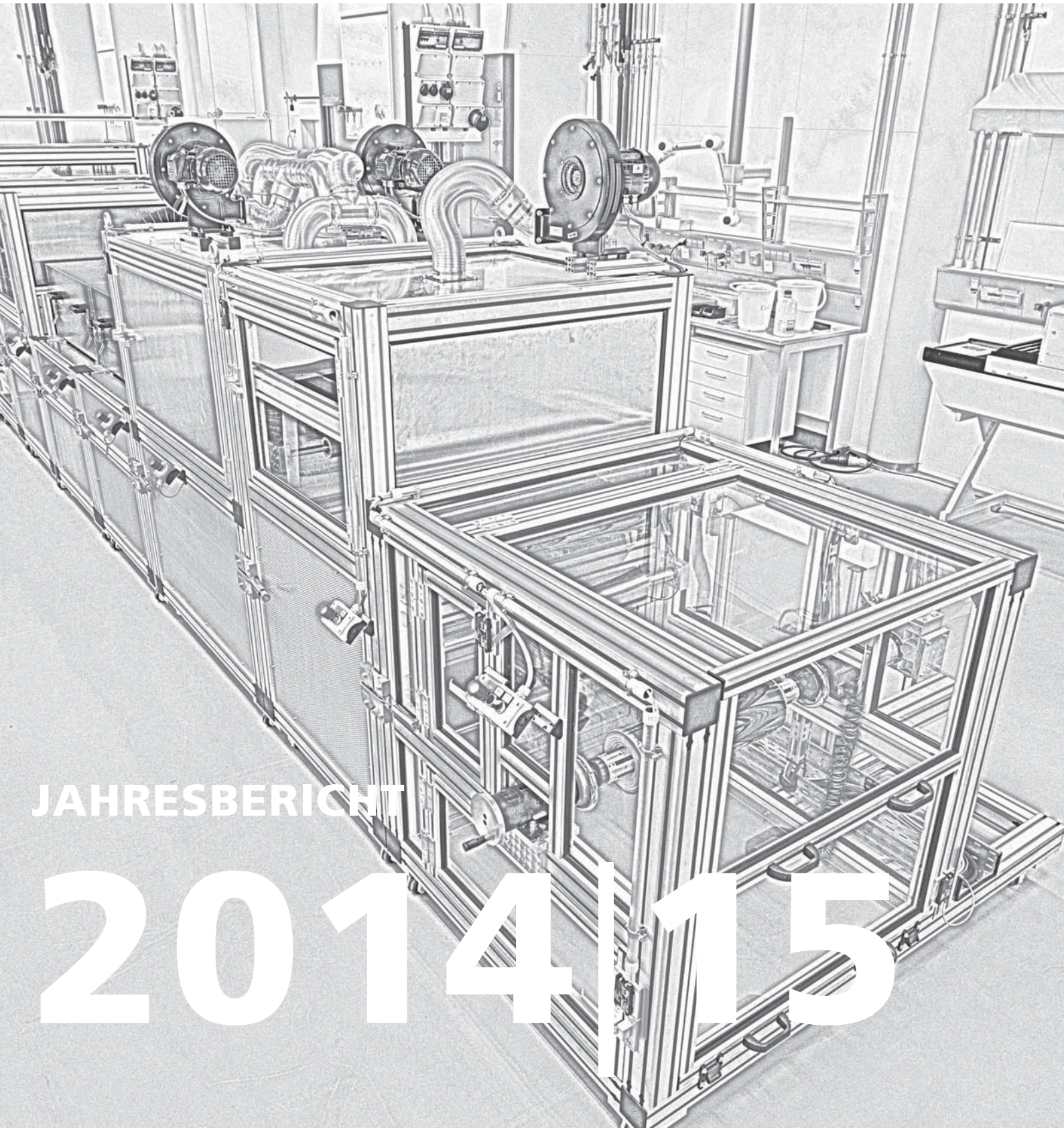
Fraunhofer
ISC

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SILICATFORSCHUNG ISC



JAHRESBERICHT

2014|15

ROLLE-ZU-ROLLE-BESCHICHTUNGSANLAGE IM REINRAUM (KLASSE ISO 8)

Die Anlage ermöglicht durch ihren modularen Aufbau eine flexible Anpassung an unterschiedliche Substrate und Beschichtungsmaterialien. Auch feste Substrate können stückweise beschichtet werden. Ein Sintermodul steht zur Härtung keramischer Beschichtungen zur Verfügung.

VORWORT

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

ein verantwortungsvoller Umgang mit Ressourcen ist aus der Verpflichtung gegenüber nachfolgenden Generationen und unter wirtschaftlichen Aspekten eine Notwendigkeit. Ressourcen zu ***ge***brauchen, aber nicht zu ***ver***brauchen, diesem Paradigmenwechsel widmet sich das Fraunhofer ISC als eines der führenden Werkstoffinstitute. Vor diesem Hintergrund stehen Fachkompetenz und Produktions-Know-how der Mitarbeiter des Instituts im Dienst der effizienten Umsetzung von Produkt- und Prozessinnovationen gemeinsam mit und für unsere Partner aus großen und kleinen Unternehmen.

Mit der Initiierung von neuen Forschungseinrichtungen wie der Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS und den Anwendungszentren Ressourceneffizienz und Textile Faserkeramik an den Hochschulen Aschaffenburg und Hof sowie den Forschungsaktivitäten in unseren Schwerpunktthemen Energie, Umwelt und Gesundheit stehen wir an der Spitze dieses Wandels. Erfolge wie die Initiierung und erfolgreiche Etablierung der Europäischen Forschungsplattform »EIT – KIC RawMaterials«, der Start des deutschen Netzwerks »German Resource Research Institute« (GERRI), , und der Deutschen Phosphor-Plattform, die unter dem Dach der Projektgruppe IWKS im November 2013 gegründet wurde und seit März diesen Jahres unter starker Beteiligung der Industrie in den unabhängigen Status eines gemeinnützigen Vereins überführt wurde, bestätigen diesen Weg. In diesem Zusammenhang freut es besonders, dass innovative und nachhaltige Forschungsthemen auch extern hohe Anerkennung finden. So wurde Dr. Karl Mandel für seine Arbeit »Wasserreinigung und Rohstoffrecycling mit nanomagnetischen Helfern« mit dem Deutschen Studienpreis der Körber-Stiftung ausgezeichnet, dem renommiertesten Nachwuchspreis in der deutschen Forschungslandschaft – und konnte zum gleichen Thema auch den Hugo-Geiger-Preis der Fraunhofer-Gesellschaft sowie den Rektor-Max-Meyer-Preis in Würzburg in Empfang nehmen.

Das ganze Institut gratuliert und freut sich mit Herrn Dr. Mandel über diese Auszeichnungen.

Die mittlerweile auf mehr als 60 Mitarbeiter angewachsene Projektgruppe IWKS absolvierte im Herbst 2014 erfolgreich ihre Zwischenevaluierung und bekam »grünes Licht« für den weiteren Aufbau und die Finanzierung der geplanten Neubauten an den beiden Standorten Alzenau und Hanau. Das Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL startete im vergangenen Juni in Kooperation mit den renommierten Textilexperten der Hochschule Hof-Münchberg das Fraunhofer-Anwendungszentrum für Textile Faserkeramik. Gemeinsam sollen neue Wege bei der Fertigung keramischer Faserverbundwerkstoffe erschlossen werden. Mit der Fertigstellung des neuen Institutsgebäudes für das Zentrum HTL im Frühjahr 2015 erreichten die über 60 Mitarbeiter in Bayreuth einen weiteren wichtigen Meilenstein.

Eine Zwischenevaluierung brachte im vergangenen November auch das Zentrum für Angewandte Elektrochemie ZfAE mit Bravour hinter sich. Der Kreis der externen Gutachter aus Industrie und Forschung hob die wissenschaftliche Exzellenz hervor wie auch die ausgeprägte Anwendungsorientierung und die ausgezeichnete Infrastruktur, die am Fraunhofer ISC in den vergangenen Jahren für die Entwicklung von Batteriematerialien und Speicherkonzepten sowie für die Prüfung von Batteriezellen aufgebaut wurden. Dem Fraunhofer ISC wurde darüber hinaus bescheinigt, eines der wenigen herausragenden Institute zu sein, die auf dem Gebiet der Festkörperelektrolyte in Deutschland forschen. Der kontinuierlich steigende Wirtschaftsertrag des jungen Zentrums ist Beleg dafür, dass die Themen richtig gesetzt wurden.

Erfolgreiche Produktentwicklungen wie eine neue Generation von Dentalmaterialien, vorgestellt in einem Gastbeitrag unseres langjährigen Kooperationspartners VOCO GmbH, das Gerät ArtCut® für die medizinische Forschung oder der Gesture Control Seat, der gemeinsam mit der Firma ISRINGHAUSEN umgesetzt wurde, sind Beispiele für die große Bandbreite des

Die Institutsleitung des Fraunhofer ISC
Prof. Dr. Gerhard Sextl, Institutsleiter
Dr. Rolf Ostertag, stellv. Institutsleiter (seit Juli 2015 im Ruhestand)

Instituts. Forschungsprojekte – teils bilateral, teil in europäischen Netzwerken – wie der Ersatz kritischer Elemente in Permanentmagneten, der Ersatz von Blei in Druckfarben für Glas oder in Hightech-Anwendungen wie der flexiblen Elektronik, die Umstellung von Materialformulierungen auf den Einsatz nachwachsender Rohstoffe wie bei der Entwicklung von bioabbaubaren Barriereschichten zeigen, wie vielfältig die Ansatzpunkte für eine nachhaltige Nutzung von Ressourcen sind. Mehr über diese und weitere Themen können Sie im vorliegenden Jahresbericht lesen, der ganz im Zeichen unserer Projektarbeit umgestaltet wurde.

An dieser Stelle möchte ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer ISC – im Mutterinstitut, in der Projektgruppe IWKS und im Zentrum HTL – sowie des Lehrstuhls für Chemische Technologie für Materialsynthese an der Universität Würzburg meinen Dank aussprechen für ihre engagierte, kreative und kompetente Arbeit. Sie machen den Erfolg des Instituts erst möglich. Unseren Partnern aus Industrie und Forschung danke ich für die konstruktive Zusammenarbeit und das Vertrauen in unsere Ideen und Lösungsansätze. Der Fraunhofer-Gesellschaft, institutionellen Förderern und Partnern sowie insbesondere dem bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Medien, Energie und Technologie und dem hessischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst danke ich im Namen aller Mitarbeiter für das in unsere strategische Planung gesetzte Vertrauen und die großzügige Förderung unserer Vorhaben.

Prof. Dr. Gerhard Sextl

INHALTSVERZEICHNIS

4 Vorwort
6 Inhaltsverzeichnis

DAS INSTITUT

10 Organisation
12 Kuratorium
14 Werkstoffbasierte Lösungen
16 Daten und Fakten

PROJEKTBERICHTE 2014

20 Gastbeitrag VOCO GmbH: Admira Fusion – Dentale ORMOCER®e 4.0
Dentalprodukte aus Projekten mit...
24 SkinHeal – Effektiv für die Wundheilung
26 Wunden im Auftrag der Forschung
28 Fraunhofer-Attract 3DNanoCell
30 Bioabfall als Rohstoff nutzen
32 Bioabbaubare Barriereschichten
34 Flashed! Touchscreens für flexible Displays
36 Bleifreie Spezialgläser für den Druck
38 Fahrzeugsitz mit Gesten steuern
40 Pedelec – Optimierung von Batterien
42 Climate for Culture
44 Stofftrennung in der Glasschmelze
46 Kritische Metalle Kobalt und Molybdän
48 Neue Permanentmagnete für saubere Energietechnologien
50 Keramische Prepreg-Fertigung
52 Generative Fertigung – Keramik, Metall
54 Präparationsverfahren – Cryo-CSP

ALLGEMEINES

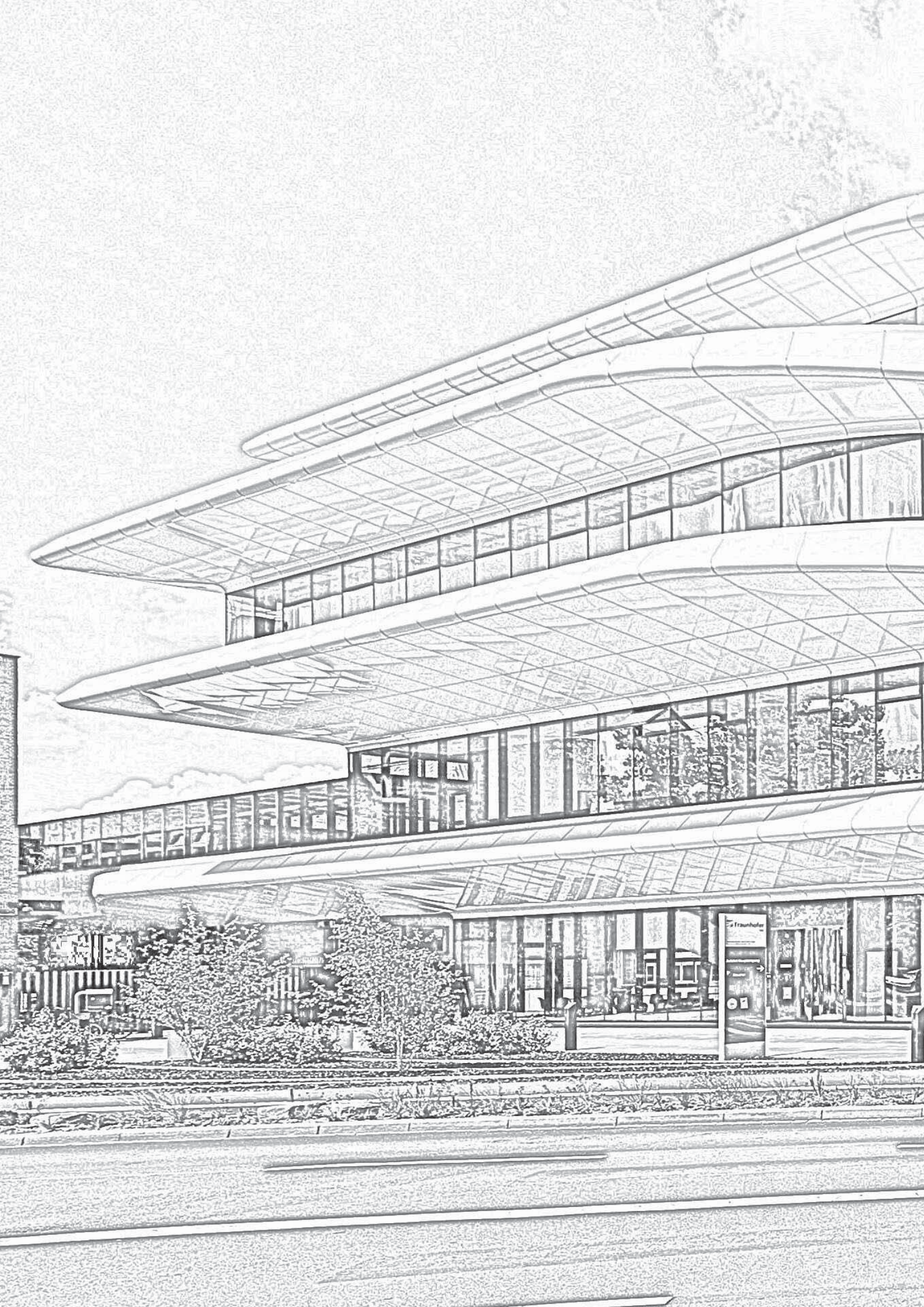
56 Fraunhofer-Gesellschaft
58 Impressum

ANHANG

Projektinformationen
Patente
Vorträge und Publikationen
Lehrtätigkeiten
Kooperationen
Mitgliedschaften
Messebeteiligungen

Den Anhang des Jahresberichts 2014/15 finden Sie im Internet unter
http://www.isc.fraunhofer.de/publikationen.html

DER JAHRESBERICHT ALS APP


Fraunhofer

DAS INSTITUT

ORGANISATION

INSTITUTSLEITER
FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SILICATFORSCHUNG ISC

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

ISC INTERNATIONAL – DR. MICHAEL POPALL | ✆ +49 931 4100-522

VERTRIEB – DR. VICTOR TRAPP | ✆ +49 931 4100-370

KOMPETENZEN

Werkstoffchemie – Dr. Thomas Hofmann | ✆ +49 931 4100-350
Anwendungstechnik – Dr. Gerhard Domann | ✆ +49 931 4100-551
Dienstleistung – Dr. Jürgen Meinhardt | ✆ +49 931 4100-202

ZENTREN

Zentrum für Angwandte Elektrochemie ZfAE – Henning Lorrmann | ✆ +49 931 4100-519
Center Smart Materials CeSMa – Dieter Sporn | ✆ +49 931 4100-400

Fraunhofer Attract 3DNanoCell – Prof. Dr. Doris Heinrich | ✆ +49 931 3181862

ADMINISTRATION

Betriebswirtschaft
Axel Kuhn | ✆ +49 931 4100-102

Zentrale Dienste | Bau
Michael Martin | ✆ +49 931 4100-111

Marketing und Kommunikation
Marie-Luise Righi | ✆ +49 931 4100-150

E-mail-Adressen: vorname.nachname@isc.fraunhofer.de | z. B. marie-luise.righi@isc.fraunhofer.de

Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS | Alzenau und Hanau
Prof. Dr. Rudolf Stauber
✆ + 49 6023 32039-801
www.iwks.fraunhofer.de

GESCHÄFTSBEREICHE

Ressourcenstrategie | Kritikalitätsstudien
Dr. Jörg Nispel | ✆ +49 (0) 6023 32039-821
Wertstoffkreisläufe
Dr. Carsten Gellermann | ✆ +49 (0) 6023 32039-800
Substitution
Dr. Roland Gauß | ✆ +49 (0) 6023 32039-873

Marketing und Kommunikation
Sandra Meßmer | ✆ +49 (0) 6023 32039-871
Presse
Dr. Eva Bertrand | ✆ +49 (0) 6023 32039-866

Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL | Bayreuth
PD Dr. Friedrich Raether
✆ +49 921 786931-60
www.htl.fraunhofer.de

GESCHÄFTSBEREICHE

STANDORT WÜRZBURG
Keramikfasern
Dr. Andreas Nöth | ✆ +49 931 4100-450
Wärmeprozesse
Jens Baber | ✆ +49 931 4100-248

STANDORT BAYREUTH
CMC Bauteile
Dr. Jens Schmitt | ✆ +49 921 786931-25
Hochleistungskeramiken
Dr. Friedrich Raether | ✆ +49 921 786931-60
Metall-Keramik-Komposite
Dr. Sarig Nachum | ✆ +49 921 786931-510
Verwaltungsleitung
Angelika Schwarz | ✆ +49 921 786931-20

STANDORT MÜNCHBERG
Textile Faserverarbeitung
Prof. Frank Ficker | ✆ +49 9281 409 8570

KURATORIUM

DIPL.-ING. PETER E. ALBRECHT
Boston Scientific Technlogie Zentrum GmbH, München

PROF. DR. MARTIN BASTIAN
SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

PROF. DR. PETER BEHRENS
Institut für Anorganische Chemie, Leibniz Universität Hannover

DIPL.-ING. HANS-MICHAEL GÜTHER
SGL Brakes GmbH, Meitingen

DR. TIM HOSENFELDT
Schaeffler Technologies AG & Co. KG, Herzogenaurach

PROF. DR. HUBERT JÄGER
Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, Technische Universität Dresden

PROF. DR. MARTIN JANSEN
Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart

PROF. DR. STEFAN LEIBLE
Präsident der Universität Bayreuth

DR.-ING. EGBERT LOX
Senior Vice President Government Affairs, Umicore S.A., Brüssel

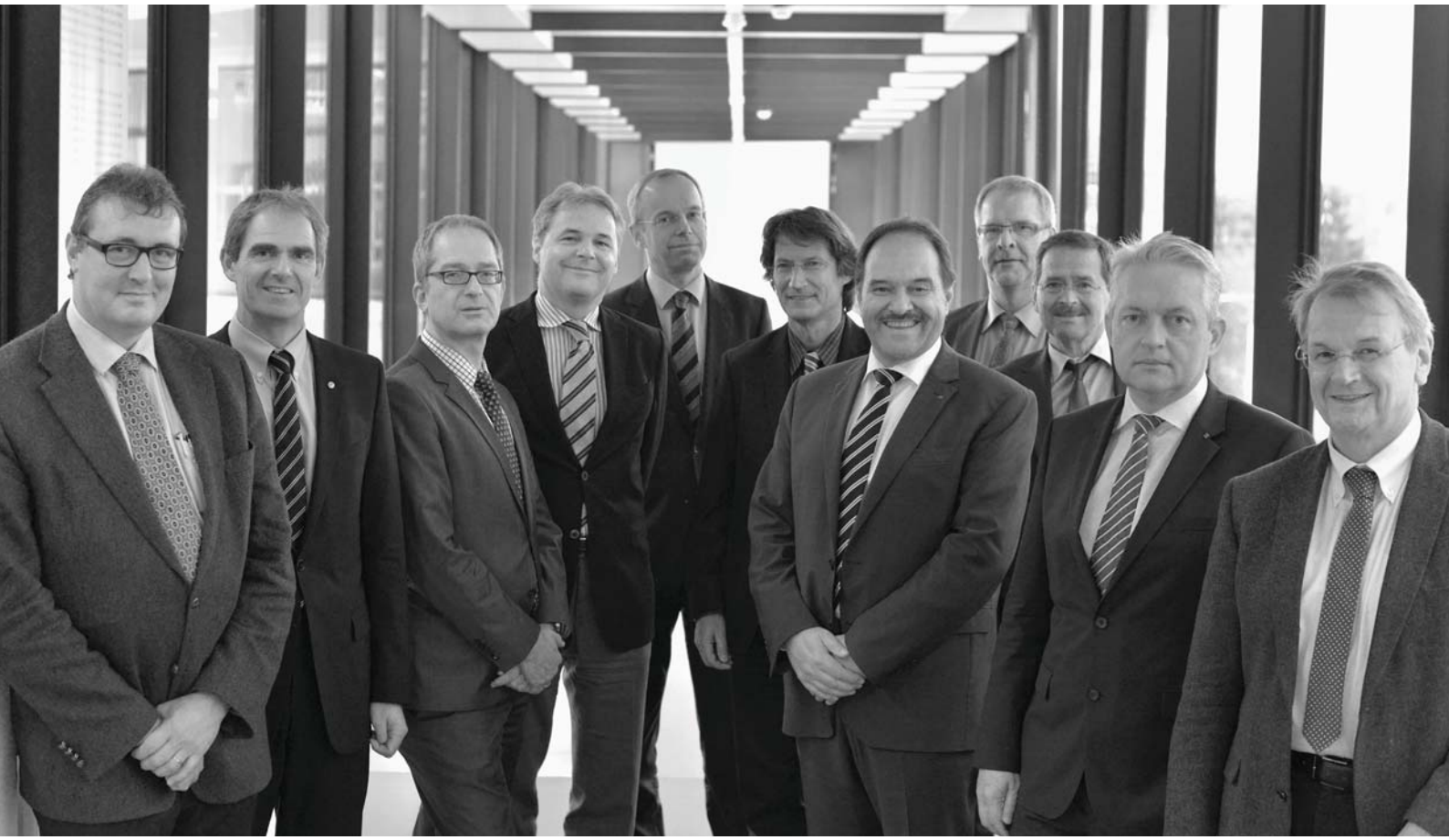
DR. PETER NAGLER
Evonik Industries AG, Essen

HENRY RAUTER
VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen

MR DR. STEFAN WIMBAUER
Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, München

PROF. DR. MARTIN WINTER
MEET Batterieforschungszentrum, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster

DR. DETLEF WOLLWEBER
Wuppertal



WERKSTOFFBASIERTE LÖSUNGEN

DAS FRAUNHOFER ISC AUF EINEN BLICK

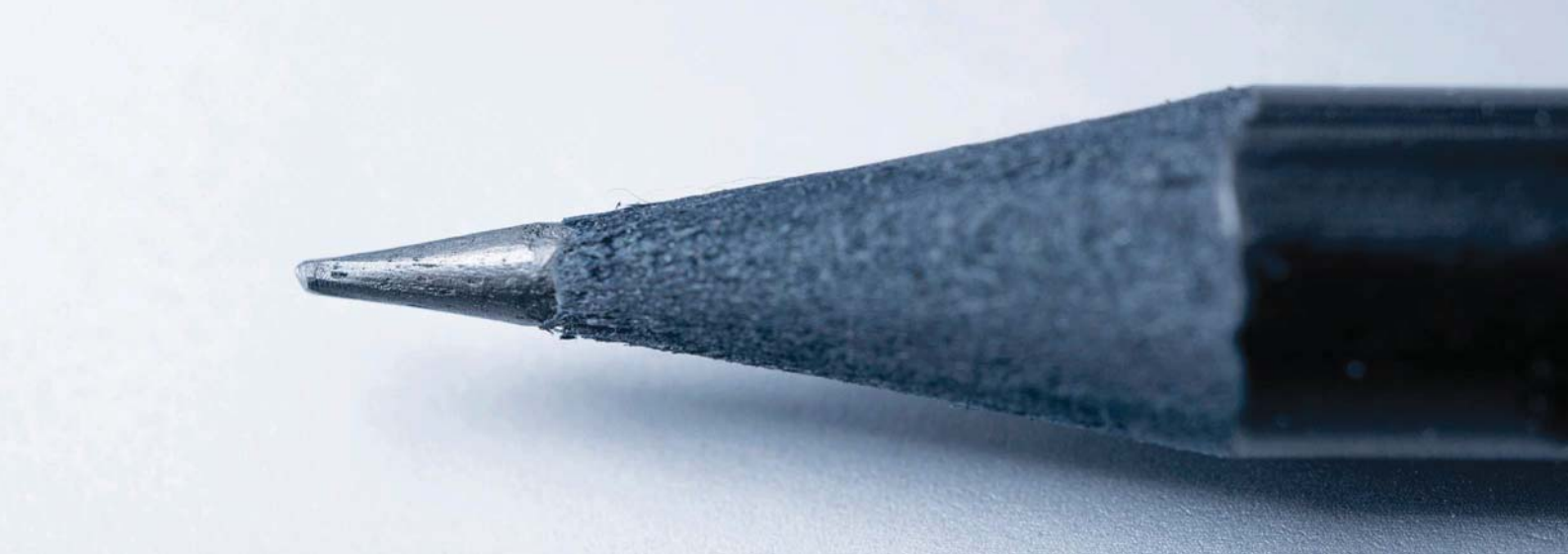
DATEN UND FAKTEN

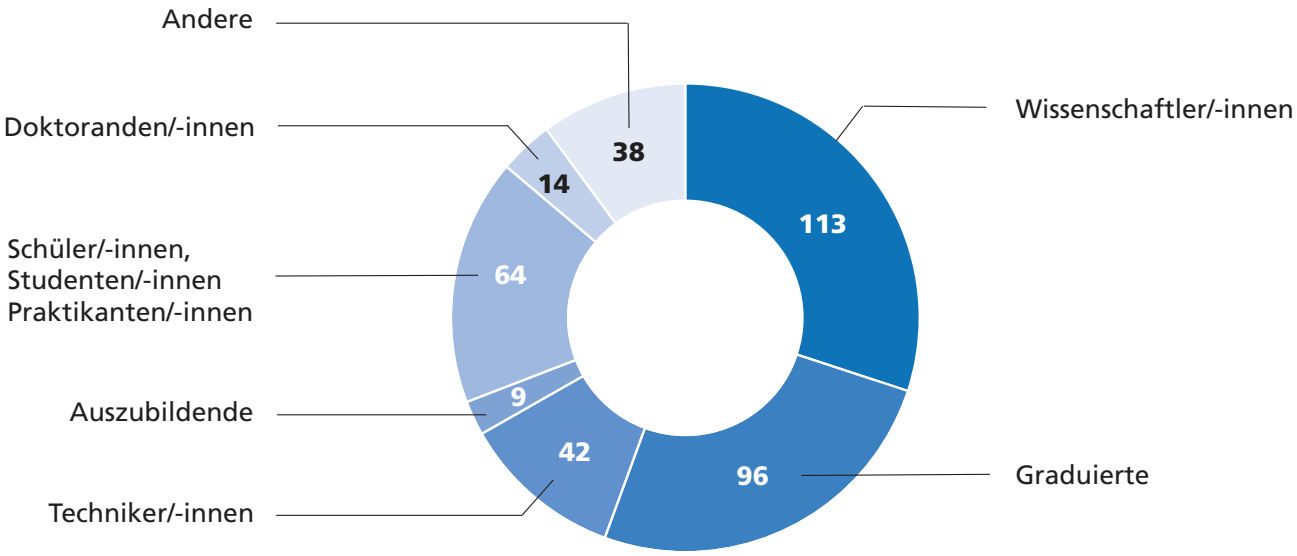
Personal 2014	ISC	HTL	IWKS	Gruppe
Stammpersonal	181	29	41	251
Wissenschaftler/-innen	69	15	29	113
Graduierte	77	10	9	96
Techniker/-innen	35	4	3	42
Weiteres Personal	56	43	26	125
Auszubildende	9	0	0	9
Schüler, Studenten, Praktikanten (zum 31.12.2014)	23	30	11	64
Doktoranden/-innen (*)	6/11	4	4/11	14/22
Andere	18	9	11	38

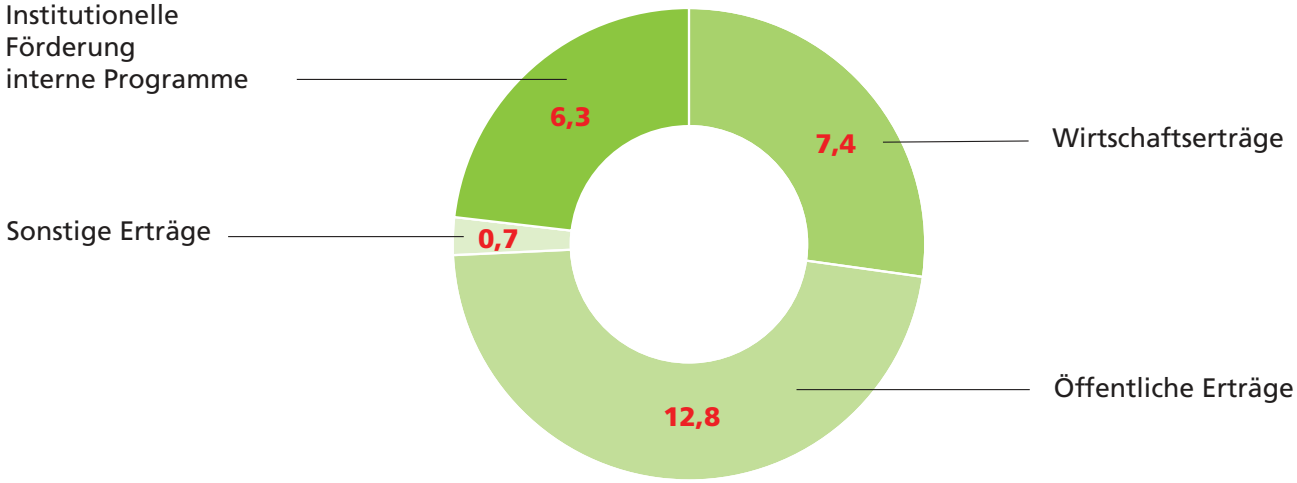
(*) zusätzliche Doktoranden an den assoziierten Universitäten Würzburg, Augsburg, Darmstadt, Gießen

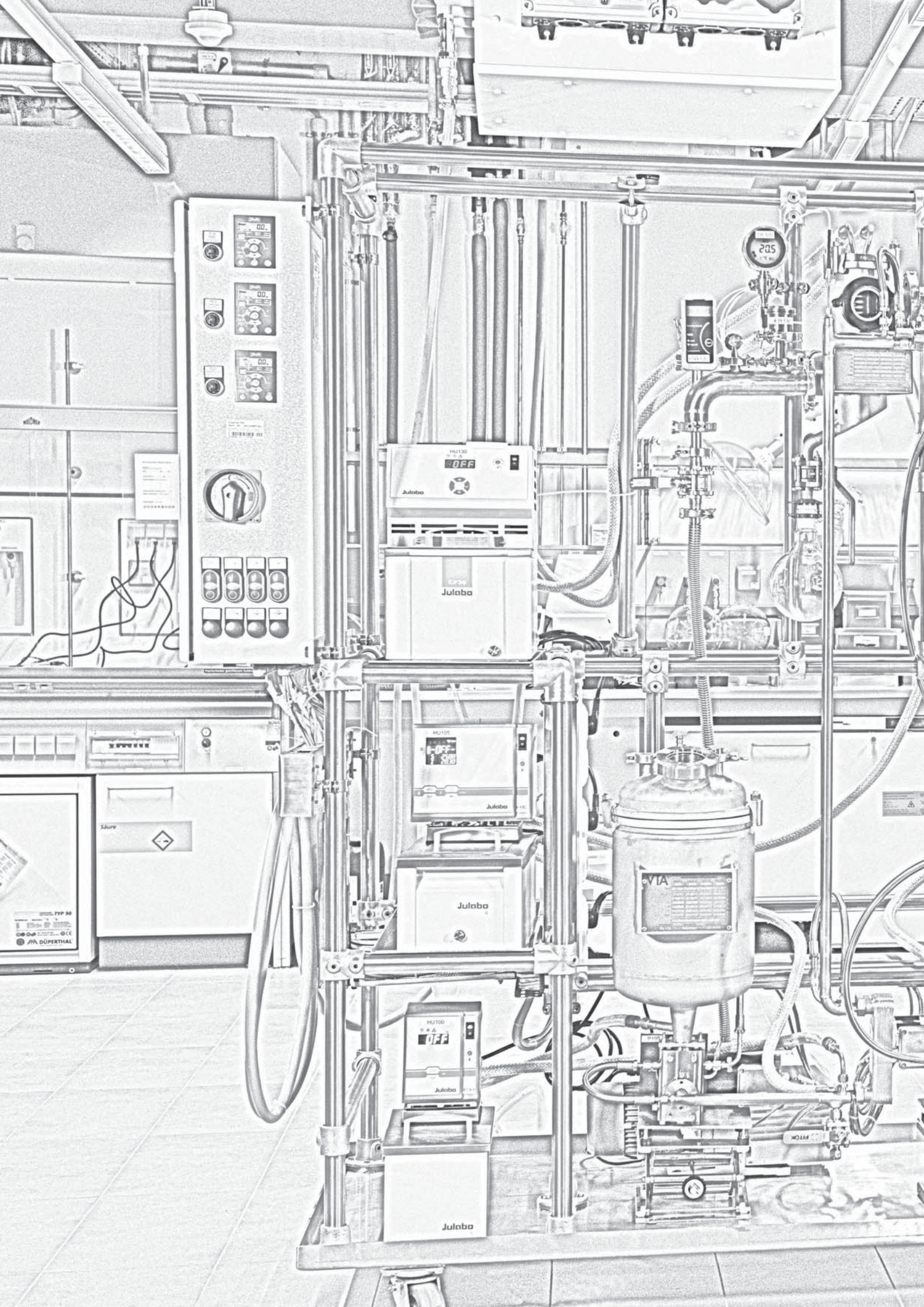
Personal (Kopfzahl)	**376**

Finanzen 2014	ISC	HTL	IWKS	Gruppe
Betriebshaushalt Aufwand	17,3	5,0	5,3	27,6
Personalaufwand	11,3	2,3	2,4	16,0
Sachaufwand	6,0	2,7	2,9	11,6
Betriebshaushalt Erträge	16,8	5,1	5,3	27,2
Wirschaftserträge	5,4	1,3	0,7	7,4
Öffentliche Erträge, EU-Erträge	6,5	3,2	3,1	12,8
Sonstige Erträge	0,6	0,0	0,1	0,7
Institutionelle Förderung, interne Programme	4,3	0,6	1,4	6,3
Investitionshaushalt Aufwand	**0,9**	**0,4**	**1,6**	**2,9**
Investitionshaushalt Erträge	**1,2**	**0,5**	**1,6**	**3,3**
Wirtschaftsertrag	31,1%	27,5%	13,5%	27,1%
Ausbauinvestitionen Aufwand	**3,3**	**9,4**	**1,1**	**13,8**
Gesamthaushalt Aufwand (in Mio €)	**21,5**	**14,8**	**8,0**	**44,3**




Andere
Doktoranden/-innen
Schüler/-innen,
Studenten/-innen
Praktikanten/-innen
Auszubildende
Techniker/-innen
Wissenschaftler/-innen
Graduierte
38
14
64
9
42
96
113


Institutionelle
Förderung
interne Programme
Sonstige Erträge
Wirtschaftserträge
Öffentliche Erträge
6,3
0,7
7,4
12,8


Julabo
OFF
Säure
DÜPERTHAL

PROJEKTBERICHTE 2014

ADMIRA FUSION – DENTALE ORMOCER®e 4.0

GASTBEITRAG VON DR. REINHARD MALETZ, VOCO GMBH – DIE DENTALISTEN

Wenn es zwei sehr gute Werkstoffe gibt, gehört es zur Natur der Wissenschaft, sich die Frage zu stellen, ob und wie sich beide zusammenführen lassen, um ihre Stärken zu bündeln und damit einen noch leistungsfähigeren Werkstoff zu erhalten. Mit der Entwicklung der ORMOCER®e (eingetragene Marke der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.) stand ab den 90er Jahren ein vielseitiger Werkstoff zur Verfügung, der auch im dentalen Fachbereich viel Aufmerksamkeit erfuhr. Ermöglichte er doch – als Basis in Füllungsmaterialien eingesetzt – eine verbesserte Biokompatibilität und einen reduzierten Schrumpf und Schrumpfungsstress. Im Unterschied zu den recht kleinen konventionellen Monomeren basieren ORMOCER®e auf einem ausgedehnten Silizium-Sauerstoff-Netzwerk, an das über Verbindungseinheiten polymerisierbare Methacrylat-Einheiten angeknüpft sind.

Zusammenführung zweier Werkstoffwelten

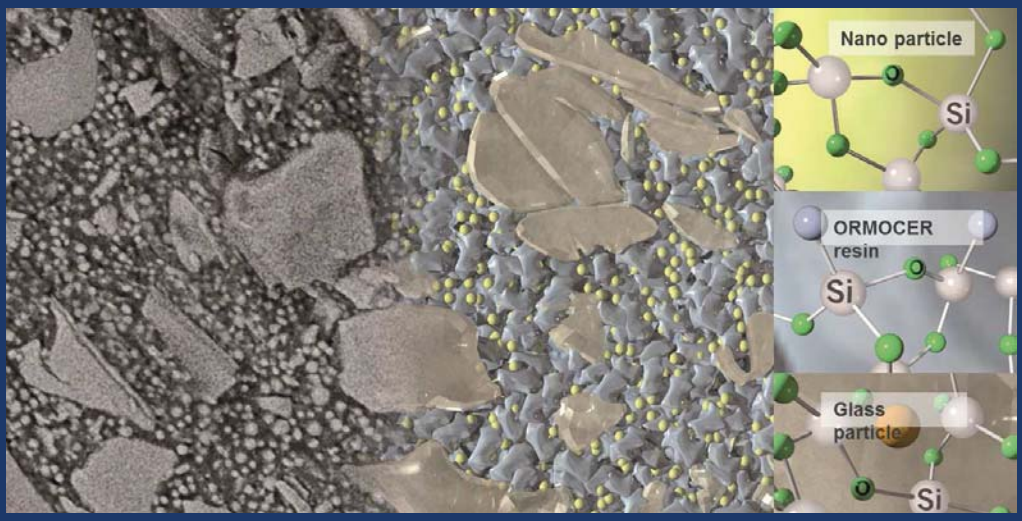
Die Nanotechnologie indes bereicherte die Gruppe der in der zahnmedizinischen Füllungstherapie angewendeten Materialien um das Nanohybrid-Komposit, welches durch herausragende Werkstoffeigenschaften in besonderem Maße Stabilität und angenehmes Handling vereint. Diese Eigenschaften gepaart mit den Vorzügen der ORMOCER®e – das war eine Vision, deren Realisierung sich die Forschung und Entwicklung zum Ziel gesetzt hatte. Allerdings erwies sich die Umsetzung als eine noch größere und langwierigere Herausforderung als ursprünglich angenommen. Denn es genügt natürlich nicht, an der Entwicklung beider genannten Technologien maßgeblich beteiligt gewesen zu sein und die Ergebnisse auch ganz konkret in Füllungsmaterialien (namentlich Admira sowie Grandio und GrandioSO) greif- und anwendbar gemacht zu haben. Tatsächlich erforderte es eine langjährige, intensive und akribische Forschungsarbeit, um ein Füllungsmaterial zu entwickeln, das Nanohybrid- und ORMOCER®-Technologie verbindet und zugleich noch stärker keramisch geprägt ist.

Keine reine ORMOCER®-Basis

Der Weg dorthin war lang: Denn obschon das enorme Potenzial der Stoffklasse der ORMOCER®e früh erkannt und weiterentwickelt wurde, zog die dentale Fachwelt es zu Beginn der 2000er-Jahre zu Recht vor, von ORMOCER®-basierten Kompositen zu sprechen, da der reinen ORMOCER®-Chemie noch klassische Dental-Monomere zur besseren Verarbeitbarkeit zugesetzt wurden (neben Initiatoren, Stabilisatoren und Pigmenten). So wurden der Harzmatrix bestimmte Mengen an Monomeren beigefügt, um die Viskosität der Matrix so einstellen zu können, dass eine gute Verarbeitbarkeit der Füllungsmaterialien resultierte. Ohne Beigabe dieser Monomere wäre die Konsistenz des Materials zu fest gewesen.

Monomere erhöhen Schrumpfungsstress

Während des Polymerisationsverlaufs bildet sich aus den zunächst beweglichen Monomermolekülen ein zunehmend dichteres Netzwerk aus. Initial kann das Material die Volumenschrumpfung durch Fließvorgänge ausgleichen (Prä-Gel-Zustand). Sobald das Netzwerk jedoch so dicht wird, dass der Gelpunkt überschritten ist, ist der Spannungsausgleich durch Nachfließen von Material nicht mehr möglich (Post-Gel-Zustand). Aufgrund der im Post-Gel-Zustand ausgelösten Spannungen entstehen im Material innere Spannungen, die wiederum



© Voco GmbH & Co. KG

zum Ablösen von den Kavitätenwänden und zur Randspaltbildung führen können. Füllungsmaterialien auf ORMOCER®-Basis enthalten aufgrund der anorganischen ORMOCER®-Grundstruktur bereits deutlich weniger Monomere als konventionelle Komposite. Somit bedeutete die Entwicklung der ORMOCER®-Technologie schon einen großen Gewinn dank der Reduzierung der Schrumpfung und des Schrumpfungsstresses sowie der verbesserten Gewebeverträglichkeit.

Gut, aber noch nicht gut genug

Außer Frage stand jedoch andererseits das Bewusstsein, dass die Schrumpfungsstress-Reduktion noch wesentlich stärker ausfiele, könnte ein vollständiger Verzicht auf klassische Monomere erreicht werden.

Damit waren also Ausgangssituation und Ziel klar umschrieben: Ein Material, das vollständig auf klassische Monomere wie BisGMA, TEGDMA oder UDMA verzichtet und auf einem ORMOCER®-Harz basiert, stand nicht zur Verfügung. Diesen Umstand galt es zu ändern und die Geschichte der ORMOCER®e fortzuschreiben.

Fortschreibung der Geschichte

Noch einmal der dreigliedrige Aufbau der ORMOCER®-Matrix zur Erinnerung: Sie setzt sich zusammen aus dem anorganisch-kondensierbaren Molekülsegment, dem organisch-polymerisierbaren Molekülsegment und der Verbindungsseinheit. Diese Einheit ist in Länge, Struktur und Zusammensetzung variabel. Die anorganische Einheit dient dem Aufbau eines nanoskaligen anorganischen Si-O-Si-Netzwerkes. Diese anorganische Polykondensation ist der finale Synthese-Schritt der ORMOCER®-Synthese und findet also schon in der Herstellung der Matrix statt. Die organische Polymerisation wird erst im Rahmen der Anwendung des Füllungsmaterials in der Kavität durch blaues Licht ausgelöst. Auf diese Weise wird ein anorganisch-organisches Hybridpolymer herausgebildet, das sich von den klassischen Methacrylaten mit rein organischen Monomeren abgrenzt durch seinen auf einem Si-O-Gerüst basierenden Backbone.

Funktionalisierung führt zu Fusion

Die entscheidende Schraube, an der gedreht werden musste, befand sich im so genannten Verbindungsstück der Harzmatrix. Um jetzt den Sprung zu schaffen von dem ORMOCER®-basierten Komposit zu einem Füllungsmaterial, das auf einem reinen ORMOCER®-Harz ohne Zugabe klassischer Monomere beruht, brauchte es spezielle Verbindungseinheiten, die die Viskosität des entstehenden Kondensats niedrig halten, gleichzeitig aber Parameter wie Transluzenz oder Wasseraufnahme optimieren. Die reine ORMOCER®-Harzmatrix zeichnet sich insbesondere durch ihre großen Moleküle aus, die wesentlich mehr Verknüpfungsmöglichkeiten (Doppelbindungen) bieten als klassische Monomere. Diese Doppelbindungen sorgen für einen sehr festen und gleichzeitig sehr sicheren Verbund, der durch die Polymerisation entsteht. Somit können keine Matrixbestandteile freigesetzt werden, es gibt keine auslaugbare Matrix. Zudem bieten die großen ORMOCER®-Moleküle die chemisch-physikalische Grundlage dafür, dass während der lichtinduzierten organischen Polymerisation (Aushärtung) die Volumenabnahme verglichen mit einem klassischen Dimethacrylat-basierten Komposit per se deutlich reduziert ist.

Fusion führt zu »Keramik zum Füllen«

Der vollständige Verzicht auf klassische Monomere macht allerdings nur einen Teil des Charakters des Füllungsmaterials aus. Neuartig ist auch, dass dieses ORMOCER®-Harz mit der Nanohybrid-Füllstofftechnologie verbunden wurde. Siliziumoxidstrukturen dienen als Basis sowohl für die Füllkörper (Nano- und Glaskeramik-Füllkörper) als auch für die Harzmatrix. Ein bislang einmaliges Vorgehen, das die neue »Pure Silicate Technology« begründet. Ermöglicht wurde dies durch die Weiterentwicklung des Sol-Gel-Verfahrens aus der Nanohybrid-Technologie, das erstmals auch für diese Werkstoffklasse adjustiert werden

konnte. Durch diesen Transfer der Nanohybrid-Technologie in die ORMOCER®-Harzmatrix ist es gelungen, den Füllstoffgehalt im entwickelten Füllungsmaterial auf 84 Gewichtsprozent einzustellen.

Potenzial genutzt

Von den bisher am Markt etablierten Füllungsmaterialien auf ORMOCER®-Basis hebt sich das von VOCO in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC entwickelte Admira Fusion deshalb in vielfacher Weise ab. Die Veränderungen lassen sich so beschreiben: Das enorme Potenzial der ORMOCER®e, das bis dato nicht vollumfänglich genutzt werden konnte, entfaltet sich dank des nun ermöglichten Verzichts auf klassische Monomere und der erstmalig gelungenen Einbindung der Nanohybrid-Technologie in die Harzmatrix in der »Pure Silicate Technology«. Kurzum: Was bereits gut war, wurde weiter verbessert, und darüber hinaus wurde ein Weg gefunden, noch ungenutzte Potenziale auszuschöpfen.

Das neue Füllungsmaterial ist als stopfbares Material (Admira Fusion) und als Fast-Track-Variante für bis zu 4-mm-starke Inkremente (Admira Fusion x-tra) erhältlich und lässt sich verarbeiten wie ein konventionelles Komposit. Es ist kompatibel mit allen Bondings, Lichthärtegeräten und allen Kompositen. Seine herausragenden Stärken sind die sehr niedrige Polymerisationsschrumpfung (1,25 Volumenprozent) und der niedrige Schrumpfungsstress (3,87 MPa), die hohe Biokompatibilität und mechanischen Eigenschaften auf höchstem Niveau.

© Voco GmbH & Co. KG

Autoreninformation:
Dr. Reinhard Maletz, Leiter der Abteilung Forschung und Entwicklung,
Voco GmbH, Cuxhafen

Kontakt:
Voco GmbH
Anton Flettner Str. 1-3
27472 Cuxhaven
Telefon +49 4721 719-208

GLASKERAMIK DENTALPRODUKTE AUS PROJEKTEN MIT …

Markus Vollman
Director Development & Application Technology, DeguDent GmbH, Hanau

»Die DeguDent GmbH in Hanau – eine Tochter des weltweit tätigen Dentalunternehmens Dentsply International Inc. – ist eines der führenden Unternehmen in der Zahntechnikbranche. Die gemeinsame Produktentwicklung einer neuen Dentalglaskeramik mit dem Fraunhofer ISC, die hohen ästhetischen wie auch materialtechnischen Ansprüchen gerecht wird, ist ein Meilenstein für die zeitgemäße, effiziente und patientenfreundliche Versorgung. Diese herausragende Materialinnovation wie auch die technische Umsetzung wurde in der verhältnismäßig kurzen Entwicklungszeit von knapp vier Jahren bewältigt – ein Erfolg, der nur dank der hervorragenden Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Team um Herrn Dr. Durschang und Herrn Dr. Probst möglich war.«

© DeguDent GmbH, Hanau

Henry R. J. Rauter
Geschäftsführer, VITA Zahnfabrik – H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen

»Seit rund 90 Jahren entwickeln wir als Familienunternehmen erfolgreich Produkte für die Zahnprothetik. Vor diesem Hintergrund stand auch die Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISC an der Dentalglaskeramik für eine neue Produktgeneration, die nach nur vier Jahren konzentrierter Material- und Prozessentwicklung zu VITA Suprinity führte. Wir schätzen es sehr, im Fraunhofer ISC einen so kompetenten Partner für unsere Produktentwicklung gefunden zu haben und freuen uns auf weitere Projekte.«

© VITA Zahnfabrik – H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen

SKINHEAL – EFFEKTIV FÜR DIE WUNDHEILUNG

DR. JÖRN PROBST | ✆ +49 931 4100-300 | joern.probst@isc.fraunhofer.de

Chronische offene Wunden gehören zu den häufigsten Erkrankungen und belasten das deutsche Gesundheitssystem jährlich mit etwa acht Milliarden Euro. Sie werden durch weit verbreitete Krankheiten wie Diabetes oder Krebs verursacht und betreffen vor allem alte Menschen. Angesichts des demografischen Wandels werden deshalb die Fallzahlen und damit auch die Kosten künftig weiter ansteigen. Die Behandlung chronischer Wunden stellt qualitativ und wirtschaftlich hohe Anforderungen. Sie ist langwierig und die Rückfallquote ist hoch. Nicht zuletzt, weil die in ihrer Lebensqualität stark eingeschränkten Patienten ihre Therapievorgaben auf Dauer kaum einhalten können.

Eine richtige, zuverlässige und vor allem frühzeitige Therapie ermöglicht z. B. im Falle des diabetischen Fußsyndroms, jede zweite Amputation zu vermeiden. Das würde nicht nur weniger Leid für die Betroffenen bedeuten, sondern auch eine Kostenersparnis von ca. 400 Millionen Euro im Jahr für das deutsche Gesundheitssystem. So können Qualität und Wirtschaftlichkeit mit dem medizinischen Fortschritt Hand in Hand gehen.

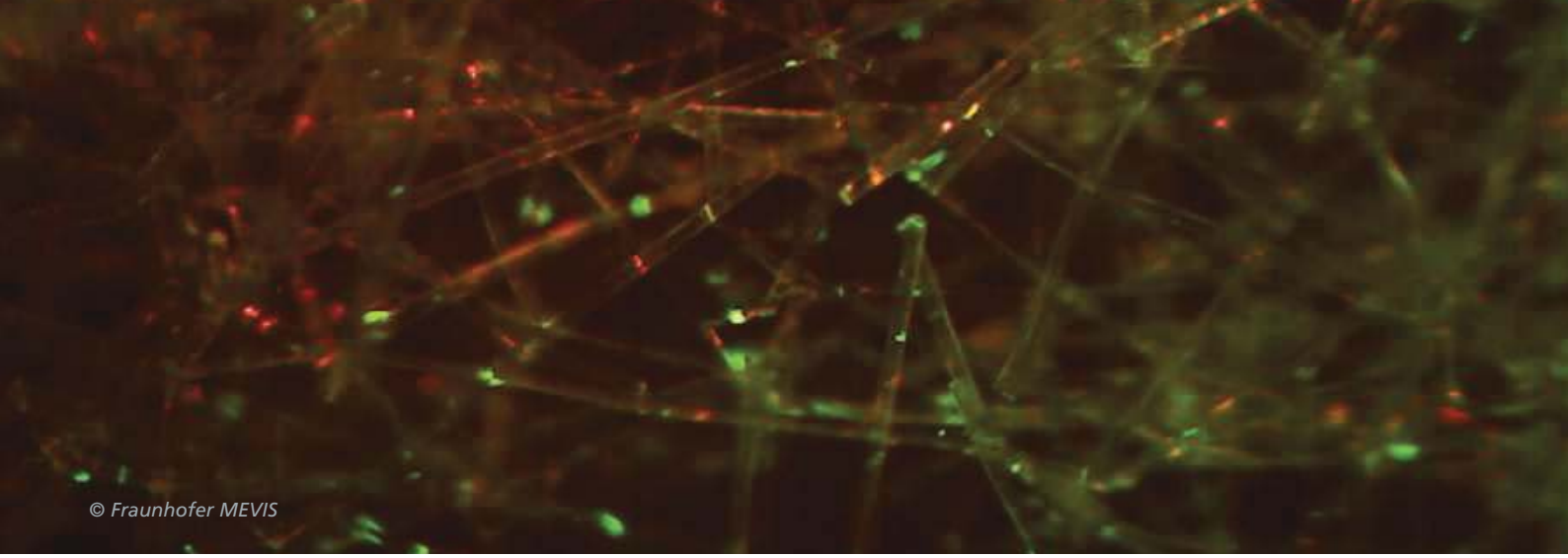
Fünf Fraunhofer-Institute bündeln ihre Kompetenzen

Um effektive und bezahlbare Therapieformen für chronische Wunden zu entwickeln und zu evaluieren, haben Forscher aus den fünf Fraunhofer-Instituten ISC, IGB, IME, EMFT und MEVIS im Projekt »SkinHeal« ihre Kompetenzen gebündelt. Kernziel des vom Fraunhofer ISC koordinierten Projekts war es, mithilfe eines künstlichen Wundmodells die Behandlung chronischer Wunden zu optimieren und auch zukünftig bezahlbar zu machen.

Dazu kamen in diesem Projekt vier Entwicklungen zusammen, die alle diesem Ziel dienen, aber auch unabhängig voneinander vermarktet werden können.

Ein Element ist das neu entwickelte In-vitro-Wundmodell für chronische Wunden. Die Basis bildete ein bereits existierendes Modell gesunder Haut. Durch die Injektion von Zytokinen – Proteine, die das Wachstum und die Differenzierung von Zellen regeln – wird im Modell ein spezielles Wundmilieu erzeugt. Die Zytokine sorgen dafür, dass bestimmte Makrophagentypen entstehen, wie sie für chronische Wunden charakteristisch sind. Das so vorbereitete Hautmodell wird dann mit dem vom Fraunhofer ISC entwickelten Gerät ARTcut® – Artificial Tissue Cutter standardisiert und reproduzierbar verletzt. Resultat sind die gewünschten chronischen Modellwunden mit definiertem Eigenschaftsprofil für Form, Durchmesser und Tiefe.

Das neue In-vitro-Wundmodell erlaubt es, verschiedene Therapiemöglichkeiten in einem sehr frühen Stadium zu testen. So können Wundeinlagen, wie das vom Fraunhofer ISC entwickelte Kieselgelfaservlies, pharmazeutische Wirkstoffe oder eine Kombination beider eingesetzt und auf ihre Wirksamkeit hin geprüft werden. Außerdem sind solche Modelle eine langgesuchte Alternative zu Tierversuchen, getreu nach der »3R-Regel« von William M.S. Russell und Rex L. Burch. Die drei R stehen für » Replacement, Reduction, Refinement« (Ersetzen, Verringern, Verbessern). Die Anzahl an Tierversuchen kann durch alternative Methoden auf ein Minimum reduziert werden, die auf humanen Zellen basierenden Modellsysteme sind in Bezug auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen besser geeignet als Tierversuche und das Ersetzen zielt auf den fallweise kompletten Verzicht auf Tierversuche ab.



© Fraunhofer MEVIS

Wundheilung mittels Aktoren ermitteln

Ein anderer Schwerpunkt des Projekts war die Einarbeitung mikrofluidischer Aktoren und Sensoren in einen Wundverband – federführend vom Fraunhofer EMFT umgesetzt. Diese Aktoren und Sensoren ermöglichen es, die Wundflüssigkeit hinauszubefördern, ohne dass der Verband gewechselt werden muss. Die Wundflüssigkeit wird anschließend analysiert, um über charakteristische Biomarker Rückschlüsse auf den jeweiligen Status des Heilungsprozess zu ziehen. Alternativ können die Aktoren der Wunde Sauerstoff zuführen, z. B. für eine Sauerstofftherapie.

Der dritte Schwerpunkt ist die Modifizierung der bereits auf dem Markt zugelassenen Wundeinlagen. Dazu werden beispielsweise spezielle Silicate in die Fasermatrix eingebracht, die aktive Wirkstoffe wie Immuntherapeutika kapseln. Diese Wirkstoffe werden beim Wundheilungsprozess freigesetzt und können diesen fördern. Die Funktionalität der aus der Matrix freigesetzten Immuntherapeutika kann schnell anhand etablierter Untersuchungsmethoden überprüft und bestätigt werden.

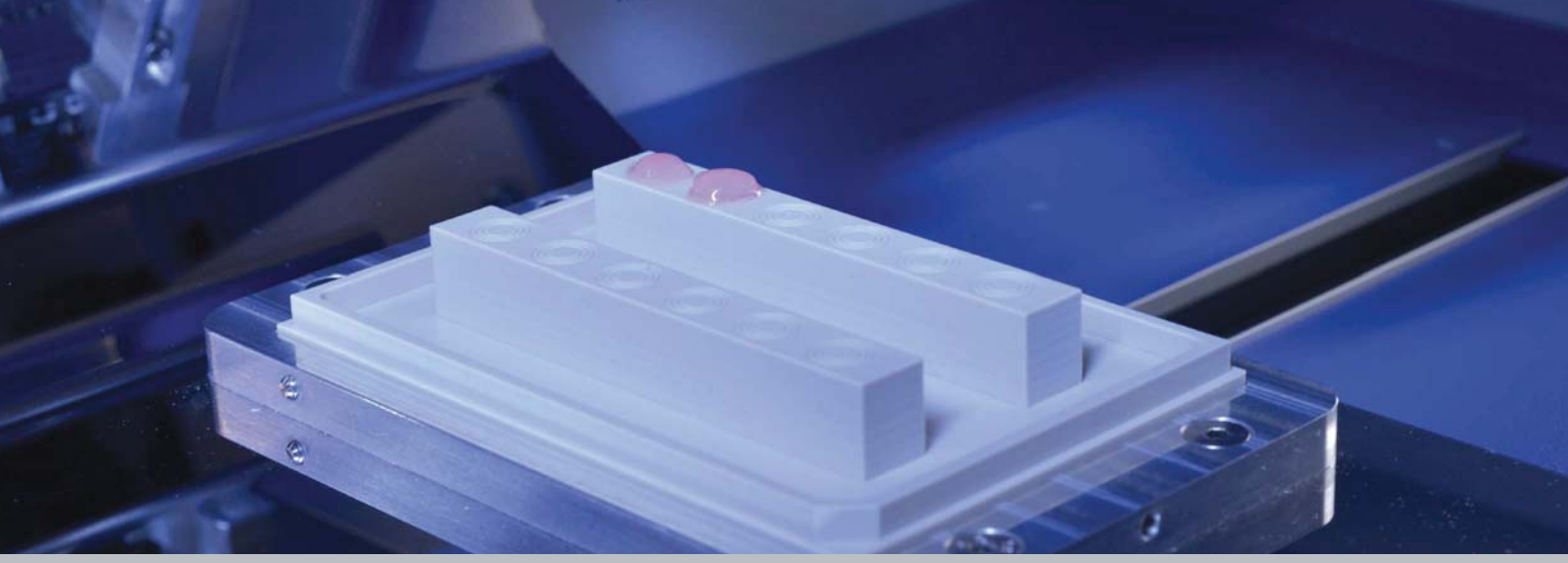
Patient dokumentiert selbst die Wundsituation via Smartphone

Die vierte Entwicklung im Projekt »SkinHeal« dient der Verbesserung fluoreszenzbasierter Bildgebung, die den Forschern, den behandelnden Ärzten und Pflegekräften und langfristig auch den Patienten selbst Aufschluss geben soll, ob die Wunde wie erhofft abheilt. Für eine effektive optische Bildgebung werden am Fraunhofer ISC entwickelte oberflächenmodifizierte lumineszierende Nanopartikel eingesetzt, die an für die Wundheilung charakteristische Biomarker wie etwa oben genannten Makrophagentypen binden. Ein bestimmtes Verhältnis dieser Biomarker identifiziert den Status der Wundheilung und gibt Indikationen für einen normalen, das heißt gesunden, oder chronischen Verlauf. Können die fluoreszierenden Partikel aufgrund fehlender Biomarker keine Bindung eingehen, scheidet der Körper sie wieder aus. Koppeln sie aber an, so wird dies visualisiert über die Anregung mit LED-Licht und einen entsprechenden Fluoreszenzdetektor – die Wunde »leuchtet«in verschiedenen Farben der markierten Biomarker. Langfristig gesehen wären regelmäßige Aufnahmen der Wundsituation durch den Patienten oder pflegende Angehörige z. B. via Smartphone möglich, sodass ein Monitoring von zuhause aus erfolgen kann. Dazu wurde bereits ein erster Prototyp entwickelt, der eine Diagnose durch Aufnahme der Makrophagen-Verteilung mittels zweier Farbdioden und Auswertungssoftware möglich macht.

Eine solche Form der Selbstdiagnose könnte Patienten zahlreiche Arztbesuche oder sogar Krankenhausaufenthalte ersparen und so zu einer Kostensenkung in der Gesundheitsversorgung führen.

SkinHeal kann noch weitere Kosten senken

Das neue In-vitro-Wundmodell kann natürlich auch in anderen Forschungsbereichen eingesetzt werden, wie z. B. bei der Entwicklung neuer Wirkstoffe und Medikamente. Eine schnellere und effizientere Auswahl der geeignetsten Wirkstoffkandidaten auf Basis der in vitro ermittelten Wirksamkeiten verringert die Anzahl der notwendigen Testreihen in der Produktentwicklung und spart somit Zeit und Kosten. Zudem lassen sich klinische Studien mit den Ergebnissen entsprechender In-vitro-Vorversuche deutlich effizienter planen und notwendige Tierversuche auf ein Minimum reduzieren.



WUNDEN IM AUFTRAG DER FORSCHUNG

DR. JOERN PROBST | ✆ 0931 4100-300 | joern.probst@isc.fraunhofer.de

Wer an Möglichkeiten zur Therapie von Erkrankungen forscht, braucht statistisch verwertbare Forschungs- und Untersuchungsmodelle. Für vergleichende Wundheilungsstudien ist vor allem die Reproduzierbarkeit solcher »In-vitro-Wunden« essentiell. Am Fraunhofer ISC wurde in Zusammenarbeit mit der Projektgruppe des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahren IGB und dem Translationszentrum »Regenerative Therapien für Krebs- und Muskuloskelettale Erkrankungen« (TLZ) das Gerät »ARTcut® – Artificial Tissue Cutter« entwickelt und patentiert, mit dem in künstlich hergestellte Haut standardisierte Wunden gesetzt werden können. Die Maschine ist in dieser Form einmalig. Im Fokus der Forschung der Fraunhofer Wissenschaftler stehen chronische Wunden, die z. B. als Begleiterscheinung des Altersdiabetes auftreten – Diabetes mellitus II – das sogenannte diabetische Fußsyndrom. Es ist neben dem »Dekubitus« und dem »Ulcus Cruris« die dritthäufigste chronische Wunde der Haut.

Chronische Wunden simulieren

Um chronische Wunden erforschen zu können, werden künstliche Hautmodelle eingesetzt, mit denen entsprechende Wunden auf biochemischem Weg »simuliert« werden. Zytokine – Proteine, die das Wachstum und die Differenzierung von Zellen regeln – werden in das Hautmodell injiziert und sorgen dafür, dass ein bestimmter Makrophagentyp entsteht, der charakteristisch für chronische Wunden ist. Dann kommt ARTcut® zum Einsatz und sorgt dafür, dass die so vorbereiteten Hautmodelle reproduzierbar verletzt werden. Nur so können Forschung und Entwicklung statistisch relevante und verlässliche Aussagen zur Evaluierung neuer Therapiemöglichkeiten erhalten.

Fehlerfreie Reproduzierbarkeit

ARTcut® verletzt unter sterilen Bedingungen die jeweiligen Proben einheitlich und standardisiert. Die Wunden setzt ein software-gesteuerter hohlzylindrischer Bohrer. Überwacht von einer Lichtschranke fährt er an die Oberfläche des Hautmodells und bohrt sich mit vorgegebener Drehzahl und Vortriebsgeschwindigkeit in die künstliche Haut. Die Tiefe der zu setzenden Wunde wird separat eingestellt, sodass die Verletzungsform einheitlich wird. Eine zusätzliche Qualitätskontrolle erfolgt über ein Kamerasystem, das Bilder der Bohrung erfasst und speichert. Der Arbeitsraum im Gerät lässt sich mittels einer UV-C-Lampe zeitgesteuert sterilisieren.

ARTcut® erlaubt es erstmalig, in alle Proben innerhalb einer Titerplatte in kurzer Zeit reproduzierbar gleichförmige Wunden zu setzen. Für den Durchsatz bei der Probenherstellung bedeutet das eine signifikante Verbesserung. Außerdem werden Fehler nahezu ausgeschlossen. Wird hingegen ein solches Hautmodell durch einen wissenschaftlichen Mitarbeiter manuell verletzt, kommen bei aller Sorgfalt doch immer individuelle Verwundungen zustande, denn niemand kann fünfzig oder mehr Wunden mit gleicher Tiefe und konstantem Krafteinsatz identisch setzen. Für die Forschung ist aber gerade die identische Verletzung entscheidend für die spätere Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Evaluierung neuer Therapiemöglichkeiten

Eine Therapierung von Wunden ist möglich entweder mittels Wundeinlagen, wie das vom Fraunhofer ISC entwickelte Kieselgelfaservlies, oder über pharmazeutische Wirkstoffe, oder

mit einer Kombination von beidem. Nach der Verletzung des Hautmodells werden verschiedene Therapeutika zusammen mit Diagnostika, mit denen der Wundheilungsverlauf nachverfolgt werden kann, eingebracht. Letztere bestehen aus lumineszierenden Nanopartikeln, deren Oberfläche mit spezifischen Antikörpern funktionalisiert wurde. Sie binden spezifische Biomarker, aus denen sich der Wundheilungsstatus ablesen lässt.

Tierversuche werden auf ein Minimum reduziert

Auf dem Gebiet der Wundheilungsforschung kommen zunehmend In-vitro-Wundmodelle zum Einsatz. Dies ist ein erster Schritt, um realen Bedingungen möglichst nahe zu kommen, damit auf dieser Basis entwickelte Therapien auf den Menschen übertragen werden können. Hinter der großen Vision aller In-vitro-Modelle steht die »3R-Regel« von Russell und Burch: Replacement, Reduction und Refinement. So geht es auch bei ARTcut® unter anderem darum, Tierversuche auf ein Mindestmaß zu reduzieren, zu ersetzen oder zumindest strenger zu reglementieren. Je mehr Aussagen mit einem solchen Modell über Wundheilungsprozesse und neue Therapieformen für chronische Wunden abgeleitet werden können, desto weniger Tierversuche müssen gemacht werden.

ARTcut® – flexibel und modular

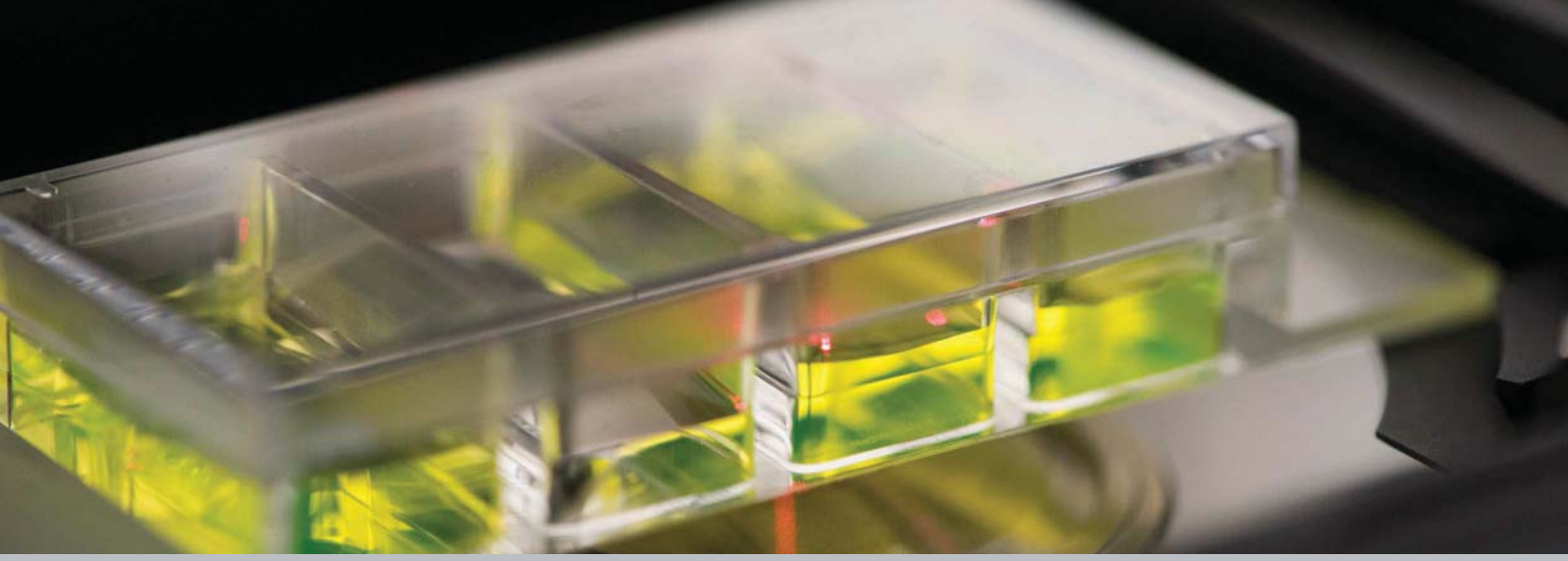
ARTcut® soll nicht nur in Würzburg zum Einsatz kommen. Mit ihrer Entwicklung wollen die Wissenschaftler des Fraunhofer ISC die Wundforschung weltweit voranbringen. Da das Gerät in einer hochflexiblen Modulbauweise konzipiert ist, kann es an individuelle Bedürfnisse von Funktion und Design leicht angepasst bzw. entsprechend erweitert werden. Schon ist die nächste Generation von ARTcut® in Planung, die dann auch weitere Routinearbeiten übernehmen können soll, etwa die biochemische Herstellung des Wundmilieus chronischer Wunden oder die definierte Gabe eines Therapeutikums.

Langjährige Expertise im Bereich biokompatibler und bioresorbierbarer Materialien

Das unter der Leitung von Frau Prof. Dr. Heike Walles vom Fraunhofer IGB neugegründete Translationszentrum »Regenerative Therapien für Krebs- und Muskuloskelettale Erkrankungen« (TLZ) am Universitätsklinikum Würzburg soll als Partner der Industrie den schnellen Transfer von Entwicklungen aus der Forschung in neue Produkte unterstützen.

Im Translationszentrum arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Ingenieurinnen und Ingenieure des Lehrstuhls Tissue Engineering und Regenerative Medizin (TERM) des Universitätsklinikums Würzburg und des Würzburger Fraunhofer ISC zusammen. Ebenfalls direkt eingebunden sind das Muskuloskelettale Zentrum Würzburg (MCW), der Lehrstuhl für Funktionswerkstoffe der Medizin und der Zahnheilkunde (fmz), das Deutsche Zentrum für Herzinsuffizienz (DZHI) sowie das Tumorzentrum der Uni Würzburg (CCC).

In Zusammenarbeit mit dem Bereich Gesundheit des Fraunhofer ISC werden u. a. neue Trägermaterialien für das Tissue Engineering sowie biofunktionalisierte Partikel für Diagnostik und Therapie entwickelt und getestet. Das Fraunhofer ISC verfügt über langjährige Expertise und umfangreiches Equipment im Bereich biokompatibler und bioresorbierbarer Materialien und stellt GMP-nah ausgestattete Labore für die Entwicklung, Analytik und Herstellung zellbasierter Trägersysteme bereit.



FRAUNHOFER-ATTRACT 3DNANOCELL

PROF. DR. DORIS HEINRICH | ✆ 0931 31-81862 | doris.heinrich@isc.fraunhofer.de

Ziel der Forschung von ATTRACT 3DNanoCell unter der Leitung von Prof. Dr. Doris Heinrich ist es, die Einflüsse von Umgebung und Materialoberfläche auf lebende Zellen zu untersuchen, um Zellfunktionen kontrollieren und steuern zu können. Wesentliche Schlüsselfaktoren für viele Prozesse im Körper, beispielsweise bei der Gewebebildung, der Geweberegeneration oder bei Immunreaktionen, sind dabei die Migration und Adhäsion lebender Zellen. So wird auch das Einwachsen von Implantaten im Körper wesentlich hiervon bestimmt. Die Untersuchungen sollen unter anderem die Weiterentwicklung von Implantatwerkstoffen und ihrer Oberflächengestaltung voranbringen und so eine neue Generation von Implantaten ermöglichen.

Zellmigration und -adhäsion

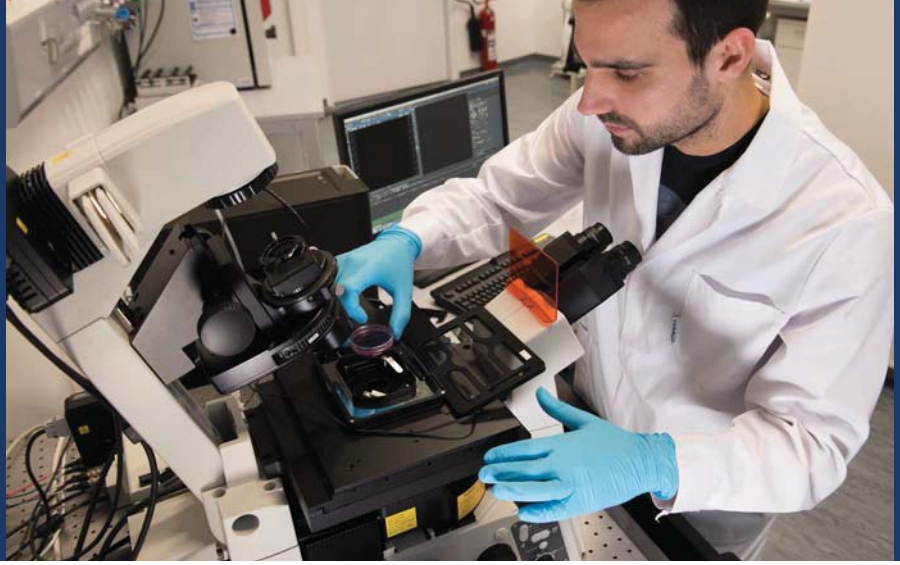
Mit Adhäsion wird das Vermögen von Zellen beschrieben, sich an einer Oberfläche anzuheften und dort haften zu bleiben. Ein Beispiel ist die Adhäsion von Immunzellen in der Blutbahn an der Gefäßwand, wenn ein entsprechendes Signal eine Immunreaktion an dieser Stelle verlangt. Im Beispiel Immunreaktion etwa migrieren spezifische Zelltypen in das umliegende Gewebe, um dort aktiv einen Krankheitserreger zu bekämpfen. Da verschiedene Zelltypen im Körper zum Teil sehr unterschiedliche Aufgaben erfüllen, stehen ihnen deshalb auch unterschiedliche Arten von Migrations- und Adhäsionsmechanismen zur Verfügung.

Zellmodelle

Zur Untersuchung dieser körpereigenen Prozesse stehen verschiedene Modell-Zellsysteme bereit. Die Grundanforderungen an Modellsysteme lebender Zellen sind die leichte Verfügbarkeit, die einfache Kultivierung und die Geschwindigkeit, mit der Prozesse ablaufen. Diese Modellorganismen werden speziell für die Forschung gezüchtet und sind gut dokumentiert, sodass hier auf etablierte und abgesicherte Untersuchungsmethoden aufgebaut werden kann. An solchen Modellen werden von ATTRACT 3DNanoCell beispielsweise erste Untersuchungen zur Biokompatibilität von Materialien und Oberflächen gemacht. Anhand dieser Modellorganismen kann der zeitlich und finanziell aufwendigere Einsatz von humanen Zelllinien oder primären Humanzellen zur Absicherung der Verträglichkeit im Menschen auf ein geringes Maß beschränkt werden.

Simulation realistischer Modellumgebungen für die Zellmigration

Neben der chemischen Zusammensetzung des umgebenden Milieus und der Temperatur spielt auch die Topografie der Zellumgebung eine wichtige Rolle für das Verhalten biologischer Zellen. Während sich übliche Zellkulturen auf einer ebenen Fläche (Nährsubstrat, Träger) befinden, ist die Umgebung im Körper komplex und in der Regel dreidimensional strukturiert. Deshalb werden derzeit in Zusammenarbeit mit anderen Bereichen im Fraunhofer ISC verschiedene 3D-Substrate hinsichtlich ihrer Eignung als Modellumgebungen getestet, wie beispielsweise TPA-geschriebene 3D-Scaffolds oder Kieselgelfaservliese,



eine Entwicklung des Fraunhofer ISC für die Bereiche Wundheilung und Tissue Engineering.

Ziel bei der Entwicklung solcher Modellumgebungen ist es, ein möglichst realitätsnahes Verhalten der lebenden Zellen abzubilden, um die analytischen Voraussetzungen für ein detailliertes Verständnis der Vorgänge im Körper zu schaffen. Darüber hinaus soll neues Know-how für die chemische und topografische Gestaltung von Implantatoberflächen entwickelt werden.

Neue Biolabore mit Imaging Center bieten erstklassige Infrastruktur

Im Neubau Technikum III des Fraunhofer ISC am Hauptsitz in Würzburg wurde eine Reihe von neuen Biolaboren, klassifiziert als Gentechnik S1-Labore, geschaffen. Diese ermöglichen es jetzt, mit bestimmten lebenden Zellen sicher und adäquat umzugehen.

Die Ausstattung der Biolabore – insbesondere im Bereich der bildgebenden Verfahren – erlaubt die genaue Analyse der Wechselwirkung von lebenden Zellen mit ihrer unmittelbaren Umgebung, bestehend aus den zwei- oder dreidimensionalen Substratoberflächen, auf denen sie sich befinden. Damit kann unmittelbar die Wirkung von neuen Werkstoffen oder auch Wirkstoffen auf lebende Zellen beobachtet werden.

Für das Live Cell Imaging – also die digitale Aufnahme der Dynamik lebender Zellen – stehen verschiedene spezialisierte Fluoreszenzmikroskope zur Verfügung. Für die Beobachtung der Zellmigration, also der Fortbewegung lebender Zellen auf einer Oberfläche oder in einer 3D-Struktur, wird ein herkömmliches Fluoreszenzmikroskop mit einer Inkubationskammer verwendet, um den Zellen hinsichtlich CO_2-Gehalt, Temperatur und Luftfeuchte ideale Bedingungen bieten zu können. Mit dem Spinning Disk Confocal Microscope können sehr hohe zeitliche und räumliche Auflösungen in 3D erreicht werden. Es wird unter anderem für 3D-Rekonstruktionen, für die Untersuchung von Transportvorgängen innerhalb von Zellen oder auch zur Analyse der Verteilung von Zellen auf Scaffolds genutzt. Darüber hinaus steht ein STED-Mikroskop (STED – Stimulated Emission Deplesion) zur Verfügung, das aufgrund der speziellen Aufnahmetechnik Auflösungen weit unterhalb der Lichtwellenlängen ermöglicht (Super-Resolution) und die Anregung der Zellfluoreszenz mit bis zu acht verschiedenen Lichtwellenlängen in einem Messpunkt zulässt. Über eine Kooperation mit der Universität Leiden, an der eine eigene Forschungsgruppe von Prof. Heinrich etabliert ist, kann auf weitere hochspezialisierte Analyseinstrumente für biologische Vorgänge zurückgegriffen werden.

Kooperationsmöglichkeiten

ATTRACT 3DNanoCell bietet mit dem Imaging Center und dem Know-how über die Analyse biologischer Wechselwirkungen von Werkstoffen mit lebenden Zellen eine hervorragende Infrastruktur für In-vitro-Untersuchungen an Materialien und Wirkstoffen, die für den Einsatz im menschlichen Körper vorgesehen sind. Von der Präparation der zu untersuchenden Proben bis hin zur Planung und Durchführung von Testreihen an humanen Primärzellen stehen Kunden und Kooperationspartnern ein umfangreiches Instrumentarium sowie die biologische und werkstoffwissenschaftliche Expertise der Mitarbeiter ATTRACT 3DNanoCell zur Verfügung.

BIOABFALL ALS ROHSTOFF NUTZEN

DR. STEFAN HANSTEIN | ✆ +49 6023 32039-829 | stefan.hanstein@isc.fraunhofer.de

Nachwachsende Rohstoffe sind für die Industrie ein Schlüssel zur Verringerung der Abhängigkeit von erdölbasierten Materialien. Biogene Abfälle fallen in großen Mengen an und könnten als hochwertige Materialien weiterer Nutzung zugeführt werden. Forscher der Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS des Fraunhofer ISC wollen neue Verfahren dafür entwickeln. Wie lassen sich nachwachsende Rohstoffe als Ersatz fossiler Rohstoffe nutzen, ohne dabei in Konkurrenz um wertvolle Anbauflächen für die Nahrungsmittelproduktion zu treten? Diese Schlüsselfrage greifen Forscher der Fraunhofer-Projektgruppe IWKS in Alzenau auf. Die Idee: Biomaterialien, die ohnehin schon da sind, aber nicht mehr gebraucht werden – also Abfall – als Rohstoff nutzen.

Das Geschäftsfeld Biowerkstoffe der Projektgruppe IWKS befasst sich mit der Weiterverarbeitung pflanzlicher Reststoffe. Diese stammen als Abfallprodukte aus der Lebensmittel- oder der pharmazeutischen Industrie und bilden die Grundlage für neue Produkte und Anwendungen. Beispielsweise können sie als Ausgangsmaterial für Barriereschichten genutzt werden, wie sie unter anderem als Ummantelung zum Schutz gegen eine unkontrollierte Nährstoffauswaschung bei Düngergranulaten eingesetzt werden. Auch die Verpackung von Lebensmitteln kann durch den Einsatz von reststoffbasierten Barriereschichten optimiert werden. Sauerstoff- und Wasserdampfdurchlässigkeit lassen sich durch das organische Material minimieren. Das trägt zur Verlängerung der Haltbarkeit bei. Des Weiteren werden die pflanzlichen Rohstoffe genutzt, um naturfaserverstärkte Kunststoffe herzustellen. Als Haftvermittler eingesetzt können sie die mechanischen Eigenschaften des Kunststoffes verbessern.

Pflanzliche Reststoffe, die im Überfluss vorhanden sind, lassen sich so sinnvoll verwerten und tragen zur Schonung von lebensnotwendigen Ressourcen bei. Mittels neuer Verfahren kann aus bisherigen Abfallprodukten langfristige Wertschöpfung gesichert werden. Industriell umgesetzt bietet dies einen enormen Wettbewerbsvorteil, denn neben der Senkung von Rohstoffkosten wird auch ein großer Schritt in Richtung einer nachhaltigen Produktion gemacht.

Nutzung von faserreichen Pflanzenresten: Hemicellulosen holen auf

Die stoffliche Nutzung von Biomasse, die nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion gerät, wird auf allen Ebenen der Politik als wichtiges Element einer biobasierten Ökonomie angesehen. Die gestiegene und weiter steigende Nachfrage der Industrie nach Rohstoffen aus land- und forstwirtschaftlicher Produktion findet auf dem Parkett der internationalen Chemiekonzerne ihren Ausdruck im Kauf von Biotechnologieunternehmen oder in Kooperationen mit solchen Unternehmen, die die für die Primärraffination und Konversion der Rohmaterialien erforderlichen Verfahren in den Konzern einbringen. Namhafte Chemieunternehmen investieren in Schlüsseltechnologien wie zum Beispiel Enzymherstellung. Aufgrund der absehbaren großen Nachfrage nach pflanzlicher Biomasse sind insbesondere solche Rohstoffquellen attraktiv, durch die die langfristige Produktivität der Agrarökosysteme nicht gefährdet wird, allen voran die Verwertung von pflanzlichen Reststoffen der landwirtschaftlichen und industriellen Produktion, welche bislang ohnehin dem System entzogen wurden. Im Bereich der stofflichen Nutzung pflanzlicher Reststoffbiomasse wurden in den letzten Jahren mit öffentlicher Förderung Fortschritte bei der stofflichen Lignin-Nutzung erzielt, welches als Nebenprodukt der Papier- und Zellstoffindustrie bislang zum größten Teil

energetisch genutzt wird. Im Holz wie auch in landwirtschaftlichen Reststoffen ist jedoch neben Cellulose und Lignin die dritte große Fraktion, die Hemicellulosen, für den Markt der Werkstoffe noch wenig erschlossen. Ein Vorreiter ihrer stofflichen Nutzung ist ein 2004 in Schweden gegründetes Unternehmen, dessen Barriereschichten für Lebensmittelverpackungen auf Xylanen beruhen. Xylane sind strukturelle Polysaccharide beispielsweise aus landwirtschaftlichen Nebenprodukten wie Getreideschalen und Getreidespelzen. In Deutschland hat die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe erfolgreich die Technologieentwicklung zur Verwertung von faserreichen Reststoffen der Pflanzenextraktion vorangetrieben.

Hemicellulosen aus der Nahrungsmittelindustrie

Die Verwendung von Hemicellulosen aus faserreichen Reststoffen in Bioverbundwerkstoffen steckt jedoch noch in den Kinderschuhen, obwohl die Masse der faserreichen Extraktionsrückstände enorm ist. Weltweit wurden 2011 mit Phytoextrakten im Bereich Nahrungsergänzungsmittel, Functional Food und Nutraceuticals Umsätze von etwa 468 Milliarden Euro erzielt. Im Bereich der Phytopharmaka betrug der Umsatz immerhin 936 Millionen Euro, in der Kosmetik- und Wellnessbranche erzielte der Handel mit Pflanzenextrakten einen Umsatz von ca. 1,8 Milliarden Euro. Immense Mengen der faserreichen Extraktionsreste werden kostenpflichtig »entsorgt«, wobei eine energetische Verwertung in Biogasanlagen nicht immer wirtschaftlich ist. Ein gewisser Anteil wird auch als Tierfutterzusatz verkauft. Ein wichtiges Ziel des Geschäftsfelds Biowerkstoffe, Lebensmittel besteht darin, Hemicellulosen aus industriellen Produktionsprozessen als Komponente von bioabbaubaren Polymerwerkstoffen zu erschließen.

»Added value« in bioabbaubaren Materialien durch Hemicellulosen

Die Nutzung von Hemicellulosen in Verpackungsmaterialien und Geofolien ist attraktiv, weil man mit ihrer Hilfe Bioabbaubarkeit in Kunststoffe und Beschichtungen einbringen kann. Der bereits stark im Markt vertretene biobasierte Kunststoff PLA (Polymilchsäure) wird durch bioabbaubare Barriereschichten für weitere Anwendungen interessant. Jede Verbesserung des Eigenschaftsprofils von PLA-basierten Kunststoffen wirkt mit bei der Etablierung eines Stoffkreislaufs für PLA-Verpackungen nach dem Muster der Papierverwertungskreisläufe. Im Februar 2015 gab die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) in einer Pressemitteilung den Start eines Verbundprojekts zum PLA-Recycling bekannt, woraus man die Dynamik im Feld der biobasierten Verpackungskonzepte ableiten kann.

Hemicellulosen weisen einen Reichtum an diversen funktionellen Gruppen auf: Hydroxylgruppen oder ein spezifischer Anteil von Carboxylgruppen beziehungsweise Acrylsäure-Derivaten. Dies eröffnet viele Möglichkeiten der chemischen Kopplung mit anderen Polymeren. Die Projektgruppe IWKS zeigte auf der Internationalen Grünen Woche 2015 erstmals eine Beschichtung für Düngergranulate auf der Basis einer phenolischen Hemicellulose-Fraktion, die aus den Schalen von Getreidekörnern gewonnen wird. Die zum Patent angemeldeten und beschichteten Düngergranulate sind umweltfreundlicher, weil die unkontrollierte Auswaschung der Nährstoffe vermieden wird.

Leistungsfähige Hemicellulose-Analytik

Die Nutzung von polymeren Hemicellulosen erfordert schonende Extraktionstechniken und eine leistungsfähige Analytik. In der Projektgruppe IWKS stehen zwei Chromatographiesysteme bereit, die für die chemische Charakterisierung von Hemicellulosen unerlässlich sind. Die Hochleistungs-Anionen-Austausch-Chromatographie mit gepulster amperometrischer Detektion (HPAEC-PAD) gewährleistet eine hochauflösende Analyse der Zuckerbausteine aus Hemicellulosen. Die Hochdruck-Flüssigchromatographie mit Diodenarray-Detektor ermöglicht Analysen von Biophenolen, die als Hemicellulosebestandteil für bestimmte Anwendungen besonders wichtig sind. Begonnen wurde auch mit der Etablierung spektroskopischer Verfahren, mit denen Biophenole auf Oberflächen von Pflanzenfasern anhand der Fluoreszenzintensität in situ quantifiziert werden können.

BIOABBAUBARE BARRIERESCHICHTEN

DR. SABINE AMBERG-SCHWAB | ✆ +49 931 4100-620 | sabine.amberg-schwab@isc.fraunhofer.de

Frische Lebensmittel, genauso wie sogenanntes »Convenience Food«, erreichen die Verbraucher heute zum großen Teil in verpackter Form. Hygiene, lange Haltbarkeit und ständige Verfügbarkeit dieser verpackten Produkte machen einen Teil unserer Lebensqualität aus. Diese Bequemlichkeit jedoch trägt nicht unerheblich zur Verschmutzung unserer Umwelt bei, denn die Konservierung und Verpackung dieser Lebensmittel wird häufig durch Kunststoffverpackungen realisiert. Die Folge: In Deutschland werden jährlich fast drei Millionen Tonnen Kunststoffverpackungen entsorgt. Nicht einmal die Hälfte davon wird wiederverwertet. Der Rest wird verbrannt oder landet in der Natur. Bis sich eine normale Plastiktüte zersetzt hat, dauert es rund 400 Jahre. Plastikflaschen brauchen 450 Jahre, Nylonnetze für den Fischfang sogar 600 Jahre. Umweltfreundlichere Alternativen können sich jedoch nur auf dem Markt durchsetzen, wenn ihre Herstellung kostengünstig ist und sie in ihrer Funktionalität den Stand herkömmlicher Kunststoffverpackungen mindestens erreichen. Besonders wichtig ist dies im Bereich der Lebensmittelverpackungen, die anspruchsvolle Barriereeigenschaften haben müssen, um die jeweils geforderte Mindesthaltbarkeit gewährleisten zu können.

Biodegradierbare Kunststoffverpackungen – für viele Anwendungen nicht ausreichend stabil

Einen Beitrag zur Verringerung des Verpackungsmülls einerseits und der Verschwendung fossiler Ressourcen für die Herstellung von Kunststoffverpackungen andererseits könnten biologisch abbaubare Lebensmittelverpackungen leisten. Biologisch abbaubare Verpackungen beispielsweise aus Celluloseregeneraten, Polymilchsäure- und Stärkederivaten gibt es bereits seit ca. 30 Jahren. Diese Biopolymere können bis dato jedoch nicht mit den konventionellen Massenkunststoffen konkurrieren, da eine direkte Substitution aufgrund unterschiedlicher Eigenschaftsprofile noch nicht möglich ist. Deshalb wird Bio-Plastik in Verpackungen bisher kaum eingesetzt. Es schützt die Ware nicht ausreichend vor Gerüchen, Sauerstoff und Wasserdampf und kann deshalb oft die benötigte Mindesthaltbarkeit der Lebensmittel nicht garantieren. Im laufenden EU-Projekt DIBBIOPACK entwickelt das Fraunhofer ISC ein funktionelles Material, um Bio-Kunststoffe mit einer Sauerstoff- und Wasserdampfbarriere auszurüsten, die ihrerseits biobasiert und über Kompostierung biologisch abbaubar ist. So werden neue Einsatzmöglichkeiten für umweltfreundliche Verpackungen möglich.

Barriere gegen Sauerstoff und Feuchte

Das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC in Würzburg verfügt über breites Know-how bei der Entwicklung von Barriere-Beschichtungen auf der Basis von ORMOCER®en, angefangen bei der Materialzusammensetzung bis hin zu Produktionsprozessen bei der Herstellung beschichteter Folien. Bei herkömmlichen Lebensmittelverpackungen wird die gewünschte Sperrwirkung durch anorganische, im Vakuum auf Trägerfolien aufgedampfte Barriereschichten (z. B. SiOx) realisiert. Im Lebensmittel- und Pharmaverpackungsbereich werden verbesserte funktionelle Beschichtungsmaterialien auf Basis der vom Fraunhofer ISC entwickelten ORMOCER®e in Kombination mit anorganischen Barriereschichten eingesetzt, um sterilisierbare Verpackungsfolien mit ausgezeichneten Barriereeigenschaften

zu ermöglichen. Die Werkstoffklasse der ORMOCER®e bietet gute Barriereeigenschaften gegenüber Gasen und Dämpfen und haftet hervorragend auf unterschiedlichsten Kunststoffsubstraten. Für die Beschichtung kunststoffbasierter Lebensmittelverpackungen sind sie damit sehr gut geeignet. ORMOCER®e sind zwar per se nicht biologisch abbaubar, jedoch lassen sich ihre Eigenschaften durch chemische Variationen der Zusammensetzung sehr gut beeinflussen.

Bioabbaubare ORMOCER®e

Das Ziel der Entwicklung war es deshalb, die ORMOCER®e unter Beibehaltung der günstigen Eigenschaften biodegradierbar neu zu formulieren. Dies konnte durch Einbringung und chemisch stabile Anbindung von modifizierten Naturstoffen an Beschichtungskomponenten realisiert werden. Nach diesem Konzept wurden Schichten entwickelt, die zum einen gute Haftung und Transparenz und zum anderen auch exzellente Barrierewerte aufweisen. Es wurden die bioabbaubaren Ausgangsmaterialien Cellulose, Chitosan und Polycaprolactontriol gewählt und teilweise mit funktionellen organischen oder anorganischen Gruppen modifiziert. Dabei wurde ausschließlich auf toxikologisch unbedenkliche Funktionalisierungsmethoden gesetzt. Die funktionalisierten Naturstoffe wurden in die Lackvorstufe eines ORMOCER®s eingearbeitet, auf Folien aufgebracht und zur festen Schicht ausgehärtet. Der Anteil der biobasierten funktionalisierten Precursoren wurde sukzessive erhöht und die Barrierewirkung geprüft, um die gewünschten Eigenschaftsprofile wie beispielsweise Abbaurate, Transparenz der Schicht und Schutzwirkung zu erreichen.

Festkörper-Magnetresonanzspektroskopie-Untersuchungen zeigten die von System zu System unterschiedliche Anbindung der Naturstoffe an das organische oder das anorganische Netzwerk der neuen bioORMOCER®e. So kann die Zusammensetzung optimal eingestellt werden. Die so entwickelten Schichten weisen exzellente Barrierewerte auf, die im Bereich des Stands der Technik bei nicht biologisch abbaubaren ORMOCER®-Beschichtungen liegen.

Die Bioabbaubarkeit wurde vorab durch einen Schnellkompostiertest in einem handelsüblichen Komposter geprüft. Einige Schichtsysteme zeigen zum Teil schon innerhalb von wenigen Wochen im Versuchskompost einen Bioabbau. Zudem wurde die Bioabbaubarkeit auch nach DIN ISO 14885-1:2005 bzw. ASTM D 5338:1998 bestimmt und ergab einen Abbau der beschichteten Folien zu 98 Prozent. Der Grad des zeitlichen Abbaus kann durch die Wahl der biopolymeren Ausgangsverbindungen je nach Anforderung angepasst werden. Die Analysen der Cytotoxizität der Rückstände wiesen keine negativen Befunde auf.

Nachhaltiger Einsatz nachwachsender Rohstoffe statt »Teller gegen Technik«

Eine Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Konkurrenz zur Lebensmittelerzeugung, wie sie im Bereich biobasierter Treibstoffe kritisch diskutiert wird, sollte für die bioORMOCER®e vermieden werden. Deshalb werden kostengünstige Rohstoffalternativen in der Verwertung von hochwertigen biopolymeren Reststoffen untersucht, die zum Beispiel bei der Papierherstellung (Hemicellulose) oder als Abfälle bei der Herstellung pflanzlicher Pharmaprodukte anfallen, untersucht. Der Bereich Barriereschichten des Fraunhofer ISC arbeitet hier mit dem Bereich Biowerkstoffe der Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS zusammen.

FLASHED! TOUCHSCREENS FÜR FLEXIBLE DISPLAYS

GERHARD DOMANN | ✆ 0931 4100-551 | gerhard.domann@isc.fraunhofer.de

Eine neue Materialentwicklung aus dem Fraunhofer ISC bringt die flexible Displaytechnologie einen großen Schritt voran: Druckbare Sensormaterialien, wie sie von den Würzburgern derzeit im EU-Projekt »FLASHED« entwickelt werden.

Aufgedruckte Sensoren können z. B. Kunststofffolien sensitiv für Verformungen machen. Großflächige flexible Folien senden Signale über ihre Verformung direkt und hochauflösend als Steuersignal an einen Rechner. Kombiniert werden sie mit einem Display, sodass Tablet PCs oder Smartphones nicht nur über virtuelle Schalter und Buttons bedient werden können, sondern über Verformung und Bewegung der Folie mithilfe von Eingabemustern, die direkt digitalisiert und räumlich dargestellt werden können.

Diese Idee läutet einen Paradigmenwechsel in der Bedienung von E-Books, Tablets und anderen digitalen Medien ein. Im Oktober 2014 stellten die Partner des seit Oktober 2013 laufenden EU-Projekts »FLASHED«, Joanneum Research, das Media Interaction Lab der Hochschule FH Oberösterreich, FlexEnable und Microsoft Research, erstmals mit dem FLEX SENSE Display einen Demonstrator der Technologie der Öffentlichkeit vor.

FLEX SENSE ist eine flexible Folie mit einer berührungsempfindlichen Oberfläche, die jede Verformung selbst misst. Verantwortlich dafür sind gedruckte quasi transparente Piezosensoren, die die Verformung registrieren. Zusammen mit der Entwicklung von flexiblen Displays werden dadurch in Zukunft innovative Eingabemöglichkeiten entstehen, mit denen sich ein elektronisches Gerät viel intuitiver steuern lässt als über Tasten, Schalter oder Wischfunktionen.

Piezoelektische Druckpasten und ferroelektrische Folien

Das Team um Gerhard Domann, dem Leiter des Bereichs Optik und Elektronik am Fraunhofer ISC, entwickelte dafür neuartige piezoelektrische Druckpasten, die eine flexible Polymerfolie sensitiv machen. Damit erlauben sie den flexiblen Aufbau von elektronischen Drucksensoren mit simplen Printverfahren. Die für FLEX SENSE nötigen Druck- und Biegesensoren wurden direkt auf flexible Foliensubstrate aufgedruckt.

Vorteil dabei ist, dass mit geringem Materialaufwand leistungsfähigere Sensoren zu günstigeren Preisen hergestellt werden könnten als mit anderen bisher bekannten Verfahren. Darüber hinaus können die gedruckten Drucksensoren auch als Aktoren genutzt werden und so z. B. ein haptisches Feedback ermöglichen. Für viele Anwendungen kann die Kombination der Sensoreigenschaften mit einem haptischen Feedback die Nutzerfreundlichkeit verbessern und den Funktionsumfang erhöhen.

Als Grundmaterial für die Druckpasten werden ferroelektrische Polymere verwendet. Durch ihre spezielle Molekülstruktur richten sie sich spontan aus. Damit entfallen ansonsten benötigte mechanische Ausrichtungsprozesse und ein Aufdrucken von Sensoren wird möglich. Diese ferroelektrischen Druckpasten wurden bereits im Vorläuferprojekt »3Plast-Sensors« vom Fraunhofer ISC entwickelt und konnten hier als Basis eingesetzt werden. Besonderes Plus gegenüber anderen ferroelektrischen Polymerpasten: Die Formulierung aus dem Fraunhofer ISC kommt ohne toxische Lösemittel aus und lässt sich ohne Weiteres auch in einen großen Produktionsmaßstab hochskalieren.

© Joanneum Research

Steuerbares Temperaturverhalten

Die kostengünstig aus den ferroelektrischen Polymeren herstellbaren Sensoren registrieren außer Veränderungen des mechanischen Drucks – beispielsweise beim Biegen und Bewegen des flexiblen Displays – auch Temperaturänderungen. Damit lassen sie sich auch für die Näherungssensorik einsetzen. So löst schon eine kleine Temperaturänderung, z. B. wenn sich eine Hand dem Sensor nähert, ein entsprechendes Signal aus. Diesen Effekt müssen die Entwickler aber auch unterdrücken können, wenn er nicht benötigt wird. Für das FLEX SENSE Display wurde die Temperatursensitivität bereits erheblich reduziert, um eine höhere Ortsauflösung zu erreichen.

Die Voraussetzung für einen breiten Einsatz solcher Sensoren ist, dass dieses Temperaturverhalten gesteuert werden kann. Dafür werden den ferroelektrischen Druckpasten piezoelektrische Partikel beigemengt. Für die Leistungsfähigkeit der Sensoren ist dabei entscheidend, dass ein extrem enges Fenster bei der Größenverteilung der Partikel eingehalten wird und dass sie gleichmäßig und agglomerationsfrei in die Polymermatrix eingebettet werden können. Dafür wurde Verfahrens-Know-how aufgebaut und robuste Prozesse für die Partikelaufbereitung sowie ein zuverlässiges Mischverfahren zwischen Polymermatrix und Partikeldispersion entwickelt.

In Zukunft bleifrei

Bisher werden die sensorischen Eigenschaften durch die Zugabe von piezoelektrischen Partikeln aus Blei-Titanat gesteuert. Im Zuge der EU-Richtlinien zur Vermeidung von gesundheitlich als bedenklich eingestuften Materialien muss jedoch in Zukunft auf Blei auch im Bereich der Mikroelektronik verzichtet werden. Ein wichtiges Ziel ist es deshalb, bei der neuen Materialentwicklung das bleihaltige Piezomaterial für die Sensoren durch andere sensorische Werkstoffe zu ersetzen, ohne allzu große Einbußen bei der Sensitivität hinzunehmen. Dazu werden in Würzburg im Rahmen des Projekts »FLASHED« neue ferroelektrische Partikel-Matrix-Systeme entwickelt und an gängige Siebdruckverfahren angepasst.

Flexible Displays – robust, kostengünstig und vielseitig

Großer Vorteil gedruckter flexibler Touch-Displays ist ihre Designfreiheit. Sie können an nahezu beliebige Oberflächen angeformt werden. Die Displayfläche kann »ausgerollt« und so an jeden Bedarf angepasst werden. Touch-Displays auf Polymerbasis sind leichter und robuster als die bisher üblichen harten, glasbasierten berührungsempfindlichen Displays von Tablet & Co. Preisgünstige Ausgangsmaterialien, der Verzicht auf kritische Rohstoffe wie Blei und die einfache Verarbeitung standen für die »FLASHED«-Projektpartner bei den Anforderungen an die neue Entwicklung ganz oben. So kann mit den neuen Druckpasten des Fraunhofer ISC ein Sensor auf einer flexiblen Folie in nur drei Druckschritten aufgebaut werden. Die Projektergebnisse von »FLASHED« sollen helfen, zukünftig großflächige, leichte, robuste und flexible Touchscreens zu realisieren.

www.flashed-project.eu

Media Interaction Lab, Hagenberg (AT)
(Koordinator des EU-Projekts FLASHED)
The outcome of the »FLASHED« project will be to give new impetus to the European display and printed sensor sectors throughout the value chain. It helps position the emerging European flexible electronics industry in the equivalent place to that currently occupied by the Asian glass-based display industry and it will create new opportunities for European companies, not in linear improvements to existing solutions but in the creation of new and innovative products.
(Press release 14.2.2014)

BLEIFREIE SPEZIALGLÄSER FÜR DEN DRUCK

DR. MARTIN KILO | ✆ +49 931 4100-234 | martin.kilo@isc.fraunhofer.de

Behältergläser aus Pharmazie oder Kosmetik, Gebrauchsglas oder auch Laborglas sind oft zur Dekoration oder aus funktionellen Gründen bedruckt. Die aufgedruckten Grafiken und Schriften haben es jedoch in sich: Sie bestehen aus Spezialgläsern, die bis zu 50 Gewichtsprozent Bleioxid enthalten.

Für die Herstellung dauerhafter Druckfarben vermahlen die Hersteller diese Spezialgläser zusammen mit Pigmenten und mischen sie zu druckfähigen Pasten. Die Pasten werden dann beispielsweise im Siebdruckverfahren auf das Grundglas aufgebracht und anschließend aufgeschmolzen. Damit sind die Farben genauso dauerhaft wie das Glas selbst. So werden Parfümfläschchen, Bierkrüge, Babyflaschen, Getränkeflaschen oder auch Ampullen für Arzneimittel verziert und gekennzeichnet.

Eine neue EU-Richtlinie soll das gesundheitsschädliche Bleioxid künftig aus den Druckfarben verbannen. Doch das ist alles andere als einfach: Denn sollen die Aufdrucke dauerhaft halten, müssen sie aus chemisch beständigen Gläsern gefertigt sein. Diese enthalten jedoch meist sehr viel Siliziumdioxid, welches selbst eine Schmelztemperatur oberhalb von 1600 °C hat – eine Temperatur, die das Grundglas nicht ohne Verformungen aushalten würde.

Das bisher zugegebene Bleioxid senkt die Schmelztemperatur auf unter 600 °C und schafft somit praktikable Verarbeitungsbedingungen, ohne dass die chemische Beständigkeit herabgesetzt wird. Als Notlösung ersetzen die Hersteller das Bleioxid derzeit durch Bismutoxid. Das jedoch ist ebenfalls problematisch: Bismut gefährdet die Gesundheit wie auch die Umwelt. Zudem vervielfacht es den Preis für die Aufdrucke. Derzeit gibt es auf dem Markt keine schwermetallfreien Lösungen, die sowohl niedrige Verarbeitungstemperaturen zwischen 530 °C und 580 °C als auch eine hohe chemische Beständigkeit für den Gebrauch im Labor oder Haushalt gewährleisten können.

Dauerhafter Dekor ohne Schadstoffe

Eine Neuentwicklung aus dem Fraunhofer ISC und der Forschungsgemeinschaft Technik und Glas e. V. FTG kann das ändern. Die Glasexperten am Fraunhofer ISC haben bleioxidfreie Spezialgläser für die Herstellung von Dekorfarben entwickelt, die vollkommen ohne toxische Stoffe auskommen. Die neuen Dekorfarben lassen sich gut verarbeiten, haben eine hohe Farbbrillanz und sind hydrolytisch beständig. Zudem enthalten sie keine seltenen oder teuren Elemente, sind also auch langfristig gesehen nachhaltig einzusetzen.

ZABS – Spezialgläser mit niedrigen Schmelzpunkten

Mit dem Erfahrungsschatz im Bereich der Entwicklung von Spezialgläsern und dem Know-how über die Beeinflussung von Glaseigenschaften durch Gemengezusätze konnte die Glasgruppe am Fraunhofer ISC hier in kurzer Zeit eine Lösung entwickeln. Basis der neuartigen Dekorfarben ist ein Glas, das zum großen Teil aus Zinkoxid besteht. Weitere Bestandteile sind Aluminiumoxid, Boroxid und Siliziumdioxid. Die Forscher gaben diesem Grundmaterial – als Kurzform aller Bestandteile – den Namen ZABS. Das Zinkoxid sorgt dafür, dass dieses Glas bereits bei 650 °C schmilzt. Es übernimmt damit die Aufgabe, die bisher dem Bleioxid zufiel.

In Versuchsreihen im Gradientenofen, der eine genaue Korrelation zwischen Schmelzverhalten und Temperatur ermöglicht, konnte eine optimale Gemengezusammensetzung für die gewünschten niedrigen Temperaturen gefunden werden. Die so erschmolzenen Glasproben ermöglichten eine schnelle erste Übersicht über das Eigenschaftsprofil der unterschiedlichen Zusammensetzungen ohne den Einsatz teurer Analysemethoden. Für die engere Auswahl der Gemengezusammensetzungen wurden kalorimetrische Messungen und Grenzflächenanalysen – wichtig für die Schichthaftung auf dem Grundglas – gemacht. Das für die Haltbarkeit der Druckfarben wichtige Benetzungsverhalten der Glasschmelze konnte in situ in den vom Fraunhofer ISC entwickelten thermooptischen Messanlagen (TOM) analysiert werden.

Durch Zusätze von Alkalien und Erdalkalien kann ZABS weiter modifiziert und sehr gut an die jeweiligen Verarbeitungstemperaturen der Grundgläser angepasst werden. So konnte beispielsweise eine Gemengemischung mit einer Schmelztemperatur von nur 530 °C definiert werden. Die niedrigen Temperaturen erleichtern die Verarbeitung beim Bedrucken der Gläser und sind Voraussetzung für eine zuverlässige Qualität des Endprodukts. Bei 530 °C können z. B. auch besonders dünnwandige Gläser verformungsfrei bedruckt werden.

Anpassung an unterschiedliche Grundgläser

In der glasverarbeitenden Industrie werden für die verschiedenartigen Produkte und Anwendungen sehr unterschiedliche Glastypen verwendet. Je nach Anwendung müssen sie unterschiedlichsten Anforderungen genügen. Damit sind aber auch ihre physikalischen Eigenschaften ungleich. Für die Bedruckung besonders wichtig ist dabei der charakteristische Ausdehnungskoeffizient: Werden Gläser erwärmt, dehnen sie sich unterschiedlich stark aus. Diese von Glastyp zu Glastyp charakteristische Veränderung muss ein Aufdruck jeweils mitmachen, also ein sehr ähnliches Ausdehnungsverhalten haben, damit er nicht bereits während des Herstellungsprozesses abplatzt.

Ausblick

Sowohl für das weit verbreitete Kalknatronglas, aus dem viele Gebrauchsgläser wie beispielsweise Trinkgläser und -flaschen bestehen, als auch für Borosilikat-Glas, aus dem Ampullen, Laborglas oder Haushaltswaren wie Auflaufformen oder Tee- und Kaffeekannen hergestellt werden, konnten bereits Farben entwickelt werden, welche das Anforderungsprofil sehr gut erfüllen. So kann bei zukünftigen Entwicklungen auf diese Systeme zurückgegriffen werden. In Folgeprojekten sollen diese Spezialgläser für spezifische Anforderungsprofile der Auftraggeber in unterschiedlichen Glasanwendungen weiter angepasst werden, z. B. im Hinblick auf Säure- und Laugenbeständigkeit der Aufdrucke oder auch im Hinblick auf unterschiedliche Produktionsbedingungen

Ralph Hörner,
Forschungsgemeinschaft Technik und Glas e.V., Wertheim-Bronnbach

»Mit dieser grundlegenden Entwicklungsarbeit für bleifreie Druckpasten zur Bedruckung von Gläsern hat die Glasgruppe eine grundlegende Ausgangsbasis für weitere Entwicklungen geschaffen.«

FAHRZEUGSITZ MIT GESTEN STEUERN

JOHANNES EHRLICH | ✆ +49 931 4100-235 | johannes.ehrlich@isc.fraunhofer.de

Neun Stunden sitzt ein Berufskraftfahrer in der Regel pro Tag auf seinem Fahrersitz. Der Sitz ist also zentraler Bestandteil des Arbeitsplatzes. Deshalb sind Komfort und Sicherheit des Sitzes für den Fahrer von maßgeblicher Bedeutung. Moderne Nutzfahrzeugsitze sorgen dafür, dass lange Strecken konzentriert und ermüdungsfrei zurückgelegt und schädliche Schwingungen durch pneumatische Schwingsysteme reduziert werden können. Doch für den optimalen Sitzkomfort ist die ergonomisch richtige Gestaltung und Formgebung sowie die richtige Einstellung der Sitzposition von großer Relevanz. Das Center Smart Materials CeSMa des Fraunhofer ISC hat gemeinsam mit dem Projektpartner ISRINGHAUSEN eine berührungslose Gestensteuerung für Fahrersitze in LKWs entwickelt, mit der allein durch Handbewegung die optimale Sitzposition eingestellt werden kann.

Intuitive berührungslose Kommunikation

Untersuchungen bei Berufskraftfahrern zeigten, dass die individuell richtige Sitzeinstellung nur dann korrekt vorgenommen wird, wenn dem Fahrer alle Einstellfunktionen bekannt und vertraut sind und er sie intuitiv bedienen kann. Daher ist ein Bedienkonzept gefragt, welches schnell und sicher erlernbar ist. Die neuartige Gestensteuerung ermöglicht dem Fahrer zahlreiche Einstell- und Komfortfunktionen, mit denen die Sitzposition sowie Teilbereiche der Konturgebung auf die individuellen Bedürfnisse und körperlichen Voraussetzungen angepasst werden können. Heizung und Ventilation sorgen für ein angenehmes und physiologisch vorteilhaftes Mikroklima.

Die Funktionsweise, die hinter dem neu entwickelten Bedienkonzept steht, ist dem Nutzer aus seiner alltäglichen Lebensumgebung vertraut, nämlich die berührungslose Kommunikation mit technischen Anlagen über intuitiv ausführbare Bewegungen. Der Sitz folgt einfach der natürlichen Handbewegung – spezielle Gesten müssen gar nicht einstudiert werden. Soll der Sitz nach oben, bewegt sich die Hand nach oben, soll er nach vorne, so macht die Hand eine Bewegung nach vorne. Weitere schräg nach oben oder nach unten gerichtete Bewegungen stellen die Lehnneigung bzw. die Oberschenkelstütze ein. Damit ist eine Lösung für die Mensch-Maschine-Kommunikation realisiert worden, die rasch zu erlernen und sicher zu bedienen ist. Fehlbedienungen können noch dazu elektronisch ausgeschlossen werden.

Schalter und Knöpfe gehören der Vergangenheit an

Ein weiteres Plus: Im täglichen Betrieb entfallen Elemente wie Schalter und Knöpfe, die beschädigt werden können oder verschmutzen. Das bedeutet eine Vereinfachung des Sitzaufbaus und somit niedrigere Produktionskosten. Zusätzlich können bei häufigem Fahrerwechsel durch wiederum einfache Bewegungen individuelle Sitzpositionierungen gespeichert und bei Bedarf jederzeit abgerufen werden. Das großflächige Bedienfeld ohne Knöpfe befindet sich in einem gut zugänglichen Bereich an der Seite des Fahrersitzes – unsichtbar unter der Abdeckung. Es ist schmutzunempfindlich, robust und handschuhtauglich. Und für den Sitz- und Fahrzeugdesigner eröffnen sich ganz neue Freiräume: Da sämtliche Komponenten hinter der Kunststoffseitenabdeckung des Sitzes angeordnet sind, kann die äußere Formgebung und Gestaltung der Seitenverschalung für die Bedienseite frei gewählt werden.

© ISRINGHAUSEN GmbH

Näherung der Hand löst Schaltfunktion aus

Für die berührungslose Steuerung des Fahrzeugsitzes allein durch Gesten ist die Seitenabdeckung mit Elektroden für eine kapazitive Näherungssensorik auf Basis des Ladungstransferprinzips versehen. Hierfür wird die Kapazität zwischen einer Messelektrode und dem Massepotenzial in der Umgebung bestimmt. Die Messergebnisse werden gemittelt und gelten als Grundwerte des Sensorfeldes im unberührten Zustand. Nähert sich nun eine Hand oder ein Finger dem Sensorfeld unter der Abdeckung, wird die Kapazität verändert und eine Schaltfunktion ausgelöst. Mit der von den Wissenschaftlern des CeSMa entwickelten Auswertungshardware werden die Informationen, die über die Sensorik hereinkommen, verarbeitet und übermittelt. Die große Herausforderung für die Wissenschaftler bestand dabei darin, das elektrische Feld für die Elektrode der kapazitiven Näherungssensorik in eine gezielte Richtung zu bringen. Ohne eine gezielte Abschirmmaßnahme wäre die Näherungssensorik in alle Raumrichtungen gleichermaßen sensitiv. Durch den Einsatz einer speziellen Shield-Elektrode wurden alle Bedingungen erfüllt.

Die richtige Einstellung mittels Software

Damit die Gesten zur Einstellung des Fahrersitzes erkannt und ausgeführt werden können, haben die Wissenschaftler von CeSMa eine entsprechende Software entwickelt. Die Verarbeitung der Informationen aus der Näherungsfunktion läuft über einen Mikro-Controller ab. Durch eine Klopfbewegung wird zunächst die Software-Steuerung aktiviert: Wo früher ein Startknopf zum Einsatz kam, muss der Bediener lediglich mit einem Finger einmal auf das Sensorfeld klopfen. Dann steht ein voreinstellbarer Zeitraum zur Bedienung der Sitzpositionssteuerung zur Verfügung. Erfolgt innerhalb des Zeitfensters keine Bedienung, wird die Elektronik wieder abgeschaltet. Die Aktivierung vermeidet eine aus Versehen ausgelöste Gestensteuerung durch eine Handbewegung. Zweimal Klopfen dagegen aktiviert eine Memory-Funktion: Ein vorher abgespeichertes Sitzpositions-Preset wird automatisch abgerufen. Durch dreimaliges Klopfen wird die aktuelle Sitzposition für den späteren Abruf abgespeichert. So können einfach und intuitiv mehrere Sitzpositions-Presets für unterschiedliche Fahrer abgespeichert werden. Die Klopf-Funktion wird durch den Einsatz von piezoelektrischen Sensoren ermöglicht. Diese Sensoren wurden speziell für diese Funktion von CeSMa entwickelt und hergestellt. Sind alle Einstellungen durch den Bediener eingegeben, wird die zuvor ermittelte Funktion beendet, sobald die Hand sich aus dem Sensorbereich entfernt. Mittels LEDs erhält der Fahrer eine Rückmeldung, ob seine Gesten richtig erfasst wurden.

Durch die berührungslose Gestensteuerung kann der Nutzer also schnell und einfach die Anpassung an die gewünschte Sitzposition vornehmen. Keiner muss nach dem richtigen Knopf suchen, und die richtige Einstellung ist viel präziser zu finden.

Natürlich ist der Einsatz dieses Bedienkonzepts nicht auf LKW-Sitze beschränkt. Es eignet sich ebenso für Sitze in PKW, Eisenbahn oder Flugzeug. Auch sind Mensch-Maschine-Schnittstellen in der Haustechnik denkbar, wie etwa bei der Steuerung von Fensterjalousien oder Haushaltsgeräten, oder auch bei der Steuerung von Robotern und Maschinen über Bewegungsmuster in der Produktionstechnik.

Jens Rönnefahrt, Leiter Vorentwicklung
ISRINGHAUSEN GmbH & Co. KG, Lemgo

»Die Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISC für den gestengesteuerten Nutzfahrzeugsitz erwies sich für die ISRINGHAUSEN GmbH & Co. KG als sehr zielführend. Die fachliche Kompetenz und der Erfahrungsschatz des Fraunhofer ISC auf den Gebieten der Sensorikintegration und -auswertung bildeten wichtige Voraussetzungen dafür, das angestrebte Projektergebnis funktions- und zeitgerecht zu erreichen.«

PEDELEC – OPTIMIERUNG VON BATTERIEN

JANA MÜLLER | ✆ 0931 4100-244 | jana.mueller@isc.fraunhofer.de

Elektromobile Fahrräder gewinnen zunehmend an Bedeutung und erfreuen sich insbesondere bei Menschen, die in der Stadt oder in Stadtnähe leben, immer größerer Beliebtheit. Während deutschlandweit nur etwa 24 000 Elektroautos gemeldet sind, fuhren 2014 laut ADFC bereits 1,6 Millionen Pedelecs (Pedal Electric Cycle) auf deutschen Straßen. Der Markt für die kräfteschonenden Elektrofahrräder boomt. Langzeiterfahrungen und verlässliche Daten hinsichtlich des Einsatzverhaltens der elektrischen Zweiräder wie auch der Batterien unter realen Nutzungsbedingungen fehlen jedoch. Ein Manko, das nicht nur die Nutzer selbst, sondern auch die Fahrradhersteller und die Zulieferer der Batteriepacks umtreibt. Die Untersuchung genau dieser Unsicherheiten hat sich das Fraunhofer ISC gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft im Projekt »PEDElEc – Pendler-eBike Dauertest mit elektrischen und elektrochemischen Untersuchungen« vorgenommen. Dafür radeln seit Oktober 2013 täglich zwölf Mitarbeiter des Fraunhofer ISC mit einem Pedelec zur Arbeit.

Das vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie geförderte Projekt ist der erste bekannte Feldversuch zur Untersuchung von Pedelec-Batterien, der in Zusammenarbeit mit Forschung und Industrie durchgeführt wird. Im Zentrum des Forschungsansatzes steht das Pedelec als Pendlerfahrzeug und die Optimierung der Batterie für genau dieses Fahrerprofil. Insgesamt 19 Testpendler aus dem Fraunhofer ISC und der Stadtverwaltung Bad Neustadt an der Saale fahren täglich mit Pedelecs der Winora-Staiger GmbH zur Arbeit. Die Winora Pedelecs für den Feldversuch sind normale Serienfahrzeuge, die mit speziellen Datenloggern ausgerüstet sind. Durch die Zusatzgeräte werden kontinuierlich Informationen über die gefahrenen Strecken, die damit verbundenen Belastungen und die Batteriezustände aufgezeichnet. Die Wissenschaftler vom Fraunhofer ISC wollen die Alterung der Batteriepacks und auch der einzelnen Batteriezellen in Verbindung mit ihrem Nutzungsprofil aufklären. Dabei geht es zum einen um die Erfassung und Auswertung der Nutzungsprofile, zum anderen um die elektrochemischen Prozesse, die neben der Funktionalität der Batterie auch mögliche Quellen für deren Abnutzung bzw. Ausfall darstellen können. Diese Prozesse wiederum hängen mit der Belastung der Batterien im Alltag zusammen, z. B. mit den Lade- und Entladezyklen bei hohen und tiefen Temperaturen.

Erkenntnisse an Händler und Nutzer weitergeben

Für den Projektpartner Winora-Staiger GmbH ist die Betrachtung des Pendlerverhaltens zum einen und der allgemeine Gebrauch des Rades sowie die konzentrierte Analyse des Akkus zum anderen von großer Relevanz. Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen finden direkt Anwendung in der Praxis. Die bisherigen Ergebnisse aus dem Projekt bestätigen bzw. übertreffen sogar die bisherigen Annahmen und Erwartungen des Fahrradherstellers. So halten die Akkus mehr aus, als bisher angenommen wurde. Bei 500 Ladezyklen zeigten die Untersuchungen aus den Pendlerdaten eine Restkapazität oberhalb von 70 Prozent. Andererseits kam heraus, dass nach einem Sturz oder Unfall auch der Akku durchgecheckt werden sollte, denn er könnte Auffälligkeiten zeigen, wie ein Nachlassen der Leistungsfähigkeit oder einen Ausfall des Batterie-Management-Systems.

Batteriezellen werden gealtert und untersucht

Die Bewegungsdaten der Pedelecs werden mit einer speziell entwickelten Handy-App erfasst und anschließend ausgewertet. Aus diesen Fahrdaten der Pendler erstellen die Wissenschaftler ein Fahrprofil. Aus diesem wiederum wird ein Simulationsprogramm für die Batterietester entwickelt, um parallel zu den Pendlerfahrten beschleunigte Tests an den Akkus im Labor durchzuführen. Diese gezielte Alterung geschieht bei den Projektpartnern BMZ (Batterien-Montage-Zentrum) und dem Technologietransferzentrum (TTZ EMO) der Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt. Das Fraunhofer ISC untersucht anschließend die Alterung auf Zellebene mithilfe statistischer Versuchsplanung.

Seit Beginn des Projekts wurden bereits 100 Zyklen und somit drei Referenz-Parameter-Tests pro untersuchter Zelle aufgenommen. Es zeigte sich, dass mit zunehmender zyklischer Alterung manche Zellen bedeutend schneller an Kapazität und Leistung verlieren als andere. Als besonders schädlich haben sich hierbei der Einsatz hoher Ladeendspannungen und Temperaturen jenseits der Raumtemperatur gezeigt. Für Winora-Staiger ist die Erkenntnis, dass bestimmte Wetterbedingungen wie Regen oder extreme Temperaturen eine bestimmte Auswirkung auf den Akku haben, enorm wichtig.

Während die Akkus im Labor altern und den Wissenschaftlern wertvolle Informationen zur Optimierung von Batterien geben, werden auch die im Pendleralltag eingesetzten Stromspeicher regelmäßig einem sogenannten Referenz-Parameter-Test unterzogen. Mithilfe des Tests wird die Restkapazität bestimmt, um die Alterung der Packs überprüfen zu können. Neben der Untersuchung der Akkus werden die im Feldversuch zum Einsatz kommenden Pedelecs regelmäßig vom Projektpartner Winora-Staiger vor Ort gewartet. Während des Vor-Ort-Termins können die Pendler Fragen zu den Fahrrädern und der technischen Ausstattung klären und Anregungen weitergeben. Für eine störungsfreie Datenübertragung werden Datenlogger und App regelmäßig durch den Projektpartner TTZ einer Überprüfung unterzogen.

Post-Mortem-Analytik

Zum Untersuchungsprogramm der Batterien am Fraunhofer ISC gehören u. a. Röntgendiffraktionsanalysen zur Aufklärung der Kristallstruktur. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse erlauben die Einordnung des Alterungsverhaltens. Durch die umfangreichen Untersuchungen liegt mittlerweile ein klares Bild der Zellchemie im Neuzustand vor. Sobald erste Zellen in der Alterung fortgeschritten sind (EOL-Kriterium), kann auf Grundlage der ausgearbeiteten Methodik und analytischen Basislinie mit der Untersuchung der Degradationseffekte auf Komponentenebene begonnen werden.

Das Forschungsvorhaben wird im Rahmen der Modellregion Elektromobilität Bad Neustadt vom Bayerischen Wirtschaftsministerium gefördert und vom Fraunhofer ISC, dem Fahrradhersteller Winora-Staiger, dem Batteriehersteller BMZ und dem Technologietransferzentrum (TTZ EMO) der Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt durchgeführt.

Thomas Drehmel, Produkt- & Projektmanager eBike, Winora-Staiger GmbH, Sennfeld

»Mit dem Fraunhofer ISC hat die Winora-Staiger GmbH einen kompetenten Partner an seiner Seite, der zukunftsweisende Forschung betreibt. Seit Januar 2013 arbeiten wir gemeinsam in diesem Projekt. Besonders schätzen wir den hohen wissenschaftlichen Anspruch und die hervorragende technische Ausrüstung. Wir profitieren von der langjährigen Erfahrung des Fraunhofer ISC auf dem Gebiet der Batterieforschung.«

CLIMATE FOR CULTURE

DR. JOHANNA LEISSNER | ✆ +32 2 50642-43 | johanna.leissner@isc.fraunhofer.de

Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen, vor denen die Menschheit heute steht. Es geht dabei nicht nur um eine durchschnittliche Temperaturerhöhung, sondern auch darum, wie sich das Klima insgesamt ändert. Im EU-Projekt »Climate for Culture« haben 27 Partner aus der EU speziell die Folgen für unser kulturelles Erbe untersucht und Prognosemodelle sowie Werkzeuge entwickelt, mit denen sich die Folgen heute besser einschätzen und Schutzmaßnahmen vorbereiten lassen. Das Fraunhofer ISC war mit seinem Know-how und seinen Spezialglassensoren am Monitoring der realen Klimaauswirkungen beteiligt, das Internationale Zentrum für Kulturgüterschutz und Konservierungsforschung IZKK wirkte an den sozioökonomischen Datenerhebungen und bei der Organisation von Veranstaltungen und Workshops mit.

Klimamodelle

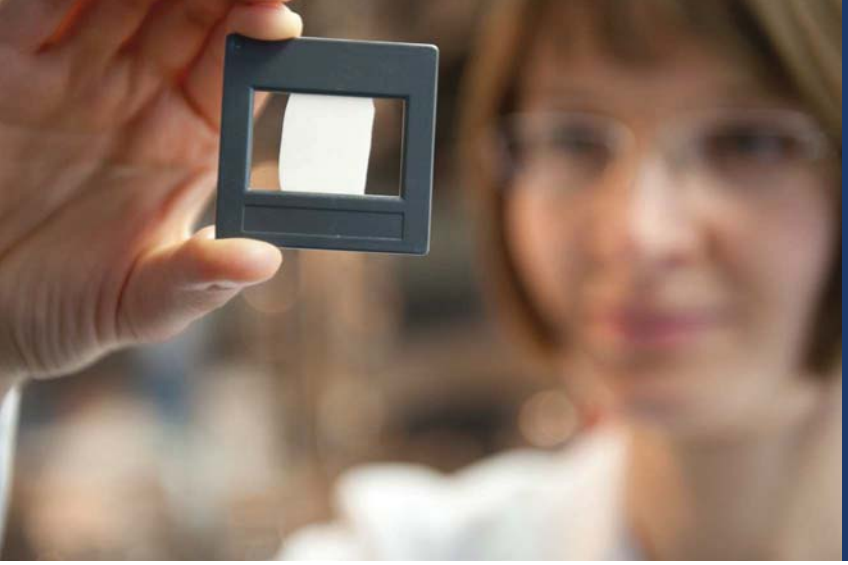
Um die klimatischen Folgen abschätzen zu können, wurden im Rahmen von »Climate for Culture« erstmals hochaufgelöste regionale Klimamodelle mit thermohygrischer Gebäudesimulation gekoppelt, das heißt sowohl Temperatur- als auch Feuchteentwicklung im Gebäude werden errechnet. Auf diese Weise ist es möglich, Prognosen über Klimaentwicklung und Energiebedarf für die zukünftige Klimatisierung der Gebäude zu treffen und entsprechende Maßnahmen für die präventive Erhaltung von Sammlungen zu veranlassen. Die Ergebnisse der Klimasimulationen verdeutlichen, dass trotz des gewählten moderaten Emissionsszenarios durchschnittliche Temperaturerhöhungen um bis zu 5 °C im Norden Europas erwartet werden. Leider wissen wir aber schon heute, dass es nicht gelingen wird, die CO_2-Konzentration in der Atmosphäre zu verringern. Sie wird weiterhin steigen und damit auch die Temperaturen. So wird es auch im Süden und Südosten Europas bis zum Ende des Jahrhunderts sehr viel wärmer werden. Für die zukünftige Entwicklung der Niederschläge zeichnet sich ab, dass im Süden Europas die sommerlichen Trockenphasen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts weiter wachsen werden. In Nord- und Mitteleuropa dagegen wird vor allem im Winter die Gesamtmenge der Niederschläge stark zunehmen, was u. a. zu erhöhtem Schimmelpilzwachstum führen wird.

Auswirkungen auf das Kulturerbe

Durch die in den Klimasimulationen errechneten Veränderungen besteht die Gefahr, dass Bausubstanz und empfindliche Objekte viel stärker als bisher durch Korrosionsprozesse angegriffen werden. Mit dem prognostizierten weltweiten Anstieg der Umgebungstemperaturen und den damit einhergehenden Veränderungen vieler anderer Klimaparameter werden die chemischen Reaktionen, die für solche zersetzenden Prozesse verantwortlich sind, schneller als bisher ablaufen. Dem liegt die exponentielle Arrhenius-Gleichung zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Temperatur zugrunde. Als Faustregel gilt: Bei einem Temperaturanstieg um 10 °C würden derartige Reaktionen ihre Zerstörungskraft verdoppeln.

Monitoring des Schädigungspotenzials

Die klimatischen Bedingungen in den Gebäuden, die in die Fallstudien einbezogen waren, wurden mit unterschiedlichen, teils



neuartigen Methoden untersucht und die Langzeitdaten aus den vorhandenen Klimadatenloggern ausgewertet. Von besonderem Interesse war das Zusammenwirken der verschiedenen Parameter wie Temperatur, Luftfeuchte und Schadstoffe im Hinblick auf das Schädigungspotenzial für empfindliche Objekte in Ausstellungsräumen. Hier kamen die vom Fraunhofer ISC entwickelten Glassensoren zum Einsatz. Diese Sensoren bestehen aus sehr korrosionsempfindlichen Spezialgläsern, die an den Objekten in den Ausstellungsräumen angebracht wurden. Die empfindlichen Gläser zeigen die über die Expositionszeit akkumulierte Wirkung der Klimabedingungen an. Dies lässt sich hinterher im Labor quantifizieren. Im Zuge des Projekts »Climate for Culture« zeigte sich, dass mit den Sensoren sehr präzise Aussagen über das Schädigungspotenzial des Mikroklimas am Ort des Ausstellungsobjekts möglich waren. Auch Fluktuationen der Temperatur und relativen Feuchte wurden unter Laborbedingungen simuliert. Sie führten zu erhöhten Korrosionsraten an den Glassensoren. Damit konnte klar belegt werden, dass der Klimastabilität für die Erhaltung der Kunst- und Kulturgüter eine zentrale Rolle zukommt. Die Auswertung der über 100 Fallstudien bestätigte, dass große Schwankungen von Temperatur und Feuchte in vielen historischen Gebäuden auftreten und Schäden verursachen. Die Glassensoren eignen sich daher hervorragend zur Überwachung der Klimabedingungen, vor allem der Klimastabilität: Sie sind einfach und ohne zusätzliche Infrastruktur (stromlos, autark) anzuwenden und ermöglichen das rechtzeitige Einleiten geeigneter Schutzmaßnahmen.

Kostenfaktor Kulturerbeschutz

Ein weiterer Aspekt des Forschungsprojektes war die Evaluierung der sozioökonomischen Folgen des Klimawandels für den Kulturguterhalt. Insbesondere die Akzeptanz für die Kosten von zusätzlichen, klimawandelbedingten Erhaltungsmaßnahmen sollte untersucht werden. Basierend auf einer Kosten-Nutzen-Analyse wurde daher im Projekt ein Fragebogen entwickelt und an ausgewählten Kulturerbestätten in Europa Besucherbefragungen durchgeführt. In Deutschland wurde neben den bayerischen Königsschlössern Linderhof und Neuschwanstein das Kloster Bronnbach ausgewählt. Bei der vom IZKK durchgeführten Besucherbefragung in Bronnbach zeigte sich – ebenso wie bei den übrigen Befragungen – eine hohe Bereitschaft der Besucher, für den Erhalt der Stätten gesondert ausgewiesene Abgaben zusätzlich zu den Eintrittsgeldern zu akzeptieren. Dieses Ergebnis ist vor allem für politische Entscheidungsträger von hoher Relevanz.

Weitere Ergebnisse und Werkzeuge

In »Climate for Culture« gelang es erstmals, Klima- und Gebäude-Simulationsmodelle miteinander zu verknüpfen. Daten zur Auswirkung von Wärme, Feuchtigkeit, Sonneneinstrahlung und Wasserdampf auf die Bausubstanz sind nun erstmals für ganz Europa vernetzt verfügbar. Mit dem auf Europa und den angrenzenden Mittelmeerraum ausgedehnten regionalen Klimamodell und der Gebäudesimulation konnten Prognosen über das Schadenspotenzial des Klimawandels für unsere Kulturgüter aufgestellt werden. Mit diesen Informationen werden bereits Schutzkonzepte erarbeitet. Die schwedische Kirche zum Beispiel erstellt derzeit mit regionalen Planern ein nachhaltiges Klimakonzept, das auf »Climate for Culture« basiert.

Diese Ergebnisse und neuen Erkenntnisse wurden in eine internetbasierte Softwareplattform eingearbeitet. Damit steht ein praxisorientiertes Tool zur Verfügung, das solide und validierte Informationen zu den zukünftigen Klimaveränderungen und ihren Auswirkungen auf die historischen Gebäude bietet. Diese Informationen stehen in Form von Klima-, Energiebedarfs- und Risikokarten sowie in einem softwaregestützten Experten-System zur Verfügung, das für die Benutzer bzw. Besitzer historischer Gebäude konkrete Maßnahmen für eine energieeffiziente, nachhaltige Klimatisierung vorschlägt.

http://www.climateforculture.eu/

STOFFTRENNUNG IN DER GLASSCHMELZE

DR. JÜRGEN MEINHARDT | ✆ 0931 4100-202 | juergen.meinhardt@isc.fraunhofer.de

Weltweit werden jährlich etwa 60 Milliarden Tonnen Ressourcen verbraucht* – mit steigender Tendenz. Ressourceneffizienz ist daher einer der wichtigsten Schlüssel für nachhaltige Entwicklung. Als Teil des Nachhaltigkeitskonzepts bildet Ressourceneffizienz ein Hauptelement nationaler und internationaler Strategien, zum Beispiel auf der Ebene der UN, der Europäischen Union und auch der deutschen Bundesregierung. Technisch wird Ressourceneffizienz vorrangig durch Materialsubstitution und kreislaufwirtschaftliche Ansätze in Forschung, Entwicklung und Praxis umgesetzt.

Leistungsfähige Trennprozesse

Die Fraunhofer-Gesellschaft hat dazu im Rahmen ihres Programms »Märkte von übermorgen« mit dem Forschungsvorhaben »Molecular Sorting« eine methodenorientierte Entwicklung gefördert, die mittel- bis langfristig die Wieder- und Weiterverwertung von Werkstoffen durch neue, leistungsfähige Trennprozesse bis auf molekulare Ebene nach der Herstellung oder Nutzung von Produkten ermöglichen wird. Für diese »Kreislaufwirtschaft der nächsten Generation« haben sich insgesamt sieben Fraunhofer-Institute zusammengeschlossen, um zum einen an ausgewählten Stoffströmen, den »Demonstratoren«, neue Methoden zu erproben, um zum anderen die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf weitere Stoffe und Branchen sicherzustellen.

Das Fraunhofer ISC hat im Rahmen des Projekts »Molecular Sorting« die Entwicklung eines Verfahrens zur elektrochemischen Stofftrennung in der Glasschmelze übernommen. Ansatzpunkt war die Überlegung, eisenhaltiges und deshalb grünes Flachglas – also beispielsweise einfaches Fensterglas – in einem intelligenten Recyclingprozess aufzuwerten und durch eine Abtrennung der Eisenionen in der Glasschmelze ein möglichst weißes Glas zu erzeugen, wie es ansonsten nur mit teilweise knappen und deshalb relativ teuren hochreinen Rohstoffen möglich ist. Benötigt werden solche »weißen« Gläser beispielsweise in der Solartechnik.

Mobile Ionen in der Schmelze

Ein Reinigungsprozess für eisenhaltige Massengläser sollte sich einfach in die herkömmliche Prozesstechnik der Glasherstellung integrieren lassen, um zusätzliche Kosten einer separaten Aufbereitung einzusparen. Da die technisch relevanten Glasherstellungsverfahren in der Regel über eine Glasschmelze ablaufen, wurde am Fraunhofer ISC die Entwicklung eines Reinigungsverfahrens direkt in der Schmelze favorisiert.

In der Schmelze liegen die verschiedenen Bestandteile, aus denen sich das Glas zusammensetzt, relativ mobil vor. So lassen sich die elektrisch geladenen Ionen z. B. elektrochemisch an Elektroden abscheiden. Solche elektrochemischen Verfahren sind für verschiedene Gläser bekannt, bei Kalknatrongläsern waren allerdings bisher für Abscheidungsprozesse relativ hohe Spannungen – mehrere 10 V – zwischen den Elektroden in der Glasschmelze erforderlich. Diese hohen Spannungen können zu unerwünschten Nebenwirkungen im Endprodukt führen, beispielsweise zu Verfärbungen. Ziel der Forscher am Fraunhofer ISC war deshalb, einen effizienten Prozess zu entwickeln, der möglichst niedrige Spannungen erlaubt.

* Krausmann et al. (2009): Growth in global materials use, GDP and population during the 20th c-entury. Ecological Economics, Vol. 68, Nr. 10, 2696-2705

Spannung und Elektrodenmaterialien

Abscheidungsrate und Selektivität der elektrochemischen Abscheidung stehen in engem Zusammenhang mit der angelegten Spannung. Die Abhängigkeiten sind jedoch entgegengesetzt. Bei höheren Spannungen steigt die Abscheidungsrate, die Selektivität – in diesem Fall für das zu entfernende Eisen – sinkt. Für die untersuchten Kalknatrongläser konnte die optimale Spannung zwischen den Elektroden in der Schmelze auf 1,5 V festgelegt werden.

An den Elektroden wurden dabei deutliche Korrosionserscheinungen festgestellt, d. h. Elektrodenmaterial wurde an die Schmelze abgegeben. In Testreihen wurde die Korrosion verschiedener Materialien in der Schmelze untersucht. Eine Kombination von Graphitkathoden und kupferdotiertem Zinnoxid zeigte sich als am besten geeignet für die Abscheidung von Eisen aus den Kalknatrongläsern.

Eine wichtige Rolle spielt auch die Prozesstemperatur. Sie beeinflusst die Viskosität und die Diffusionsgeschwindigkeit der Eisenionen. Besonders günstig erwies sich eine Prozesstemperatur von etwa 1400 °C, nicht zuletzt deshalb, weil sie auch bei den üblichen Herstellungsverfahren von Flachglas erreicht wird.

Die im Projekt »Molecular Sorting« für die Aufreinigung der Glasschmelze durchgeführten Untersuchungen zeigten die grundsätzliche Machbarkeit der elektrochemischen Abscheidung für Kalknatrongläser bei niedrigen Spannungen. Ebenso konnten wichtige Prozessparameter festgelegt werden. Für die Umsetzung in einen großtechnisch nutzbaren Prozess ist damit eine solide Basis geschaffen.

Die Glasschmelze als Lösungsmittel

Über das Projekt »Molecular Sorting« hinaus bieten die beobachteten Korrosionserscheinungen an den Elektroden Potenzial für einen ganz neuen Ansatz bei der Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe: Nahezu alle untersuchten Elektrodenmaterialien ließen sich bei entsprechend gewählten Prozessbedingungen in der Glasschmelze in Lösung bringen. Durch die hohe Selektivität bei der elektrochemischen Abscheidung können die gelösten Stoffe in sehr reiner Form abgetrennt werden.

Mit dem Prozess-Know-how des Fraunhofer ISC auf diesem Gebiet können so bei Bedarf zusammen mit der Fraunhofer-Projektgruppe IWKS Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit solcher Abscheidungsprozesse für die Rückgewinnung beispielsweise seltener, kritischer oder auch besonders fein im Produkt verteilter Rohstoffe für Kunden und Partner untersucht und bewertet werden.

KRITISCHE METALLE KOBALT UND MOLYBDÄN

KARINA FRIES | ✆ +49 6023 32039-827 | karina.fries@isc.fraunhofer.de

Natürliche Ressourcen und die Möglichkeit, geogene Rohstoffe zu nutzen, bilden die Grundlage und Voraussetzung für unsere erfolgreiche Wirtschaftslage und unseren materiellen Wohlstand. Durch aktuelle Entwicklungen auf dem Energiemarkt – und spätestens seit den volatilen Preisentwicklungen der metallischen Rohstoffe – wird allerdings immer deutlicher, dass Rohstoffvorkommen, die nicht in unbegrenzter Menge vorhanden sind, für eben diese Wirtschaftslage kritisch sind.

Die Stiftung ESM »Entwicklungsfonds Seltene Metalle« mit Sitz in Zürich in der Schweiz ist eine Non-Profit-Organisation, die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der seltenen Metalle seit 1951 unterstützt. In ihr sind Vertreter aus Wirtschaft, Industrie und Forschung gemeinsam tätig, um die Bedeutung seltener Metalle in Wissenschaft und Technik vor dem Hintergrund politischer und gesellschaftlicher Fragestellungen zu erörtern und deren Auswirkung auf die Volkswirtschaft zu untersuchen. Die beiden Metalle Kobalt und Molybdän waren für den ESM von besonderer Bedeutung, und die Stiftung vergab den Auftrag über eine umfangreiche Studie zu diesen beiden Rohstoffen an die Fraunhofer-Projektgruppe IWKS in Alzenau.

Unter Leitung von Herrn Prof. Dr. Armin Reller wurde eine erweiterte Kritikalitätsanalyse erarbeitet. Die Studie stellt auf Basis des »Reller'schen Konzepts der Stoffgeschichten« die Relevanz und Funktion der Metalle in ihren Anwendungen und die Auswirkungen auf verschiedene Branchen und Sektoren dar.

Einflussfaktoren auf natürliche Rohstoffvorkommen

Es tritt immer mehr ins Bewusstsein, dass unsere Ressourcen durch hohe Nachfrage und damit einhergehendem steigenden Verbrauch sowie regionale und unternehmerische Konzentrationen und durch komplexe und intransparente Netzwerke unsicherer werden. Geringe Recycling- und Substitutionsmöglichkeiten wie auch kurze statische Reichweiten erhöhen das Versorgungsrisiko und damit die Verwundbarkeit der nachfragenden Volkswirtschaften.

Inhalte der Studie

- Geologische Verfügbarkeit
- Geopolitische / ökologische Parameter
- Recycling und Substitution
- Ökonomische Relevanz
- Prognostizierte Anwendungspotenziale
- Dissipation
- Immobilisierungsgrad

Unter Einbezug der Anwendungsgebiete und der Funktion der betrachteten Elemente werden branchenübergreifende Zusammenhänge und Abhängigkeiten deutlich. Eine Clusteranalyse nach ökonomischer, technischer und strategischer Relevanz zeigt auf, welche Branchen vor ähnlichen Herausforderungen in Bezug auf die zukünftige Rohstoffversorgung dieser Metalle stehen, selbst wenn ihre Interessen an diesen durch unterschiedliche Nutzungspotenziale geprägt sind. Anschließend wurde auf einzelne Wirtschaftszweige bzw. Industriesektoren eingegangen, um auf Basis der zuvor abgeleiteten Trends deren zukünftige Entwicklung und Problematik differenzierter darzustellen. Auch wurde ein Kompendium erstellt, in dem eine Auswahl von Akteuren sowie kleinerer Unternehmen aufgelistet ist.

© Garry Whitton Fotolia

Seltenes Metall Kobalt

Die Hauptargumente, das Metall Kobalt hinsichtlich seiner Kritikalität zu betrachten, sind zum einen ein kontinuierlicher Preisanstieg auf dem Rohstoffmarkt über die letzten Jahrzehnte und zum anderen die politische Situation in den konfliktbelasteten Hauptabbauregionen Afrikas (hier vor allem die Demokratische Republik Kongo) verbunden mit langen Lieferzeiten. Kobalt findet hauptsächlich in Lithium-Ionen-Batterien seine Anwendung, aber auch in Superlegierungen, Hartmetallen, Katalysatoren, Magneten und Pigmenten. In Lithium-Ionen-Batterien ist Li_xCoO_2 aufgrund seiner guten elektrischen Leitfähigkeit und Li-Ionen-Beweglichkeit ein beliebtes Kathodenmaterial. Der Zusatz von Kobalt in Superlegierungen bewirkt eine erschwerte Verformbarkeit. Durch die Anwendung in den Zukunftstechnologien Elektromobilität, Kommunikation und Energie wird die strategische Bedeutung dieses Metalls auch noch weiterhin groß bleiben.

Seltenes Metall Molybdän

Im Jahre 2007 ließ China die USA als Hauptproduzent von Molybdän hinter sich. Aufgrund der schwer einschätzbaren politischen Lage und möglicher damit verbundener Exportrestriktionen sollte Molybdän zukünftig unter Beobachtung stehen. Das Haupteinsatzgebiet von Molybdän ist aufgrund seines hohen Schmelzpunktes und des kleinen Wärmeausdehnungskoeffizienten in Kombination mit geringer Dichte, die Stahlproduktion – sowohl in Form von Baustahl, Edelstahl, Werkzeug- und Schnellarbeitsstahl als auch Gusseisen. Die Zugabe von Molybdän erhöht die Festigkeit, Härtbarkeit, Schweißbarkeit und Hochtemperaturfestigkeit des Stahls. Neben der Stahlindustrie spielt Molybdän in Superlegierungen sowie in Katalysatoren und als Beschichtungs- und Schmiermittel in Form von MoS_2 eine wichtige Rolle. Die wirtschaftliche Entwicklung von Molybdän korreliert mit der Stahlnachfrage, sodass durch den Einsatz in unterschiedlichen Branchen (Automobilindustrie, Maschinen- /Anlagenbau, Öl- und Gasindustrie) sowie begrenzter Substitutionsmöglichkeiten auch künftig der Bedarf hoch sein wird.

Fazit

Sowohl das kritische Metall Kobalt als auch Molybdän sind sehr schlecht oder teilweise nur mit Leistungseinbußen substituierbar. Ein Grund ist, dass sie selbst als Substitute verwendet werden (z. B. für Platingruppenmetalle oder Nickel).

Molybdän ist zudem aus seinem Hauptanwendungsgebiet der Stahlveredelung elementbezogen nicht recycelbar. Bei Kobalt liegt die Schwierigkeit beim Recycling eher an der logistischen Herausforderung aufgrund der Anwendung in der Batterietechnologie. Tragende und strategisch wichtige Industrien wie die Automobilindustrie, der Energiesektor sowie Maschinen- und Anlagenbau bis hin zur chemischen Industrie sind in Deutschland und der EU von den beiden Metallen und deren Funktionen abhängig und sollten in der zukünftigen strategischen Planung bedacht werden.

Daher ist es von großem Interesse, dem Mangel von morgen vorzubeugen. Kobalt und Molybdän sind zwei kritische Metalle, die weiterhin im Fokus stehen sollten.

Dr. Margarethe Hofmann-Amtenbrink,
CEO ESM, Pully (CH)

»Die schweizerische Stiftung »Entwicklungsfonds Seltene Metalle, ESM« gab 2013 einen Auftrag zur Studie über »Nutzungspotentiale seltener und kritischer Metalle vor dem Interessenbereich des ESM« bei der Fraunhofer-Projektgruppe IWKS in Auftrag. Die Zusammenarbeit mit der Fraunhofer-Projektgruppe IWKS führte 2014 zu zwei Studien, die einen umfassenden Überblick zu den Wertstoffkreisläufen der Metalle Molybdän und Kobalt geben. Der rege Austausch und die gute Zusammenarbeit zwischen ESM und der Projektleitung des IWKS waren hierfür sehr fruchtbar und zielorientiert.«

NEUE PERMANENTMAGNETE FÜR SAUBERE ENERGIETECHNOLOGIEN

ALEXANDER BUCKOW | ✆ +49 6023 32039-870 | alexander.buckow@isc.fraunhofer.de

Die Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS des Fraunhofer ISC hat sich zum Ziel gesetzt, mit ihren Forschungsarbeiten zur Sicherung wirtschaftsstrategisch bedeutender Rohstoffe für Deutschland beizutragen. Die Verfügbarkeit von strategischen Metallen wie zum Beispiel die Metalle der Seltenen Erden rückt immer mehr in den Mittelpunkt von Politik und Industrie. Mithilfe von neuen Ansätzen zu Rohstoffstrategien, zum Recycling und zu möglichen Substitutionsmaterialien können die Kosten in der Produktion verringert, die Versorgungssicherheit verbessert und auch ein entscheidender Beitrag zur Schonung der Umwelt geleistet werden.

Insbesondere in Hochleistungsmagneten spielen Metalle der Seltenen Erden eine bedeutende Rolle. Neodym-Eisen-Bor-Magnete haben die mit Abstand höchste Energiedichte aller derzeit bekannten Dauermagnete und machen weltweit zwei Drittel des Marktumsatzes aus. Sie werden beispielsweise in kleinsten Mengen in Lautsprechern und Festplatten sowie in Windkraftanlagen (> 600 kg/MW) gebraucht. Im Automobilsektor steigt der Bedarf insbesondere im Hinblick auf die zunehmende Zahl an Hybrid- und Elektrofahrzeugen. Daher bilden diese Magnetsysteme einen wesentlichen Arbeitsschwerpunkt der Projektgruppe IWKS. Ein Hauptfokus liegt auf der Substitution der als kritisch eingestuften Metalle. Auf Basis von Simulationen werden theoretische Vorhersagen und Vorschläge neuartiger, ferromagnetischer Phasen ohne Neodym (Nd) und Dysprosium (Dy) bei gleichwertigen magnetischen Eigenschaften erstellt. Die Vorhersagen dienen als Grundlage zur Synthese neuer Magnetwerkstoffe. Hierzu kann die Fraunhofer-Projektgruppe IWKS auf einen modernen Gerätepark und unterschiedlichste Syntheserouten zurückgreifen; dazu zählen der Lichtbogenofen, das Verfahren der Rascherstarrung und das Sintern. Neueste Verfahren zur Herstellung von Hochleistungsmagneten zielen u. a. auf nanokristalline Gefüge ab, z. B. durch Heißpressen und Heißumformen.

Neben der reinen Substitution von Werkstoffen spielt der effiziente Einsatz von Rohstoffen eine ebenso große Rolle. Durch Entwicklung von Herstellungsverfahren zur endkonturnahen Formgebung kann auf aufwendige und damit materialintensive Nachbearbeitung verzichtet und damit effektiv Material eingespart werden. Zudem arbeitet die Projektgruppe IWKS an der Optimierung der Mikrostruktur, um besonders kritische Elemente wie Dy im Gefüge gezielter zu verteilen und vor allem an den Stellen, wo es die Eigenschaften des Magneten optimal beeinflusst. Durch diese Maßnahmen kann der Einsatz von Dy auf bis zu 50 Prozent reduziert werden. So ist die Projektgruppe IWKS maßgeblich am Leitprojekt »Seltene Erden« der Fraunhofer-Gesellschaft beteiligt. Das Projekt hat zum Ziel, den Bedarf an schweren Seltenen Erden in Permanentmagneten zu halbieren. Für dieses Leitprojekt stehen mit einer Laufzeit von knapp vier Jahren ca. 9 Millionen € für das Projektkosortium aus sieben Fraunhofer-Instituten – koordiniert vom Fraunhofer IWM – zur Verfügung. Ein Ziel des Leitprojekts ist daher die Entwicklung eines Substituts für Dy-haltige Nd-Fe-B-Magnete.

Welche Branchen profitieren?

Hochleistungsmagnete spielen vor allem im Bereich der Generatoren und Elektromotoren eine herausragende Rolle. So profitieren insbesondere Elektromobilität, Automobilindustrie sowie Windkraftanlagen von besser verfügbaren Ersatzmaterialien. Für diese Technologien wird zukünftig ein großes Wachstum prognostiziert, wodurch auch eine enorme Steigerung des

Bedarfs an Nd und Dy zu erwarten ist. Unsicherheiten in der Rohstoffversorgung könnten den Ausbau dieser Zukunftstechnologien bremsen.

Das Leitprojekt »Seltene Erden« teilt sich in fünf Teilprojekte auf, die sich unterschiedlichen Themen und Herausforderungen widmen.

Teilprojekt 1 – Materialsubstitution

Mit materialwissenschaftlichen Methoden sollen theoretische Vorhersagen und Vorschläge zur Synthese neuartiger, ferromagnetischer Phasen ohne Nd und Dy bei gleichen magnetischen Eigenschaften erstellt werden.

Teilprojekt 2 – Effizientere Prozesse

Bei der aktuellen Fertigung von Hochleistungs-Permanentmagneten sind die Prozesse durch einen erheblichen Materialverlust gekennzeichnet. Daher sollen Prozessketten etabliert werden, die insbesondere eine aufwendige Nachbearbeitung einsparen und insgesamt gesehen den Materialeinsatz effizienter und die Herstellung kürzer gestalten.

Teilprojekt 3 – Optimierte Auslegung

Die technischen Spezifikationen elektrischer Kleinantriebe, z. B. leistungsbezogene Antriebe in Straßenfahrzeugen für die Motorkühlung und das EPS (Electronic Power Steering, elektromechanische Servolenkung), werden nach strengen Packaging- und Gewichtsvorgaben entwickelt. Im Hinblick auf einen späteren, optimierten Entwurf des Kleinantriebs sind viele Merkmale und konstruktive Lösungsansätze, z. B. Form und Gestaltung der Magnete oder unterschiedliche Nutausführung, zu bewerten, um daraus gezielt Potenziale für Kosteneffekte auch bei den Magnetwerkstoffen abzuleiten.

Teilprojekt 4 – Design for Recycling

Da aktuell weltweit noch kein hundertprozentiges Substitut für (Nd,Dy)-Fe-B Magnete existiert, sollen parallel auch Wege des »Designs für Recycling« wissenschaftlich untersucht werden. Darunter fallen folgende Ansätze:

- Entwicklung für Re-Use- und recyclingfreundliche Elektromotoren,
- Maximierung der Aufbereitungsquote von Elektromotoren beispielsweise aus Altautos in globalen Märkten, Wiedereinsatz gebrauchter Elektromotoren (Re-Use) für denselben oder für einen anderen funktionalen Zweck,
- Wiedereinsatz gebrauchter Permanentmagnete (Re-Use) in Elektromotoren,
- Rückgewinnung von SE-Metallen aus ausgebauten und aufbereiteten Permanentmagneten mit dem Ziel der stofflichen Sekundärrohstoffgewinnung (Recycling).

Teilprojekt 5 – Märkte und Umwelt

Aus wirtschaftlicher Sicht birgt die dominante Stellung eines einzelnen Produktionslandes bei der Verfügbarkeit Seltener Erden die Gefahr unkontrollierter Engpässe oder sogar eines Lieferausfalls. Zusätzlich geht der Abbau der kritischen Metalle Nd und Dy mit großen ökologischen Problemen einher: Es entstehen radioaktive Abfälle und die beiden Metalle sind nur mit hohem Aufwand aus dem Gestein zu lösen.

Durch die Simulation dynamischer Stoffkreisläufe wird analysiert, wo die Seltenen Erden am Ende landen – von der Mine übers Produkt bis hin zur Verschrottung. Auf Basis dieser Erkenntnisse soll die deutsche Wirtschaft unabhängiger von externer Rohstoffversorgung gemacht und mit den Möglichkeiten der Substitution und des Recycling der Bedarf an Nd und Dy verringert werden. Dies hätte zugleich den Effekt, dass dadurch unsere Umwelt weniger belastet wird.

Benefit für Unternehmen

Bis Oktober 2017 soll abgeschätzt werden, wie groß die Vorteile für die deutschen Unternehmen sein können. Mithilfe möglicher Substitutionsansätze könnten die Kosten in der Produktion verringert, die Versorgungssicherheit verbessert und durch den verringerten Abbau auch ein entscheidender Beitrag zur Schonung der Umwelt geleistet werden.

KERAMISCHE PREPREG-FERTIGUNG

DR. JENS SCHMIDT | ☽ +49 921 786931-25 | jens.schmidt@isc.fraunhofer.de

Faserverbundwerkstoffe auf Kunststoffbasis sind als hochsteife und stabile Leichtbaumaterialien weit verbreitet und werden u. a. im Automobil- und Flugzeugbau sowie in Windkraftanlagen eingesetzt. Für faserverstärkte keramische Faserverbundwerkstoffe (CMC) fehlt bisher die breite Anwendung, obwohl sie für viele technische Produkte eine interessante Alternative zu metallischen Werkstoffen darstellen und sich in einigen Hochtemperaturanwendungen auch bereits erfolgreich etabliert haben. Eine der Ursachen sind die hohen Kosten einer aufwendigen, individuellen Fertigung in »Handarbeit« unter Gewährleistung von Werkstoffeigenschaften und Produktqualität. Schlüsselfaktor für die kostengünstige Herstellung zuverlässig reproduzierbarer Qualitäten ist eine kontinuierliche Prepreg-Fertigung, wie sie im Bereich der thermoplastischen Faserverbundkunststoffe – glasfaserverstärkt (GFK) oder kohlenstofffaserverstärkt (CFK) – seit Langem Stand der Technik ist. Das Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperaturleichtbau HTL in Bayreuth arbeitet deshalb an der Übertragung der kontinuierlichen Prepreg-Fertigung auf die Herstellung faserverstärkter Keramiken – eine im Bereich der Keramikfertigung bisher noch nicht industriell etablierte Technologie.

Das Verfahren

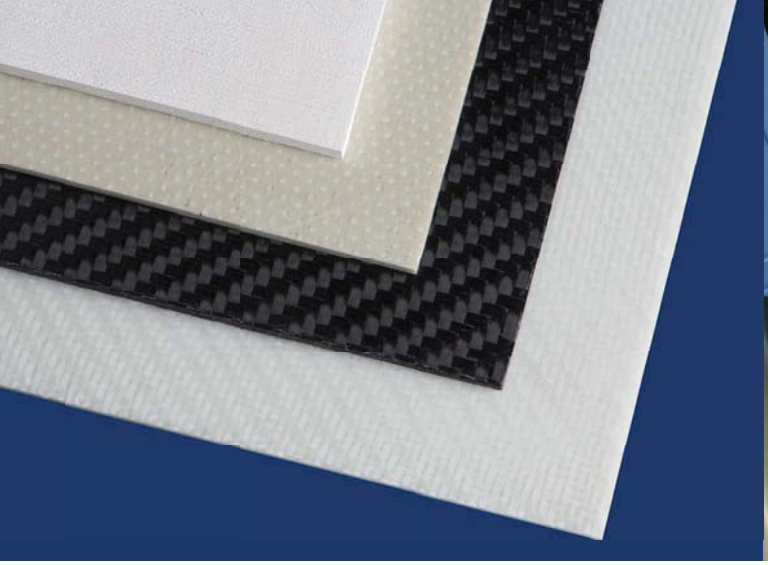
Prepregs werden die bereits mit einer Matrix beschichteten bzw. infiltrierten und vorvernetzten Halbzeuge für die Weiterverarbeitung zu faserverstärkten Verbundwerkstoffen genannt. Die Verstärkungsfasern – entweder Bänder oder Bahnenmaterial, z. B. als textiles Gewebe aus technischen Fasern – werden von Rolle-zu-Rolle in der Prepreganlage mit einem Polymer oder keramischen Schlicker beschichtet. Der Schlicker besteht aus keramischen Pulvern und Additiven sowie einem duroplastischen Binder bzw. aus keramischen Precursoren. Die beschichtete Bahn wird mit einer separat zugeführten Trennfolie vor dem Verkleben geschützt und mittels Umluftofen oder IR-Strahlern vorgetrocknet bzw. vorvernetzt. Das Polymer liegt in vorvernetzter Form vor, ist aber weiterhin bindungsfähig. Prepreg und Trennfolie werden anschließend zu einer Rolle aufgewickelt. Diese Vorstufen sind als Zuschnitte leicht verarbeitbar und können nach der Formgebung durch nachfolgende Hochtemperaturschritte und Sinterprozesse in Keramiken umgesetzt werden.

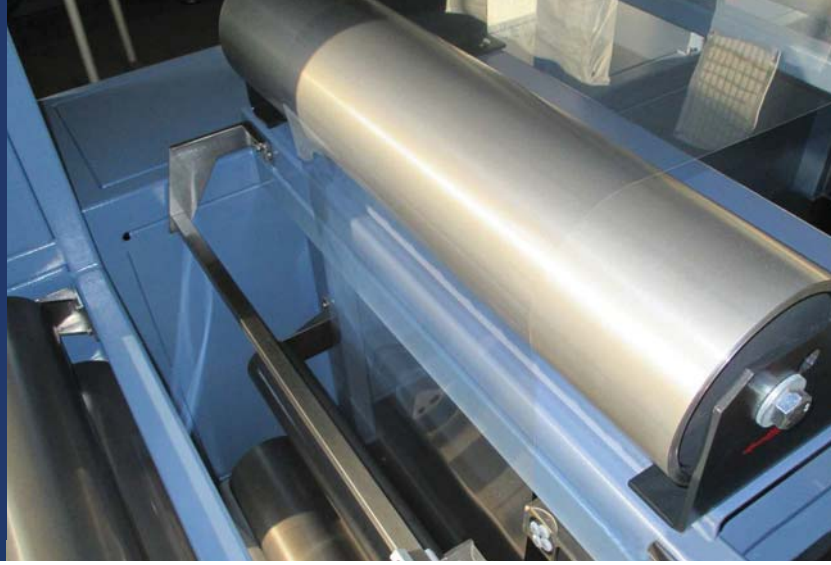
Die Anlage

Die ersten Tests wurden mit Glasfasern und Kohlenstofffasern sowie flüssigen und pulverförmigen Bindern zur Herstellung von GFK und CFK durchgeführt. Prinzipiell können auf der Prepreganlage des Fraunhofer-Zentrum HTL in Bayreuth verschiedene Materialsysteme verwendet werden:

- Glasfasern
- Kohlenstofffasern
- Basaltfasern
- Oxidische Keramikfasern
- Nicht-oxidische Keramikfasern
- Keramische Schlicker mit duroplastischen Bindern oder auf Basis keramischer Precursoren
- Thermoplastische Binder (für nichtkeramische CFK- oder GFK-Prepregs)

Die Verstärkungsfasern lassen sich als unidirektionale Bänder oder Gewebe in Breiten bis zu 600 Millimeter auf der Anlage im kontinuierlichen Rolle-zu-Rolle-Prozess verarbeiten.





Es stehen verschiedene Beschichtungsmodule zur Verfügung, die für unterschiedliche Materialsysteme eingesetzt werden können:

- Foulardmodul: Das Verstärkungsgewebe durchläuft ein Tränkbad. Anschließend wird überschüssiges Material durch Walzen entfernt, sodass eine definierte Schlickermenge oder Binder die Faserbündel und das Gewebe imprägnieren.
- Rakelmodul: Pasten oder Flüssigkeiten werden in vordefinierter Menge einseitig aufgetragen.
- Aufstreumodul für rieselfähige Beschichtungsmaterialien: Auch hierbei wird eine einseitige Beschichtung in vordefinierter Dicke erzeugt.

Darüber hinaus sind auch Batchprozesse möglich, um beispielsweise mit wenig Materialeinsatz verschiedene Systeme und Parameter zu testen.

Damit bietet diese Anlage sehr vielseitige Möglichkeiten für die Herstellung von keramischen – oder auch nicht-keramischen – Prepregs. Sie kann schnell und flexibel auf unterschiedliche Kundenwünsche angepasst werden. So können beispielsweise auch kundeneigene Materialsysteme mit der Anlage getestet werden.

Online-Qualitätskontrolle und Prüfung der Materialeigenschaften

Integriert in den Prepreg-Prozess ist eine kontinuierliche Massenbestimmung. Ein Ultraschallsensor fährt quer zu den Bahnen über das beschichtete Material und misst die Massenverteilung. Durch diese integrierte Online-Überwachung wird der gleichmäßige Auftrag der polymeren Harze bzw. der keramischen Schlicker sichergestellt – Grundlage für eine reproduzierbare Qualität der Verbundbauteile. Die gleichmäßige Vorvernetzung der Polymere nach dem Trocknungsprozess kann mittels Infrarotspektroskopie überwacht werden. Prepregs der bisherigen Testläufe wurden zu Bauteilen mittels Warmpressen weiterverarbeitet und hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften getestet. So wurden beispielsweise GFK- und CFK-Platten durch Stapeln, Verpressen und Aushärten bei ca. 200 °C erzeugt und anschließend die interlaminare Scherfestigkeit normgerecht geprüft. Die Mikrostruktur wurde anhand von Anschliffen im Lichtmikroskop sowie die Homogenität der Platten mittels luftgekoppeltem Ultraschallverfahren analysiert. Mit diesen bildgebenden Analyseverfahren kann die Homogenität der Gefügestrukturen der Faserverbundmaterialien bestimmt und somit Erkenntnisse für die spezifische Anpassung und Optimierung der Prozessparameter gewonnen werden.

Ausblick und Angebot

Vorteil des kontinuierlichen Verfahrens ist die kontrollierte und reproduzierbar gleichmäßige Verteilung der spezifischen Anteile von Fasern, Matrix und Additiven im fertigen Prepreg. Für die Übertragung von der Kunststofffertigung auf die Herstellung keramischer Faserverbundwerkstoffe konnte am Fraunhofer-Zentrum HTL die notwendige Infrastruktur aufgebaut werden. Erste Tests an den einfach handhabbaren GFK- und CFK-Materialsystemen verliefen erfolgreich und zeigten die Machbarkeit. Ein Transfer auf keramische Materialsysteme ist im Laufe des Jahres 2015 geplant. Komplexe keramische Materialsysteme werden nach konkretem Bedarf in das Verfahren mit einbezogen. Ziel ist die Bereitstellung kleiner Mengen von Prepregs für den Prototypenbau oder für die Kleinserienfertigung. Darüber hinaus können im Kundenauftrag spezielle Stoffsysteme für das Verfahren getestet werden. Am Fraunhofer-Zentrum HTL steht neben der Prozessinfrastruktur umfangreiches Verarbeitungs-Know-how zur Verfügung. Auch die Weiterverarbeitung zu Bauteilen sowie das normgerechte Prüfen und Charakterisieren von Prepreg-basierten Werkstoffen für verschiedene Anwendungen können beauftragt werden.

GENERATIVE FERTIGUNG – KERAMIK, METALL

JOACHIM VOGT | ✆ +49 921 786931-417 | joachim.vogt@isc.fraunhofer.de

Generative Fertigung von Keramikbauteilen durch Stereolithographie

Am Fraunhofer-Zentrum HTL wurde in den letzten Jahren Fertigungskompetenz und eine ausgezeichnete Infrastruktur für die Kleinserienfertigung im keramischen 3D-Druck aufgebaut. Vor allem kleine, hochkomplexe und dichte Bauteile, die hohen mechanischen, thermischen oder tribologischen Belastungen ausgesetzt sind oder hohe Anforderungen an die elektrische Durchschlagsfestigkeit erfüllen müssen, werden dort inzwischen mittels 3D-Druck in Form von Prototypen oder Kleinserien gefertigt.

Hierzu wird ein auf Stereolithographie basierendes Druckverfahren eingesetzt, das eine hohe Dichte und Oberflächengüte der Bauteile ermöglicht und weitgehend ohne Nachbearbeitungsschritte auskommt. Das Anwendungsgebiet der Druckteile erstreckt sich von komplexen Komponenten für den Anlagen- und Maschinenbau, der Antriebs-, Mess-, Verfahrens- und Medizintechnik bis hin zur Schmuckindustrie.

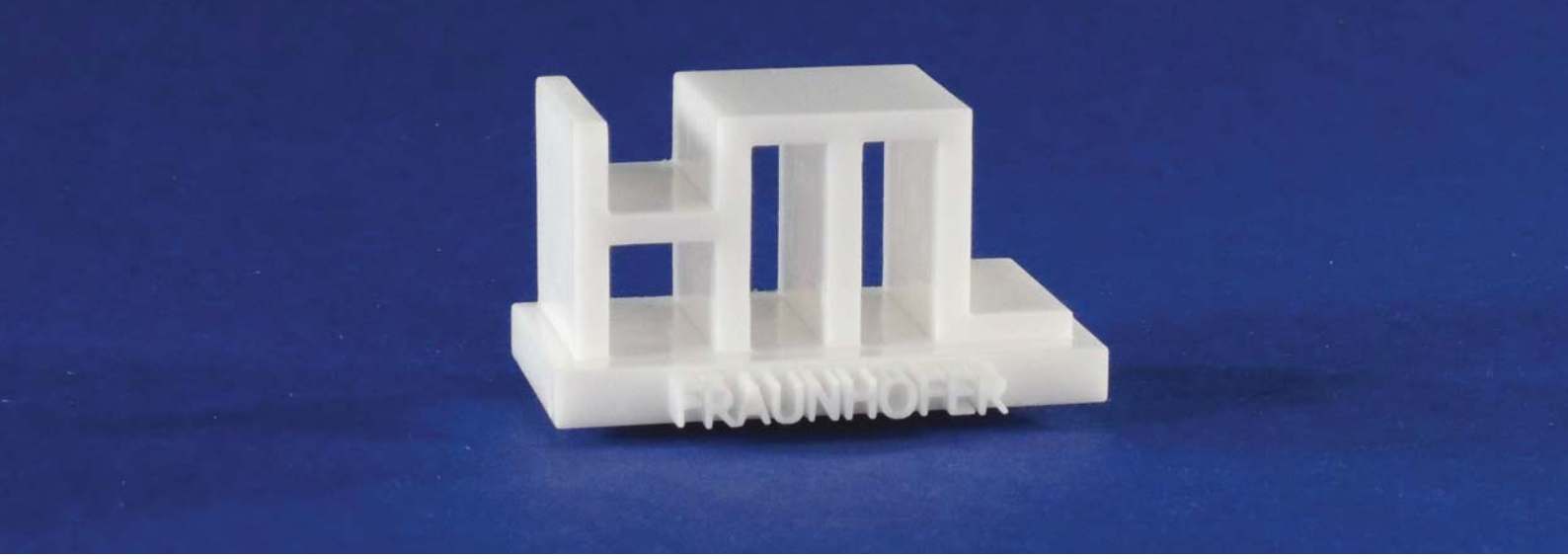
Auch im Hinblick auf die Bauteilkonstruktion bzw. -auslegung und -fertigung sowie auf die thermische Nachbehandlung der komplexen Strukturen nach dem Aufbau durch den 3D-Drucker kann das Fraunhofer-Zentrum HTL umfangreiches Know-how bieten. So wurde z. B. die Dauer des Entbinderungsprozesses durch gezielte Analyse und Optimierung mittels Thermogravimetrie und thermooptischer Messanlagen im Vergleich zum ursprünglichen Temperaturprogramm um mehr als die Hälfte reduziert – eine enorme Zeit- und Energieersparnis.

Ferner wurde das Gefüge der Druckkörper parallel und senkrecht zur Druckebene mittels Ionenböschung, thermischem Ätzen und Rasterelektronenmikroskopie analysiert. Diese Ergebnisse werden im Weiteren mit den mechanischen Eigenschaften und den Druckparametern der Bauteile korreliert.

Zur Qualitätssicherung werden Charakterisierungs- und Analysemethoden wie beispielsweise thermooptische Messverfahren oder hochauflösende Mikrocomputertomografie im Fraunhofer-Zentrum HTL verwendet. Diese Leistungen stehen auch externen Partnern zur Verfügung.

Die Vorteile der Designfreiheit bei diesem Herstellverfahren gehen einher mit einem verfahrensbedingt hohen Anteil an organischen Bindemitteln in den zum Druck verwendeten keramischen Schlickern. Damit verbunden bestehen besondere Herausforderungen bei der Überführung des druckfrischen Grünkörpers über Entbinderung und Sinterung in das fertige gedruckte Keramikbauteil. Mit den im Fraunhofer-Zentrum HTL aufgebauten Kompetenzen lässt sich die thermische Prozessierung solcher hoch binderhaltiger Systeme jedoch beherrschen.

Der Fortschritt der 3D-Druck-Technologie erschließt somit interessante Möglichkeiten für die generative Fertigung von keramischen Bauteilen. Durch den lagenweisen Aufbau von Bauteilen können Geometrien und Designprinzipien erschlossen werden, die durch konventionelle Formgebungsmethoden in der Keramikfertigung bislang nicht oder nur mit einem verhältnismäßig hohen Aufwand realisierbar waren, wie z. B. Hohlkörper mit komplexen Innenstrukturen oder Hinterschneidungen.



Generative Fertigung mittels Pulverdruck

Über Pulverdruckverfahren werden am Fraunhofer-Zentrum HTL metallische und metall-keramische Bauteile gefertigt. Dabei wird das Pulvermaterial schichtweise auf ein Pulverbett aufgetragen und durch einen Tintenstrahldruckkopf selektiv mit einem Bindermaterial besprüht. Durch die Härtung des Binders werden die Pulverpartikel an den bedruckten Stellen untereinander vernetzt und bilden so einen stabilen Formkörper. Dieser wird nach dem Druck nachgehärtet und die Pulverpartikel nach der Entbinderung in einem Temperschritt durch Sintern zusammengefügt.

Zur Erhöhung der Dichte können die gedruckten Bauteile zusätzlich noch mit flüssigem Metall infiltriert werden. Nicht bedrucktes Pulver kann aufgereinigt, recycelt und in den Druckprozess zurück überführt werden.

Die gedruckten Teile können im Anschluss durch Sandstrahlen oder Schleifen nachbearbeitet werden, um die Oberflächengüte zu erhöhen. Der thermische Nachbehandlungsprozess wird auch bei diesem Fertigungsverfahren überwacht und u. a. mittels thermooptischer Messverfahren analysiert und optimiert.

Das Stoffsystem soll in der weiteren Verfahrensentwicklung am HTL auf unterschiedliche keramische Werkstoffe ausgeweitet werden. Darüber hinaus soll das Verfahren im Hinblick auf die Fertigung hochwertiger keramischer Bauteile und Metall-Keramik-Verbundwerkstoffe angepasst und die Prozessparameter für die unterschiedlichen Stoffsysteme abgestimmt werden. Zur Qualitätssicherung und Prozessoptimierung werden u. a. Schliffbilder, hochauflösende Mikrocomputertomographie und mechanische Prüfverfahren eingesetzt.

Der binderbasierte Pulverdruckprozess ist vergleichsweise schnell und emissionsarm. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass keine thermischen Spannungen verursacht werden, welche zu einem Verzug der Bauteile führen können. Mit diesem Druckprinzip können neben Keramikpulvern auch einige reaktive Metalle und Metalllegierungen sowie Sintermetalle verarbeitet werden. Damit eignet sich das Verfahren zur Kleinserienfertigung hochwertiger metallischer und keramischer Bauteile sowie metallkeramischer Verbundbauteile.

PRÄPARATIONSVERFAHREN – CRYO-CSP

DR. JÜRGEN MEINHARDT | ✆ +49 931 4100-202 | juergen.meinhardt@isc.fraunhofer.de

In den vergangen Jahren haben sich Ionenstrahlverfahren zur anspruchsvollen Präparation für die Elektronenmikroskopie in der Materialanalytik etabliert. Vorteil der Verfahren gegenüber klassischen Präparationsmethoden wie Schneiden, Brechen, Schleifen und Polieren ist die geringe Artefaktbildung. Bei den klassischen mechanischen Verfahren wird die Gefügestruktur der zu untersuchenden Proben merklich verändert und Verunreinigungen eingetragen, frisch präparierte Oberflächen reagieren unter Umständen sofort mit Sauerstoff, das Material wird oxidiert. Dies führt zu einer Verfälschung der Analysen und macht bei manchen Fragestellungen eine korrekte Aussage nahezu unmöglich. Zielpräparationen im Mikrometerbereich, wie man sie in vielen Fällen zur Schadensanalyse benötigt, sind sehr aufwendig und je nach Material und Schaden gar nicht zu realisieren, auch poröses oder nicht verfestigtes Material lässt sich mit klassischen Methoden kaum präparieren.

Präzise und artefaktfreie Zielpräparation mit Ionenstrahlen

Dagegen können bei richtig angewandten Ionenstrahlverfahren sehr effizient nahezu artefaktfreie Proben für raster- und transmissionselektronenmikroskopische Untersuchungen hergestellt werden, selbst aus schwierig zu präparierenden Materialien wie beispielsweise keramischen Grünkörpern. Am Fraunhofer ISC wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Ionenstrahlpräparationsmethoden etabliert.

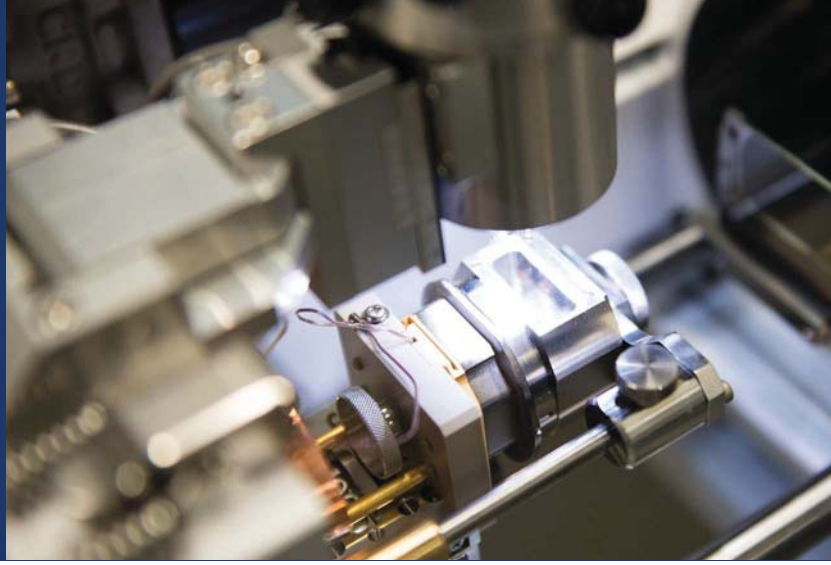
Eins der Verfahren ist die sogenannten »Focused Ion Beam (FIB)«-Methode, bei der in einem Rasterelektronenmikroskop (REM) eine präzise Zielpräparation mit einem Gallium-Ionenstrahl durchgeführt wird – insbesondere bei der Präparation sehr dünner Lamellen für die Untersuchung im Transmissionselektronenmikroskop (TEM) und für die Präparation sehr sauerstoffempfindlicher Proben, die direkt nach der Präparation im Vakuum des REM unter Sauerstoffausschluss weiter analysiert werden können.

Eine andere Methode, die sehr saubere und störungsfreie Querschnitte in das Probenmaterial erlaubt, ist das »Cross Section Polishing (CSP)«, auch »Ionenböschung« genannt. Dabei wird mit einem Argon-Ionenstrahl eine artefaktfreie Querschnittsfläche mikrometergenau durch das Präparationsziel – z. B. eine Fehlstelle im Material – geschnitten.

Beide Präparationsmethoden haben sich bei einer Vielzahl von Materialien bestens bewährt und ermöglichen präzise Aussagen über Materialzusammensetzung, Gefügestruktur und Grenzflächenphänomene im Material. Dennoch gibt es eine Wechselwirkung des Materials mit dem als Schneidinstrument verwendeten Ionenstrahl.

Hitzeschutz für empfindliche Proben im Cryo-CSP

Die bei der CSP-Ionenstrahlpräparation auf das Material auftreffenden Edelgasionen verursachen zwar nicht direkt Änderungen im Chemismus oder im Gefüge, aber sie tragen Energie ein, das Probenmaterial heizt sich lokal auf, je nach Dauer der Präparation auf bis zu 120 °C. In vielen Fällen spielt diese Aufheizung keine Rolle, für manche Materialien ist sie aber unerwünscht. So kann beispielsweise bei Hydratphasen oder Elementen wie Blei und Zink schon ein Abdampfen oder ein Phasenübergang ausgelöst werden.



Auch für die Präparation organischer Materialien oder Kunststoffe und wachsartiger Stoffe stellt die Aufheizung ein Problem dar.

Im letzten Jahr wurde aus diesem Grund ein neues Präparationsgerät aufgebaut, das Cryo-CSP – die erste Anlage dieser Art in Europa. Im Cryo-CSP werden die Proben während der Präparation auf -160 °C gekühlt. Dadurch kann die Aufheizung bei der Ionenstrahlpräparation vermieden und nun auch temperaturempfindliche Materialien artefaktfrei für die nachfolgenden Analysen in den Elektronenmikroskopen vorbereitet werden. Zusätzlich können die Proben in definierter Atmosphäre, also z. B. sauerstofffrei, bearbeitet und transferiert werden – insbesondere wichtig bei der Untersuchung von Batteriematerialien.

Gut gekühlt – auch bei der TEM-Präparation

Bei der Präparation dünner Lamellen (ca. 100 Nanometer, um elektronentransparent zu sein) für höchstauflösende, teils atomare TEM-Analysen mit der FIB-Methode werden die Materialien ebenfalls durch den Ionenstrahlbeschuss aufgeheizt. Mit einer Ion-Slicer-Anlage, ausgestattet mit Stickstoffkühlung, wurde die Präparationsmethodik erweitert, um temperaturempfindliche Materialien für die Untersuchung im TEM besser vorbereiten zu können. Das ist wichtig, z. B. um die Keimbildung in Gläsern, um Zemente oder andere hydratphasenhaltige Materialien sowie um blei- und zinkhaltige Materialien analysieren zu können. Das Gerät ermöglicht zudem die Präparation großer TEM-Probenlamellen von bis zu 160 000 µm² Fläche (zum Vergleich: FIB-Lamellen kommen auf ca. 200 µm² Fläche), das heißt die TEM-Analysen werden wesentlich repräsentativer, die Herstellung vieler kleiner FIB-Lamellen für die gleiche Fläche wird vermieden.

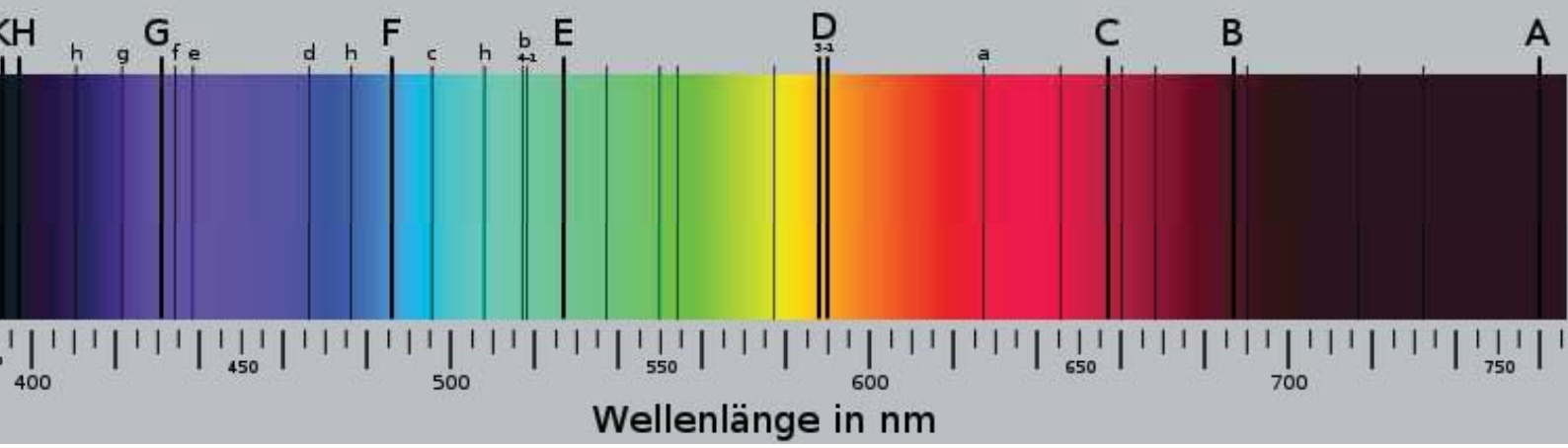
Probenpräparation, Analytik, Material-Know-how – einzigartige Kombination

Mit den FIB-Verfahren, der Standard-CSP-Präparation sowie dem Cryo-Ionslicer und der Cryo-CSP verfügt das Fraunhofer ISC damit über eine europaweit einzigartige Ausstattung zur artefaktfreien Präparation einer Vielzahl unterschiedlicher Materialien für elektronenmikroskopische Untersuchungen. Zusammen mit der ebenfalls im Institut etablierten höchstauflösenden bildgebenden Analytik sowie dem profunden Präparations-, Analytik- und Material-Know-how bietet das Zentrum für Angewandte Analytik seinen Kunden beste Voraussetzungen für die effiziente Qualitätssicherung in der Produktion wie auch für die materialbasierte Weiterentwicklung von Produkten und Produktionsprozessen.

Roland Och,
ITW Automotive Products GmbH, Röttingen

»Das Zentrum für Angewandte Analytik ZAA hat uns schon bei einigen Fragen der Qualitätssicherung in der Produktion unterstützt. Die genaue Materialkenntnis, das analytische Know-how und die umfassende, kundenorientierte Beratung in materialtechnischen Fragen im Fraunhofer ISC setzen wir auch immer wieder erfolgreich in unserer eigenen Produktentwicklung ein.«

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 66 Institute und Forschungseinrichtungen. Knapp 24 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2 Milliarden Euro. Davon fallen rund 1,7 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang 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. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich. Im Bild oben zu sehen sind die von Fraunhofer im Solaren Spektrum entdeckten Absorptionslinien der Sonnenphotosphäre

IMPRESSUM

Redaktion
Marie-Luise Righi
Pelin Abuzahra
Martina Hofmann
Lena Hirnickel
Katrin Selsam-Geißler
Prof. Dr. Gerhard Sextl

Grafiken und Diagramme
Winfried Müller
Katrin Selsam-Geißler

Layout und Produktion
Katrin Selsam-Geißler

Übersetzung
Intellitext SprachenService, Würzburg

Bildquellen:
Wenn keine andere Quelle angegeben ist, liegen die Bildrechte beim Fraunhofer ISC.
Seite 56: Wikipedia

Druck:
Druckerei Lokay e. K.
Königsberger Str. 3
64353 Reinheim

lokay
natürlich nachhaltig
individuelle umweltfreundliche printprodukte: www.lokay.de

Gedruckt auf FSC-zertifizierten Papier.
Das Kopieren und Weiterverwenden von Inhalten ohne Genehmigung der Redaktion ist nicht gestattet.

© Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC, Würzburg 2015

Anschrift der Redaktion
Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC
Neunerplatz 2
97082 Würzburg
✆ +49 931 4100 0
marie-luise.righi@isc.fraunhofer.de
www.isc.fraunhofer.de

Anschriften weiterer Standorte
Fraunhofer ISC – Außenstelle Bronnbach
Bronnbach 28
97877 Wertheim-Bronnbach
✆ +49 9342 9221-702

Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL
Gottlieb-Keim-Str. 62
95448 Bayreuth
✆ +49 921 78510-910
htl.info@isc.fraunhofer.de
www.htl.fraunhofer.de

Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS
Brentanostraße 2, 63755 Alzenau
sowie im Industriepark Hanau-Wolfgang, 63457 Hanau
✆ +49 6023 32039-801
iwks.info@isc.fraunhofer.de
www.iwks.fraunhofer.de