Fraunhofer
MATERIALS

FRAUNHOFER-VERBUND WERKSTOFFE, BAUTEILE – MATERIALS

... FOR TOMORROW.

Liebe Leser, sehr geehrte Damen und Herren,

ob im Büro, im Labor, zu Hause oder unterwegs – ständig und überall sind wir von Werkstoffen umgeben. Ob Sie Ihr Smartphone bedienen, sich an den angenehmen Licht- und Temperaturverhältnissen in Ihrem Büro freuen, zu denen photochrome Fensterscheiben beitragen oder ob Sie auf der Heimfahrt den Fahrkomfort genießen, den Ihnen das adaptive Fahrwerk in Ihrem Pkw beschert – Sie nutzen ganz selbstverständlich Materialinnovationen und erfolgreiche Werkstoffentwicklungen. Vordergründig meist nicht wahrnehmbar bilden Werkstoffe oft den eigentlichen Schlüssel zur Produktinnovation.

Die Verfügbarkeit von geeigneten Werkstoffen und die Beherrschung von Werkstofftechnologien stellen seit jeher starke Wettbewerbsfaktoren für Industriegesellschaften dar und prägen den technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Fortschritt maßgeblich mit. In besonderem Maße ist der Erfolg einer exportstarken Wirtschaft durch Werkstoffinnovationen geprägt; einer Nation etwa wie Deutschland, in der ein hoher Anteil am Bruttoinlandsprodukt im produzierenden Gewerbe erwirtschaftet wird.

Material- und werkstoffgetriebene Innovationen fußen auf erfolgreicher interdisziplinärer FuE-Kooperation und auf starken Wertschöpfungsnetzwerken. Der Fraunhofer-Verbund MATERIALS repräsentiert ein breit gefächertes interdisziplinäres Kompetenzspektrum. Die vorliegende Broschüre zeigt einige Arbeitsbeispiele. Um für ihre Kunden bestmögliche Lösungen zu erarbeiten, vernetzen sich die Institute des Verbundes untereinander. Sprechen Sie uns an!

Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner
Vorsitzender Fraunhofer-Verbund MATERIALS

INHALT

VERBUND 8

- Fraunhofer MATERIALS – Stark im Verbund
- Fraunhofer MATERIALS – Mehrwert im Netzwerk

UNSERE KERNKOMPETENZEN 12

- Materialentwicklung
- Technologieentwicklung
- Bewertung des Einsatzverhaltens
- Werkstoffmodellierung und Simulation

UNSERE GESCHÄFTSFELDER 14

ENERGIE UND UMWELT 16

- Herstellung von Biodiesel im überkritischen Prozess – Neues Verfahren verspricht Effizienzsteigerung, Umweltvorteile und Kostenreduktion
- BladeMaker – Industrialisierte Rotorblattfertigung
- Anti-Eis-Schichten
- Biokunststoffe industrietauglich machen – Beispiel: PLA
- Redox-Flow-Batterien zur Speicherung erneuerbarer Energie
- Recycling von Seltenerdmagneten und Produktionsabfällen
- Recycling von großformatigen Compositebauteilen – Rotorblättern
- Perspektiven der Kreislaufwirtschaft
- High-Throughput-Screening zur Entwicklung neuer Dauermagnete
- Schnelltestentwicklung für die potenzial-induzierte Degradation von Solarmodulen
- Molecular Sorting – Selektive Rückgewinnung und Abtrennung von Metallen
- Bestehende Kohlekraftwerke flexibler und langlebiger machen
- Sicherheit der Rohstoffversorgung bewerten und verbessern
- Dynamische Modellierung anthropogener Stoffkreisläufe
- Kleine Zellen – große Wirkung: III-V Hocheffizienzsolarzellen
- Organische Solarzellen

- Effizientes Recycling und optimierte Wertstoffkreisläufe für nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit
- Hocheffiziente, cadmiumfreie Quantenpunkte für QLEDs und Solarzellen
- Energiespeicher – von der Materialentwicklung bis zur Wiederverwertung
- Energieeffizienz bei Hochtemperaturprozessen
- Substitution kritischer Rohstoffe – Neue Permanentmagnete für die Energiewende
- Keramische Membranen für die Abwasserbehandlung und Wasseraufbereitung

MOBILITÄT.....34

- Neue naturfaserverstärkte Hybridwerkstoffe
- Prozessentwicklung zum sequenziellen Preforming textiler Halbzeuge
- Funktionsintegrierter Leichtbau
- Kleben mit vorappliziertem Klebstoff
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Eisenbahnwesen: Das Fraunhofer IZFP sorgt für Ihre Sicherheit auf der Schiene
- Zerstörungsfreie Prüfung – Industrielle Röntgenprüfmethoden von morgen
- Betriebsfeste Integration aktiver Materialien, Leichtbau Zukunft der Flugzeugflügel
- Von Korngrenzen bis Crashsicherheit: Prozesskettensimulation für die Bauteilentwicklung
- Solare Wasserstoff-Tankstelle: Mit Sonne und Wasser Auto fahren
- Solarmodule in Leichtbauweise
- Ground Thermal Test Bench
- Mikrostrukturelle Bewertung energiesparender und verschleißresistenter Reifenwerkstoffe
- Crash-Zentrum am Fraunhofer EMI
- Gestensteuerung – intelligente Mensch-Maschine-Schnittstellen
- Neue Methoden zur verbesserten Simulation von Vogelschlag

GESUNDHEIT.....48

- Biomaterialien retten das Augenlicht

INHALT

- Regioselektiv ausgerüstete Hohlfasermembran für die Blutreinigung
- Metallische Implantatwerkstoffe – Hochporös und degradierbar
- Abbaubare, lasttragende Implantate – neue Werkstoffentwicklung für den Menschen
- Infektionsschutz durch antibakterielle Knochenimplantate
- Entwicklung und Evaluierung neuer Therapieformen für chronische Hauterkrankungen
- Vorbeugender Wundschutz – Druckmessstrumpf für Diabetiker
- Mikrostrukturelle Bewertung des Einsatzverhaltens von Zahnpflegeprodukten
- Keramische Werkstoffe für die additive Fertigung

MASCHINEN- UND ANLAGENBAU 54

- Leistungsstärkere Kunststoffe im Kilo-Maßstab entwickeln
- Kompakter Dämpfungstisch für sensible Geräte
- Reibungsmindernde Schichten
- Modularer Hochtemperatur Reaktor für die kontinuierliche Synthese von Nanopartikeln
- Veredelung und Prüfung von CFK-Bauteilen
- Trennmittelfreie FVK-Bauteilfertigung durch Flex$^{PLAS®}$ Trennfolie
- Winzigen Rissen auf der Spur – Aktive Thermographie mit induktiver Anregung
- Flüssigkristalle als Schmierstoffe in kleinen Antrieben
- Neue Tests auf der Mikroskala für mehr Zuverlässigkeit von großen und kleinen Bauteilen
- Keramische Leuchtstoffe für die Produktmarkierung

BAUEN UND WOHNEN 62

- Betonroboter untersucht Parkhäuser und Brücken auf Schäden
- Flexibel und funktional: Vorgefertigte Fassadenelemente erleichtern die Gebäudesanierung

- Adsorberentwicklung: Adsorptionswärmepumpen und -kältemaschinen
- Holz-Polymer-Werkstoffe (WPC) mit Flammschutz
- Hochporöse Beschichtungen für thermische Kühlanlagen und Wärmepumpen
- Holzschaum - Vom Baum zum Schaum

MIKROSYSTEMTECHNIK 66

- Neue Sensormaterialien ermöglichen flexible und leichte Touchscreens für Displays
- Neue Fehleranalytikverfahren für die 3D-Integration mikroelektronischer Systeme
- Edelmetalltinten für die Mikroelektronik

SICHERHEIT 68

- Den richtigen Fluchtweg finden mit der neuen Sensorplattform
- Die lizensierte Software »VITRUV«
- Transparentkeramik für den Ballistikschutz
- InnoSolTEX® – funktionalisierte Textilien
- DUCON: Ein leistungsfähiger Werkstoff bei dynamischen Einwirkungen
- Satelliten-Verwundbarkeitsanalyse-Software »PIRAT«

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT 76

- Impressum

FRAUNHOFER MATERIALS – STARK IM VERBUND

Die Institute der Fraunhofer-Gesellschaft haben sich in sieben thematisch orientierten Forschungsverbünden organisiert, um die fachliche Kooperation zu verstärken und eine gemeinsame und koordinierte Leistung anbieten zu können.

Der Fraunhofer-Verbund MATERIALS bündelt die Kompetenzen von 15 materialwissenschaftlich orientierten Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft.

Der Verbund setzt sein Know-how schwerpunktmäßig in folgenden volkswirtschaftlich bedeutenden **Geschäftsfeldern** ein, um über maßgeschneiderte Werkstoff- und Bauteilentwicklungen Systeminnovationen zu realisieren:

- Energie und Umwelt
- Mobilität
- Gesundheit
- Maschinen- und Anlagenbau
- Bauen und Wohnen
- Mikrosystemtechnik
- Sicherheit

Die **Kernkompetenzen** der Fraunhofer-Materialforschung umfassen die gesamte Wertschöpfungskette:

- Materialentwicklung
- Technologieentwicklung
- Bewertung des Einsatzverhaltens
- Werkstoffmodellierung und Simulation

Dabei deckt der Verbund den gesamten Bereich der metallischen, anorganisch-nichtmetallischen, polymeren und aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Werkstoffe ab.

Das Gesamtbudget des Verbunds MATERIALS betrug im Jahr 2015 über 515 Millionen Euro. Über 4500 Mitarbeiter sind im Verbund tätig, davon etwa 2400 Wissenschaftler.

Ihre Ansprechpartner:

Verbundvorsitzender
Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner
Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT
Telefon +49 721 4640-401
peter.elsner@ict.fraunhofer.de

Stv. Verbundvorsitzender
Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn
Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS
Telefon +49 345 5589-100
ralf.wehrspohn@imws.fraunhofer.de

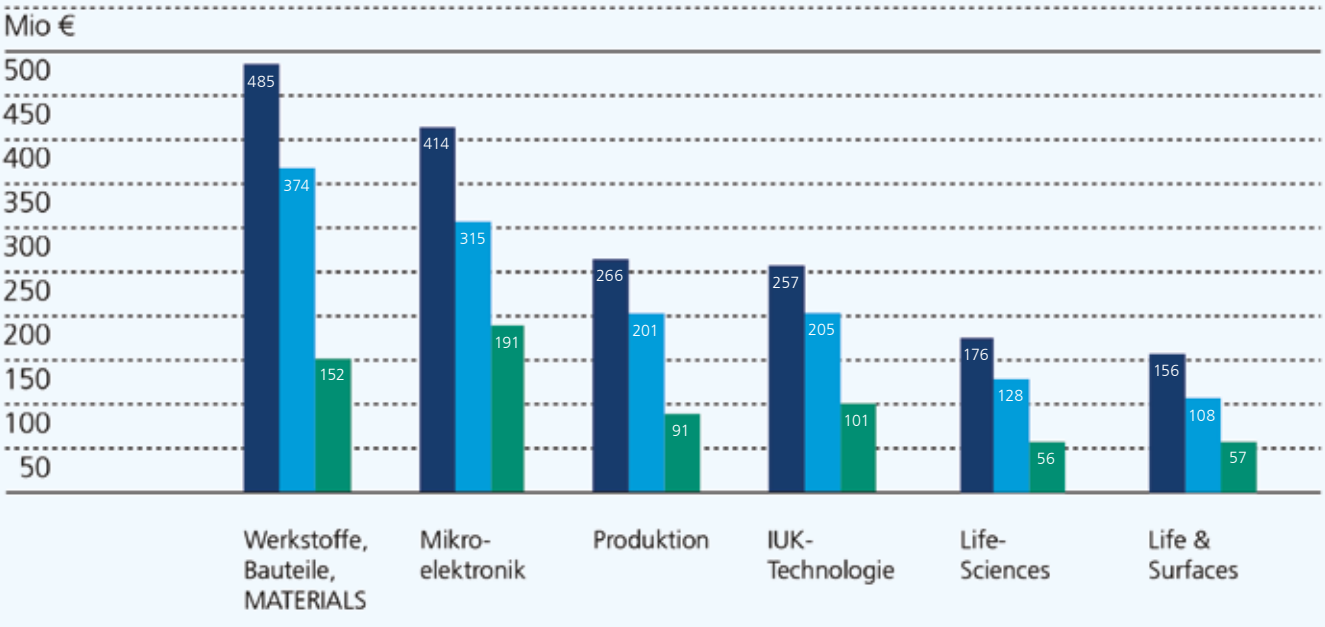
Geschäftsstelle:
Dr. phil. nat. Ursula Eul
Telefon +49 6151 705-262
info-verbund-materials@lbf.fraunhofer.de
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
Bartningstraße 47
64289 Darmstadt
www.materials.fraunhofer.de

■ Aufgaben und Funktionen

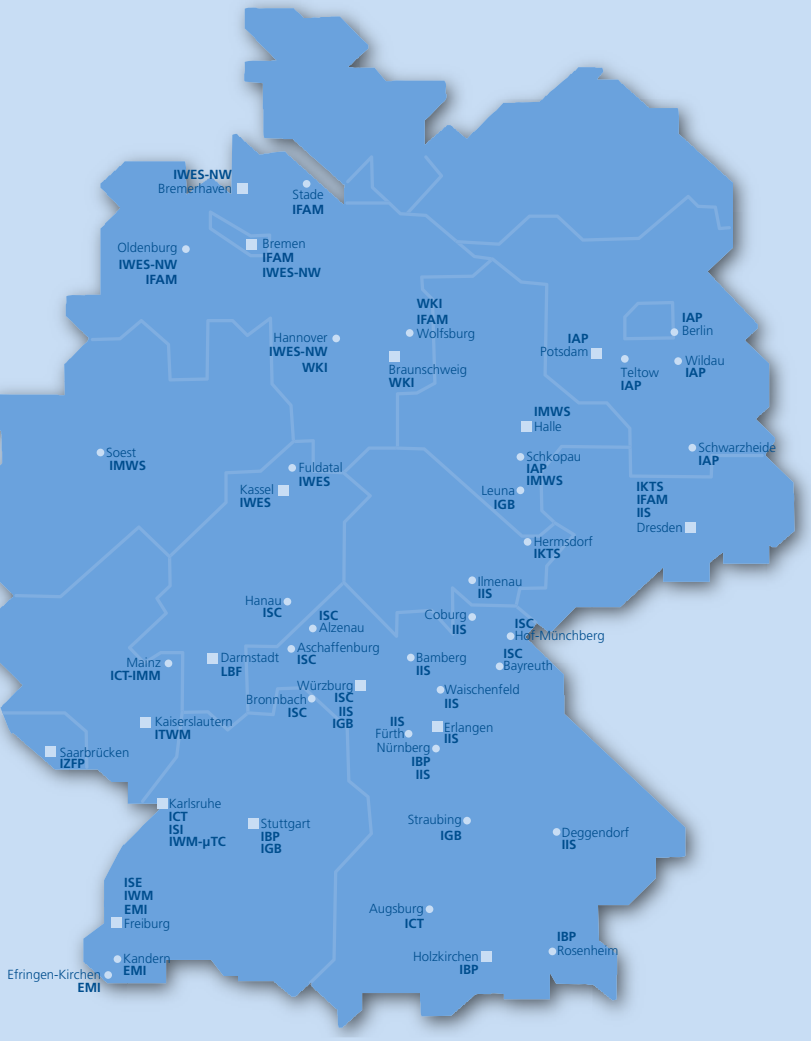
Materialforschung bei Fraunhofer umfasst die gesamte Wertschöpfungskette von der Entwicklung neuer und der Verbesserung bestehender Materialien über die Herstelltechnologien im industrienahen Maßstab, die Charakterisierung der Eigenschaften bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens. Entsprechendes gilt für die aus den Materialien hergestellten Bauteile und deren Verhalten in Systemen.

- Korporative Kontaktplattform zum Markt
- Kohärente Kommunikation mit dem Markt
- Initiierung und Durchführung von Verbundprojekten und FuE-Kooperationen
- Strategische Bündelung und Weiterentwicklung der Fraunhofer-Kompetenzen
- Koordination von Fraunhofer-internen Forschungsprogrammen
- Koordination der strategischen Investitionsplanung der Verbundinstitute
- Beratende Unterstützung für nationale und internationale FuE-Politik
- Beratende Unterstützung und Mitwirkung an Entscheidungen des Fraunhofer-Vorstandes
- Implementierung der Vorstandsentscheidungen im Verbund
- Langfristige gemeinschaftliche Planungs- und Handlungsplattform

Aufwendungen und Erträge der Fraunhofer-Verbünde im Leistungsbereich Vertragsforschung 2016



FRAUNHOFER MATERIALS – MEHRWERT IM NETZWERK



Fraunhofer EMI
Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut
www.emi.fraunhofer.de

Fraunhofer IAP
Institut für Angewandte Polymerforschung
www.iap.fraunhofer.de

Fraunhofer IBP
Institut für Bauphysik
www.ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer ICT
Institut für Chemische Technologie
www.ict.fraunhofer.de

Fraunhofer ICT-IMM
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie
www.imm.fraunhofer.de

Fraunhofer IFAM
Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung
www.ifam.fraunhofer.de

Fraunhofer IKTS
Institut für Keramische Technologien und Systeme
www.ikts.fraunhofer.de

Fraunhofer IMWS
Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen
www.imws.fraunhofer.de

Fraunhofer ISC
Institut für Silicatforschung
www.isc.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE
Institut für Solare Energiesysteme
www.ise.fraunhofer.de

Fraunhofer ISI
Institut für System- und Innovationsforschung
www.isi.fraunhofer.de

Fraunhofer IWES
Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik
www.iwes.fraunhofer.de

Fraunhofer IWES Nordwest
Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik
www.iwes.fraunhofer.de

Fraunhofer IWM
Institut für Werkstoffmechanik
www.iwm.fraunhofer.de

Fraunhofer IZFP
Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren
www.izfp.fraunhofer.de

Fraunhofer LBF
Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit
www.lbf.fraunhofer.de

Fraunhofer WKI
Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut
www.wki.fraunhofer.de

Gastinstitute:
Fraunhofer IGB
Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik
www.igb.fraunhofer.de

Fraunhofer IIS
Institut für Integrierte Schaltungen
www.iis.fraunhofer.de

Fraunhofer ITWM
Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik
www.itwm.fraunhofer.de

Die Institute im Fraunhofer-Verbund MATERIALS tragen maßgeblich zur Lösung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Herausforderungen bei.

Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner
Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds MATERIALS
Institutsleiter Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT

4592 Mitarbeiter*

2385 Wissenschaftler*

15 Mitgliederinstitute + 3 Gastinstitute*

514 Millionen Euro Forschungsbudget*

* Stand 31.12.2016

UNSERE KERNKOMPETENZEN

Im Fraunhofer-Verbund MATERIALS haben sich die vorwiegend materialwissenschaftlich ausgerichteten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft zusammengeschlossen. Weitere Institute wirken als Gäste mit und bringen zusätzliches, die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik ergänzendes System- und Verfahrenswissen aus ihren jeweiligen Anwendungsfeldern mit ein. Somit bündelt der Verbund sehr weit gefächerte Kompetenzen und Erfahrung entlang der gesamten Wertschöpfungskette, über alle Werkstoffklassen hinweg.

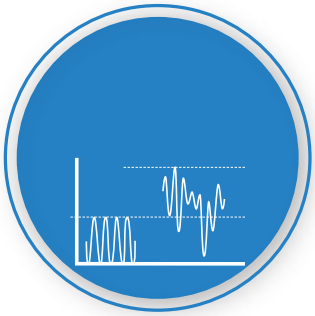
MATERIALENTWICKLUNG

Bei der überwiegenden Zahl aller Produktinnovationen spielen Werkstoffe eine entscheidende Rolle. Entweder sind Werkstoffinnovationen impulsgebend für die Entwicklung eines neuen Produktes oder die Produktentwicklung definiert konkrete Anforderungsprofile für neu zu entwickelnde bzw. zu verbessernde Werkstoffe. Studien zufolge basieren ca. 70 Prozent aller neuen Erzeugnisse auf neuen Werkstoffen. Auch unter Kostenaspekten gewinnen Materialien zunehmend an Bedeutung,

Die Institute des Fraunhofer-Verbundes MATERIALS tragen auf dem Gebiet der Materialentwicklung in einer großen Spannweite zu Innovationsprozessen bei. Einige Beispiele für erfolgreiche Materialentwicklung bei Fraunhofer sind etwa polymere Hochleistungsfasern für den Leichtbau, keramische Fasern für Hochtemperaturanwendungen, für Spezialanwendungen optimierte Matrixharze oder Faserverbunde. Weitere Entwicklungen finden im Bereich nanoskaliger Materialien, Halbleitermaterialien, Phasenwechselmaterialien oder »smarter« Materialien statt. Spezialkeramiken gehören ebenso in das FuE-Spekturm wie funktionale Polymere mit spezifischen (elektrischen, elektrooptischen, optischen und mechanischen) Eigenschaften oder die gezielte Einstellung von Eigenschaftsprofilen durch neue Additive. Ein spezielles Augenmerk gilt der Werkstoffentwicklung aus biobasierten Materialen und aus Recyclaten.

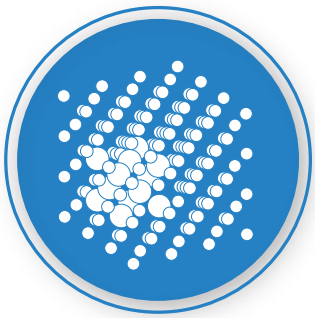
TECHNOLOGIEENTWICKLUNG

Moderne Werkstoffe müssen anspruchsvollen Eigenschaftsprofilen genügen. Sie sollen nicht nur leicht, belastbar, biokompatibel, langlebig und »smart« sein, auch ihre Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung soll ökonomisch, ressourcen- und materialeffizient sein. Um diese und ähnlich komplexe Anforderungen zu realisieren, bedarf es neben der reinen Materialentwicklung einer breiten Palette an ausgefeilten Werkstofftechnologien. Oft entscheiden die Herstellungs-, Be- und Verarbeitungsprozesse darüber, wie leistungs- und wettbewerbsfähig ein Werkstoff und damit letztlich die daraus hergestellten Produkte in der Praxis tatsächlich sind. Mit der Entwicklung fortschrittlicher Werkstofftechnologien leisten die Institute des Fraunhofer-Verbundes MATERIALS signifikante Beiträge zur Lösung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Herausforderungen. Zu den Arbeitsgebieten der Institute zählen die Entwicklung und der Einsatz von ausgewählten Technologien zur Oberflächenveredelung, Beschichtung und Funktionalisierung von Materialien ebenso wie die Weiterentwicklung und Optimierung von Füge- und Bearbeitungsverfahren oder die Entwicklung ganz neuer Prozesse und Verfahren, zum Beispiel im Bereich der Polymersynthese, Mikroformung oder Rapid Prototyping bis hin zum Recycling.



BEWERTUNG DES EINSATZ-VERHALTENS

Fraunhofer-Wissenschaftler entwickeln im Auftrag ihrer Kunden Werkstoffe und Technologien passend für den jeweiligen Einsatzzweck, ob für den Fahrzeugbau, die Medizintechnik oder die Energieerzeugung, ob für statische oder hoch dynamische Beanspruchungen. Damit die Werkstoffe bzw. die daraus hergestellten Bauteile und Produkte im Praxiseinsatz tatsächlich bestehen können, wird der Entwicklungsprozess in seinen verschiedenen Stufen durch jeweils passende Methoden der Analyse, Charakterisierung und Prüfung bis hin zur Qualitätskontrolle und Einsatzerprobung begleitet. Die Fraunhofer-Institute im Verbund MATERIALS bieten ein umfassendes Spektrum an Methoden und Verfahren zur Prüfung und Bewertung von Funktionalität einerseits sowie von Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit andererseits. Dafür stehen über den gesamten Werkstoff- bzw. Produktlebenszyklus, auf der Mikro- wie auf der Makroskala zahlreiche numerische wie experimentelle Verfahren, hier zerstörende wie auch nicht-zerstörende Verfahren, zur Verfügung. Dazu zählen auch »intelligente« Methoden des Structural Health Monitoring oder des in-line Monitoring von Fertigungsprozessen, z. B. mittels Computertomographie. In dem Maße, in dem Werkstoffe und Produkte weiter entwickelt werden, erfahren auch Prüfverfahren und Bewertungsmethoden Innovationsprozess.



WERKSTOFFMODELLIERUNG UND SIMULATION

Moderne Werkstoffentwicklung findet mit Blick auf den späteren Einsatzzweck in Produkten auf Basis einer klaren Definition von Zieleigenschaften für den Werkstoff statt. Idealerweise können diese Zieleigenschaften bis auf die Mikrostrukturebene herunter gebrochen werden. Mit Simulationstechniken entwerfen Fraunhofer-Wissenschaftler neue Materialien am Rechner und testen deren Eigenschaften virtuell, über viele Skalen hinweg. Sie erheben Materialdaten, erarbeiten entsprechende Materialmodelle und sagen etwa voraus, wie sich ein Kunststoff-Compound im Spritzgussprozess verhält. Sie untersuchen am Rechner, ob die maßgeschneiderte Antireflexbeschichtung für Solarzellen die gewünschten Eigenschaften im Einsatz beibehält oder wie sich sicherheitskritischen Zonen einer Leichtbaukarosserie beim Zusammenprall mit einem Hindernis verhalten. Mit Methoden der Werkstoffmodellierung, passenden Simulationsinstrumenten und dem entsprechenden Expertenwissen lassen sich kosten- und zeitintensive Versuchsreihen im Umfang reduzieren und Entwicklungszeiten deutlich verkürzen. In den Instituten des Fraunhofer-Verbundes MATERIALS werden Modellierungs- und Simulationstechniken eingesetzt und anwendungsspezifisch weiterentwickelt.

UNSERE GESCHÄFTSFELDER

Fortschritte in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik sind essenziell für Innovationen in allen Technologiebereichen und geben oft die entscheidenden Impulse. Die Verfügbarkeit optimierter Werkstoffe und der zugehörigen Herstellungs- und Verarbeitungstechnologien ist ein für die Wettbewerbsfähigkeit von Wirtschaftsräumen entscheidender Faktor. Der Fraunhofer-Verbund MATERIALS befasst sich mit vielfältigen Herausforderungen in den folgenden Schlüsselfeldern und erarbeitet maßgeschneiderte Lösungen.

ENERGIE UND UMWELT

Energie- und Ressourceneffizienz zur Sicherstellung einer bezahlbaren, zuverlässigen und zugleich umweltschonenden Energieversorgung einer wachsenden Weltbevölkerung sind ohne Materialinnovationen nicht denkbar. Die Anforderungen der Energiewende an Energieerzeugung, -transport, -versorgung und -speicherung definieren besondere Herausforderungen für Werkstoffe und Werkstofftechnologien. Parallel spielt die Verfügbarkeit bestimmter Rohstoffe für zahlreiche Hightech-Anwendungen eine Schlüsselrolle. Die Entwicklung von effizienten Recyclingmethoden und verfügbaren, leistungsfähigen Substitutwerkstoffen sind drängende Forschungsaufgaben.

MOBILITÄT

Ein leistungsfähiges Verkehrssystem ist essenziell für eine moderne Gesellschaft, für Wirtschaftswachstum, Beschäftigung und Wohlstand. Für Mobilität und Verkehr sind Werkstoffe neben der Elektronik die wesentlichen Innovationstreiber. Wettbewerbsfähige Material- und Systemlösungen für straßengebundene wie schienengebundene Fahrzeuge, in der Luftfahrt wie im Schiffsbau müssen jeweils spezifische Anforderungsprofile aus Ressourcen- und Energieeffizienz, aus Leichtbau, Sicherheit, Systemzuverlässigkeit und Komfort erfüllen. Dies gilt für Elektroantriebe ebenso wie für Verbrennungsmotoren oder Hybride.

GESUNDHEIT

Der demografische Wandel, die Verbreitung neuartiger Erkrankungen sowie ein zunehmendes individuelles Gesundheitsbewusstsein stellen hohe Anforderungen an ein leistungsfähiges und bezahlbares Gesundheitssystem. Daraus resultiert ein wachsender Bedarf an innovativen Materialsystemen für Prävention, Diagnose und Therapie. Material- und Werkstoffinnovationen ermöglichen neue Ansätze in der Arzneimittelforschung und erhöhen die Langlebigkeit und Biokompatibilität von Medizinprodukten.

MASCHINEN- UND ANLAGENBAU

Der Materialkostenanteil im verarbeitenden Gewerbe ist in Deutschland erheblich. Werkstoff, Prozess- und Fertigungstechnik sind eng miteinander verzahnt. Abgestimmte Modifizierungen von Werkstoffeigenschaften, Bearbeitungs- und Fertigungsverfahren sind Schlüssel zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Produkten. Optimierter Werkstoffeinsatz einerseits und fertigungsgerechte Entwicklung von neuen Werkstoffen andererseits können die Produktvielfalt und -qualität erheblich steigern. Modellierung und integrierte Simulation von Werkstoff und Verarbeitungsprozess, verbunden mit einem durchgängigen Materialdatenfluss, beschleunigen den Innovationsprozess.

BAUEN UND WOHNEN

Wohnen gehört zu den Grundbedürfnissen des Menschen. Zur Schaffung einer hohen Lebensqualität in bezahlbarem Wohnraum bei gleichzeitiger Realisierung energieeffizienter, nachhaltiger Bauweisen ist ein strategisch kluger Einsatz von Werkstoffen und Werkstoffsystemen gefordert, sowohl für Neubauten als auch für die Sanierung von Altbauten. Bei der Entwicklung neuer Werkstoffe und Fertigungsverfahren sind Energie- und CO_2-Einsparung sowie Recycling und Rückgewinnung von Rohstoffen wichtige Ziele.

MIKROSYSTEMTECHNIK

Der Markt der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik ist hochdynamisch. Innovationszyklen sind ausgesprochen kurz, die auf den Materialeinsatz bezogene Wertschöpfung ist außerordentlich hoch. Die weitere Erhöhung der Integrationsdichte einerseits und der Einsatz knapper, teurer oder auch toxischer Rohstoffe andererseits sind zentrale Themen und erfordern eine sehr hohe Funktions- und Leistungsfähigkeit der eingesetzten Materialsysteme. Ausschlaggebend dafür ist in vielen Fällen ihre Struktur und Zusammensetzung auf atomarer Ebene.

SICHERHEIT

Der Schutz von Menschen, Gebäuden und Infrastruktur vor Naturkatastrophen, Unfällen oder Terroranschlägen stellt eine wachsende Herausforderung dar. Leistungsfähige Werkstoffe in spezifischen Schutzkonzepten können maßgeblich zur Erhöhung der Sicherheit und zur Schadensbegrenzung beitragen. Voraussetzung für deren Entwicklung ist ein tiefgehendes Verständnis des Verhaltens von Materialien, Bauteilen und Strukturen unter extremen Belastungen wie z. B. bei Impakt- und Explosionsereignissen.

Reaktor für die Biodieselsynthese unter überkritischen Reaktionsbedingungen.
© Fraunhofer ICT-IMM

ENERGIE UND UMWELT

- **Herstellung von Biodiesel im überkritischen Prozess – Neues Verfahren verspricht Effizienzsteigerung, Umweltvorteile und Kostenreduktion – Laboranlage soll Nachweis erbringen**

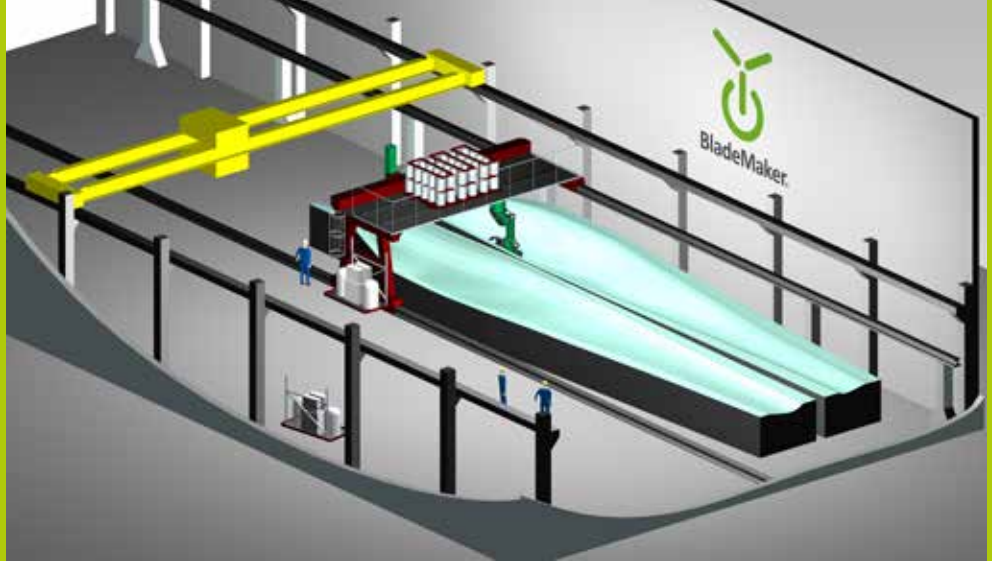
In dem Projekt aus Mitteln des Energie- und Klimafonds der Bundesregierung über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe soll die bei der Biodieselherstellung übliche Umesterung des Pflanzenöls mit überkritischem Methanol erfolgen. An Stelle der sonst eingesetzten flüssigen Reaktionsbeschleuniger verwendet das Fraunhofer ICT-IMM innovative heterogene Katalysatoren, die als Beschichtung in mikroskaligen Reaktoren aufgebracht werden.

Überkritisch – das ist jener thermodynamische Zustand, den Stoffe ab einer bestimmten Konstellation von Temperatur und Druck annehmen und bei dem die Eigenschaften von Flüssigkeiten und Gasen ohne Phasentrennung ineinander übergehen.

Getestet wird eine Labor-Kleinanlage, die bei deutlich höheren Reaktionsgeschwindigkeiten Biodiesel aus verschiedenen Pflanzenölen herstellen soll. Durch die überkritische Prozessführung verkürzt sich die Reaktionszeit und es entfallen mehrere Prozessschritte, wie z. B. die Rückgewinnung des Katalysators. Mittels der vorliegenden Konzeption erhöhen sich die Umesterungsraten, die Baugröße des Reaktors sowie der Wasserverbrauch verringern sich, gleichzeitig sinkt die Empfindlichkeit des Prozesses gegen Wasserspuren im Rohmaterial.

Auch der geringere Bedarf an Methanol, die höhere Reinheit des Nebenproduktes Glycerins und die große Langzeitstabilität des Katalysators sind weitere der Vorzüge. Der Prozess erfordert zwar hohe Drücke und Temperaturen, dennoch liegt der Gesamtenergieverbrauch aufgrund der Prozessoptimierung unter dem herkömmlicher Verfahren. Wirtschaftlich bietet das überkritische Verfahren großes Potenzial.

Demonstrationsanlage. © Fraunhofer ICT-IMM



BladeMaker – Integration, Evaluation und Demonstration industrialisierter Fertigungsprozesse für Rotorblätter.
© Fraunhofer IWES Nordwest

BladeMaker – Industrialisierte Rotorblattfertigung

Rotorblätter werden noch überwiegend in Handarbeit gefertigt. Im Projekt »BladeMaker« arbeiten Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES Nordwest gemeinsam mit Industrie- und Forschungspartnern an der Industrialisierung mit Hilfe innovativer Automatisierungslösungen, um die großen Komponenten künftig kostengünstiger, schneller und in einer höheren Qualität herstellen zu können.

Rotorblätter tragen zu rund einem Viertel zu den Gesamtkosten einer Windenergieanlage bei, was vor allem auf den hohen Anteil an Handarbeit zurückzuführen ist. Aus diesem Grund ist die Weiterentwicklung der Fertigungstechnologien ein besonders wichtiger Hebel, um die »Cost of Energy« insgesamt zu senken. Durch Umstellung von Kleinserienfertigung auf groß-industrielle Produktion können erhebliche Kostensenkungspotenziale erschlossen werden. Im Verbundprojekt »BladeMaker« mit insgesamt 16 Partnern, steht deshalb die gesamte Fertigungskette der Rotorblattproduktion im Fokus.

Stand der Technik in der Rotorblattproduktion ist das sogenannte Vakuum-Infusionsverfahren. Zu diesem Zweck werden zwei Formen bzw. Blatthälften mit Glas- oder Kohlenstofffaserbahnen belegt. Dieser Arbeitsschritt erfolgt fast vollständig manuell. Anschließend wird ein Vakuum aufgebaut und ein Harz injiziert, das die Bahnen verklebt. Nach der Aushärtung werden die Hälften zu einem Blatt zusammengefügt, mechanisch nachgearbeitet und lackiert.

Zentrales Ziel des Projekts ist es, die Produktionskosten um deutlich über 10 Prozent zu senken. Denn im internationalen Wettbewerb stehen die Blatthersteller unter einem hohen Kostendruck, dem mit Automatisierung und Industrialisierung begegnet werden muss.

Andere Herausforderungen sind die steigenden Stückzahlen und die weiter steigenden Abmessungen. Damit dieses ehrgeizige Ziel erreicht werden kann, werden das Rotorblattdesign, die Werkstoffe und die Fertigungsverfahren betrachtet.

Die Erforschung neuer Materialien ist eine zentrale Herausforderung wenn es darum geht, Materialkosten zu senken, Produktionsprozesse zu beschleunigen und gleichzeitig die Fertigungsqualität zu erhöhen. Drei Materialien stehen dabei insbesondere im Fokus: innovative Epoxidharze, Polyurethan-Kern-Werkstoffe und polyurethan-basierte Klebstoffe.

Die IWES-Forscher analysieren zunächst sämtliche Arbeitsschritte und Technologien der Rotorblattproduktion und schätzen das jeweilige Automatisierungspotenzial ab. Anschließend werden für aussichtsreiche Fertigungsschritte mit hoher Hebelwirkung auf die Kostenstruktur neue, automatisierte Prozesse entwickelt. Unterstützt wird das durch Simulation und computergestützte Einbindung von Design und Fertigung. Dazu wird parallel das BladeMaker-Blatt entworfen, das für eine automatisierte Fertigung optimiert ist. Am Ende des fünfjährigen Projekts entstehen industriefähige Prototypen für die jeweiligen Prozessschritte, deren Leistungsfähigkeit mit Hilfe der eigenen BladeMaker-Blattformen evaluiert und demonstriert werden können. Das BladeMaker-Design gibt einen Ausblick auf das, was durch konsequente Automatisierung erreicht werden kann.

Langfristig soll das BladeMaker-Demozentrum zu einer nationalen und internationalen Anlaufstelle für Forschung- und Entwicklung in der Rotorblattfertigung aufgebaut werden. Als Schaufenster der Branche mit internationaler Ausstrahlungskraft soll es Herstellern ab 2016 die Möglichkeit bieten, mit eigenen Blattmodellen die Fertigungsstraße zu durchlaufen und dabei konkrete Einsparpotentiale ermitteln zu lassen sowie neue Technologien zu entwickeln. Das Projekt »BladeMaker« wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Mit den Anti-Eis-Schichten lassen sich Rotorblätter und Solarmodule, aber auch Wintersportartikel ausrüsten.
© Fraunhofer IGB (Gastinstitut)

Neu entwickelte PLA-Typen werden am Fraunhofer IAP durch Extrusion verarbeitet.
© Fraunhofer IAP

Anti-Eis-Schichten

Die Vereisung von Oberflächen ist vielfach ein Problem. Für die effektive Anti-Eis-Ausrüstung bringt das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB wasserabweisende mikro- und nanostrukturierte Schichten mittels Plasmatechnologie auf Kunststofffolien aus schlag- und stoßfestem Polyurethan (PU) oder anderen Materialoberflächen auf.

Die nur wenige Nanometer messenden Schichten verändern die Benetzung mit Wasser, sodass dies von der Oberfläche abgestoßen wird. Auf diese Weise bleibt Wasser auch bei Temperaturen unter Null Grad auf den beschichteten Folien flüssig, denn die Schichten bieten dem Wasser keine Kristallisationskeime auf der Oberfläche und es verbleibt in einem »stark unterkühlten« Zustand.

In der Eiskammer bei Minus 30 Grad zeigte sich, dass die Anti-Eis-Ausrüstung die Haftung von Eis um mehr als 90 Prozent reduziert. Die Ausrüstung ist wetterbeständig, schmutzabweisend und leicht zu reinigen, zudem umweltfreundlich und kostengünstig in der Herstellung.

Die Ausrüstung flächiger Materialien wie Textilien und dreidimensionaler Formteile bis zu einer gewissen Größe kann als Direktbeschichtung einfach auf verschiedene Materialien wie Lacke, Metalle und Kunststoffe abgeschieden werden. Auch die eisfreie Ausrüstung von Outdoor- und Wintersportartikeln wie Skibrillen, Wintersportbekleidung und Zelten oder Rucksäcken ist mit dem Verfahren möglich.

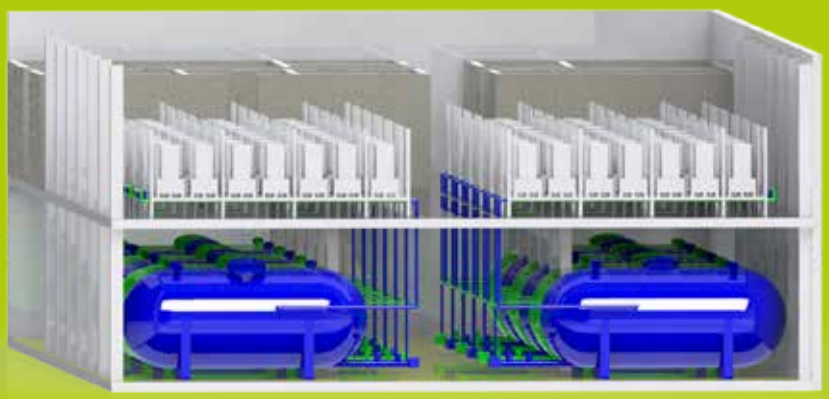
Funktionalisierte Folien können auf Flugzeugtragflächen, Rotorblätter von Windkraftanlagen, Solarmodule, Strom-Freileitungen, auf Gebäudeteile und -fassaden, sogar auf Sportgeräte wie Ski und Snowboards aufgebracht werden. Auch auf Kühlaggregaten oder in Kühlschränken ist eine Anti-Eis-Folie einfach zu applizieren und jederzeit austauschbar.

Biokunststoffe industrietauglich machen – Beispiel: PLA

Obwohl der Anteil von Biokunststoffen am Gesamtkunststoffmarkt nach wie vor marginal ist, deuten die überproportionalen Wachstumsraten auf eine zunehmende Akzeptanz dieser Kunststoffklasse hin. Die Industrialisierung von biobasierten Kunststoffen ist heute am weitesten bei Polylactid (PLA) fortgeschritten. PLA ist ein auf nachwachsenden Ressourcen basierendes thermoplastisches Polymer, dessen Grundbaustein Milchsäure durch Fermentation aus Glucose oder Stärke gewonnen wird. Bezüglich der mechanischen Eigenschaften erreicht PLA ein Niveau, das dem konventioneller Massenkunststoffe entspricht. Dies in Verbindung mit einzigartigen Barriereeigenschaften und biologischer Abbaubarkeit eröffnete dem PLA bereits breite Anwendungen im Verpackungsbereich.

Am Fraunhofer IAP werden neuartige PLA-Typen und deren Anwendungen entwickelt. Hierzu zählen neben Folien auch Fasern, faserverstärkte Bauteile, Vliesstoffe und Formteile. Im Fokus steht die Optimierung der Gebrauchseigenschaften des Materials, andererseits werden die Herstellungsprozesse industrietauglich gemacht.

Entwickelt werden industriell umsetzbare Strukturvariationen von PLA zur Verbesserung von Barriereeigenschaften, Wärmeformbeständigkeit, thermischer Stabilität und mechanischen Eigenschaften unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Verarbeitbarkeit unter praxisrelevanten Bedingungen. Die entwickelten Syntheseverfahren werden zudem auf ihre Scale-up-Fähigkeit geprüft. Eine Mini-Plant-Synthese-Anlage ermöglicht es, bis zu 5 Kilogramm PLA pro Batch herzustellen.



Redox-Flow-Batterie.
© Fraunhofer ICT

Redox-Flow-Batterien zur Speicherung erneuerbarer Energie

Die Energie, die Sonne und Wind liefern, korrespondiert zeitlich häufig nicht mit dem benötigten Verbrauch. Deswegen ist besonders bei Großanwendungen die Speicherung elektrischer Energie zu einer der großen Herausforderungen der Energietechnik geworden. Eine bessere Anpassung vorzuhaltender Reserven an die Bedarfsentwicklung wird besonders dann wirtschaftlich möglich, wenn dezentrale Speicher eingesetzt werden, die kostengünstige Batteriekapazität bereitstellen können.

Redox-Flow-Batterien besitzen eine individuelle Skalierbarkeit von Leistung und Energie. und ermöglichen die dezentrale Energiespeicherung im Bereich von einigen Kilowatt bis mehreren Megawatt. Die Vorteile dieses Batterietyps sind die große und flexible Speicherkapazität, potentiell niedrige Speicherkosten sowie eine lange Lebensdauer. Als Stand der Technik speichern heute Bleiakkus die überschüssige Energie. Diese halten jedoch nur eine begrenzte Zyklenzahl und müssen meist nach drei bis fünf Jahren ausgetauscht werden. Redox-Flow-Batterien haben je nach Batteriechemie eine vergleichbare Energiedichte, ihre Lebensdauer beträgt jedoch ein Mehrfaches der eines Bleiakkumulators.

Das Verfahren der Redox-Flow-Batterien beruht auf dem Prinzip der Speicherung von chemischer Energie in Form von gelösten Redox-Paaren in externen Tanks. Die Stromwandlung erfolgt in einem getrennten Leistungsmodul. Den Elektroden wird während der Entladung kontinuierlich der umzusetzende gelöste Stoff aus den Vorratstanks zugeführt und das entstehende Produkt in den gleichen Behälter wieder abgeführt. Zum Laden wird nur die Stromrichtung umgedreht. Da die Speicherkapazität im Wesentlichen von der Menge an Elektrolytlösung bestimmt wird und der Wirkungsgrad bei über 75 Prozent liegt, ist dieser Speichertyp interessant für einen Stundenspeicher in einer Großanwendung von einigen Megawatt.

Am Fraunhofer ICT werden seit 2006 Redox-Flow-Batterien entwickelt und erforscht. Im Bereich Materialien konzentriert sich die Forschung auf die Wirkmaterialien wie Elektrolytformulierungen sowie die Modifikation von Elektroden- und Membranmaterialien. Um Zellstapel günstiger herstellen zu können, werden am Fraunhofer ICT Hochleistungs-Kohlenstoff-Polymer-Komposite für elektrische Stromableiter, sogenannte Bipolarplatten, entwickelt. Diese Materialien sind neben den Membranen die derzeitigen Kostentreiber einer Flow-Batterie. Zusätzlich werden Verfahren entwickelt, Materialien zu charakterisieren und zu klassifizieren. Damit lassen sich unterschiedliche Redox-Flow-Batterien und deren Materialien in einem Aufbau vergleichen, um so die Vor- und Nachteile der jeweiligen Systeme herausarbeiten zu können.

Die praktische Einbindung einer Redox-Flow-Batterie als Speicher fluktuierender Energien aus Wind- oder Photovoltaikparks in ein existierendes Stromnetz, ist die Zielsetzung des Großprojektes RedoxWind. Hierzu wird auf dem Instituts-Campus eine Redox-Flow Batterie mit einer Leistung von 2 Megawatt und einer Speicherkapazität von 20 MWh entwickelt. Als Stromlieferant wird ein 2 Megawatt Windrad mit 100 Meter Nabenhöhe direkt neben der Großbatterie aufgebaut. Dieses System wird ins Netz des Campus integriert und dient der Versorgung von verschiedensten Verbrauchern.

Erreichte Fortschritte des Fraunhofer ICT gegenüber dem Stand der Technik

- Modulareres Konzept eines Großspeichers im Megawatt / Megawattstunden-Bereich
- Massentaugliches Zellrahmendesign und Fertigung im Polymer-Spritzguss
- Kostenoptimierte hochleitfähige Polymer-Kohlenstoff-Komposite als Bipolarplatten-Materialien für neue Fertigungstechnologien (z. B. 2K-Spritzuss)
- Flow-Batterie Zertifizierung nach IEC-Norm
- Optimierte Elektrolyt-Formulierung für Vanadium- und Brom-Systeme, Entwicklung von Spezifikationen und spezieller Analytik
- Demonstrator-Entwicklung für spezielle Einsatzzwecke, z. B. Hybridspeicher als Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) mit geringer Selbstentladung

Beispiel für magnetisches Altmaterial.
© Fraunhofer IFAM

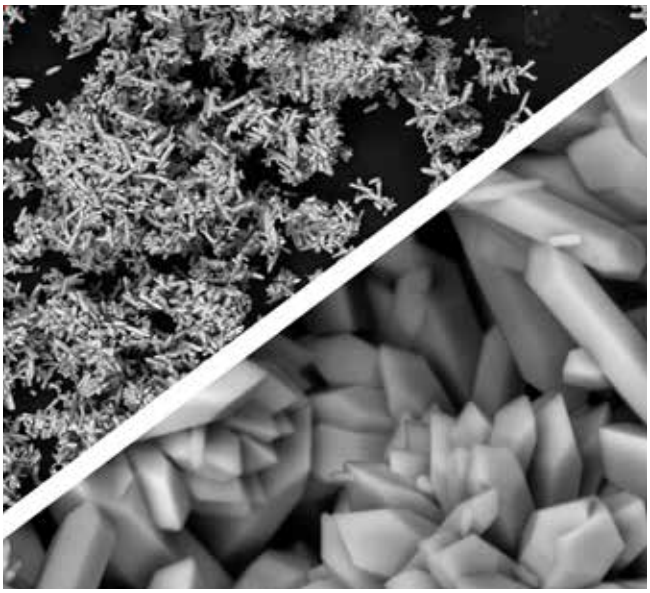
Recycling von Seltenerdmagneten und Produktionsabfällen

Seit der Verhängung von Ausfuhrzöllen durch China für bestimmte Rohstoffe in den Jahren 2010 und 2011 ist eine größere Unabhängigkeit von Seltenerdimporten ein wichtiges wirtschaftsstrategisches Ziel der Bundesregierung. Die drei wichtigsten Optionen zum Erreichen dieses Ziels sind die Erschließung eigener Primärlagerstätten, die Reduktion bzw. Substitution bestimmter Seltenerdelemente – und die Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen durch Recycling.

Obwohl Neodym, Praseodym und Dysprosium aufgrund ihrer Wichtigkeit zur Herstellung leistungsfähiger NdFeB-Magnete bereits heute die größte wirtschaftliche Bedeutung aller Seltenerden haben, waren die Anstrengungen für eine gezielte Rückgewinnung dieser Elemente bislang nicht ausreichend. Insbesondere existieren nur wenige vielversprechende Ansätze für eine Aufbereitung von Altmagneten und Magnetabfällen, die einerseits das volle Potenzial der bereits vorhandenen Trennung der darin enthaltenen Seltenerdelemente ausschöpfen und andererseits störende Verunreinigungen (z. B. Oxide, organische Verbindungen) abtrennen können.

An dieser Stelle setzt das am Fraunhofer IFAM Dresden entwickelte Recyclingverfahren auf hydrometallurgischer Basis für die gezielte Rückgewinnung der Elemente Neodym, Praseodym und Dysprosium aus Materialgemischen an. Dem Verfahren liegt die Idee zugrunde, dass sich durch das geschickte Ausnutzen physikalischer Zusammenhänge und durch eine optimierte Prozesssteuerung eine so hohe Gesamtselektivität erreichen lässt, dass auf eine aufwendige und teure Feintrennung der Seltenerden durch Ionentauscher oder Flüssig-Flüssig-Extraktionsanlagen verzichtet werden kann. Für die Produktion neuer hochwertiger NdFeB-Magnete ist es jedoch unerlässlich, dass insbesondere Samarium, welches in Magnetmaterialgemischen vorhanden ist, aber auch Oxide und organische Verunreinigung abgetrennt werden.

Im Rahmen von Entwicklungsprojekten konnte gezeigt werden, dass sich diese notwendige Selektivität beim Recycling von Magnetwerkstoffgemischen im Labormaßstab insbesondere durch eine geeignete physikalische Vorbehandlung und Vorseparation sowie durch einen gesteuerten hydrometallurgischen Aufschluss realisieren lässt. Ein entsprechender Recyclingprozess wurde bereits zum Patent angemeldet.



Neodymhaltiges Produkt beim Recyclingprozess.
© Fraunhofer IFAM

Rotorblattcomposite im Verbund als Querschnitt (oben) und zerkleinert (unten).
© Fraunhofer ICT

Recycling von großformatigen Compositebauteilen – Rotorblättern

Composite aus Verstärkungsfasern mit duroplastischen Kunststoffen als Matrixmaterial stehen seit einigen Jahren durch ihr enormes Leichtbaupotential und hoher Wirtschaftlichkeit im Fokus neuer Materialentwicklungen. Sie finden derzeit verstärkt Eingang in neue Produkte und werden somit zukünftig in großen Mengen zum Recycling anstehen. Bei Rotorblättern von Windkraftanlagen werden neben faserverstärkten Kunststoffen auch Füllstoffe wie Balsaholz oder Kunststoffschaum in Sandwichbauweise eingesetzt, um zusätzlich Gewicht zu sparen. Der Vorteil von Hybridwerkstoffen, die sich durch einen geeigneten Mix von Materialien als Verbund an die jeweiligen Anforderungen anpassen lassen, erweist sich im Hinblick auf die Entsorgung bislang als Nachteil. Das Recycling dieser Verbundmaterialien, insbesondere die Trennung der Komponenten unter Beibehaltung der Qualitätsmerkmale, ist noch ungelöst.

Zur Entwicklung einer ökonomischen und ökologischen Recyclinglösung für Composite muss die gesamte Recyclingkette von der Demontage über die Aufbereitung bis hin zur Bereitstellung von verarbeitungsfähigen Sekundärrohstoffen betrachtet werden. Besonders bei großformatigen Bauteilen wie Rotorblättern, gestalten sich diese Arbeitsschritte jedoch schwierig. Eine Demontage dient hier nach dem Stand der Technik lediglich der Bereitstellung transportfähiger genehmigungsfreier Rotorblattsegmente und weniger der Separierung in die einzelnen Fraktionen. Die aktuell zur Entsorgung anfallenden Rotorblätter bestehen aus glasfaserverstärktem Kunststoff in Sandwichbauweise mit Kunststoffschaum oder Balsaholz als Füllstoff. Am Flansch, der Verbindung zum Rotor, befinden sich große Metallbolzen und im inneren des Blattes meist Kupferleitungen als Blitzableiter. In Rotorblättern der neueren Generation sind zusätzlich vereinzelt und je nach Hersteller auch noch kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe in den besonders belasteten Bereichen verbaut. Aktuelle Forschungsarbeiten beschäftigen sich unter anderem mit dem Einsatz von thermoplastischen Strukturen in Rotorblättern, wodurch der bestehende Materialmix noch weiter erhöht wird. Eine Trennung der einzelnen Fraktionen bereits vor Ort an der Anfallstelle würde die darauffolgenden Prozesse der Aufbereitung und Materialrückgewinnung effizienter werden lassen. Das Recycling von Rotorblattmaterialien wird bislang durch eine mechanische Zerkleinerung des gesamten Verbundes und anschließenden Einsatz als Brennstoff und Sandsubstitut in der Zementindustrie verwendet oder eine thermische Verwertung in Müllverbrennungsanlagen durchgeführt.

Im Rahmen des ForCycle Projektes »Recycling von Kompositbauteilen aus Kunststoffen als Matrixmaterial« wird am Fraunhofer ICT die energetische Demontage von Rotorblättern und damit die Bereitstellung der unterschiedlichen Fraktionen und die anschließende materialspezifische Aufbereitung untersucht. Ziel des Projektes ist die Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen zum erneuten hochwertigen Einsatz. Die technologischen Möglichkeiten zur Rückgewinnung des Fasermaterials umfassen dabei mechanische, thermische und auch chemische Prozesse. In Zusammenarbeit mit der Technischen Hochschule Nürnberg wird neben der Freilegung der Fasern aus dem Matrixmaterial auch die Rückgewinnung von diesem Harzmaterial und den Füllstoffen untersucht, um einen ökologisch und ökonomisch effizienten Recyclingprozess darzustellen. Mit einer abschließenden Bilanzierung der neuen Prozesse und Materialien sowie einem Vergleich zum Stand der Technik beim Recycling von Rotorblättern, wird die Nachhaltigkeit der neuen Entwicklungen aufgezeigt.

Molecular Sorting.
© Fraunhofer IBP

Perspektiven der Kreislaufwirtschaft

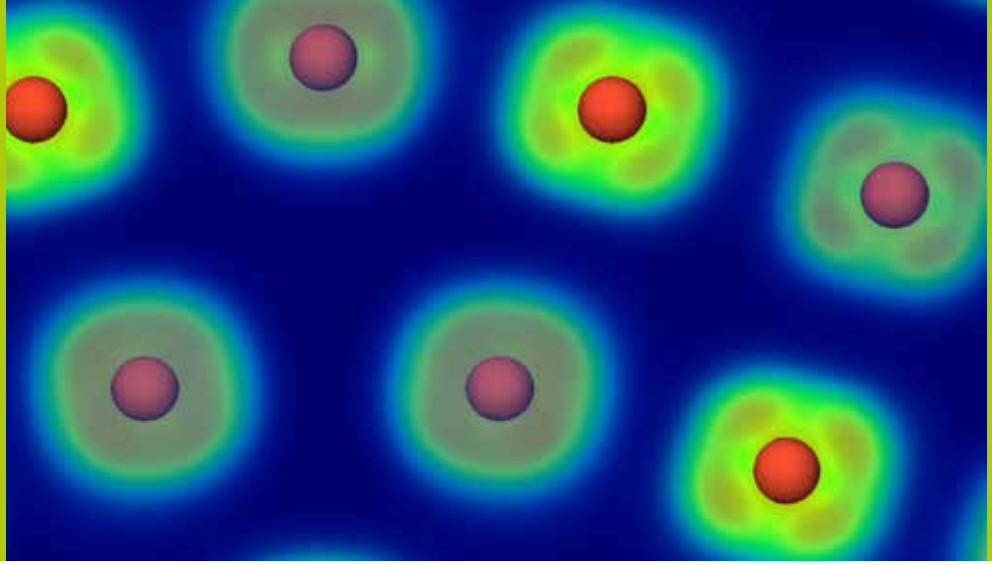
Ob Bauschutt, Altholz, Müllverbrennungsschlacke, kohlefaserverstärkter Verbundwerkstoff oder Elektronikschrott – jedes Jahr fallen weltweit insgesamt mehrere Millionen Tonnen derartiger Abfälle an. Für das Recycling von Verbundwerkstoffen forscht das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP an der Methode der elektrodynamischen Fragmentierung. Das Verfahren beruht auf dem Prinzip, dass ultrakurze (< 500 nsec) Unterwasserimpulse Festkörper selektiv fragmentieren, indem die Blitzentladung bevorzugt durch den Festkörper entlang von Phasengrenzen verläuft und das Verbundmaterial in seine Komponenten zerlegt. Der Vorteil des Verfahrens liegt in der staub- sowie kontaminationsfreien Zerkleinerung, da im Vergleich zu einer mechanischen Aufbereitung kein Abrieb entsteht.

Beton ist der meistverwendete Baustoff der Welt. Er wird aus Zement, Wasser und einer Mischung aus Gesteinskörnern wie Kies oder Kalksplitt in unterschiedlichen Größen hergestellt. Im Jahr 2010 betrug die Menge des mineralische Bauabfalls insgesamt 186,5 Millionen Tonnen, davon sind 53,1 Millionen Tonnen Bauschutt (das entspricht 28,5 Prozent). Bislang wurde Altbeton unter enormer Staubentwicklung zerschreddert und landet überwiegend als Tragschicht unter der Straße. Mithilfe der elektrodynamischen Fragmentierung hingegen könnten aus Altbeton sowohl hochwertige Gesteinskörnungen für die Produktion von Frischbeton als auch Rohstoffe für die Zementherstellung wiedergewonnen werden.

Großes Potenzial sehen Fraunhofer-Forscher in der Wiederaufarbeitung von Müllverbrennungsschlacke. Von diesem Material fallen weltweit jährlich rund 320 Millionen Tonnen an. Mit der Anwendung der elektrodynamischen Fragmentierung würde man neben der Schonung immer knapper werdender Deponieflächen eine deutlich erhöhte Rückgewinnungsrate von wertvollen Sekundärrohstoffen und Metallen erreichen.

Weiterer Anwendungsbereich ist die Luftfahrtindustrie. Die zunehmende Verbauung von kohlenfaserverstärkten Kunstoffen in Flugzeugen verlange auch nach einer Recyclingtechnologie, um wichtige Ressourcen zu schonen und die wieder gewonnenen Kohlefasern wirtschaftlich in neue Produkte einsetzen zu können. Gleiches gelte auch für Elektronikschrott sowie viele weitere Verbundmaterialien, die bislang entweder gar nicht oder nicht sauber genug aufgetrennt werden können.

Für jedes in Molecular Sorting entwickelte Verfahren erstellen die Wissenschaftler parallel zur Verfahrensentwicklung ein Ökobilanzmodell des Produktsystems Dabei werden die gewonnenen Informationen in mehreren Iterationsschleifen an die Entwickler zurückgeleitet. Am Ende stehen Verfahren, bei denen die ökologische Analyse integraler Bestandteil der Entwicklung ist.



Magnetische Spinpolarisation an einer Korngrenze in einem ferromagnetischen Metall auf atomarer Skala.
© Fraunhofer IWM

High-Throughput-Screening zur Entwicklung neuer Dauermagnete

Das dynamische Wachstum der Branchen Elektromobilität und Erneuerbare Energien hat die Nachfrage nach starken Dauermagneten, die aus Seltenerdmetallen (rare earths, RE) und Übergangsmetallen (transition metals, TM) bestehen, deutlich erhöht. Aufgrund der damit verbundenen Verknappung von RE-Ressourcen werden neue intermetallische RE-TM-Phasen mit guten magnetischen Eigenschaften gesucht, die aus nachhaltigen und kostengünstigen Rohstoffen bestehen und weniger von einzelnen RE-Elementen abhängen.

Die Kristallstrukturen der häufigsten Dauermagnete wie $Nd_2Fe_{14}B$ sind Varianten der »topologisch dicht gepackten« (TCP) Phasen. Diese TCP-Phasen bieten viele Möglichkeiten für neue magnetische Phasen: RE-Atome werden so mit TM-Atomen umgeben, dass sich große, richtungs- und temperaturstabile magnetische Momente ausbilden. Solche Magnete sollen die Lücke zwischen kostengünstigen Ferriten und $Nd_2Fe_{14}B$-Hochleistungsmagneten füllen und dabei möglichst geringe RE-Anteile haben.

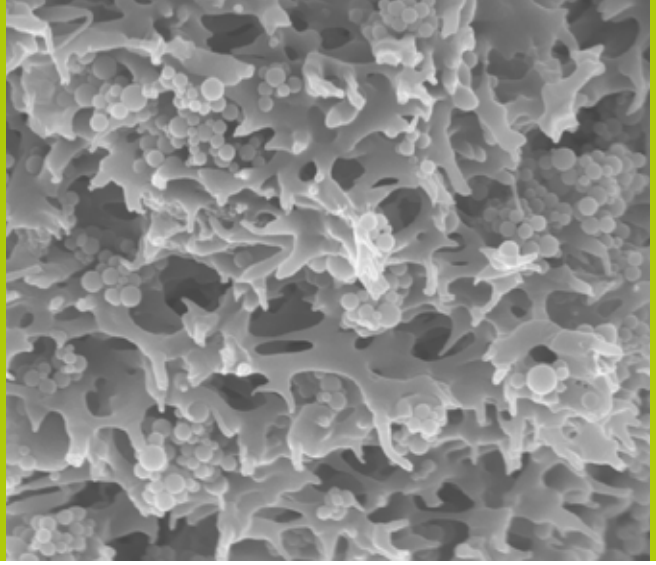
Um die Vielzahl der möglichen RE-TM-Kombinationen systematisch auf gute hartmagnetische Eigenschaften hin zu durchsuchen, werden simulatorische und experimentelle High-Throughput-Screening-Methoden eingesetzt. Am Fraunhofer IWM werden mit einer schnellen Methode der Dichtefunktionaltheorie (DFT) intrinsische magnetische Eigenschaften, lokale magnetische Momente und effektive Austauschintegrale, für reale und hypothetische Magnetphasen berechnet beziehungsweise vorhergesagt. Literatur und Datenbanken liefern viele Kristallstrukturen für TCP-Phasen als Eingabedaten für die DFT-Simulationen. Es konnte bereits eine erste neue RE-TM-Phase theoretisch vorhergesagt und experimentell bestätigt werden. Dies deutet auf ein hohes Erfolgspotenzial der physikalischen Werkstoffmodellierung in Bezug auf neue leistungsstarke Dauermagnete hin.

Schnelltestentwicklung für die potenzial-induzierte Degradation von Solarmodulen

Die potenzial-induzierte Degradation (PID) ist eine der häufigsten Ursachen für Leistungseinbußen in Photovoltaikmodulen mit kristallinen Siliziumsolarzellen. Dieser schwerwiegende Moduldefekt tritt vor allem auf, wenn Solarmodule bei hohen Systemspannungen und in feuchter Umgebung betrieben werden. Am Fraunhofer IMWS gelang es, die physikalischen Grundlagen des Defektmechanismus aufzuklären. Es zeigte sich: Winzige Fehler auf der nanoskopischen Ebene sorgen dafür, dass in großen Solarmodulen Leistungsverluste bis hin zum Totalausfall auftreten können. Wie die Forscher in Halle erkannten, verursachen Kristalldefekte im Silizium die Kurzschlüsse (Shunts), die bei PID auftreten. Diese Kristalldefekte werden als Stapelfehler bezeichnet und haben Längen von nur wenigen Mikrometern und eine Dicke von nur einer Atom-Lage. Sie werden durch das Eindringen von Natriumatomen elektrisch leitend, sodass Kurzschlüsse entstehen. Auf Basis dieses grundlegenden Verständnisses des PID-Effekts wurde ein Prüfverfahren auf Zellebene entwickelt und patentiert.

Das Fraunhofer CSP entwickelte ein Verfahren und eine Testapparatur, um PID im Labor erzeugen und Materialeinflüsse an Solarzellen und Verkapselungsmaterialien studieren zu können. Der Partner Freiberg Instruments GmbH entwickelte das Gerät »PIDcon«, das auf dem zum Patent angemeldeten Testverfahren beruht, bis zur Marktreife weiter. Die Kosten für die Untersuchung von Solarzellen auf PID-Anfälligkeit, die für Solarzellen- und Modulhersteller von hohem Interesse sind, verringern sich damit im Vergleich zu herkömmlichen PID-Tests an Solarmodulen in Klimakammern auf einen Bruchteil. Mit dem Ziel, zur Produktion PID-stabiler und dennoch kostengünstiger Photovoltaikmodule beizutragen, arbeitet das Fraunhofer IMWS an der Entwicklung neuer Verkapselungsmaterialien, Oberflächentexturen und Beschichtungsprozesse für Solarzellen.

Molecular Sorting – Selektive Rückgewinnung und Abtrennung von Metallen.
© Fraunhofer IGB (Gastinstitut)



Molecular Sorting – Selektive Rückgewinnung und Abtrennung von Metallen

Das Recycling von Rohstoffen, insbesondere Sondermetallen, ist aufgrund ihres Werts (Edelmetalle), ihrer Verfügbarkeit (Seltene Erden) oder ihrer Toxizität (Schwermetalle) von hoher Bedeutung, sowohl für die industrielle Produktion als auch für die Umwelt. Prozess- und Abwasserströme enthalten, wenn auch teilweise in nur geringer Konzentration, insgesamt signifikante Mengen an Metallen. Um Stoffkreisläufe in der Produktion und im Recycling zu schließen, müssen deshalb auch gering konzentrierte Lösungen aufgearbeitet und einer Verwertung zugeführt werden.

Bedarf an neuen Technologien zur Aufarbeitung

Um bei der Aufarbeitung der Sekundärrohstoffe eine Qualität zu erzielen, die der des Primärrohstoffs entspricht, müssen neue Technologien zu entwickelt werden, die effizient, einfach zu integrieren und flexibel auf verschiedene Gruppen von Metallen anwendbar sind. Im Projekt »Molecular Sorting« aus der Fraunhofer-Initiative »Märkte von übermorgen« hat das IGB solche Technologien beispielhaft für die Rückgewinnung von Metallen untersucht. Hierzu wurden Technologien für die Prozessschritte Lösen (Bioleaching), Aufkonzentrierung (Adsorption und Membranfiltration), Trennung (Elektrophorese) und Abscheidung untersucht, weiterentwickelt und in einen Gesamtprozess integriert.

Biotechnische Metallgewinnung

Für eine effiziente Aufarbeitung von Feststoffen wie Elektronikschrott oder Aschen kann es von Vorteil sein, Metalle zunächst in eine wasserlösliche Form zu überführen (Leaching), bevor sie anschließend aufkonzentriert und abgetrennt bzw. als Feststoff abgeschieden werden können. Sind bei dieser Umwandlung Mikroorganismen beteiligt, so spricht man von biotechnischer Metallgewinnung. Gut untersucht ist das so genannte Bioleaching (Biolaugung) durch säureliebende, aerobe Mikroorganismen, die Eisen(II)- oder Schwefelverbindungen zu Metallionen und Sulfat in saurer Lösung oxidieren. Am Fraunhofer IGB wurden in solch aeroben sowie in anaeroben Verfahrensansätzen geeignete mikrobielle Mischpopulationen angereichert und technische Prozesse entwickelt, bei denen die Mikroorganismen für eine ausreichend hohe Katalysatordichte immobilisiert und somit im Reaktor zurückgehalten werden.

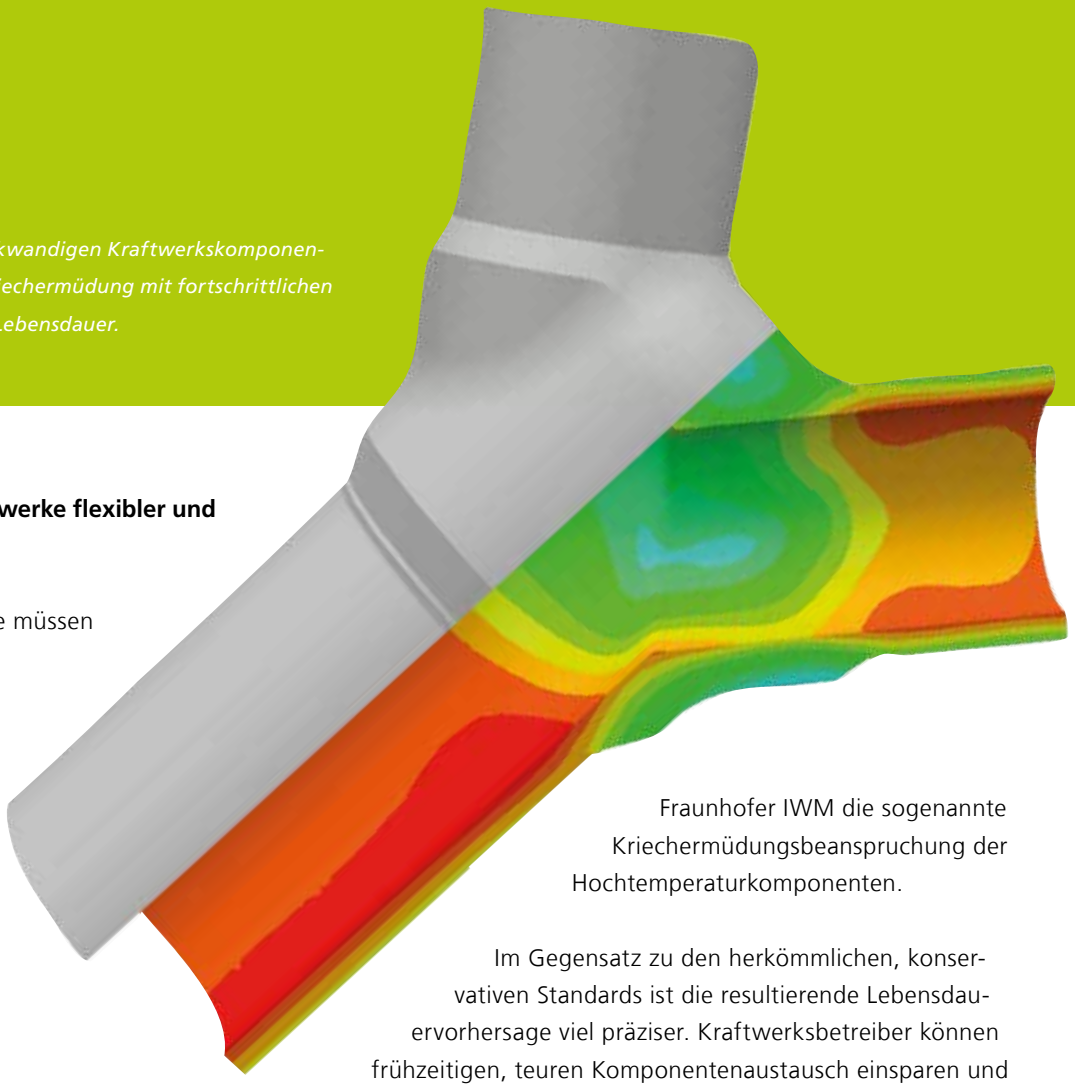
Selektive Entfernung und Aufkonzentrierung mit Membranadsorbern

Für die selektive Abtrennung und Anreicherung der Metallionen wurden polymere Adsorbermaterialien entwickelt und in die poröse Struktur von Filtrationsmembranen integriert, um – im Sinne einer Prozessintensivierung – die Adsorption mit einer Membrantrennung zu kombinieren. Durch Variation der Partikeloberfläche und Kombination unterschiedlich funktionalisierter Partikel können die Trenneigenschaften der vollständig regenerierbaren Membranadsorber flexibel für Anwendungen in den Bereichen Trinkwasser, Prozesswasser und Abwasser angepasst werden. Membranadsorber mit Schwefelharnstoffgruppen binden beispielsweise selektiv über 0,8 g Silber pro m^2, während Kupfer und Blei sehr gut an einen Phosphonat-Membranadsorber adsorbieren (5 g Blei pro m^2).

Fraktionierung und Abscheidung mit elektrophysikalischen Verfahren

Die Trennung von Metallionen, die aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften sehr ähnlich sind und sich mit herkömmlichen Technologien nur bedingt trennen lassen, erreichen wir mittels einer am Fraunhofer IGB entwickelten Anlage zur Free-Flow-Elektrophorese mit hoher Trennschärfe. In Untersuchungen mit exemplarischen Metallionengemischen (Kupfer – Eisen, Neodym – Eisen, Eisen – Kupfer – Neodym) konnte bei den Zweistoffgemischen bereits durch einmalige Kreislaufführung eine Reinheit von über 90 Prozent erzielt werden. Der additive Einsatz von Komplexbildnern führte zu einer nahezu vollständigen Trennung der Stoffgemische.

Für die auf die Fraktionierung folgende galvanische Abscheidung von Seltenen Erden Metallen wurden geeignete ionische Flüssigkeiten als elektrochemisch stabile Elektrolyte ausgewählt und in einem Reaktorsystem erfolgreich zur metallischen Abscheidung der Seltene-Erden-Metalle eingesetzt.



Numerische Bewertung von dickwandigen Kraftwerkskomponenten (hier Y-Formstück) unter Kriechermüdung mit fortschrittlichen Modellen für Verformung und Lebensdauer.
© Fraunhofer IWM

Bestehende Kohlekraftwerke flexibler und langlebiger machen

Bestehende Kohlekraftwerke müssen zukünftig flexibler betrieben werden. Eine zentrale Frage dabei ist, welchen Einfluss die flexible Fahrweise auf die Restlebensdauer der Kraftwerkskomponenten hat. Diese wurden bisher mit TRD- oder EN-Standards sehr konservativ ausgelegt. Mit einer neuen Simulationsmethode des Fraunhofer IWM werden nun präzisere Lebensdauervorhersagen möglich. Kraftwerksbetreiber können dadurch Geld sparen, die Betriebsweise optimieren und durch Retro-Fit ihre Anlagen fit für die Zukunft machen.

Um die Schwankungen der Stromeinspeisungen aus regenerativen Quellen ausgleichen zu können, müssen konventionelle Kraftwerke in Zukunft häufiger und schneller an- und abgefahren werden. Jedoch fehlten bisher Langzeituntersuchungen und Berechnungsmethoden für diese neuen Anforderungen an Bauteile und Werkstoffe. Mit einer eigens dafür entwickelten Methode ermittelt das Fraunhofer IWM die sogenannte Kriechermüdungsbeanspruchung der Hochtemperaturkomponenten.

Im Gegensatz zu den herkömmlichen, konservativen Standards ist die resultierende Lebensdauervorhersage viel präziser. Kraftwerksbetreiber können frühzeitigen, teuren Komponentenaustausch einsparen und betriebswirtschaftliche Entscheidungen über die Fahrweise fundierter treffen.

Moderne Legierungen versprechen, die Komponenten des Dampfkreislaufs langlebiger zu machen: Bauteile aus der Legierung Alloy 617B halten nach Experimenten und Ergebnissen der neuen Simulationsmethode sogar bei beschleunigten Temperaturwechseln sechs Mal länger als gleiche Bauteile aus traditionellen ferritisch-martensitischen oder austenitischen Stählen. Zudem können die Bauteile materialsparend mit dünneren Wänden ausgelegt werden. Langlebigkeit und sparsamer Materialeinsatz machen den höheren Preis der Legierung wieder wett.

Vereinfachter Kreislauf für Metalle und Qualität (grün-gelb-rot) von Recycling-Indikatoren ohne dynamisches Stoffflussmodell.
© Fraunhofer ISI / Projekt POLINARES

Globale Kupferflüsse 2012.
© Fraunhofer ISI

Sicherheit der Rohstoffversorgung bewerten und verbessern

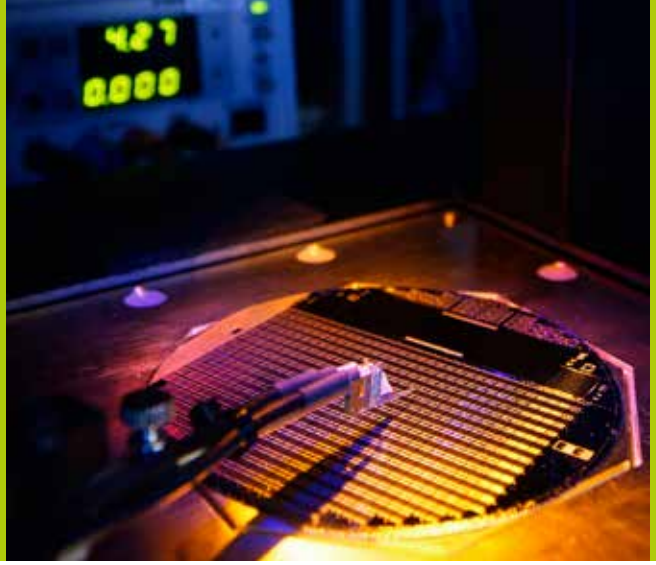
Eine verlässliche Rohstoffversorgung ist unabdingbar für die EU und insbesondere für den Industriestandort Deutschland. Um angemessen auf die Herausforderungen der internationalen Rohstoffmärkte reagieren zu können, sind ein umfassender Überblick sowie eine Bewertung potenzieller Lösungen notwendig. Ein wichtiger Schritt bei der Erfassung und Bewertung der Herausforderungen ist die Identifikation kritischer Rohstoffe, bei denen sowohl die Versorgungsrisiken als auch die Folgen einer mangelnden Versorgung als hoch angesehen werden. Insbesondere auf EU-Ebene hat das Fraunhofer ISI diesen Identifikationsprozess unterstützt, indem es 2010 und 2014 entscheidend an der Erstellung der Listen kritischer Rohstoffe für die EU mitwirkte. Diese Analysen hatten – und haben noch – nicht zuletzt über die EU-Forschungsförderung einen wichtigen Einfluss auf das Handeln der EU zur Verbesserung der Rohstoffversorgung.

Auch zukünftige Entwicklungen sind wichtig für eine erfolgreiche Positionierung am Markt. Das Fraunhofer ISI unterstützt diese Positionierung mit Studien zu Rohstoffbedarfen von Zukunftstechnologien, mit der Erstellung von (Technologie-) Roadmaps sowie mit Modellierungswerkzeugen, die Effizienzsteigerungen, Substitution, Recycling und den Beitrag primärer Rohstoffe berücksichtigen. Damit lassen sich nicht nur die Wirkungen einzelner Entwicklungen abschätzen, sondern auch multiple Facetten der Rohstoffgewinnung und -nutzung betrachten. Dazu zählen beispielsweise Miniaturisierung und Recyclingtechnologien sowie neue Materialien und Produkte, die teilweise der Substitution dienen, weiterhin die dazugehörigen politischen Vorgaben. Indem das Fraunhofer ISI mit seinen Auftraggebern für jedes Projekt die wichtigsten Forschungsfragen festlegt, kann es Regierungen, Industrieverbänden und einzelnen Unternehmen die jeweils relevanten Informationen und darauf aufbauende Analysen bereitstellen.

Dynamische Modellierung anthropogener Stoffkreisläufe

Mit der dynamischen Stoffflussmodellierung, angewandt auf globale sowie regionale und nationale Stoffflüsse, lässt sich die materielle Basis moderner Volkswirtschaften besser verstehen, bewerten und optimieren. Insbesondere im Hinblick auf die Erhaltung endlicher Ressourcen können dynamische Stoffflussmodelle auf der Basis historischer Daten helfen, lohnende Ansätze für Verbesserungen von Recyclingsystemen zu identifizieren. Für den Fall Kupfer hat das Fraunhofer ISI im Auftrag der Industrie sowohl ein globales als auch regionale Modelle entwickelt, mit denen fundierte Aussagen zu Kupferbeständen und -recycling weltweit und in ausgewählten Regionen möglich sind. Die Ergebnisse aus dem globalen Modell werden jährlich von der International Copper Study Group (ICSG) im Standardwerk »World Copper Factbook« veröffentlicht.

Mit ihrer soliden Systembeschreibung und plausiblen Zukunftsszenarien sind dynamische Stoffflussmodelle auch eine wichtige Informationsquelle für strategische Entscheidungen. Im Fraunhofer-Leitprojekt »Kritikalität Seltener Erden« beispielsweise schätzen die Forscher mit einem globalen und einem deutschen Modell sowohl die erwartete Nachfrage nach Neodym und Dysprosium differenziert nach Sektoren und Produktgruppen als auch ihr zukünftiges Aufkommen in Produktionsabfällen und Altprodukten ab. Diese Abschätzungen unterstützen Entscheidungen für Technologieentwicklung (In welchen Bereichen können größere Einsparungen durch effizientere Technologien oder alternative Materialien erzielt werden?), notwendige Erfassungssysteme (Welche Altprodukte sollen zukünftig in welchen Mengen gesammelt werden?) sowie Investitionen in (Recycling-)Anlagen (Welche Anlagentypen und -kapazitäten werden benötigt?).



III-V Weltrekordsolarzelle (46 Prozent) auf einem 100 mm Wafer mit ungefähr 500 Konzentratorsolarzellen.
© Fraunhofer ISE / Foto Alexander Wekkeli

Kleine Zellen – große Wirkung: III-V Hocheffizienzsolarzellen

Mehrfachsolarzellen werden in der konzentrierenden Photovoltaik (CPV) eingesetzt, die in Regionen mit hohem Direktstrahlungsanteil, z. B. Südafrika, China oder den USA, regenerativen Strom zu günstigen Kosten erzeugt. Sie wird vor allem in großen Kraftwerkparks mit einer Leistung von bis zu 100 Megawatt genutzt. Das Fraunhofer ISE arbeitet seit vielen Jahren gemeinsam mit Partnern daran, den Wirkungsgrad von Mehrfachsolarzellen weiter zu steigern und die Herstellungskosten zu senken. Mehrfachsolarzellen basieren auf einer Kombination verschiedener III-V Halbleiterverbindungen, z. B. Galliumindiumphosphid (GaInP), Galliumindiumarsenid (GaInAs) oder Germanium (Ge). Jeder dieser Halbleiter wandelt einen anderen Wellenlängenbereich des Sonnenlichts in Strom um. Aus dem Zusammenspiel der Teilsolarzellen ergibt sich der hohe Wirkungsgrad. Ursprünglich wurden III-V Mehrfachsolarzellen in der Stromversorgung von Satelliten eingesetzt, auch für diese Anwendung forscht und entwickelt das Fraunhofer ISE bis heute.

Für die terrestrische Nutzung, den Einsatz in Konzentratorkraftwerken, werden die III-V Mehrfachsolarzellen in Module eingebaut und schließlich in ein vollständiges Konzentratorsystem für Kraftwerke integriert. Dazu werden die III-V Mehrfachsolarzellen in den Brennpunkt von optisch konzentrierenden Linsen – so genannten Fresnel-Linsen – gesetzt, die das Licht bis zu über 500fach konzentrieren. Um das einfallende Sonnenlicht über einen möglichst langen Zeitraum optimal zu nutzen, werden die Konzentratormodule außerdem auf einem zweiachsigen Tracker dem Stand der Sonne nachgeführt.

Die aktuelle Weltrekordsolarzelle des Fraunhofer ISE ist eine Vierfachsolarzelle. Jede der vier Teilzellen wandelt exakt ein Viertel der Photonen im Wellenlängenbereich zwischen 300 und 1750 nm in elektrische Energie um. Eine besondere Herausforderung, die bei dieser Solarzelle erfolgreich gelöst wurde, liegt in der gleichmäßigen Verteilung der Photonen auf die vier Teilzellen. Dies haben die Wissenschaftler des Fraunhofer ISE durch die genaue Anpassung der Materialzusammensetzung und Dicke jeder einzelnen Halbleiterschicht in der Solarzelle erreicht. Der neue Rekordwert wurde bei einer Konzentration von 508 Sonnen, d. h. der 508-fachen Bündelung des einfallenden Lichts, gemessen.

Für die Entwicklung, Markteinführung und Kommerzialisierung der Konzentratorphotovoltaik wurde das Fraunhofer ISE gemeinsam mit Soitec Solar 2012 von Bundespräsident Joachim Gauck mit dem Deutschen Umweltpreis ausgezeichnet.

Organische Solarzellen

Organische Solarzellen sind eine vergleichsweise junge Technologie, die zur Umwandlung von (Sonnen-)Licht in elektrische Energie organische Halbleiter einsetzt. Diese Materialien können bei niedrigen Temperaturen in kontinuierlichen Verfahren auf flexible Substrate aufgebracht werden. Da sich damit sehr hohe Durchsatzraten erzielen lassen, werden die Herstellungskosten praktisch ausschließlich durch die Materialkosten bestimmt. Der Materialbedarf liegt auf Grund der geringen Dicke der einzelnen Schichten im Bereich von 100 nm in der Größenordnung von unter 1 g pro m². Bei einer entsprechenden Aufskalierung ist ein Absinken der Kosten für die photoaktiven Materialien zu erwarten, so dass der organischen Photovoltaik ein großes Kostenreduktionspotenzial zugeschrieben wird.

Trotz einer Steigerung des Wirkungsgrads auf inzwischen >11 Prozent sind weitere Fortschritte notwendig, sowohl bei der Effizienz als auch der Herstellungstechnologie sowie der Verkapselung. Ein anderer Aspekt ist die Tatsache, dass sämtliche organischen Hocheffizienzsolarzellen Indium-Zinnoxid (ITO) als transparente Elektrode einsetzen. Da der Preis für ITO vergleichsweise hoch ist, müssen hier geeignete Alternativen gefunden werden. Die Arbeiten am Fraunhofer ISE haben unter anderem zum Ziel, ITO durch andere Materialien zu ersetzen, die ebenfalls hohe Effizienzen ermöglichen, kostengünstig und langzeitstabil sind und zudem kompatibel zu einer Prozessierung mittels Rolle-zu-Rolle Verfahren sind. Im Erfolgsfall können dann leichte, flexible und langzeitstabile organische Solarmodule mit hohem Wirkungsgrad hergestellt werden.

Wertvolle Rohstoffe lassen sich aus verschiedensten Abfallstoffen zurückgewinnen (Beispiele: Elektroaltgeräte, Kupferschlacken, Teefasern).
© Fraunhofer-Projektgruppe IWKS

Effizientes Recycling und optimierte Wertstoffkreisläufe für nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit

Ressourcenknappheit ist ein zentrales Thema für die globale wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung geworden. Eine Verbesserung des Rohstoffrecyclings und eine Optimierung des Wertstoffkreislaufes dienen deshalb nicht nur dem Schutz der Umwelt. Steigerung der Ressourceneffizienz, Recycling und Wiederverwertung von Rohstoffen nach der Nutzung sowie Substitution seltener bzw. kritischer Stoffe sind Voraussetzungen, um die Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Deutschlands zu erhalten.

Wertvolle Materialien wiederverwerten, kritische Rohstoffe ersetzen

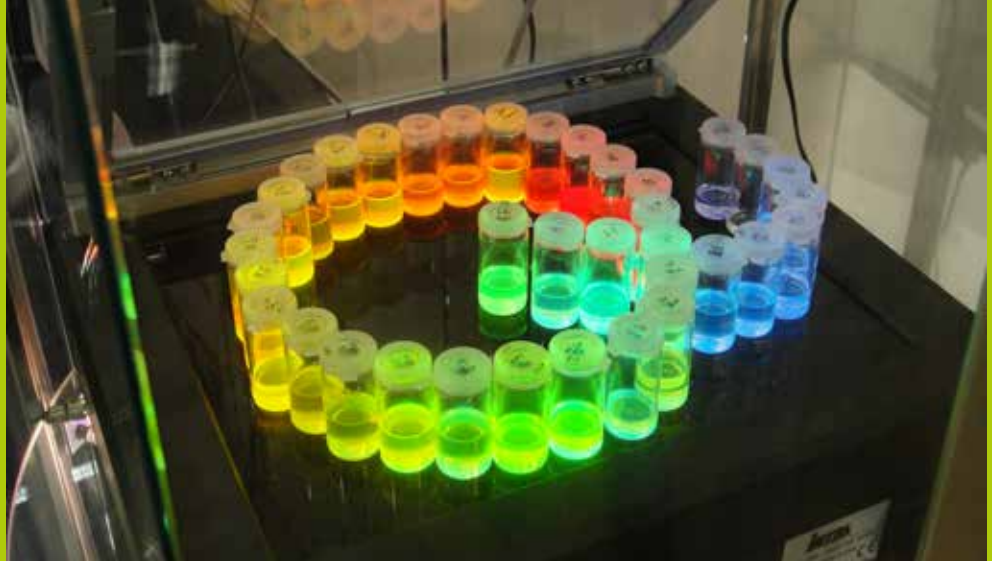
Im Verbund Materials erforscht und entwickelt die Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS neue Recyclingtechnologien sowie Substitute für Roh- und Werkstoffe. Vor allem für versorgungskritische Elemente und Werkstoffsysteme soll so ein geschlossener Kreislauf erzielt werden. Hierfür werden Konzepte zur nachhaltigen Nutzung von Wert- und Reststoffen aus der Glasherstellung, der Müllverbrennung sowie der industriellen Produktion entwickelt und umgesetzt. Im Fokus der Forschungsarbeiten stehen Glas, Schlacken und Aschen, Biowerkstoffe und Lebensmittel sowie die Wiederverwertung sonstiger Materialien aus Produktionsrückständen und ehemaligen Konsumgütern.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Verfügbarkeit, das Recycling sowie die Substitution von Rohstoffen in elektronischen Bauteilen, Komponenten und Geräten. Im Fokus stehen Stoffstromanalysen von Recyclingprozessen, Analysen und Bewertung elektronischer Geräte sowie die Entwicklung neuartiger Zerkleinerungs- und Sortierverfahren. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der selektiven Aufbereitung von Elektroaltgeräten und deren Komponenten.

Im Bereich der Biowerkstoffe und Lebensmittel sind besonders Kompositwerkstoffe, Cellulosefasern, die Verwertung von Lebensmittelresten und Nachhaltigkeitszertifizierungen von Bedeutung. In Forschungskooperationen werden Analyse-, Vorbehandlungs- und Recyclingverfahren für Naturfasern entwickelt, Wertschöpfungsketten zu Biophenolen untersucht und die Ressourceneffizienz von kleinen und mittleren Unternehmen der Lebensmittelbranche verbessert.

Konkrete Strategien entwickeln und umsetzen

Die Fraunhofer-Projektgruppe IWKS unterstützt Unternehmen mit einem umfassenden Know-how zu Kritikalitätsanalysen, zu Märkten, Trends und Technologien, die wichtig für sinnvolles Recycling und einen erfolgreich funktionierenden Wertstoffkreislauf sind. Methodisch erstreckt sich das Beratungskonzept von der Situationsanalyse über die Strategieentwicklung bis hin zu Maßnahmen- und Umsetzungskonzepten. Der Nutzen für die beauftragenden Unternehmen besteht darin, gemeinsam mit den Wissenschaftlern sowohl strategische wie auch technologische oder organisatorische Empfehlungen zu erarbeiten und umzusetzen. Grundlagen sind unter anderem Konzept- und Machbarkeitsstudien, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Systemanalysen zur Steigerung der Rohstoff- und Energieeffizienz, Optimierung des Abfall- und Ressourcenmanagements und Verbesserung aller relevanten Prozessschritte entlang der Wertschöpfungskette. Neue Wertstoffkreisläufe können so definiert und umgesetzt werden.



Quantenpunkte ermöglichen es, jede beliebige Farbe in sehr hoher Brillanz herzustellen.
© Fraunhofer IAP

Hocheffiziente, cadmiumfreie Quantenpunkte für QLEDs und Solarzellen

Quantenpunkte (Quantum Dots, QD) sind eine neue Klasse von fluoreszierenden Nanomaterialien. Mit den winzigen Nanokristallen lassen sich äußerst brillante Farben sehr effizient erzeugen. Ihre Absorptions- und Emissionseigenschaften können zudem in einzigartiger Weise mit der Partikelgröße eingestellt werden. Mit der Modifikation der Oberfläche der Partikel erfolgt die gezielte Anpassung an die chemische Umgebung. Nahezu der gesamte Spektralbereich ist durch gezielte Synthese zugänglich.

Diese außergewöhnlichen Eigenschaften ermöglichen den Einsatz in verschiedensten Anwendungsbereichen, etwa als Leuchtstoffe, in der Displaytechnologie, für die Upconversion in der Photovoltaik oder als Sicherheitsmerkmal auf Banknoten.

Herkömmliche QDs enthalten jedoch das giftige Schwermetall Cadmium. Am Fraunhofer IAP wird daher die Synthese cadmiumfreier Quantenpunkte entwickelt. Sie basieren auf umweltfreundlichem Indiumphosphid (InP / ZnS-Multischalen QDs) und können als fluoreszierendes Material für LEDs, als Emittermaterial in OLEDs oder als Filter für die LED-Hinterleuchtung von LCDs eingesetzt werden, womit eine höhere Farbbrillanz des LCD-Displays erzielt wird.

Infrarot-aktive QDs auf Basis von Kupferindiumphosphid ($CuInS_2$-QDs) können zudem für die Effizienzsteigerung in Solarzellen bereitgestellt werden.

Gegenüber herkömmlichen QDs erreichen die cadmiumfreien Materialien des Fraunhofer IAP ebenso hohe Quantenausbeuten. Mit Hilfe eines Durchflussreaktors, der kontinuierlich arbeiten kann, können hier bis zu einigen Gramm cadmiumfreie QDs pro Stunde hergestellt werden.

Diese können dann wie Tinte im Inkjet-Verfahren auf feste und flexible Trägermaterialien gedruckt werden. Hierzu steht am Fraunhofer IAP eine Pilotanlage zur Herstellung von OLEDs und Solarzellen zur Verfügung.

Elektrochemisches Prozesslabor.
© Fraunhofer ISC

Elektrohydraulische Zerkleinerungsanlage im Technikum der Projektgruppe IWKS zur phasenselektiven Auftrennung von Recyclinggut.
© ImpulsTec GmbH

Energiespeicher – von der Materialentwicklung bis zur Wiederverwertung

Die effiziente und sichere Speicherung von elektrischer Energie ist eine große technische Herausforderung und eine wichtige Voraussetzung für den nachhaltigen Erfolg portabler und stationärer Energieversorgungssysteme, wie sie beispielsweise für den Ausbau der regenerativen Energienutzung und der Elektromobilität benötigt werden. Dabei spielen die Entwicklung neuer Materialien für Hochleistungsbatterien und die Erarbeitung leistungsfähiger Batteriekonzepte eine wichtige Rolle. Darüber hinaus gibt es bei etablierten kostengünstigen Systemen wie der Blei-Säure-Batterie großes Potenzial für die stationäre Energiespeicherung und Automotive (Start-Stop-Automatik und Mild-Hybrid-Fahrzeuge) durch Verbesserung der Langlebigkeit und Leistungsfähigkeit, z. B. bei dynamischer Lastaufnahme und im teilgeladenen Zustand. Zusätzlich gewinnen im Sinne einer effizienten Rohstoffnutzung intelligente Recyclingverfahren bzw. die Weiterverwendung bestimmter Komponenten (»second life«) an Bedeutung. Mit dem Zentrum für Angewandte Elektrochemie ZfAE und der Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS des Fraunhofer ISC stehen im Fraunhofer-Verbund Materials kompetente Ansprechpartner rund um die Aspekte der Energiespeicher zur Verfügung.

Batteriematerialien und -komponenten

Im Bereich der Materialforschung liegen die Schwerpunkte in der Entwicklung von Komponenten für Energiespeicher der aktuellen und der nächsten Generation sowie Verfahren zu deren Herstellung und Verarbeitung bis zum Technikumsmaßstab für elektrochemische Energiespeichersysteme wie:

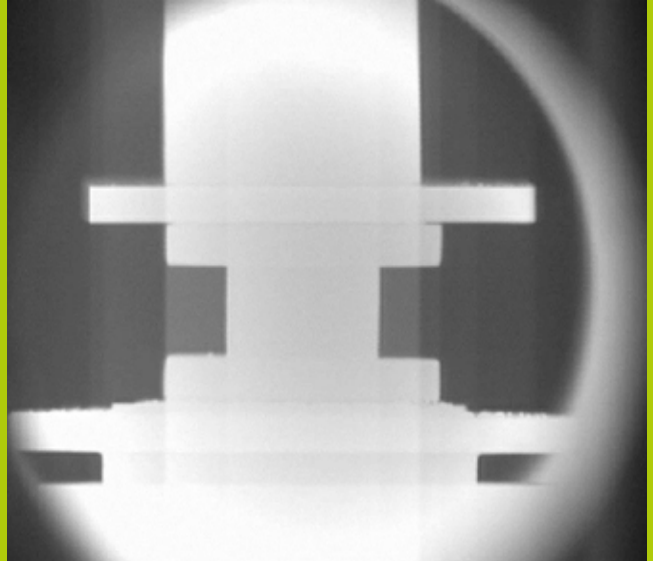
- Lithium-Ionen-Batterien (LIB) – u. a. Modifizierung von Hochenergiekathoden (Lithium-reiche Schichtoxide)
- und -anoden (Silizium-basiert), Festelektrolyte
- Metall-Luft-Batterien – u. a. Katalysatorentwicklung, Grenzflächendesign
- Blei-Säure-Batterien – u. a. Additive für die Elektrodenmassen
- Festkörperbatterien
- Doppelschichtkondensatoren – LIB-Superkondensator
- Natrium-basierte Technologien – u. a. Natrium-Luft-Zellen

Materialcharakterisierung und Test

Die Leistungsfähigkeit und Beständigkeit der Batteriekomponenten und -systeme wird in einer hervorragend ausgestatteten elektrochemischen Testumgebung untersucht. So können unter anderem an über 200 Kanälen Batterielade- und -entladezyklen vom Femto- bis in den Kiloampere-Bereich bei kontrollierten Klimabedingungen durchgeführt werden. Alterungsprozesse, die zu einer Verringerung der Leistungsfähigkeit führen, können so unter definierten Bedingungen nachgestellt und für die Materialoptimierung genutzt werden. Eine spezialisierte Postmortem-Analytik sowie die nach DIN EN ISO / IEC 17025-2005 akkreditierte Elektronenmikroskopie mit einem einzigartigen Mikrolabor im Rasterelektronenmikroskop ermöglichen präzise Analysen auf Mikro- und Nanoebene.

Batterierecycling

Für das materialgerechte und energieeffiziente Recycling von elektrochemischen Energiespeichern, insbesondere von Lithium-Ionen-Batterien, werden im Verbund Materials bei der Projektgruppe IWKS neue intelligente Verfahren entwickelt. Dabei kommt einer sicheren und effizienten Zerkleinerung und Trennung in die einzelnen Komponenten eine besondere Bedeutung zu. Die Materialien sollen dabei nicht nur elementar, sondern möglichst in Form der bereits synthetisierten Verbindungen wiedergewonnen werden. Anforderungen an die Verfahren sind die gleichwertige oder sogar verbesserte Funktion der recycelten Materialien, die Kostenneutralität gegenüber herkömmlichen Ausgangsmaterialien sowie höhere Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit gegenüber gängigen metallurgischen Verfahren.



In-situ-Messung von Sintervorgängen in thermooptischer Messanlage – Messbild zur Analyse der Dimensionsänderung. (rechts)
© Fraunhofer ISC/Zentrum HTL

Energieeffizienz bei Hochtemperaturprozessen

In Deutschland werden ca. 7 Prozent der Primärenergie für die Wärmebehandlung von Werkstoffen im Temperaturbereich oberhalb 1000 °C aufgewendet. Dies entspricht einer Gesamtenergie von 1000 PJ pro Jahr oder umgerechnet 30 Kraftwerken mit einer mittleren Leistung von 1 GW. Den größten Energieverbrauch hat die Eisen- und Stahlindustrie, aber auch der Bereich »Steine und Erden« sowie die Glas- und Keramikindustrie tragen wesentlich zu den hohen Verbrauchswerten im Hochtemperaturbereich bei.

Bei der Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern lässt sich die Effizienz im Hochtemperaturbereich ebenfalls verbessern. So steigt der Wirkungsgrad von Gasturbinen deutlich mit der Turbineneintrittstemperatur der Gase an. Dies gilt nicht nur für stationäre Gasturbinen, sondern gleichermaßen für Fluggasturbinen. Eine Verbesserung der Energieeffizienz von Hochtemperaturprozessen würde sich also nachhaltig auf die CO_2-Bilanz auswirken. Sie könnte relativ rasch umgesetzt werden, ohne dass dafür – wie bei der Erzeugung regenerativer Energie – erst eine neue Infrastruktur zur Energieverteilung und -speicherung geschaffen werden muss.

Im Verbund Materials setzt das Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL des Fraunhofer ISC drei Schwerpunkte zur Verbesserung der Energieeffizienz von Hochtemperaturprozessen in der Industrie:

Materialentwicklung

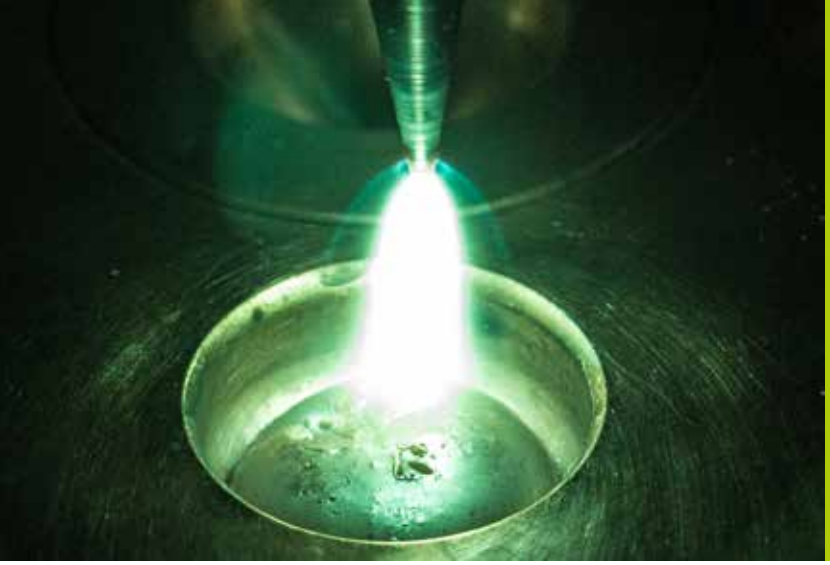
Zur Steigerung der Energieeffizienz von wärmetechnischen Anlagen und Fluggasturbinen entwickelt das Zentrum HTL hochtemperaturbeständige keramische Komposite, Fasern und Beschichtungen. Das umfasst die chemische Synthese der Ausgangsstoffe ebenso wie das Up-Scaling der Herstellung in den Technikumsmaßstab und das Materialdesign am Computer. Zum Einsatz kommen sowohl oxidkeramische Fasern, z. B. aus Aluminiumoxid, Zirkoniumoxid oder Mullit, als auch nichtoxidische Fasern aus Siliciumcarbid sowie oxidische und nichtoxidische Matrixwerkstoffe.

Bauteile und Systeme für Hochtemperaturanwendungen

Am Zentrum HTL werden Bauteile aus Ceramic Matrix Composites (CMC) bis zu Größen von ca. 700 mm entworfen und als Prototypen oder Kleinserien gefertigt. Das Bauteildesign erfolgt über Computersimulationen des Einsatzverhaltens, die Bauteilprüfung über zerstörungsfreie Prüfverfahren wie Computertomographie. Dabei können alle Arten von Fasern, Endlosfasern oder Kurzfasern, mit unterschiedlichen textilen Verfahren verarbeitet werden. Die Matrix wird über keramische Schlicker, Polymere oder Siliciumschmelzen aufgebaut. Zusätzlich stehen Verfahren und Infrastruktur für die keramische Prepregfertigung zur Verfügung, sodass sicher und einfach zu verarbeitende Halbzeuge für die Kleinserienfertigung bei Produzenten bereitgestellt werden können.

Charakterisierung und Optimierung von Hochtemperaturprozessen

Für die Charakterisierung von Materialien bei hohen Temperaturen entwickelt das Zentrum HTL spezielle thermo-optische Prüfverfahren, mit denen thermische und mechanische Materialkennwerte von kleinen Bauteilen oder großen Proben bis zu Temperaturen von 2100 °C bestimmt werden. In diesen Anlagen können Sinter- und andere Wärmebehandlungsprozesse analysiert werden. So werden Materialveränderungen bei Wärmebehandlungsprozessen in situ gemessen. Daraus lassen sich mithilfe von Computersimulationen hinsichtlich Energieeffizienz, Zeitbedarf und Produktqualität optimierte Wärmebehandlungsprozesse generieren.



Herstellung einer neuen Magnetlegierung im Lichtbogenofen.
@ Fraunhofer-Projektgruppe IWKS

Substitution kritischer Rohstoffe – Neue Permanentmagnete für die Energiewende

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) eingesetzt. 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 in 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. Neuste 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 wird in der Projektgruppe IWKS an der Optimierung der Mikrostruktur gearbeitet, um besonders kritische Elemente wie Dy im Gefüge gezielter zu verteilen, 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.

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. Auch in der Elektro- und Computerindustrie sowie in der Medizin sind Hochleistungsmagnete von großer Bedeutung. Unsicherheiten in der Rohstoffversorgung könnten den Ausbau von Zukunftstechnologien bremsen.

Keramische Membranen in verschiedenen Rohrgeometrien. © Fraunhofer IKTS

Keramische Membranen für die Abwasserbehandlung und Wasseraufbereitung

Wasser ist sowohl als Lebens- wie auch als Produktionsmittel in Landwirtschaft und Industrie unverzichtbar. Deshalb ist besonderes Augenmerk auf den schonenden Umgang mit dieser Ressource zu legen. Vor diesem Hintergrund entsteht der aktuelle Bedarf der verarbeitenden Industrie an betriebssicheren, möglichst multifunktionalen Komponenten zur Wasserbehandlung, die leicht und flexibel sowohl in bestehende Versorgungsinfrastrukturen als auch moderne Fabrikationskonzepte integrierbar sind. Zudem sollten sie keine Chemikalien benötigen, werthaltige Inhaltsstoffe simultan rückgewinnen und entstehende Schadstoffe konzentrieren und dann rückstandsfrei abbauen können.

Während in der Industrie zumeist hohe Salzfrachten und persistente organische Reststoffe aus Produktions- und Reinigungsprozessen eine effektive Kreislaufführung verhindern, stehen in der kommunalen Abwasserreinigung vor allem niedrig konzentrierte pharmazeutische Mikroschadstoffe und technische Mikroplastik sowie Nährstoffe verstärkt im Fokus. Für diese vielfältigen Problemstellungen im Bereich der Wasser- und Abwasserbehandlung liefern keramische Membranen Lösungen. Diese zeichnen sich sowohl durch ihre hohen Flussleistungen als auch durch ihre sehr gute Beständigkeit unter extremen chemischen und thermischen Bedingungen aus.

Das Ziel der Membranentwicklung am Fraunhofer IKTS besteht darin, die Trennleistung und Trennschärfe weiter zu verbessern, die Membranflächen pro keramischem Element zu erhöhen bzw. Membranen für neuartige Trennaufgaben zu synthetisieren. So gelang es beispielsweise in einem Verbundprojekt neue, keramische Nanofiltrationsmembranen mit einer Trenngrenze von 200D zu entwickeln, die zur Pflege von Mercerisierlauge, zur Reinigung und Kreislaufführung von Waschwasser in der Textilveredelung und zur Aufbereitung von Bleichlaugen erfolgreich eingesetzt werden können.

Carbon- und hanffaser-verstärktes Bauteil.
© Fraunhofer WKI

MOBILITÄT

Neue naturfaserverstärkte Hybridwerkstoffe

Unternehmen in der Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt verwenden faserverstärkte Kunststoffe, um leichte und gleichzeitig stabile Bauteile zu produzieren. Welches Material konkret verwendet wird, hängt von der späteren Anwendung ab. Carbonfasern beispielsweise sind teuer und schwierig zu verarbeiten. Daher sind Carbon-faserverstärkte Kunststoffe (CFK) noch kaum in der Serienproduktion zu finden. Glasfasern dagegen sind preiswert, aber vergleichsweise schwer. Forscher des Anwendungszentrums für Holzfaserforschung HOFZET des Fraunhofer-Instituts für Holzforschung kombinieren nun naturfaserbasierte Textil- und Carbonfasern, um neue Hybridwerkstoffe zu erhalten.

Indem sie dort, wo die Bauteile stark beansprucht werden, Carbonfasern nutzen und an den anderen Stellen Natur- oder Polymerfasern, können die Wissenschaftler die Stärken der jeweiligen Fasern vereinen und die Nachteile größtenteils beseitigen. Das Ergebnis: Die Bauteile sind kostengünstig, haben eine sehr hohe Festigkeit, gute akustische Eigenschaften und sind deutlich ökologischer als reine Carbon-Bauteile.

Spezielle Beschichtungen sorgen dafür, dass sich die Naturfasern bestmöglich mit der Kunststoffmatrix verbinden. Eine solche, aus werkstofftechnischer Sicht optimierte, Vorbehandlung ist bei Textilfasern weitgehend Neuland. Die Festigkeiten des Materials steigen so um bis zu 50 Prozent bei optimaler Faser-Matrixhaftung gegenüber einer schlechten Grenzflächenqualität.

Die Forscher untersuchen auch, wie sich die Verarbeitungsprozesse für die neuen Werkstoffe industriell umsetzen lassen. Ebenso berücksichtigen sie bei den entwickelten Hybridwerkstoffen bereits im Vorfeld, wie sich diese wiederverarbeiten lassen oder wie einzelne Materialkomponenten für einen neuen Einsatz zurückgewonnen werden können.

Je nach Materialzusammensetzung verfolgen sie verschiedene physikalische, thermische und chemische Recyclingansätze. Am Ende erfolgt eine ökologische, ökonomische und technische Bewertung der gesamten Prozesskette.

Herkömmliche und biobasierte Faserverbundwerkstoffe.
© Fraunhofer WKI

Fertigung von Strukturbauteilen für den Fahrzeugleichtbau im Preform Center.
© Fraunhofer ICT

Prozessentwicklung zum sequenziellen Preforming textiler Halbzeuge

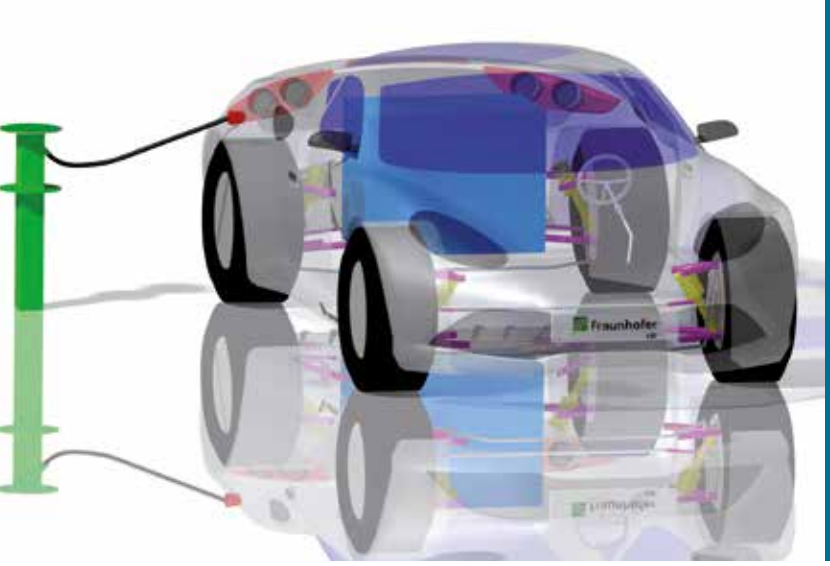
Der Klimawandel und seine Folgen drängen die Gesellschaft weltweit zu einem energie- und ressourceneffizienten Lebensstil. Nur wenn die Emission von Treibhausgasen in den nächsten Jahren stark zurückgeht, lässt sich die Erderwärmung langfristig begrenzen. Da die emittierten Schadstoffe unmittelbar vom Energieverbrauch eines Fahrzeuges abhängen, wird der Leichtbau in der Fahrzeugindustrie zukünftig an strategischer Relevanz gewinnen.

Neben den etablierten Leichtbauwerkstoffen kommen immer häufiger faserverstärkte Kunststoffe zur Anwendung. Diese haben aufgrund ihrer dichtespezifischen Materialeigenschaften großes Potenzial. Insbesondere Hochleistungsfaserverbunde mit hohem Faservolumengehalt, sind aufgrund ihrer hohen mechanischen Eigenschaften von besonderem Interesse. Vor allem anisotrope, lastpfadorientierte Lagenaufbauten bieten Einsatzmöglichkeiten für hochfeste Strukturbauteile in Leichtbauanwendungen. Um dieses Werkstoffsystem erfolgreich in die automobile Großserie einzuführen bedarf es zukünftig automatisierter, robuster und qualitätsgesicherter Fertigungstechnologien.

Das Technologie-Cluster Composites (TC^2) zielte unter anderem auf die Industrialisierung der RTM-Prozesskette zur Fertigung von Strukturbauteilen für den Fahrzeugleichtbau ab. Herausragendes Merkmal von TC^2 war die ganzheitliche Betrachtung der technologischen Herausforderungen, die nicht von Einzelproblemen ausgeht, sondern Zusammenhänge und Wechselwirkungen innerhalb durchgängiger Ketten in den Fokus stellt.

Betrachtet man die Kostenstruktur entlang der RTM-Prozesskette wird deutlich, dass dem automatisierten Preforming eine Schlüsselfunktion zukommt. Durch Automatisierung der Handhabungsoperationen sowie des Umformvorgangs (Drapierprozess) innerhalb des Preforming-Verfahrens können Zykluszeiten bei der Produktion drastisch verringert werden, was zu einer signifikanten Reduktion der Gesamtproduktionskosten des RTM Prozesses führt. Gleichzeitig steigt bei zunehmendem Automationsgrad die Reproduzierbarkeit der Bauteilqualität, was sich unwillkürlich in sinkenden Produktionsausschussraten bemerkbar macht.

Im Rahmen von TC^2 wurden durch die beteiligten Verbundpartner Fraunhofer ICT, Institut für Flugzeugbau der Universität Stuttgart (IFB), Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf (ITV) sowie der Institute für Produktionstechnik (wbk) und Fahrzeugsystemtechnik (FAST) des Karlsruher Instituts für Technologie grundlegende Drapier- und Fixierstrategien zur Preformherstellung entwickelt und validiert. Für die automatisierte Herstellung komplex geformter Bauteilgeometrien hat sich das sequenzielle Umformen von kompletten Lagenaufbauten, sog. Stacks, mit Hilfe eines Mehrfachstempel-Werkzeuges herausgestellt. Dabei wurden die Lagenaufbauten lokal vorgespannt. Zur Form- und Lagefixierung der textilen Halbzeuge hat sich die lokale Applikation reaktiver Bindersysteme bewährt. Basierend auf diesen grundlegenden Vorarbeiten wurde von der Dieffenbacher GmbH ein PreformCenter zur automatisierten Preformherstellung konzipiert und am Fraunhofer ICT installiert. Mit Hilfe dieser Anlagentechnik kann die komplette Preform Herstellung vom Lagenzuschnitt über die Binderapplikation bis hin zur Formgebung abgebildet werden. Die Verknüpfung der Einzelprozessschritte wird durch geeignete Handhabung sichergestellt. Diese erfolgt durch ausgewählte Greifer als Endeffektoren der eingesetzten Roboter.



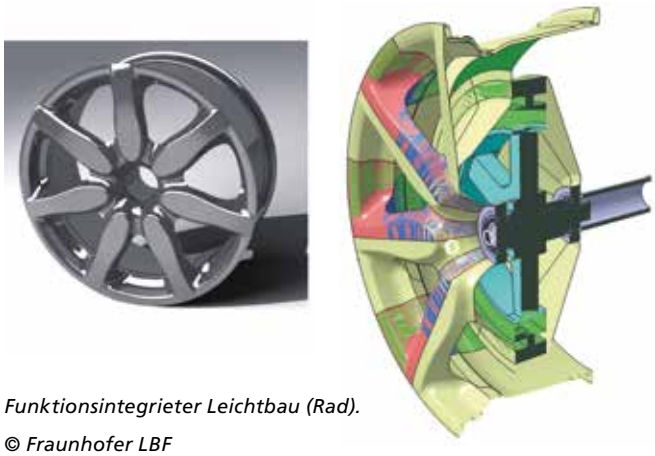
Frecc0.
© Fraunhofer LBF

»Pre-Applicable Structural Adhesives« Kleben ohne Klebstoffauftrag.
© Fraunhofer IFAM

Funktionsintegrierter Leichtbau

Aktive Leichtbaustrukturen haben Zukunftspotenzial. Bei diesen komplexen Systemen kann das Gesamtgewicht trotz zusätzlicher Funktionen niedrig gehalten werden, da die Trägerstruktur um eine weitere Funktion erweitert wird ohne übermäßig zusätzliche Masse bzw. Lastpfade einzubringen. Ein Beispiel für den funktionsintegrierten Leichtbau sind Kunststoffräder mit zusätzlichen Funktionen wie z. B. elektrische Radnabenmotoren im Automobilsektor.

Im Gegensatz zu bestehenden metallischen Konstruktionen muss die Struktur fasergerechter gestaltet sein. Weichere Radien und fließendere Übergänge sind notwendig, da der Werkstoff für scharfe Ecken und Kanten noch weniger geeignet ist. In dieser Hinsicht müssen auch zusätzlich integrierte Objekte angepasst werden, da diese bei der Strukturintegration als Kerbe in der Konstruktion wirken. Die Wechselbeziehungen aktiver und passiver Materialien werden bei der Integration analysiert und bewertet. Die Integration aktiver Elemente unter Berücksichtigung der Betriebsfestigkeit des Gesamtsystems, die Bewertung und Steigerung von Zuverlässigkeit, Leichtbaupotential und Energiebedarf dieser Leichtbaustrukturen stehen im Fokus der Fraunhofer-Forschungen.



Funktionsintegrieter Leichtbau (Rad).
© Fraunhofer LBF

Kleben mit vorappliziertem Klebstoff

Vor allem im Leichtbau ist Kleben die Fügetechnik der Wahl, denn viele der eingesetzten Materialien lassen sich nur schwerlich anders verbinden. Doch nicht in jedem Produktionsschritt kann man flüssigen Klebstoff auftragen und warten, bis er aushärtet. Der Automobilzulieferer STANLEY Engineered Fastening – Tucker GmbH aus Gießen suchte deshalb nach einer Möglichkeit, Bolzen zu kleben, ohne dass man in der Fertigung mit flüssigem Klebstoff hantieren muss. Eine Lösung wurde am Fraunhofer IFAM entwickelt, indem der Klebstoff zunächst auf eines der Bauteile aufgetragen wird und eine klebfreie trockene Schicht bildet. Die eigentliche Klebstoffhärtung und das Fügen der Bauteile erfolgen in einem späteren Produktionsschritt. Der Name der neuen Technologie lautet »Pre-Applicable Structural Adhesives« kurz PASA®.

Bei der Entwicklung musste berücksichtigt werden, dass die Klebstoffe unterschiedliche und sich zum Teil widersprechende Anforderungen erfüllen müssen. Nachdem der Klebstoff aufgetragen ist, darf er nicht mehr kleben und muss sich lange lagern lassen, ohne dass die Härtungsreaktion bereits startet. Andererseits soll er beim Fügen sehr reaktiv sein und schnell aushärten. Die Lösung: Die Kombination von Harzen und Härtern mit unterschiedlichen Schmelzpunkten in Kombination mit einer mikrodispersen Verteilung der Härter.

Der reaktive Schmelzklebstoff wird zum Beispiel in der Fertigung von Befestigungsbolzen genutzt. Das Material wird aufgeschmolzen und aufgetragen. Nach dem Abkühlen ist es wieder fest. Die so beschichteten Bolzen lassen sich problemlos transportieren und lagern. Um den Klebstoff auszuhärten, erhitzt man ihn kontrolliert auf mehr als 150 °C. Dabei schmilzt auch der Härter und die eigentliche Klebstoffhärtung wird aktiviert, so lassen sich zwei Bauteile innerhalb weniger Sekunden fest miteinander verbinden.

UER III auf Trolley.
© Fraunhofer IZFP

Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Eisenbahnwesen: Das Fraunhofer IZFP sorgt für Ihre Sicherheit auf der Schiene – UER-Systeme der dritten Generation

Eisenbahn-Güterwagen werden immer noch überwiegend mit Klotzbremsen gebremst. Diese Bremsvariante bedingt, dass in den Radsätzen während und nach dem Bremsvorgang Erwärmungs- und Abkühlprozesse stattfinden. Diese führen dazu, dass sich Druckspannungen, die während des Herstellungsprozesses in Umfangsrichtung in das Material des Rades eingebracht wurden, zu Zugspannungen verändern. Unter diesem Einfluss können selbst kleine Risse in der Lauffläche des Rades bis zum letztendlichen Radbruch anwachsen.

Um diesen Schäden entgegen zu wirken, werden seit 1992 vom Fraunhofer IZFP industrietaugliche Prüfsysteme zur Ultraschall-Eigenspannungsmessung an Radkränzen (UER) entwickelt und produziert; neben der ursprünglichen Version als reines Standgerät sind mittlerweile auch portable Systeme verfügbar. Um den Gegebenheiten des sich permanent wandelnden Elektronik- und Softwaremarktes Rechnung zu tragen, wurde 2004 ein erstes umfangreiches Redesign des Systems durchgeführt. Diesem ersten Update folgte vor Kurzem eine weitere Anpassung an den aktuellen Stand der Hard- und Software-Technik, mit der die Zukunftsfähigkeit des Gerätesystems, das mittlerweile in weltweit 15 Ländern an über 50 Standorten als Prüfstandard etabliert ist, nachhaltig gesichert wurde.

Um den Eigenspannungszustand an Güterwagen-Radkränzen zu ermitteln, nutzen die UER-Prüfsysteme den akusto-elastischen Effekt, das heißt den Einfluss von Dehnungs- und Spannungszuständen auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschallwellen. Die Größe des Effektes hängt hierbei von der Ausbreitungs- und der Schwingungsrichtung in Bezug auf die Hauptdehnungs- oder Spannungsrichtung ab. Mittels eines elektromagnetischen Ultraschallwandlers wird koppelmittelfrei eine linear polarisierte Transversalwelle von der Innenfläche in den Radkranz eingeschallt.

Innovationszyklen im Bereich von Elektronik-Hardware und Software machten 2013 ein zweites Redesign des UER-Prüfsystems notwendig. Im Rahmen dieser Weiterentwicklung wurde die analoge Signalübertragung auf ein Mindestmaß reduziert und weitgehend durch eine digitale Signalübertragung ersetzt, was eine deutlich geringere Störbeeinflussung des Systems im industriellen Umfeld zur Folge hat.

Die Minimierung analoger Signalwege bedingte die Notwendigkeit, die komplette Ultraschallsende- und Empfangselektronik einschließlich Signalverarbeitung und Digitalisierung neu zu entwickeln und den minimalen Platzverhältnissen in der Manipulationseinheit anzupassen. Auch die komplette Steuerungstechnik befindet sich jetzt im Manipulatorinnenraum, so dass die Signalübertragung zum eigentlichen Bedienterminal voll digital erfolgen kann. Die Hard- und Software des Systems ermöglichen die Einbindung in die Netzwerkstrukturen der Werke und halten eine Vielzahl von Protokollierungsmöglichkeiten vor. Zur Bewertung von neu hergestellten Rädern ist ein weiteres Auswertemodul verfügbar, das in verschiedenen Tiefenbereichen des Spannungsprofils parametrierbar eine Bewertung nach Vorgabe der EN 13262 ausführt.

Alle neuen UER-Systeme sind, wie auch alle bereits ausgelieferten Systeme, in das Fernwartungsnetzwerk des Fraunhofer IZFP eingebunden: Im Störungsfall ist das Service-Team somit in der Lage, durch Fernzugriff über Internet eine umfangreiche Fehleranalyse durchzuführen.

Mit den Erfahrungen aus zwei Gerätegenerationen wurde das UER-Prüfsystem bei gleichbleibend einfacher Software-Bedienung und einem gleichzeitigen Ausbau der Prüfdokumentationsmöglichkeiten auf einen zukunftssicheren technischen Stand gebracht.

Die neuentwickelte DRAGONFLY-Röntgentechnologie reduziert die Prüfzeit von Gussteilen um die Hälfte.
© Fraunhofer EZRT

Zerstörungsfreie Prüfung – Industrielle Röntgenprüfmethoden von morgen

Das Forschungsfeld Zerstörungsfreie Prüfung wird am Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT, einem Bereich des Fraunhofer IIS, in enger Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IZFP bearbeitet.

Der Preisdruck in der Automobilindustrie ist ebenso hoch wie die Qualitätsstandards. Zulieferer von Bauteilen wie Leichtmetall-Gussrädern, Fahrwerksteilen, Zylinderköpfen oder Kurbelgehäusen müssen ihre Teile schnell entwickeln, kostengünstig herstellen und vor allem fehlerfreie Produkte liefern. Damit kommt der Qualitätskontrolle eine zentrale Rolle zu. Bei hohen Stückzahlen muss zügig und zuverlässig kontrolliert werden, ob sich nicht etwa feine Haarrisse oder Versprödungen in den Bauteilen finden. Die Ergebnisse des inline-Monitorings von Fertigungsprozessen und Produktqualität werden zukünftig auch zur Produktions- und Parameteroptimierung mittels intelligenter Regelkreise eingesetzt werden. Das Problem gängiger Verfahren: Größere Teile müssen für eine Röntgenaufnahme von einem Roboter zwischen der Röntgenquelle und dem Detektor bewegt werden.

Bisher muss der Roboter das Bauteil immer wieder anhalten, damit die Aufnahmen des Prüflings gemacht werden können. Durch eine neue Technologieentwicklung des Fraunhofer EZRT ist es nun möglich, hochaufgelöste Röntgenbilder während der Bewegung des Bauteils aus unterschiedlichen Perspektiven zu erstellen. Das spart drastisch Zeit, die Belichtungszeit für die Aufnahme einer Position dauert nun nur rund fünf Millisekunden – mit herkömmlicher Technik dauert das etwa achtzigmal länger. Der Name des Verfahrens, »Dragonfly«, leitet sich von der englischen Bezeichnung für »Libelle« ab; das Insekt ist schnell und wendig und kann seine Bewegungsrichtung abrupt ändern. Ein Roboter dreht die Prüfteile in verschiedene Positionen, wobei die Bilder noch in der Bewegung aufgenommen werden. Die Belichtungszeit der eingesetzten Röntgenquelle ist so kurz wie bei der herkömmlichen Fotografie. Zusätzlich zeichnet sich der eingesetzte XEye-Detektor (ebenfalls eine Entwicklung des Fraunhofer EZRT) durch eine spontane und frei einstellbare Belichtungszeit sowie hohe Lebensdauer aus. Insgesamt verkürzt sich die Prüfungszeit eines Gussteiles so um die Hälfte, was in der Massenfertigung ein großer Schritt ist.

Automobile, Frachtcontainer und Flugzeugteile – so große und dickwandige Objekte ließen sich mittels Röntgen-Computertomographie bisher meist nur untersuchen, wenn man sie vorab in kleinere Komponenten zerlegte. Am Fraunhofer EZRT steht deswegen der weltweit einzigartige XXL-Computertomograph. Mit der XXL-CT-Technologie können Gegenstände bis zu 4,60 Metern Höhe und einem Durchmesser von bis zu 3,20 Metern untersucht werden. Mit rund 400 Quadratmetern Grundfläche und 16 Metern Höhe bietet die Testhalle genügend Raum für große Untersuchungsgegenstände. Die Aufgabe ist es, Objekte wie z. B. Fahrzeuge, Flugzeugteile oder Frachtcontainer einschließlich ihrer Beladung zerstörungsfrei zu untersuchen. Die Anlage ermöglicht somit die Qualitätskontrolle von Objekten, die mit Hilfe herkömmlicher Technik bislang nur bedingt oder gar nicht geprüft werden konnten.

Weitere Anwendungen sind die Echtheitsanalyse von kunsthistorischen Objekten, sowie die Crash-Analyse und die darauf aufbauende Steifigkeits-Optimierung von Fahrzeugkarosserien. Es können Energien von maximal 9 MeV erreicht werden, dies entspricht in etwa dem Zwanzigfachen konventioneller industrieller Röntgensysteme. Damit lassen sich maximal 20 Zentimeter dicke Stahlobjekte oder maximal 60 Zentimeter dicke Aluminiumstrukturen durchstrahlen. So werden Konstruktionsfehler, Materialdefekte oder andere, von außen unzugängliche Bereiche, exakt detektiert, charakterisiert und ausgewertet. Mit einer effektiven Auflösung unter 0,8 Millimetern an großen Objekten besteht die Möglichkeit, selbst kleinste Defekte zu erkennen.

Droop Nose-Demonstrator mit beweglicher Flügelvorderkante und integrierten zukunftsweisenden Technologien.
© Fraunhofer LBF

- **Betriebsfeste Integration aktiver Materialien, Leichtbau Zukunft der Flugzeugflügel: Bewegliche Vorderkante mit dehnbarer Haut und integrierten Funktionen**

Was müssen Flugzeugflügel in Zukunft leisten? Eine Frage, die das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF im Rahmen des europäischen Forschungsprogramms Clean Sky Green Regional Aircraft erforscht. Jüngstes Ergebnis ist ein drei Meter breites 1:1-Windkanalmodell eines möglichen künftigen Flügels, den das Institut zusammen mit den Fraunhofer-Instituten ENAS, IBP und IGD entwickelt und hergestellt hat. In diesen Demonstrator, der als Technologieplattform gedacht ist, haben die Wissenschaftler mehrere potenzielle Zukunftstechnologien integriert. Dazu gehören eine flexible Droop Nose (bewegliche Vorderkante) mit einem Mess- und Regelsystem, ein variables Eisschutzsystem sowie auf Formgedächtnislegierungen basierende Aktoren.

Im Fraunhofer LBF wurde der 1:1 Droop Nose-Demonstrator aufgebaut und abschließend unter Vereisungsbedingungen im Klimawindkanalversuch erprobt. Auf Basis aerodynamischer Vorgaben entwickelten die Wissenschaftler eine Kinematik für die Absenkung der Flügelvorderkante. Das Besondere dieses Hochauftriebsmittels im Bereich der Vorderkante: Es vermeidet Spalten, weil sich die Haut mitverformt. Dies ist insbesondere für künftige Laminarflügel von hoher Bedeutung, da diese nur mit glatten Oberflächen realisierbar sind. Ein weiterer Vorteil sind die reduzierten Lärmemissionen im Landeanflug dank der nicht vorhandenen Spalten. Die hohe Dehnung der Haut, die bei jeder Betätigung auftritt, erfordert jedoch eine ausreichende Betriebsfestigkeit.

Die Verformung der Haut erzeugt ein elektromechanischer Aktuator. Zusätzlich werden einige vom Fraunhofer IBP getestete »Smart memory alloy-Aktoren« genutzt. Zur künftigen Regelung der Kinematik im Flug entwickelt das Fraunhofer LBF ein Verfahren zur Rekonstruktion der Flügelgeometrie auf Basis von Sensorsignalen. Zu diesem Zweck wurden unter anderem fast 50 faseroptische Dehnungssensoren in die Haut der beweglichen Flügelvorderkante integriert und über ein vom Fraunhofer LBF entwickeltes strukturintegriertes Steckerkonzept nach außen geführt. Für die Technologie-Plattform »Flügel« stellte das Fraunhofer ENAS sogenannte »synthetic jet Aktuatoren« bereit. Diese können die Strömung positiv beeinflussen. Das Fraunhofer LBF integrierte zusätzlich erstmals ein thermisches Vereisungsschutzsystem in eine hochgedehnte Flügelvorderkante. Dieses Konzept wurde aufgrund der hohen Hautdehnung bisher nicht zufriedenstellend gelöst. Im Rahmen von Clean Sky gelang es dem Fraunhofer LBF, ein flexibles Heizsystem auf Basis von Carbon Nano Tubes (CNT) zu entwickeln. Im Modell integrierte Thermosensoren regeln die Temperatur.

Bei ersten Erprobungen des Modells zeigte sich eine gute Übereinstimmung der Flügelverformungen zwischen Ergebnissen der FE-Simulationen und dem gefertigten Modell. Daraufhin wurden die Enteisungsmöglichkeiten des Demonstrators im Klima-Windkanal erprobt. Die Struktur und die verschiedenen Technologien funktionierten erwartungsgemäß gut, und durch den erfolgreichen Versuch im Windkanal konnte das Fraunhofer LBF den Technologiereifegrad nachweisen. Diese neue Technologie ist das Ergebnis eines groß angelegten Forschungsprojektes. Die Entwicklung der Technologien ist noch nicht abgeschlossen und soll in künftigen Projekten fortgesetzt werden.

Simulation der Korngefüge beim Herstellungsprozess Drahtziehen.
© Fraunhofer IWM

Von Korngrenzen bis Crashsicherheit: Prozesskettensimulation für die Bauteilentwicklung

Den Simulationsexpertinnen und -experten am Fraunhofer IWM ist es gelungen Herstellungsprozesse vom Halbzeug bis zum Endprodukt durchgängig zu simulieren – beispielsweise für Blech-, Schmiede-, geschweißte oder pulvertechnologisch hergestellte Bauteile. So besteht die Voraussetzung, mögliche Schwachpunkte im Werkstoff wie Risse oder unerwünschte Eigenschaften sowie deren Fortpflanzung in der Prozesskette zu identifizieren. Dadurch können sie behoben und die Bauteile optimal für ihren Einsatz qualifiziert werden.

Die Tatsache, dass sich die Mikrostruktur eines Werkstoffes während der Bearbeitungsprozesse stark verändert und einen entscheidenden Einfluss auf das Einsatzverhalten des fertigen Bauteils hat, verlangt nach neuen Simulationskonzepten.

Während die numerische Beschreibung einzelner Prozessschritte weitgehend etabliert ist, bietet das Fraunhofer IWM seinen Kunden mehrskalige, nahtlos miteinander verknüpfte Simulationen entlang der gesamten Prozesskette an. Die Integration der Prozessgeschichte, die Struktur und Eigenschaften eines Werkstoffes beeinflusst, ermöglicht den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, das Betriebsverhalten eines Bauteils präzise vorherzusagen. Damit bekommen Kunden das Know-how an die Hand, um Prozessparameter problemspezifisch anzupassen und erhalten kompetente Unterstützung zur Modellentwicklung oder zur Optimierung spezifischer Prozessketten.

Insbesondere in den Branchen der Stahl- und Metallverarbeitung, der Automobilzulieferung, im Fahrzeug- und Anlagenbau und bei der Herstellung von keramischen Bauteilen kann dies zu erheblicher Zeit- und Kosteneinsparung führen, da Produktentwicklungszyklen deutlich reduziert werden. Um den zentralen Anforderungen von Leichtbau, Crashsicherheit und langer Lebensdauer zu genügen, werden die Simulationen entlang der Prozesskette auf mehreren Skalen parallel durch experimentelle Untersuchungen und Validierungen begleitet. Beispielsweise umfasst die Umwandlung eines Millimeter dünnen, metallischen Warmbandes in eine tragende Säule einer Automobilkarosserie aus Dualphasenstahl das Kaltwalzen, die Wärmebehandlung und die Umformung zum fertigen Bauteil. Das am Computer nachgebildete Gefüge des Warmbands dient der Kaltwalzensimulation als Eingangsdatensatz. Diese Finite Elemente-Simulation bildet die Entwicklung der Textur während des Walzprozesses und die damit verknüpften Materialeigenschaften ab. Die Ergebnisse werden in der darauffolgenden Glühsimulation weiter verarbeitet.

Das Team arbeitet zurzeit daran, ausgehend von der Mikrostruktur aus der Glühsimulation die makroskopischen Materialparameter mit dem am Fraunhofer IWM entwickelten »virtuellen Labor« noch detaillierter bestimmen zu können. Virtuelle, makroskopische Spannungs-Dehnungs-Kurven liefern hierbei die Materialparameter für die in der anschließenden Umformsimulation eingesetzten Modelle. Das Besondere an dem Zwischenschritt des virtuellen Labors ist die Möglichkeit, Versuche in der Simulation abzubilden, die in der Praxis für Blechwerkstoffe nur schwer oder gar nicht realisierbar sind.

Die abschließende Simulation der Ermüdungsfestigkeit oder Crashsicherheit des Bauteils bewertet die Versagensursachen unter Berücksichtigung möglicher Vorbelastungen wie Blechausdünnungen oder lokalen Schädigungen, die aus den vorherigen Prozessschritten stammen.

Solare Wasserstoff-Tankstelle am Fraunhofer ISE in Freiburg. © Fraunhofer ISE

Prototyp »Fraunhofer-Solarmodul« integriert alle im Projekt entwickelten Komponenten. © Fraunhofer

Solare Wasserstoff-Tankstelle: Mit Sonne und Wasser Auto fahren

Seit März 2012 betreibt das Fraunhofer ISE eine solare Wasserstoff-Tankstelle in Freiburg. Der Wasserstoff wird vor Ort erzeugt. Der Strombedarf der Tankstelle wird im Jahresmittel durch eigene PV-Anlagen gedeckt und so die Möglichkeit einer nachhaltigen Wasserstofferzeugung durch erneuerbare Energien aufgezeigt. Die Betankung von Autos mit 700 bar Speicherdruck erfolgt innerhalb von drei bis fünf Minuten. Dem Institut stehen zwei Brennstoffzellen-Fahrzeuge zu Forschungszwecken zur Verfügung, die u. a. als Dienstfahrzeuge genutzt werden, und so die Alltagstauglichkeit der Technologie beweisen.

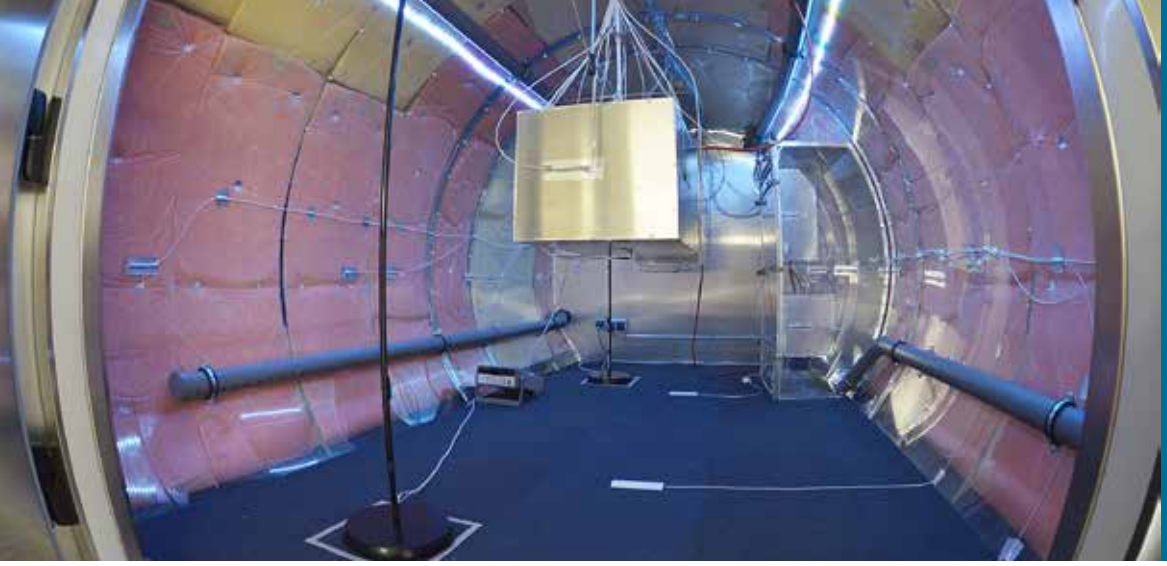
Die Tankstelle wurde in Containerbauweise realisiert. Im Elektrolysecontainer wird durch ein modernes Membranverfahren Wasserstoff bei 30 bar erzeugt und aufbereitet. Der zweite Container beinhaltet zwei Verdichter, die Wasserstoffvorkühlung sowie die Steuerungseinheit. Der Wasserstoff wird in der ersten Stufe auf 450 bar verdichtet und zwischengespeichert. Zur 700 bar-Betankung wird das Gas auf bis zu 950 bar komprimiert und in einem Hochdrucktank gelagert.

Durch die günstige Lage Freiburgs integriert sich die Tankstelle ideal in das im Aufbau befindliche Netz an Wasserstoff-Tankstellen in Baden-Württemberg und ist mit seiner Lage an einem TEN-T Korridor ein wichtiges Verbindungsstück zu künftigen europäischen Tankstellen in Frankreich und der Schweiz. Neben ihrer eigentlichen Aufgabe, der Betankung von Wasserstoff-Fahrzeugen, dient die Tankstelle als Forschungs- und Technologieplattform. Einige Komponenten wurden so ausgelegt, dass u. a. Tests von Tankstellenkomponenten sowie FuE-Vorhaben zum Demand-Side-Management oder aus dem Bereich Power-to-Gas durchgeführt werden können. Die solare Wasserstoff-Tankstelle verfügt über eine umfangreiche Messtechnik für das Monitoring. Die Steuerung erlaubt eine flexible Betriebsführung der Anlage.

Solarmodule in Leichtbauweise

Die photovoltaische Stromerzeugung ist eine der Stützen der umweltgerechten Stromerzeugung. Die bekannten Probleme der deutschen und europäischen Modulhersteller liegen darin begründet, dass die Module für Stromparks und Dachmontage im Wesentlichen auf dem Stand der Technik des letzten Jahrtausends beruhen und durch den hohen Kostendruck zudem eine Herstellung im asiatischen Raum bevorzugt wird. Die Fraunhofer-Institute ISE, FEP, IZM und IFAM haben an einem neuen Modulkonzept gearbeitet, das Entwicklungen von hocheffizienten Solarzellen und photovoltaisch fremden Technologien zusammenbringt. Es ermöglicht, bei vergleichbaren errechneten Kosten Module zu bauen, die mit einem Wirkungsgrad von über 20 Prozent und einer gleichzeitigen Gewichtsersparnis von rund 45 Prozent einen neuen Stand der Technik erreichen. Dadurch kann sowohl auf knapper werdenden Arealen mehr Strom produziert werden oder es können Flächen erschlossen werden, die vorher nicht zur Stromproduktion genutzt werden konnten, wie z. B. Firmendächer mit zu geringen zulässigen Dachlasten.

Viele Details in der Entwicklung führen zur Effizienzsteigerung der Solarzellenmodule: Zum einen sind die neuartigen Solarzellen mit verteilten Kontakten in Leichtbauweise rückseitig verschaltet. Dies minimiert die elektrischen Verluste und das Gewicht. Zum anderen wird anstelle von Frontglas eine speziell angepasste Kunststofffolie verwendet. Diese hochgradig UV-beständige Folie weist die benötigten Barriereeigenschaften auf und ist hoch transparent. Ein Verbundwerkstoff auf der Rückseite bringt die notwendigen mechanischen Eigenschaften ein. Zusätzlich erlaubt das neue Modulkonzept den Einsatz von Verschaltungstechnologien auf dem Schaltungsträger aus Verbundwerkstoff sowie eine individuelle Absicherung der Solarzellen mit Bypassdioden.



Im Kabinendemonstrator der Ground Thermal Test Bench führen die Wissenschaftler des Fraunhofer IBP Untersuchungen zum Raumklima sowie zum Komfort durch.
© Fraunhofer IBP

Ground Thermal Test Bench

Die Luftfahrt wird umweltfreundlicher: bis 2020 sollen die Jets 50 Prozent weniger CO_2 produzieren als die Flotte aus dem Jahr 2000, 80 Prozent weniger Stickoxide ausstoßen und nur noch halb so laut lärmen. Zudem gilt es, in den Bereichen Design, Herstellung, Instandhaltung und Recycling innovative Lösungen zu entwickeln und den Lebenszyklus von Flugzeugen.

Dies sind die hochgesteckten Ziele, denen sich das EU-Projekt Clean Sky verschrieben hat. Die bislang größte europäische Technologieinitiative startete im Jahr 2008. In diesem Rahmen wurde der Auftrag erteilt, die Ground Thermal Test Bench zu entwickeln, zu konstruieren und in Betrieb zu nehmen.
In dieser Versuchsanlage lassen sich innovative Flugzeugarchitekturen und Geräte sowie neue Auslegungswerkzeuge thermisch validieren. Mit Erfolg: Der Demonstrator wurde 2014 in Betrieb genommen und hat seitdem zuverlässig die Testprogramme durchlaufen. Damit ist es möglich, Architekturen vollständiger Business-Jet-Sektionen auf ihre thermische Effizienz und Funktionstüchtigkeit zu überprüfen, was besonders durch den Übergang zu »More Electric Aircraft«-Architekturen stärker in den Fokus rückt.
Es stehen hierzu drei Mock-ups zur Verfügung:

Carbon-Cockpit:
Mit ihm lässt sich das thermische Verhalten von Carbonstrukturen analysieren.

Kabinensektion:
Sie ermöglicht es, das Kabinenklima und den Komfort zu untersuchen, ebenso wie Unterbodengeräte und die Nutzbarkeit des Tanks als Wärmespeicher.

Heckrumpfteil:
Hier werden schwerpunktmäßig Avioniv-Bay-Architekturen getestet und Systeme mit extremerWärmeentwicklung integriert.

Diese drei Rumpfteile können Umweltbedingungen ausgesetzt werden, wie sie am Boden und im Flug auftreten können, sodass auch Flugsituationen sicher am Boden getestet werden können. Präzise Anlagen für die Luftkonditionierung sorgen für die Klimatisierung des Innenraums: Über sie lässt sich ein breites Spektrum an Lufttemperaturen, -feuchten und -mengen für die Kabinenventilation bereitstellen. Weiterhin entwickelten und optimierten die Wissenschaftler die Steuerung und Regelung der Ground Thermal Test Bench. Das Ergebnis: Die geforderten Testbedingungen werden äußerst genau und gleichmäßig erreicht, mit den Versuchsaufbauten lassen sich daher Tests gemäß dem Luftfahrtstandard Do160 durchführen. In der Testkampagne für den Technologie-Demonstrator »Heatpipe« konnte eine solche Untersuchung erstmals umgesetzt werden. Parallel hierzu wurde das Fraunhofer Thermische Modell weiterentwickelt und auf der Ground Thermal Test Bench validiert. Um Raumklima-Applikationen auszulegen, braucht man räumlich aufgelöste Temperaturverteilungen. Klassische Rechenverfahren für den Entwurfsprozess konnten diese bisher nicht liefern. Auch aufwendige Simulationen für die fortgeschrittene Auslegung, wie Computational Fluid Dynamics (CFD), bringen in diesem Stadium wenig: In großen Räumen haben sie ein chaotisches Strömungsverhalten und bringen bei sehr hohem Rechenaufwand nur wenig praktischen Mehrwert.

Das am Fraunhofer IBP entwickelte thermische Modell unterteilt einen Raum hingegen in typischerweise 20 bis 500 Zonen, die miteinander im Luftaustausch stehen. Hier können Wärmequellen, Lüftungsöffnungen, Wände und Fenster platziert und mit benachbarten Zonen verbunden werden. Auch die Einflüsse der Wärmestrahlung aller vorhandenen Oberflächen aufeinander werden mit berücksichtigt, ebenso wie der Einfluss der Sonnenstrahlung in Abhängigkeit von Ort und Zeit. Dieser Ansatz reduziert den Rechenaufwand um den Faktor 1000 bis 10 000 bei vergleichbar aussagekräftigen Ergebnissen. Entwerfen Ingenieure ein Flugzeug, können sie daher nun viele verschiedene Architekturen miteinander

Verbesserte Rolleigenschaften bei gleichbleibendem Grip – möglich durch Optimierung des »Füllstoffnetzwerkes«.
© istock / santiphotois

vergleichen und die vielversprechendsten identifizieren. Das Thermal Model Generation Tool und das Ecolonomic Analysis Tool sorgen dafür, dass dieser Prozess automatisch abläuft.

Doch sind die Ergebnisse für realistische Anwendungsfälle repräsentativ? Dies muss nachgewiesen werden, soll diese Toolkette in der Luftfahrt eingeführt werden. Die klimatischen Bedingungen sind extrem, die geometrischen Strukturen kompliziert und das Klima im Flugzeug muss daher über aufwendige Klimatisierungssysteme reguliert werden. Mit der Ground Thermal Test Bench lassen sich repräsentative Untersuchungen jedoch bereits am Boden durchführen. Die Vorhersagen des thermischen Modells liegen dabei deutlich im Rahmen der geforderten und validierbaren Genauigkeit und liefern realitätsnähere Ergebnisse als parallel durchgeführte CFD-Berechnungen, das zeigten Testkampagnen am Cockpit- und Kabinen-Mock-up.

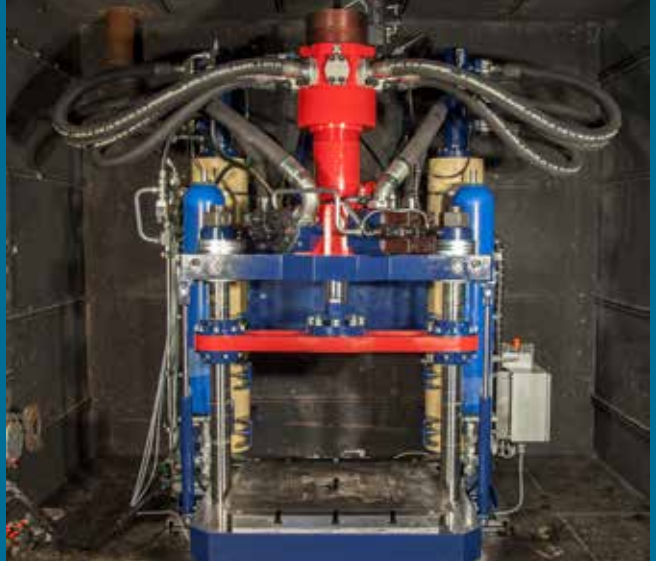
Der Unterbodenbereich des Kabinendemonstrators bietet vielfältige Möglichkeiten thermische Untersuchungen mit Hilfe so genannter Equipmentsimulatoren durchzuführen.
© Fraunhofer IBP

Mikrostrukturelle Bewertung energiesparender und verschleißresistenter Reifenwerkstoffe

Kautschukbasierte Komposite, wie sie für Reifenlaufflächen eingesetzt werden, sind komplexe Materialien, die neben Kautschuk viele Zuschlagstoffe und Additive enthalten. Während der Kautschukanteil dem Material gummitypische Eigenschaften wie die hohe Elastizität verleiht, ermöglicht es die Zugabe von nanoskaligen Füllstoffen – wie Ruß oder Silica –, andere essentielle Eigenschaften wie Härte oder Abriebfestigkeit zu beeinflussen. Diese Kenngrößen lassen sich über die Füllstoffart und den Füllstoffanteil einstellen. In Reifenkompositen ist der Füllstoffanteil so hoch, dass sich ein durchgehendes »Füllstoffnetzwerk« ausbildet, das die mechanischen Eigenschaften dominiert. Ein detailliertes Verständnis und die gezielte Anpassung des Füllstoffnetzwerks sind deshalb von zentraler Bedeutung für die Entwicklung optimierter Reifenmischungen und daher Forschungsgegenstand am Fraunhofer IMWS.

Die Untersuchungen des Fraunhofer IMWS an verschiedenen Kompositen zeigen, dass das Füllstoffnetzwerk nicht nur die aggregierten Füllstoffpartikel selbst, sondern auch viskoelastische Elemente enthält, die von immobilisierten, glasartigen Kautschuksegmenten an der Füllstoffoberfläche gebildet werden. Obwohl die immobilisierten Segmente nur etwa 1-3 Prozent des gesamten Kautschukvolumens im Komposit ausmachen, ist ihr Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften dramatisch. Zwischen den Füllerpartikeln bilden sich glasige Kautschukbrücken, die sukzessive beispielsweise durch einen Temperaturanstieg erweichen und so den Elastizitätsmodul des gesamten Kompositmaterials halbieren können. Mit der Folge, dass der Rollwiderstand zunimmt und zu erhöhtem Kraftstoffverbrauch führt. Dieses Zusammenspiel zeigt die hohe Bedeutung der am IMWS erforschten Mikrostruktur des Füllstoffnetzwerks für die anwendungsbezogene Optimierung von Kompositen für Reifenlaufflächen.

Die Gesamtfahrzeug-Crashanlage am Fraunhofer EMI in Efringen-Kirchen.
© Thomas Ernsting



Der Batterieprüfstand zur dynamischen Prüfung von geladenen Zellen.
© Fraunhofer EMI

Crash-Zentrum am Fraunhofer EMI

Moderne Fahrzeuge sollen sicherer und gleichzeitig energiesparender werden. Die Automobilindustrie setzt dabei auf neue, leichte Werkstoffe wie Verbundwerkstoffe und geschäumte Materialen sowie auf alternative Antriebe. Die Prüfung der neuen Materialien ist eines der zentralen Forschungsgebiete am Fraunhofer EMI.

Crashtests bleiben in der Fahrzeugentwicklung trotz des zunehmenden Einsatzes numerischer Simulationsverfahren unverzichtbar. Sie liefern die Basisdaten für Simulationsrechnungen und sind wichtig für das Überprüfen der Ergebnisse. Mit der neuen Gesamtfahrzeug-Crashanlage erweitert sich das experimentelle Portfolio des Crash-Zentrums erheblich. Sie bildet zusammen mit der Komponenten-Crashanlage den Kern des Crash-Zentrums. Beide Anlagen sind flexibel für aktuelle Fragestellungen aus den Bereichen der Fahrzeugsicherheit und der Materialforschung einsetzbar.

Gesamtfahrzeug-Crashanlage

Die 42 Meter lange Gesamtfahrzeug-Crashanlage wird mit einem servohydraulischen Katapult betrieben. Tests mit einer Geschwindigkeit von bis zu 80 Kilometern pro Stunde und einer maximalen Nutzlast von 3000 Kilogramm sind möglich. Dabei sind Varianten vom Frontal-, Heck- und Seitenaufprall mit allen gängigen Barrieren praktikabel. Die am EMI entwickelten speziellen Mess- und Auswertemethoden gestatten in Verbindung mit Hochgeschwindigkeitskameras und der 3D-Verformungsanalyse die genaue Betrachtung von Material- und Bauteilverhalten unter crashrelevanten Bedingungen.

Komponenten-Crashanlage

Mit der variabel einsetzbaren Komponenten-Crashanlage werden seit über zehn Jahren Fahrzeugteile, wie zum Beispiel Stoßstangenstrukturen oder Crashelemente, bei Geschwindigkeiten von bis zu 22 Metern pro Sekunde und einem Gewicht von bis zu 800 Kilogramm, mit Bezug auf ihr Energieabsorptionsvermögen, sowie ihr Deformations- und Versagensverhalten untersucht. Die Anlage mit einer Gesamtlänge von 16 Metern wird mit Druckluft betrieben und dient auch zur Charakterisierung und Untersuchung der Crashtauglichkeit neuartiger Werkstoffe oder Werkstoff-Kombinationen.

Mechanisches Verhalten von Batterien unter dynamischer Last / Batterieprüfstand

Der Wunsch nach einer steigenden Zahl von Elektrofahrzeugen auf unseren Straßen fordert den Einsatz leistungsstarker mobiler Energiequellen. Elektrische Energiespeicher gewinnen damit im Bereich Mobilität zunehmend an Bedeutung. Mit der ständig steigenden Energiedichte und Gesamtkapazität verfügbarer Energiespeicher wächst jedoch auch deren Gefährdungspotenzial.
Ein spezieller Prüfstand zur Charakterisierung von Li-Ionen-Zellen am Fraunhofer EMI erlaubt die zerstörende Prüfung geladener Batteriezellen bei verschiedenen Belastungsmodi vom statischen bis in den dynamischen Bereich mit Belastungsgeschwindigkeiten bis zu 10 m/s und Lasten bis zu 50 Tonnen. Unterschiedliche Zelltypen können mit dieser Apparatur bezüglich ihres Deformationsverhaltens unter verschiedenen Bedingungen untersucht werden.

Eine weitere effektive Möglichkeit zur Untersuchung von Batterien bei Stauchung, Quetschung oder Zerstörung anderer Art ist die Computertomografie (CT). Mit ihr kann das Innere einer Zelle vor und nach einem Test dargestellt und Schädigungen analysiert werden.

Gestengesteuerter Prototyp eines Nutzfahrzeugsitzes.
© Isringhausen GmbH & Co. KG

Gestensteuerung – intelligente Mensch-Maschine-Schnittstellen

Moderne Nutzfahrzeugsitze sorgen dafür, dass die Fahrer lange Strecken konzentriert und ermüdungsfrei zurücklegen und vor schädlichen Schwingungen durch pneumatische Schwingsysteme weitgehend geschützt werden können. Für den optimalen Sitzkomfort ist die ergonomische Gestaltung und Formgebung sowie die richtige Einstellung der Sitzposition von großer Relevanz. Das Center Smart Materials CeSMa des Fraunhofer ISC hat 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. Die neuartige Gestensteuerung ermöglicht dem Fahrer zahlreiche intuitive Einstell- und Komfortfunktionen, mit denen die Sitzposition sowie Teilbereiche der Konturgebung auf die individuellen Bedürfnisse und körperlichen Voraussetzungen angepasst werden können.

Der Sitz folgt dabei einfach der natürlichen Handbewegung – spezielle Gesten müssen 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 darüber hinaus elektronisch ausgeschlossen werden.

Kostengünstige Herstellung und Designfreiheit

Ein weiteres Plus: Elemente wie Schalter und Knöpfe, die im täglichen Betrieb beschädigt werden können oder verschmutzen, entfallen. 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.

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. Nähert sich nun eine Hand oder ein Finger dem Sensorfeld unter der Abdeckung, wird die Kapazität verändert und eine Schaltfunktion ausgelöst. Mit der im Fraunhofer ISC dafür entwickelten Hard- und Software werden die sensorischen Informationen erfasst, verarbeitet und in Schaltbefehle übertragen. Der Einsatz dieses Bedienkonzepts ist nicht auf LKW-Sitze beschränkt. Die Sensorik 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.

© Isringhausen GmbH & Co. KG

Neue Methoden zur verbesserten Simulation von Vogelschlag

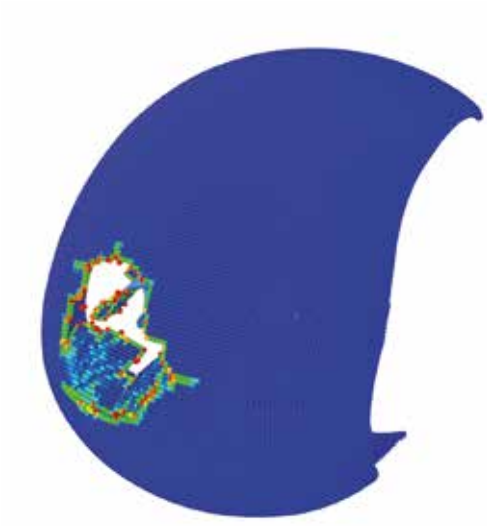


Abb.2 Neuartige Modellierung von Vogelschlag. Die Schutzscheibe eines Helikopters wird mit der netzfreien SPH-Methode modelliert. Die hierbei auftretenden Rissmuster zeigen deutlich verbesserte Übereinstimmung mit dem in Experimenten beobachteten Verhalten. Die Farben der Materialpunkte entsprechen einem Versagensindex, blau und rot bedeuten hierbei nicht bzw. vollständig versagt. © Fraunhofer EMI

Vogelschlag bezeichnet die Kollision eines Vogels mit einem Flugzeug. Obwohl ein Vogel deutlich leichter, kleiner und viel weniger hart als die exponierten Teile eines Flugzeuges ist, werden Vögel bei Relativgeschwindigkeiten von bis zu 300 Kilometern pro Stunde, welche typischerweise während der Start- und Landephase in Bodennähe erreicht werden, zu gefährlichen Geschossen mit enorm hoher Durchschlagskraft. Hubschrauber sind durch ihre niedrige Einsatzhöhe und ihre vergleichsweise sehr großen Sichtfenster stärker als andere Flugzeuge durch Vogelschlag gefährdet. Abbildung 1 (siehe oben rechts) zeigt ein beispielhaftes Szenario für einen Vogelschlag: Das Ersatzmodell eines Vogels durchschlägt die Schutzscheibe eines Helikopters, eine getroffene Person kann ernsthaft verletzt werden.

Deshalb ist eine konstruktive Auslegung des Hubschrauber-Cockpits für erhöhte Sicherheit gegen Vogelschlag besonders wichtig. Dies benötigt jedoch exakte Informationen über die zu erwartenden Belastungen, die nur durch eine Kombination aus sehr aufwendigen Experimenten und Simulation geliefert werden können. Es besteht deshalb ein großes Interesse daran, den experimentellen Aufwand gering zu halten und verstärkt numerische Modelle einzusetzen. Dies ist nur dann möglich, wenn die Vorhersagegüte der Simulation ausreichend hoch ist, um die Ergebnisse als vertrauenswürdig und belastbar einzustufen.

Die Finite-Elemente-Methode, das üblicherweise eingesetzte Verfahren zur Simulation mechanischer Strukturbelastungen, ist für dynamische Lastfälle mit extremen Versagensmustern ungeeignet. Besser eignet sich der Einsatz sogenannter netzfreier Methoden. Hierbei wird das numerische Modell des zu berechnenden Körpers mit Materialpunkten diskretisiert, welche nur als temporäre Stützstellen zur Lösung der Euler-Gleichungen dienen. Eine

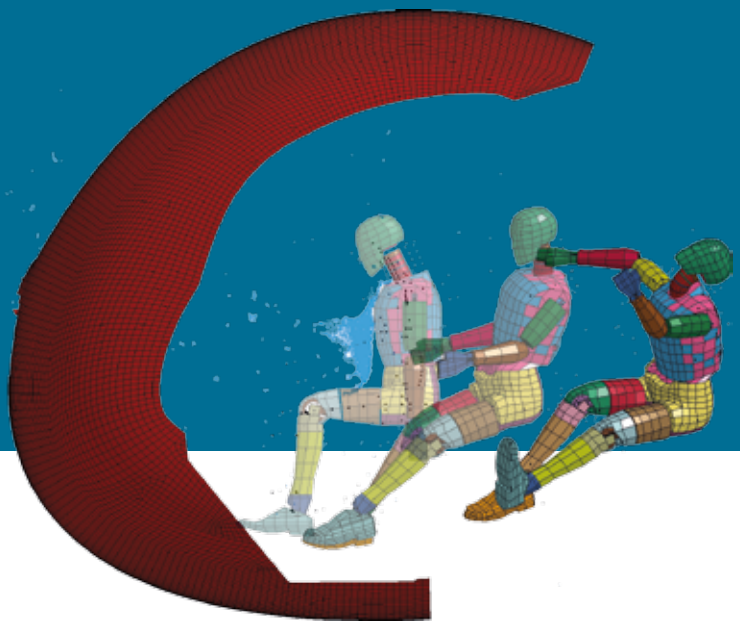


Abb.1 Vogelschlag-Szenario. Ein Ersatzmodell eines Vogels (blaue Partikel) durchschlägt, von links kommend, die Sichtscheibe eines Bell MH6 »Littlebird« Helikopters. Die Beschleunigung des Crashtests-Dummies dient zur Visualisierung der nach Durchbruch durch die Scheibe verbleibenden kinetischen Energie des Vogels.
© Fraunhofer EMI

netzfreie Methode ist das sogenannte Smooth-Particle-Hydrodynamics-Verfahren, welches über die letzten zwei Jahrzehnte aktiv am Fraunhofer EMI weiterentwickelt wurde. Ein im Jahre 2014 erzielter Durchbruch [1] hat dazu geführt, dass auch die Versagensmuster verhältnismäßig spröder Materialien mit guter Genauigkeit modelliert werden können. Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der mit dieser netzfreien Methode erzielten Modellierung des Vogelschlags. Hierbei treten durch Rissausbreitung Versagensmuster auf, welche sehr gut mit experimentellen Beobachtungen korrelieren.

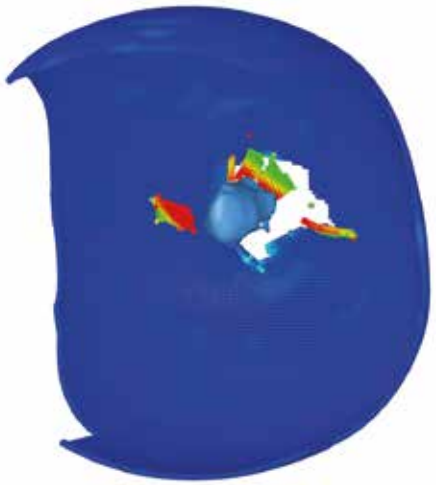
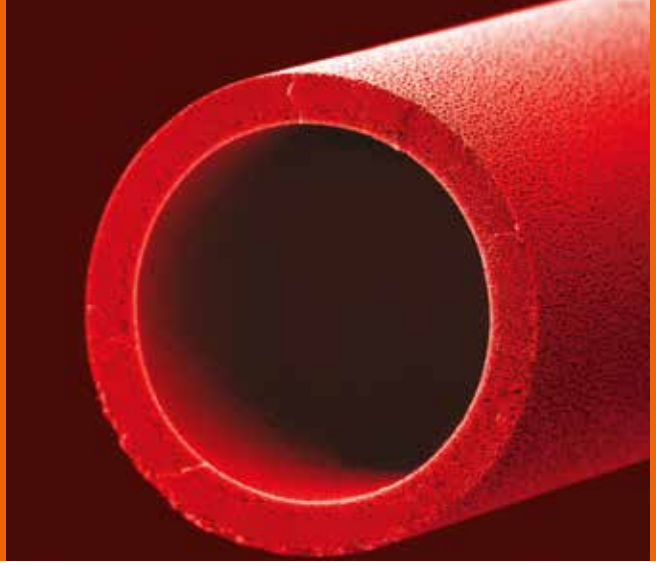


Abb.3 Neuartige Modellierung von Vogelschlag. Die Schutzscheibe eines Helikopters wird mit der netzfreien SPH-Methode modelliert. Im Gegensatz zur Finite-Elemente-Methode können realistische Trümmerteile der Schutzscheibe verfolgt werden, da keine Notwendigkeit zur Löschung dieser teilweise versagten Materialpunkte besteht. Die Farbskala zeigt die Geschwindigkeit der Materialpunkte, wobei rot einer Geschwindigkeit von 150 Kilometern pro Stunde entspricht.

Eine zweite in Abbildung 3 dargestellte Ansicht dieses Szenarios von der Innenseite des Cockpits aus zeigt zudem die Trümmerteile der durchschlagenen Schutzscheibe, welche mit hoher Geschwindigkeit verschiedene Orte im Innenraum erreichen können. Dieser neuartige Simulationsansatz besitzt somit eine verbesserte Vorhersagegüte zur Gefährdungsanalyse der Insassen, sodass eine konstruktive Auslegung zur Verminderung des Gefährdungspotenzials leichter erreicht werden kann. Die dargestellten Simulationsergebnisse mit der netzfreien Methode wurden mit dem am EMI entwickelten Simulationsprogramm Smooth Mach Hydrodynamics berechnet. Dieses Programm beinhaltet neben den in [1] publizierten Stabilisierungsalgorithmen den neuesten Stand der Technik für die Simulation sehr starker Deformationen mit netzfreien Methoden. Zudem erlaubt es die Simulation sehr großer Systeme mit Millionen von einzelnen Materialpunkten aufgrund einer auf massiv parallele Berechnungen ausgelegter Programmarchitektur.

*[1] Ganzenmüller G. C. (2014), An Hourglass Control Algorithm for Lagrangian Smooth Particle Hydrodynamics.
Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, in press, DOI 10.1016 / j.cma.2014.12.005*

Die künstliche Augenhornhaut ArtCornea® hat bereits mehreren Menschen das Augenlicht zurück gegeben.
© Fraunhofer IAP



Regioselektiv ausgerüstete Hohlfasermembran für die Blutreinigung.
© Fraunhofer IGB (Gastinstitut)

GESUNDHEIT

Biomaterialien retten das Augenlicht

Häufig sind es Erkrankungen und Verletzungen der Augenhornhaut, auch Cornea genannt, die Blindheit verursachen. Die etablierte Therapie ist die Transplantation der Cornea, doch diese ist in einigen Fällen nicht möglich. Oft sind auch Spenderhornhäute rar. Künstliche Hornhäute sollen diesen Mangel künftig ausgleichen und das Augenlicht der betroffenen Patienten retten. In enger Zusammenarbeit mit Augenärzten und Firmen der Medizintechnikbranche werden am Fraunhofer IAP Biomaterialien für künstliche Hornhäute und deren Herstellungsprozesse entwickelt.

Die Anforderungen an eine solche Prothese sind hoch, denn sie muss gegensätzliche Aufgaben erfüllen. Die Wissenschaftler entwickelten dafür auf Basis eines wasserabweisenden Polymers eine Prothese, die mit der natürlichen Hornhaut des Auges verwächst. Der Rand, der einwachsen muss, wurde mit aktiven Polymeren versehen, die für das Zusammenwachsen sorgen. Eine spezielle, ultra dünne Hydrogelschicht, die im vorderen optischen Bereich einpolymerisiert wird, sorgt dagegen dafür, dass sich im Zentrum der Prothese keine Zellen ansiedeln, um freie Sicht zu gewähren. Dadurch können der Tränenfilm oder auch Medikamente sehr gut benetzen und das Augenlid empfindet das Implantat nicht als Fremdkörper. Darüber hinaus muss die Prothese für die Sterilisation hitzestabil sein.

Die künstliche Hornhaut MIRO® CORNEA UR hat bereits mehreren Menschen das Augenlicht zurückgegeben. Nicht nur ultima-ratio-Patienten können von der Forschung am Fraunhofer IAP profitieren. Eine weitere Entwicklung, die künstliche Hornhaut ArtCornea® wird zur Zeit weiterentwickelt, und die ACTO TexKPro , die sich vor sich vor allem für die Erstversorgung – etwa wenn die Hornhaut durch chronische Entzündungen, schwere Unfälle sowie Verätzungen oder Verbrennungen zerstört wurde, eignet wurde mit der ACTO e.V. in einem Gemeinschaftsprojekt weiterentwickelt.

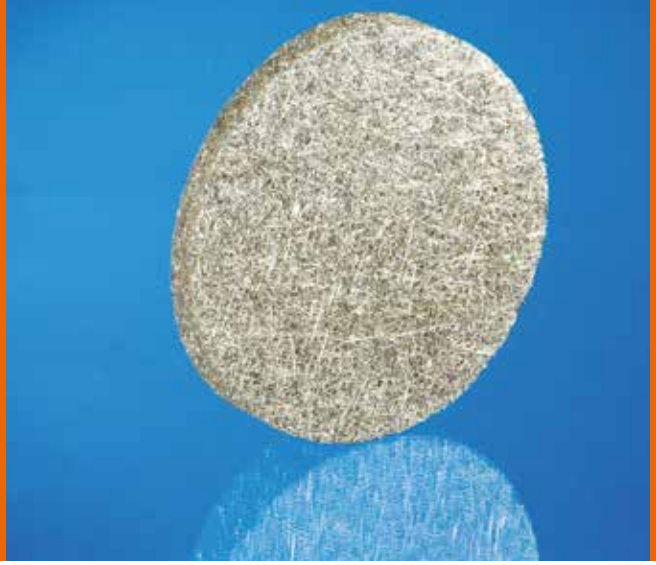
Regioselektiv ausgerüstete Hohlfasermembran für die Blutreinigung

Ein speziell entwickelter Plasmaprozess ermöglicht die Herstellung von Hohlfasermembranen, die eine einstufige Blutwäsche, beispielsweise bei Sepsis, ermöglichen: Die Abtrennung der Blutzellen und die Reinigung des Blutplasmas erfolgen parallel in nur einem Verfahrensschritt.

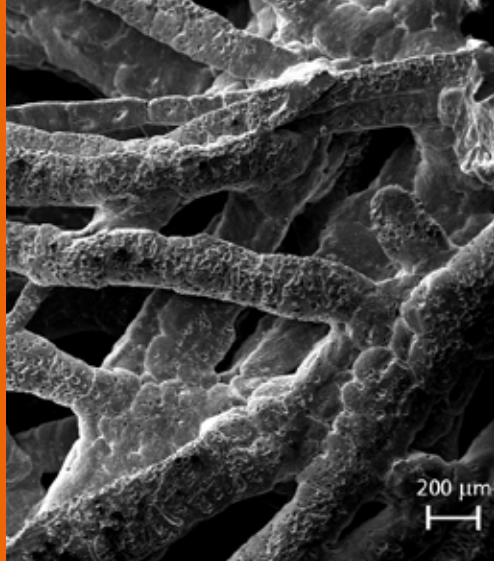
Die Hohlfasern werden dazu regioselektiv – nur in den Poren – so funktionalisiert, dass die empfindlichen Blutzellen ungestört durch das unmodifizierte Lumen der Hohlfasermembran geschwemmt werden und aufgrund ihrer Größe die Membranporen nicht passieren können. Das Blutplasma dagegen wird durch die nanoskaligen Membranporen filtriert. Deren Oberfläche sowie die Außenseite der Membran ist dergestalt funktionalisiert, dass entzündungsfördernde Endotoxine wie Lipopolysaccharide (LPS) daran haften bleiben. Nach der Membranpassage wird das entgiftete Blutplasma wieder mit den Blutzellen zusammengeführt.

Für die selektive Membranstruktur wurden die Nanoporen über ein trockenes plasmachemisches Verfahren mit funktionellen Gruppen ausgestattet und anschließend in einer nasschemischen Behandlung mit bioaktiven Molekülen ausgerüstet.

Die Plasmafunktionalisierung erfolgte in diesem Fall mit Aminogruppen, wobei eine Funktionalisierungsdichte von rund 50 µmol/g Faser erreicht wurde. Die Funktionsgruppen befinden sich dabei wahlweise ausschließlich auf der Innen- oder auf der Außenseite – diese Selektivität kann mit nasschemischen Verfahren nicht erreicht werden! Die Prozesse sind jedoch nicht nur auf Aminogruppen beschränkt, es lassen sich für die unterschiedlichsten Anwendungen auch über den medizinischen Bereich hinaus maßgeschneiderte Membranausrüstungen vornehmen.



Fasern (Demonstrator).
© Fraunhofer IFAM



REM-Aufnahme von Magnesium-Fasern.
© Fraunhofer IFAM

Metallische Implantatwerkstoffe – Hochporös und degradierbar

Ein nach wie vor nicht vollständig gelöstes Problem in der Medizin ist die Behandlung größerer Knochendefekte. Solche Läsionen heilen nicht spontan und müssen implantologisch versorgt werden. Als Goldstandard ausgedehnter Knochenaugmentationen gilt nach wie vor der patienteneigene Knochen, der allerdings nur begrenzt zur Verfügung steht und dessen Entnahme meistens aus dem Beckenkamm zusätzliche Risiken birgt. Bei der Versorgung mit synthetischem Knochenersatz entstehen dagegen Risiken durch häufig notwendig werdende Entfernungs-OPs sowie durch dauerhafte Störungen der Bildgebung. Als ideale Lösung gelten degradierbare Werkstoffe, also solche Implantate, die nach erfolgter Heilung verschwinden.

Magnesium-Faserstrukturen als knochenadaptive Werkstoffe

Dem idealen Werkstoff besonders nahe kommt Magnesium, das in biologischer Umgebung degradiert, über eine ausgezeichnete Biokompatibilität verfügt und besonders knochenadhäsive Eigenschaften besitzt.

Am Fraunhofer IFAM in Dresden wurde nun ein Magne siumimplantat entwickelt, das aufgrund seiner Struktur weitere günstige Eigenschaften besitzt. Dabei formen metallische Faserstrukturen ein hochporöses Gerüst, das dem Knochen als Wachstumsleitstruktur dient und dabei auch das Einwachsen der Blutgefäße ermöglicht. Besonders interessant sind solche Strukturen aber vor allem aufgrund ihrer reduzierten Steifigkeit, sie kommen damit den biomechanischen Eigenschaften des Knochens sehr nahe. Das wirkt sich besonders stimulierend auf das Knochenwachstum aus.

Ausgangspunkt der technologischen Entwicklung ist die Fertigung von Magnesium-Kurzfasern durch Extraktion aus der Schmelze. Diese Fasern werden dann homogen abgelegt und gesintert. Die besondere Herausforderung der Fertigung von Magnesium-Faserstrukturen besteht in der Sinterung, der sich der hochgradig sauerstoffaffine Werkstoff aufgrund stabiler Oberflächenoxide widersetzt. Die Wärmebehandlung wird daher mit einer partiellen Schmelzphase durchgeführt, bei der die genaue Kenntnis der richtigen Schmelzphasenanteile für das Sinterergebnis entscheidend ist. Das dafür geeignete Sinterregime wurde rechnerisch durch simulatorische Methoden ermittelt.

Die so hergestellten Implantate besitzen günstige mechanische Eigenschaften und vor allem sehr gute Korrosionseigenschaften. So konnte aufgrund vermehrter Abscheidungen von Y2O3 an den Korngrenzen ein Degradationsverhalten mit reduzierten Korrosionsraten eingestellt werden, das den physiologischen Anforderungen besonders gerecht wird. Im Tiermodell wurde damit nach 12 Wochen eine zunächst langsame Korrosion festgestellt, nach 24 Wochen war der Großteil der metallischen Implantate dann verschwunden.

Als Sieger des Innovationswettbewerbs Medizintechnik wurde der Ansatz vom BMBF gefördert. Die günstigen Eigenschaften haben in der Zwischenzeit auch Unternehmen überzeugt. So konnte die Botiss Dental GmbH als Lizenznehmer des mittlerweile erstellten Patents gewonnen werden. Das Unternehmen plant die Umsetzung des Werkstoffs in der Oral-Chirurgie und evaluiert derzeit den Aufbau einer geeigneten Fertigungskette.

Poröse Scheibe und dichtes Traumaimplantat aus biodegradierbarem Eisen-TCP-Komposit. © Fraunhofer IFAM

Infektionsschutz durch antibakterielle Knochenimplantate. © Fraunhofer IGB (Gastinstitut)

Abbaubare, lasttragende Implantate – neue Werkstoffentwicklung für den Menschen

Die Verbesserung der Implantatversorgung ist ein stetiger Prozess, um die Lebensqualität des Menschen zu steigern. Um Operationen zur Implantatentfernung nach der Heilung zu vermeiden, Betroffenen weitere Belastungen zu ersparen und die Kosten für das Gesundheitssystem zu senken, rücken degradierbare Implantatmaterialien zunehmend in den Blick medizintechnischer Forschung und Entwicklung.

Für diesen Fortschritt wird im Rahmen des Fraunhofer-internen Projekts »DegraLast« eine Werkstoff- und Technologieplattform zur Herstellung neuartiger lasttragender Knochenimplantate aufgebaut. Dazu werden Materialien mit gezielt einstellbaren mechanischen Eigenschaften und Degradationsverhalten für den Einsatz in der Orthopädie und Traumatologie entwickelt. Zentrale Herausforderung ist dabei die Sicherstellung der mechanischen Stabilität des Gesamtsystems aus Implantat und Knochen während der gesamten Dauer der Implantatdegradation und Knochenheilung. Um diesen Anspruch zu erfüllen, forscht die Projektgruppe an innovativen Kompositwerkstoffen auf Basis biodegradierbarer Metalle und Biokeramiken.

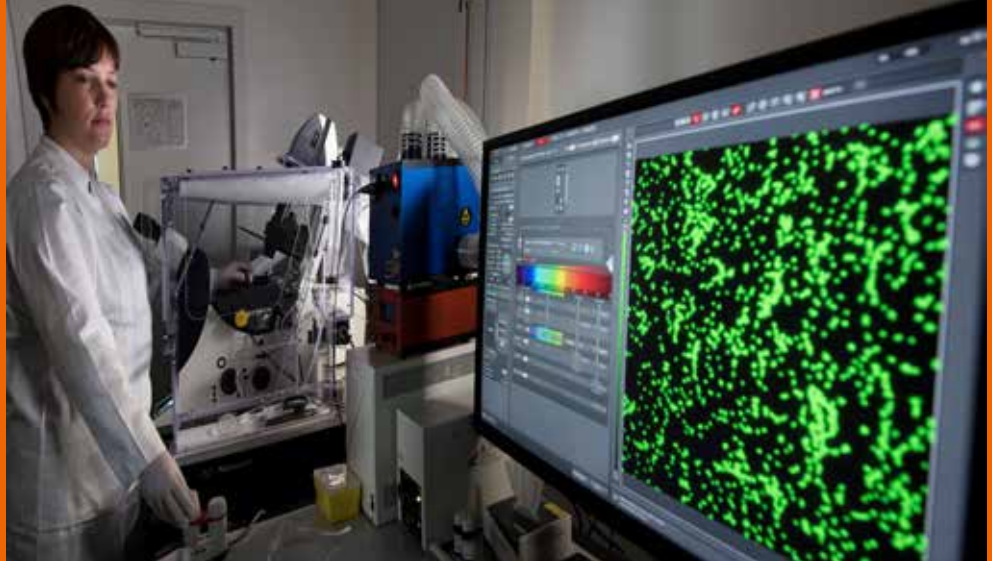
Zur Fertigung der Implantate kommen moderne generative und formgebundene Verfahren zum Einsatz. Fraunhofer Instituten IFAM, IGB, ILT und IBMT betraten aber noch weitere Aspekte: Um die Nutzbarkeit der neuen Werkstoffe für Implantate sicherzustellen, wird gleichzeitig an biologischen Testsystemen gearbeitet, die die Analyse des Einwachsverhaltens des Knochens und das Abbauverhalten der Implantatwerkstoffe auf Zellebene in physiologischen Medien ermöglichen. Zudem werden für den späteren klinischen Einsatz auf optoakustischer Bildgebung basierende Monitoringsysteme für die Verfolgung der Degradation des Implantats und der Heilung des Knochens entwickelt.

Infektionsschutz durch antibakterielle Knochenimplantate

Bei der Implantation von Knochenersatzmaterialien kann es passieren, dass Keime in den Körper eindringen. Infektionen am Knochen sind besonders problematisch, weil die über das Blut transportierten Antibiotika die Implantate nur in sehr geringen Konzentrationen erreichen. Der beste Schutz wäre, Infektionen von vorneherein zu vermeiden. In Zusammenarbeit mit dem französischen Institut Carnot CIRIMAT in Toulouse hat das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB daher untersucht, wie sich Knochenimplantate antibakteriell ausrüsten lassen.

Das verwendete Knochenimplantatmaterial besteht aus Calciumphosphat-Apatit-Kristallen, welche in Aufbau und Struktur dem natürlichen Knochenmaterial gleichen. Um das Wachstum von Bakterien auf den Calciumphosphat-Kristallen zu vermindern oder zu unterdrücken, wurden verschiedene Stoffe und Verbindungen untersucht, beispielsweise Silber-, Kupfer- und Zinkionen, aber auch antimikrobielle Enzyme und Peptide. Da der Einsatz von Antibiotika aufgrund der Ausbildung bakterieller Resistenzen problematisch ist, wurden Antibiotika nicht verwendet.

Proben von speziell modifizierten und antibakteriell funktionalisierten Apatit-Kristallen wurden im Labor mit Bakterien, darunter typische Klinikkeime wie Staphylococcus-Arten, infiziert, mehrere Tage kultiviert und auf antibakterielle Eigenschaften und Zytotoxizität untersucht. Bei verschiedenen Metallionen war die Bakterienzahl in unmittelbarer Umgebung des Apatits um mehr als 90 Prozent reduziert. Als ebenso wirkungsvoll erwies sich eine Peptid-Beschichtung, die das Wachstum von Bakterien an der Oberfläche von Apatit-Pellets und -Granulaten hemmte.



Fluoreszierende Nanopartikel im STED-Mikroskop.
© Fraunhofer ISC

Entwicklung und Evaluierung neuer Therapieformen für chronische Hauterkrankungen

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. Eine richtige, zuverlässige und vor allem frühzeitige Therapie ermöglicht z. B. im Falle des diabetischen Fußsyndroms, jede zweite Amputation zu vermeiden. Forscher aus fünf Fraunhofer-Instituten, koordiniert vom Fraunhofer ISC haben im Projekt »SkinHeal« ihre Kompetenzen gebündelt, um effektive und bezahlbare Therapieformen für chronische Wunden zu entwickeln und zu evaluieren.

Ein wesentliches Element ist ein In-vitro-Wundmodell für chronische Wunden auf Basis eines bereits existierenden Modells gesunder Haut. Durch die Injektion von Zytokinen – Proteine, die das Wachstum und die Differenzierung von Zellen regeln – wird im Modell ein spezielles Wundmilieu erzeugt, wie es für chronische Wunden charakteristisch ist. Das so vorbereitete Hautmodell wird standardisiert und reproduzierbar verletzt. Resultat sind die gewünschten chronischen Modellwunden. Dazu wurde vom Fraunhofer ISC das Gerät »ARTcut® – Artificial Tissue Cutter« konzipiert und gebaut.

Das neue In-vitro-Wundmodell erlaubt es, verschiedene Therapiemöglichkeiten in einem sehr frühen Stadium zu testen. So können Wundeinlagen, wie ebenfalls vom Fraunhofer ISC entwickelte Kieselgelfaservliese, pharmazeutische Wirkstoffe oder eine Kombination beider eingesetzt und auf ihre Wirksamkeit hin geprüft werden. Außerdem sind solche Modelle eine langgesuchte Alternative zu Tierversuchen.

Monitoring der Wundsituation mit biofunktionalisierten Nanopartikeln via Smartphone

Eine weitere Entwicklung im Projekt »SkinHeal« dient der Verbesserung fluoreszenzbasierter Bildgebung, die den Forschern, den behandelten 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 binden. Ein bestimmtes Verhältnis dieser Biomarker identifiziert den Status der Wundheilung und gibt Indikationen für einen normalen, das heißt gesunden, oder aber chronischen Verlauf. Können die fluoreszierenden Partikel aufgrund fehlender Biomarker keine Bindung eingehen, scheidet der Körper sie wieder aus. Koppeln sie 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 ein erster Prototyp entwickelt, der eine Analyse durch Aufnahme der Makrophagen-Verteilung möglich macht.

Kostenreduzierung bei der Wirkstoffentwicklung

Das neue In-vitro-Wundmodell kann natürlich auch in anderen Forschungsbereichen eingesetzt werden, wie z. B. bei der Entwicklung neuer Wirkstoffe und Medikamente. Dort bietet sich immenses Einsparpotenzial pro Wirkstoff durch eine schnellere und effizientere Auswahl geeigneter Wirkstoffkandidaten. Zudem lassen sich klinische Studien mit den Ergebnissen entsprechender In-vitro-Vorversuche deutlich effizienter planen und notwendige Tierversuche auf ein Minimum reduzieren.

Druckmessstrumpf mit integrierten Elastomersensoren – Messedemonstrator ohne zweite, äußere Textillage.
© Fraunhofer ISC

Vorbeugender Wundschutz – Druckmessstrumpf für Diabetiker

Diabetes ist eine der großen Volkskrankheiten und kann zu schwerwiegenden Folgeerscheinungen führen. Rund 20 Prozent der Aufwendungen der Gesetzlichen Krankenversicherungen schlagen für die Behandlung zu Buche – so der Deutsche Gesundheitsbericht Diabetes 2014 der Deutschen Diabetes-Hilfe. Diabetiker in einem fortgeschrittenen Stadium der Erkrankung haben beispielsweise häufig kein Empfinden mehr in den Füßen und können daher weder Druck- noch Temperatursignale registrieren. Sie merken nicht, wenn der Fuß zu sehr belastet wird. Schon kleine unebene Stellen oder der Druck des Schuhs auf den Fuß können so zu offenen Verletzungen oder Schädigungen am Gewebe führen, die dann oft zu spät bemerkt werden und zu chronischen Wunden führen. Vielen Diabetes-Patienten müssen deshalb Zehen und Füße amputiert werden. Ein neuartiger Druckmessstrumpf soll dies nun verhindern, indem das integrierte Sensorsystem den Träger vor Druckstellen warnt.

40 Sensoren messen den Druck

Der vom Fraunhofer ISC und seinen Projektpartnern entwickelte Spezialstrumpf hat insgesamt 40 sehr dünne, dielektrische Elastomersensoren. Sie messen die Druckbelastung auf den Fuß und übernehmen so die Funktion der Nerven. Im Gegensatz zu bisherigen Systemen, die nur den Druck auf der Unterseite des Fußes wahrnehmen, hat der neuartige Strumpf Sensoren an der Sohle, der Ferse, am Spann und am Knöchel. Die Signalerfassung erfolgt somit dreidimensional, was bisher kein bestehendes Messsystem auf dem Markt leisten konnte. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich die Sensoren, die zur Erhöhung des Tragekomforts in einer gestrickten Socke integriert sind, kostengünstig herstellen lassen.

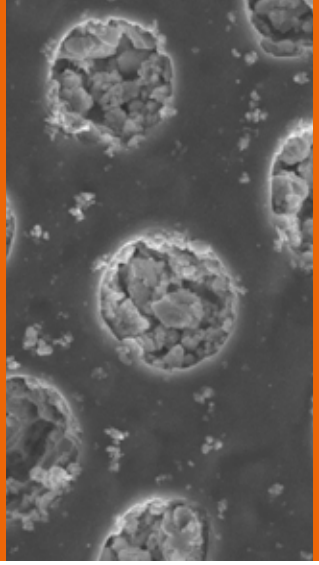
Smartphone wertet Signale aus

Die Sensoren bestehen aus einer stark dehnbaren, weichen Siliconfolie. Deshalb lassen sie sich gut in Textilien integrieren, ohne dabei störend für den Träger zu sein. Die Folie ist beidseitig mit hochflexiblen Elektroden beschichtet. Verformt sich die Folie durch Druck oder Dehnung, verringert sich ihre Dicke, gleichzeitig vergrößert sich dabei die Fläche. Das Resultat: Die elektrische Kapazität erhöht sich. Die Kapazitätsänderungen der 40 Sensoren werden über leitfähige und dehnbare Fäden an eine elektronische Auswertungseinheit geschickt. Die ausgewerteten Daten werden per Funk an ein Smartphone oder Tablet gesendet, das dem Diabetespatienten anzeigt, ob er seine Fußhaltung oder -belastung ändern soll. So kann er schnell reagieren und sich vor gefährlichen Druckstellen schützen.

Ausblick

Um die Waschbarkeit zu gewährleisten, entwickeln die Projektpartner nun einen Strumpf, bei dem sich die Elektronik ähnlich einem Klettverschluss einfach abnehmen lässt. Kommerzielle Desinfektionsmittel erlauben aber jetzt schon die hygienische Aufbereitung des Messstrumpfes.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten für die textilintegrierte Sensorik liegen beispielsweise im Fitnessbereich. Jogger etwa könnten mit dem Strumpf ihren Laufstil und ihre Fußhaltung kontrollieren. Auch Handschuhe mit Sensoren lassen sich herstellen, womit Robotergreifer oder Prothesen ausgestattet werden könnten. Zukünftige Weiterentwicklungen ermöglichen die Messung der Körperhaltung von Menschen, um zum Beispiel Fehlbelastungenbei langem Sitzen vorbeugen zu können.



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Dentin nach Behandlung mit einer desensibilisierenden Zahnpasta. © Fraunhofer IMWS

Additiv gefertigter Unterkieferknochen. © Fraunhofer IKTS

Mikrostrukturelle Bewertung des Einsatzverhaltens von Zahnpflegeprodukten

»Zwei Mal am Tag, mindestens zwei Minuten« – jedes Kind in Deutschland kennt diese Formel und weiß um die Bedeutung der Zahnhygiene für das eigene Wohl.

Das Fraunhofer IMWS nähert sich diesem Thema, das jahrzehntelang hauptsächlich biowissenschaftlich und zahnmedizinisch betrachtet wurde, intensiv auf der Materialebene, mit hoch spannenden Ergebnissen: Die Wissenschaftler in Halle konnten mit mikrostrukturellen Untersuchungen beispielsweise die Einflüsse der Borstengeometrien von Zahnbürsten auf das Putzergebnis bewerten oder Verfärbungsprozesse durch Mundwässer erklären.

Neueste Arbeiten in Halle befassen sich mit dem verbreiteten Phänomen von überempfindlichen Zähnen und deren Behandlungsmöglichkeiten. Die Industrie sucht hier nach Modellen, um Wirkstoffe und Rezepturen bereits während der Entwicklung und vor den aufwendigen klinischen Tests prüfen zu können. Die meisten existierenden Produkte gegen überempfindliche Zähne zielen auf einen Verschluss der an den freigelegten Zahnhälsen exponierten Kanäle im Dentin, um die Weiterleitung von Schmerzimpulsen an die Zahnnerven zu unterbrechen.

Die Forscher des Fraunhofer IMWS konnten ein Modell etablieren, in dem der Verschluss chemisch und abbildend charakterisiert wird und mit einer Durchflussmessung am Dentin kombiniert werden kann. Es erlaubt darüber hinaus die Integration von mechanischen und Säure-Angriffen in den Testablauf und bietet so hervorragende Möglichkeiten zur Bewertung von schmerzlindernden Produkten.

Keramische Werkstoffe für die additive Fertigung

Anspruchsvolle keramische Komponenten wurden bislang unter preisintensivem Werkzeugeinsatz spritzgegossen oder mit hohen Materialverlusten aus isostatisch gepressten Formkörpern gefertigt. Neue additive Fertigungstechnologien eröffnen nun einen völlig neuen Weg für die Keramik. Mit ihrer Hilfe können Bauteile ohne zusätzliche Werkzeuge und mit sehr komplexen Geometrien hergestellt werden, die bisher mit keinem anderen Formgebungsverfahren erreicht werden konnten. Was bislang ausschließlich in der Kunststoff- und Metallindustrie möglich war, beherrschen Fraunhofer-Forscher nun auch für die Herstellung von komplizierten Geometrien aus langzeitstabiler, temperatur-, verschleiß- und korrosionsbeständiger Keramik.

Allein aus CAD-Datensätzen werden Freiformflächen, Hinterschneidungen, innere Kanäle oder Hohlstrukturen schichtenweise zu einem angepassten Individualbauteil aufgebaut. Gleichzeitig können Kleinserien für die Schmuckindustrie, Mikroreaktions- oder Gerätetechnik oder Medizintechnik schnell und wirtschaftlich realisiert werden. So lassen sich beispielsweise patientenspezifische Implantate effizient fertigen, die in ihrer Form und Beschaffenheit an die individuellen Anforderungen angepasst werden. Darüber hinaus entwickeln die Wissenschaftler angepasste Instrumente für die minimalinvasive Chirurgie, die zukünftig durch integrierte fluidische, sensorische oder thermische Elemente mehrere Funktionen in einem Schritt erfüllen können.

Die Forschung konzentriert sich aktuell auch darauf, Werkstoffsysteme für multifunktionale Bauteile aus Material- und Formenkombinationen zu entwickeln. So könnten bald Bauteile aus porösen, durchlässigen Komponenten mit dichten Mantelstrukturen gefügt werden. Damit kann die individuelle Knochenstruktur nachempfunden werden, um gezielt Implantate für Knochenkrebspatienten zu fertigen.

Neues Kilolabor zur Herstellung innovativer Materialien und Bauteile im Fraunhofer LBF. © Hessen-schafft-Wissen, Fraunhofer LBF

MASCHINEN- UND ANLAGENBAU

Leistungsstärkere Kunststoffe im Kilo-Maßstab entwickeln

Neue Polymere und Additive für praxisnahe Tests
Die Auswahl unterschiedlicher, auf dem Markt verfügbarer Kunststoffe ist nahezu unerschöpflich, so dass für die überwiegende Mehrzahl der Einsatzbereiche geeignete Varianten zur Verfügung stehen. Zusätzlich lässt sich das Eigenschaftsprofil eines Kunststoffs durch die Zugabe von Additiven für die jeweilige Anwendung passgenau einstellen.

Trotz oder gerade wegen dieser vielfältigen Möglichkeiten treten immer wieder neue Fragestellungen auf, etwa wie Kunststoffe preiswerter, leistungsstärker oder widerstandsfähiger gestaltet werden können als es mit marktüblichen Kunststoffen und Additiven derzeit möglich ist.

Um Lösungen hierfür anbieten zu können, werden im Bereich Kunststoffe des Fraunhofer LBF neue Polymere und Additive durch chemische Synthese hergestellt und getestet. Üblicherweise werden erste chemische Experimente im Syntheselabor in kleinen Mengen durchgeführt, um Ressourcen zu schonen, Abfälle zu vermeiden und mögliche Gefahren frühzeitig zu erkennen. Die Mengen der daraus erhaltenen Substanzen liegen in der Größenordnung von einigen Gramm, was für erste anwendungsorientierte Tests ausreichend ist.

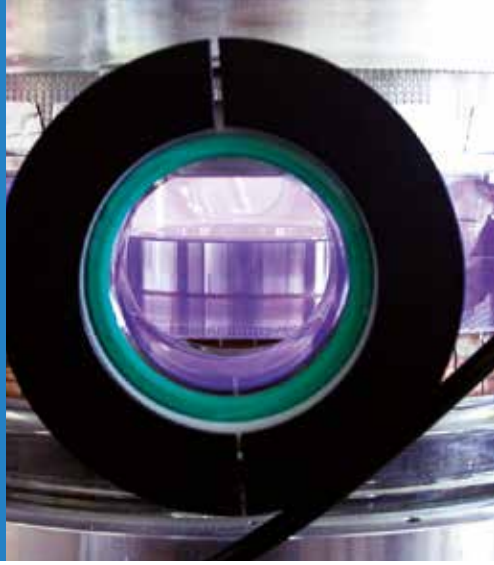
Für praxisnahe Tests beim Kunden oder im Institut sind diese Mengen jedoch zu gering. Um diese Lücke zu schließen, wurde im Bereich Kunststoffe ein Kilolabor eingerichtet, das die Synthese von einigen Kilogramm der zuvor im konventionellen Labor entwickelten Polymere und Additive ermöglicht.

Das Kilolabor ist mit unterschiedlichen Reaktoren ausgestattet, die Reaktionen unter verschiedensten Bedingungen wie beispielsweise unter Inertgasatmosphäre, unter Druck oder bei tiefen und hohen Temperaturen erlauben. Eine entsprechende Peripherie zur Aufarbeitung und Reinigung der Reaktionsprodukte ist ebenfalls vorhanden. Mit dieser Ausstattung sind sowohl klassische organische Synthesen als auch unterschiedliche Polymerisationsverfahren, insbesondere auch kontrollierte radikalische und lebende ionische Polymerisationen möglich.

Somit lassen sich unter anderem Polymere mit speziellen Architekturen herstellen, die zum Beispiel als Haft- und Phasenvermittler geeignet sind. Das Kilolabor wird genutzt, um kundenspezifische Lösungswege zur Herstellung innovativer Materialien und Bauteile zu erarbeiten.

Multiaxialer Labortisch.
© Fraunhofer LBF

Plasmareaktor mit Kugellager.
© Fraunhofer IGB (Gastinstitut)



Kompakter Dämpfungstisch für sensible Geräte

Am Fraunhofer LBF wurde eine Plattform zur aktiven Schwingungsisolation aufgebaut, welche die Übertragung von Umgebungsschwingungen auf sensible Geräte vermindern kann. Dabei wurden funktionsintegrierte Multiaxiallagereinheiten entwickelt, welche strukturelle, aktorische und sensorische Aufgaben übernehmen. Eine flexible Anpassung an unterschiedliche Isolationsaufgaben und eine Vernetzung der Lagereinheiten wird sowohl durch den modularen Aufbau der Plattform als auch durch die Verwendung der Methode des Rapid Control Prototyping (RCP) auf Basis einer digitalen Regelplattform ermöglicht.

Der Demonstrator ist ein in sich geschlossenes adaptronisches System, welches die Schwingungsübertragung in drei Dimensionen reduziert. Die Regelaktorik ist dabei in die Systemsteifigkeit integriert. Dadurch wird eine besonders niedrige passive Systemeigenfrequenz erzielt, welche eine Isolation im höheren Frequenzbereich ermöglicht. Aufgrund hoher Anforderungen wird eine speziell aufgebaute Sensorik und Sensorelektronik verwendet. Ein digital implementierter Regelalgorithmus bewirkt eine aktive Dämpfung der Systemresonanz. Durch das aufeinander abgestimmte Gesamtsystem wird eine aktive Schwingungsisolation von rund -18 dB im Resonanzbereich erreicht.

Reibungsmindernde Schichten

Schätzungen zufolge entstehen in den Industrieländern durch Reibung und Verschleiß von Maschinenbauteilen (wobei Wärme erzeugt und freigesetzt wird) jedes Jahr Verluste in Höhe von fünf Prozent des Bruttosozialprodukts. Durch eine gezielte Veränderung der physikalisch-chemischen Eigenschaften der Materialoberflächen könnten Reibung und Verschleiß vermindert und die Verluste beträchtlich reduziert werden. Ein vielversprechender Weg dabei ist, das Benetzungsverhalten von Oberflächen gegenüber Medien wie Schmierstoffen, Luftfeuchte, Wasser oder Reinigungsmitteln mittels einer Plasmamodifikation zu verändern.

Das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB hat daher im Verbund mit Partnern aus Forschung und Industrie mikro- und nanoskalig strukturierte Schichten entwickelt, mit denen sich die Benetzungseigenschaften von Oberflächen steuern lassen. Mikro- und nanostrukturierte Oberflächen weisen geordnete Strukturen bis zu einer Größenordnung von nur wenigen Nanometern auf. Die Strukturierung der Oberflächen beeinflusst neben den chemischen Eigenschaften auch die Benetzungseigenschaften.

Beides, sowohl die Chemie der Oberfläche als auch die Topographie, konnten wir durch eine Plasmabeschichtung gezielt auf die Anwendung abstimmen. So konnten wir die Reibung in beschichteten Wälzlagern um bis zu 30 Prozent reduzieren.

Modularer Hochtemperatur Reaktor für die kontinuierliche Synthese von Nanopartikeln. © Fraunhofer ICT-IMM

Veredelung von CFK-Bauteilen mittels Plasmaspritzen. © Fraunhofer IKTS

Modularer Hochtemperatur Reaktor für die kontinuierliche Synthese von Nanopartikeln

Das Fraunhofer ICT-IMM hat einen neuartigen, modularen Reaktor für die kontinuierliche Durchflusssynthese entwickelt, der für die Synthese von Nanopartikeln unter erhöhter Temperatur ausgelegt ist. Der Reaktor hält bei Flüssigphasenreaktionen Temperaturen von bis zu 400 °C stand, gängige hot injection Synthese Protokolle für die Synthese von Nanomaterialien können vom Batch in einen kontinuierlichen Prozess überführt werden. Das Kernstück des Reaktors ist ein vom ICT-IMM entwickelter mikrofluidischer Mischer sowie eine temperierbare Verweilerschleife. Integrierte optische Durchflusszellen erlauben die optische Detektion an verschiedenen Positionen und bei hoher Temperatur vor Ort und legen somit die Basis für die Online-Prozessüberwachung.

Das modulare Design des Reaktors erlaubt es, ihn an spezifische Bedürfnisse anzupassen, da sowohl das Design und die Konstruktion im Fraunhofer ICT-IMM erfolgen. Dank seiner kompakten Größe nimmt das Reaktormodul wenig Platz im Labor oder im Abzug ein und kann in vorhandene Setups integriert werden. Sein Design ermöglicht den Transfer von Batch zu kontinuierlichen Prozessen, vor allem Synthesewege für Nanopartikel, welche erhöhte Temperaturen und rasche Vermischung erfordern (»hot injection«), Bedingungen die üblicherweise bei der Synthese monodisperser Nanopartikel in hoher Qualität vorliegen. Beispiele sind organo-metallische Synthesen wie sie für CdSe Quantum Dots, Pt und andere metallische Nanopartikel oder Oxid Materialien genutzt wird.

Mit unserem Know-how in der kontinuierlichen Durchfluss Chemie, der Mikroreaktionstechnik und der Anlagentechnik, stellt dieser Reaktor das Herzstück eines kompletten, maßgeschneiderten Systems im Labormaßstab für die Synthese von Nanomaterialien dar. Unter Berücksichtigung der Kundenbedürfnisse und -spezifikationen bieten wir maßgeschneiderte Dienstleistungen bezüglich Design und Konstruktion von Prototypen oder Machbarkeitsstudien.

Veredelung und Prüfung von CFK-Bauteilen

Energieeffizienter Leichtbau mit kohlefaser- oder glasfaserverstärkten Kunststoffen (CFK, GFK) ist von zunehmender Bedeutung für den Maschinenbau. Bauteile aus CFK oder GFK sind hochfest und sehr leicht, jedoch gegenüber chemischer und tribologischer Belastung weniger beständig. Keramische Beschichtungen können hier die Oberflächenbeständigkeit und -güte von CFK / GFK-Teilen entscheidend verbessern, beispielsweise hinsichtlich Verschleißschutz, Antihaftwirkung oder Isolationsverhalten. Das Fraunhofer IKTS beschichtet dabei die Oberflächen mittels atmosphärischen Plasmaspritzens. Die so erhaltenen Werkstoffverbunde lösen den Zielkonflikt zwischen leichten, hochfesten Bauteilen und hoher Oberflächenbeständigkeit sowie Oberflächengüte.

Nicht nur die Veredelung, sondern auch die Weiterentwicklung von zerstörungsfreien Prüftechniken für CFK-Bauteile ist von besonderer wirtschaftlicher und technischer Relevanz. Mit der Entwicklung von wirbelstrombasierten Diagnosesystemen konnte ein wichtiger Schritt hin zur produktionsintegrierten Diagnose von CFK-Baugruppen erreicht werden. So lassen sich nun CFK-Bauteile entlang der gesamten Bearbeitungskette – vom Rohgelege bis zur Produktion ganzer Baugruppen – prüfen. Das zu prüfende Bauteil wird mit einer Streifenlichtkamera digitalisiert und entsprechend einer automatisch bestimmten Bahnplanung führt der Roboter den Wirbelstromsensor orthogonal über die Bauteiloberfläche. Die Messergebnisse werden zu einem Rasterbild zusammengesetzt. Neben der hohen Scangeschwindigkeit bei gleichzeitig hoher Auflösung ist die Nachführung des Sensors auf schrägen, planaren Flächen sowie die flexible Parametrierung der leicht auswechselbaren Sensoren ein Vorteil. Darüber hinaus ermöglicht eine Software gemeinsam mit den richtungsabhängigen Prüfsonden eine genaue Unterscheidung von Fehlerarten.

Abziehen der Flex$^{PLAS®}$-Trennfolie von einem Faserverbundbauteil, das mit einem Gelcoat in der Form lackiert wurde.
© Fraunhofer IFAM

Trennmittelfreie FVK-Bauteilfertigung durch Flex$^{PLAS®}$ Trennfolie

Um Großstrukturen aus Faserverbundkunststoffen (FVK) – wie sie beispielsweise beim Bau von Flugzeugen oder Windenergieanlagen verwendet werden – trennmittelfrei fertigen zu können, entwickelten die Experten aus den Bereichen Plasmatechnik und Oberflächen sowie Automatisierung und Produktionstechnik am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM die mit Plasmatechnologie funktionalisierte tiefziehfähige Trennfolie Flex$^{PLAS®}$.

Das Besondere an der Trennfolie ist, dass sie mit einer fest haftenden, weniger als 0,3 Mikrometer dünnen, im Fraunhofer IFAM entwickelten plasmapolymeren Trennschicht ausgestattet ist und sich auf komplexe Werkzeuge aufbringen lässt. So ermöglicht sie ein einfaches Entformen und hinterlässt dabei keinerlei Rückstände auf der Bauteiloberfläche. Zudem ist sie besonders strapazierfähig und elastisch. Die Flex$^{PLAS®}$-Trennfolie kann mit wenig Kraftaufwand gedehnt werden und hält sogar extremen Dehnungen von bis zu 300 Prozent ohne Funktionsbeeinträchtigung stand – die ideale Voraussetzung dafür, dass sie auch auf gekrümmte oder strukturierte Formen aufgebracht werden kann, ohne dass sich Falten bilden. Dadurch lassen sich insbesondere auch XXL-Bauteile aus FVK problemlos trennmittelfrei fertigen.

Die entwickelte Folie kann mithilfe einer speziellen Tiefziehtechnik ohne eine bauliche Änderung sowohl in Female-, als auch in Male-Werkzeuge eingebracht werden. Mit der Flex$^{PLAS®}$-Trennfolie wurden bereits große carbonfaserverstärkte (CFK-) Strukturen im 1:1-Maßstab ohne den Einsatz von Trennmitteln mit einem Prepreg-Verfahren bei 180 °C im Autoklaven hergestellt. Damit lassen sich die Großbauteile im Anschluss ohne weitere Vorbehandlung lackieren, da durch die Trennfolie eine übertragsfreie Entformung möglich ist.

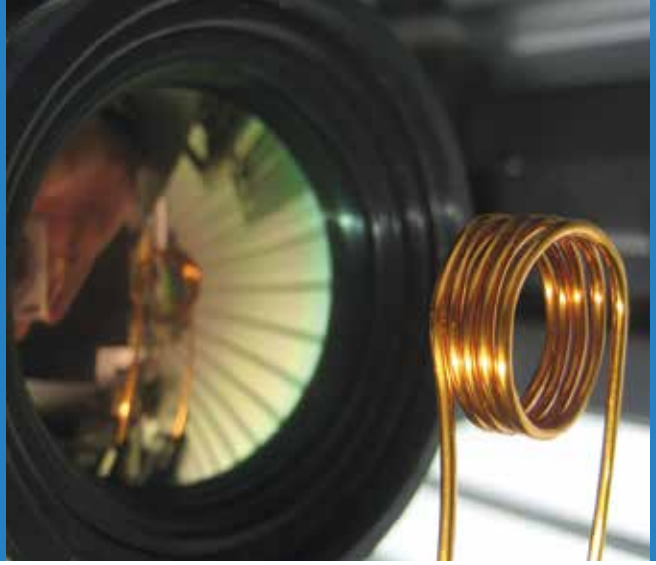
Die innovative Fertigung mit der Flex$^{PLAS®}$-Trennfolie lässt sich neben der Prepreg-Technologie auch für weitere Herstellungsverfahren wie das (Vakuum-) Infusionsverfahren oder das Handlege-Verfahren einsetzen. Dabei sind die Trenneigenschaften der flexiblen Trennfolie nicht nur auf Carbonfaser- oder Glasfaser-Matrixharze beschränkt. Zudem ermöglicht die neue Technik ein Inmould-Coating von Faserverbundbauteilen, wobei das Bauteil durch das Einbringen eines Gelcoats auf die Folie integriert lackiert wird. Hierbei ist die Mattigkeit der lackierten Oberfläche über die Rauigkeit der verwendeten Flex$^{PLAS®}$-Trennfolie einstellbar. Das Risiko für Lackierfehler wird dadurch signifikant reduziert.

Darüber hinaus kann die Faserverbundstruktur lackiert werden, ohne dass Trennmittelreste zuvor aufwendig entfernt werden müssen. Verbleibt die Folie bis zum Prozessende oder bis zur Auslieferung an den Endkunden auf dem Bauteil, dient sie zusätzlich als Schutzfolie.

Neben dem Ersetzen des Eintrennens der Werkzeugoberflächen lässt sich die Produktivität durch die Verwendung der Flex$^{PLAS®}$-Trennfolie an verschiedenen weiteren Teilschritten in der Prozesskette erhöhen. Insbesondere entfallen die Ausfallzeiten für die Grundreinigung der Formen zur Entfernung von Trennmittelresten, wodurch die Werkzeugstandzeit erheblich verlängert und deren Verfügbarkeit deutlich erhöht wird.

Die Weiterentwicklung der mit dem AVK-Innovationspreis 2012 und dem Composite Innovations Award 2013 ausgezeichneten Flex$^{PLAS®}$-Trennfolie zielt nicht nur auf weitere FVK-Fertigungsverfahren wie Infusionsverfahren und die Verarbeitung vorimprägnierter Fasern ab, sondern auch auf die Bereitstellung glänzender CFK-Oberflächen, die aufwendige Schleif- und Polierprozesse erübrigt.

Demonstrator für aktive Thermographie an Bahnrädern.
© Fraunhofer IZFP



Kupferspule.
© Fraunhofer IZFP

Winzigen Rissen auf der Spur – Aktive Thermographie mit induktiver Anregung

In vielen Industriebereichen müssen sicherheitsrelevante Bauteile zum Ausschluss von Oberflächenrissen bei der Fertigung einer Hundertprozent-Prüfung unterzogen werden. Dabei sind zukünftig vor allem Verfahren von Vorteil, die ohne eine spezielle Oberflächenbehandlung auskommen, die zuverlässig und objektiv arbeiten und eine vollautomatische Prüfung von Komponenten ermöglichen.

Induktiv angeregte Thermographie ermöglicht die Oberflächenrissprüfung ohne Oberflächenbehandlung, ist schnell und lässt sich relativ einfach automatisieren. Es handelt sich um ein objektives Verfahren, das zuverlässige Prüfaussagen liefert und darüber hinaus die Bestimmung der Fehlergröße (Risstiefe) ermöglicht. Damit eignet sie sich sehr gut für vollautomatische Prüfanlagen zur Hundertprozent-Prüfung von Bauteilen in der industriellen Fertigungslinie.

Das Fraunhofer IZFP verfügt über eine umfassende technische Ausstattung für unterschiedliche Varianten aktiver Thermographie:

- Optische Impuls- und »Lock-In«-Anregung (periodische Anregung)
- Ultraschallanregung
- Induktive Anregung mittels elektromagnetischer Wechselfelder
- Berührungslose Infrarotmesstechnik mit Infrarotkamerasysteme für den nahen, mittleren und langwelligen Infrarotstrahlungsbereich mit Temperaturauflösungen bis ca. 15 mK und Bildfrequenzen bis 20 kHz (Zeitauflösungen bis 50 µs) bei Bildauflösungen bis 1024 × 768 Pixeln
- Roboter und Linearverstelleinheiten für eine schnelle, automatisierte Prüfung mit integrierten thermographischen Systemen
- Software zur Steuerung der Prüfsysteme, Datenverarbeitung, Messdatenauswertung sowie zur automatischen Fehlererkennung und Fehlerrekonstruktion
- Grundlegende, theoretische und experimentelle Untersuchungen zu den physikalischen Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten verschiedener aktiver thermischer Prüftechniken

Leistungsangebot

- Testmessungen und Machbarkeitsstudien für industrielle Applikationen
- Prüfungen auf Grundlage der Akkreditierung des Prüf- und Applikationszentrum
- Konzeption, Planung und Bau von mobilen Prüfsystemen
- Konzeption, Planung und Bau vollautomatischer Prüfanlagen für die Online-Prüfung von Bauteilen in der Produktionslinie, einschließlich robotergestützter Prüfsysteme

Vorteile

- Zerstörungsfreies, berührungslos arbeitendes, schnelles Prüfverfahren zur Oberflächenrissprüfung
- Prüfung von Bauteilen mit komplexer Geometrie
- Möglichkeit zur Risstiefenbestimmung
- Nachweis verdeckter Fehlstellen möglich
- Objektive und zuverlässige Prüfung von Bauteilen in der industriellen Fertigung
- Relativ einfache Automatisierbarkeit ohne größeren Aufwand an Mechanik
- Eignung für vollautomatische Prüfanlagen zur Hundertprozent-Prüfung von Bauteilen in der industriellen Produktionslinie

Anwendungen

- Risserkennung an Schmiedeteilen
- Risserkennung an Langprodukten aus Stahl im Prozess
- Oberflächenrissprüfung von Eisenbahnschienen und -rädern
- Erkennung von Delaminationen in Verbunden metallischer Werkstoffe
- Ersatz der Magnetpulverprüfung
- Risserkennung in Solarzellen
- Rissprüfung von Turbinenbauteilen
- Erkennung von Faserbrüchen in CFK

Kugel-Scheibe-Reibversuch im Schwingreibverschleiß-Tribometer.
© Fraunhofer IWM

Flüssigkristalle als Schmierstoffe in kleinen Antrieben

Obwohl Schmierstoffe in nahezu allen Maschinen für einen ruhigen Lauf sorgen, gab es auf diesem Gebiet in den vergangenen beiden Jahrzehnten keine grundlegenden Innovationen. Das Fraunhofer IWM hat mit einem Konsortium jetzt eine völlig neue Substanzklasse entwickelt, die für einen Durchbruch sorgen könnte: Flüssigkristallbasierte Schmierstoffe. Sie sind zwar flüssig, zeigen aber auch richtungsabhängige physikalische Eigenschaften wie ein Kristall.

Flüssigkristalle sind eher durch ihren Einsatz in LCD-Bildschirmen von Fernsehern, Handys oder Touchscreens bekannt. Die ungewöhnliche Idee, sie als Schmierstoff zu verwenden, hatte die Nematel GmbH und wandte sich damit an das Fraunhofer IWM. Dort testeten die Tribologie-Expertinnen und -Experten diese meist organischen, stäbchenförmigen Moleküle mit überraschendem Erfolg: Bewegen sich zwei metallische Reibpartner mit einer flüssigkeitsbasierten Schmierschicht dazwischen gegeneinander, richten sich die Molekül-Stäbchen parallel zueinander in stabilen Schichten aus. Das reduziert die Reibung und den Verschleiß auf ein Minimum und ermöglicht ein nahezu reibungsloses Gleiten.

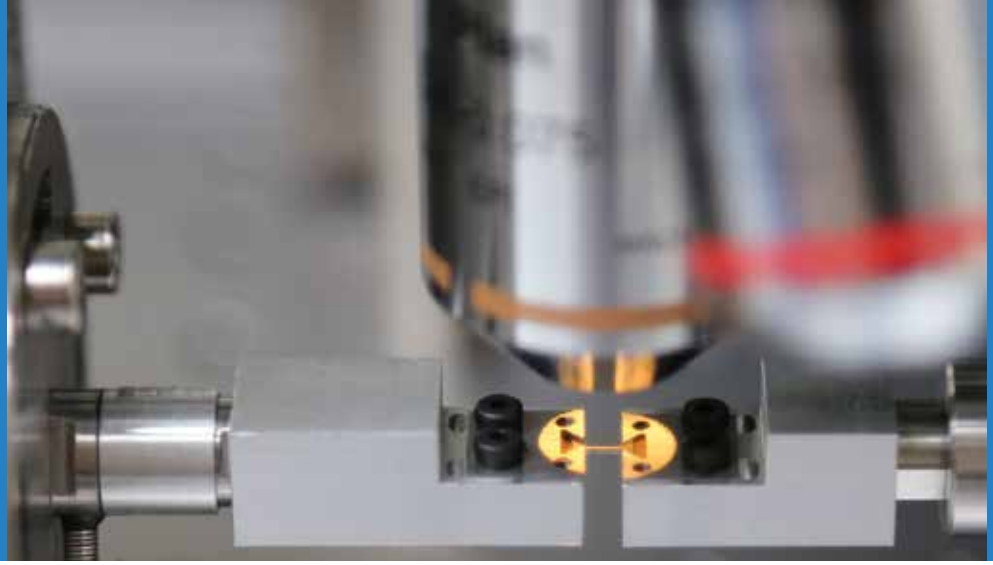
Der Hintergrund: Wird eine flüssigkristalline Substanz in einem Reibkontakt zwischen zwei Oberflächen geschert, richten sich die Moleküle spontan so aus, dass sie der Scherbewegung den geringsten Widerstand entgegensetzen – in Reibrichtung wird die Viskosität minimal. Senkrecht zur Reibrichtung sind die Viskositätskoeffizienten zwangsläufig um ein Vielfaches größer. Auch dieser Umstand ist nützlich, weil dadurch die gegeneinander gleitenden Oberflächen besser voneinander getrennt sind und weniger Verschleiß auftritt.

Als Schmierstoff eignen sich diejenigen Flüssigkristalle, die aus stäbchenförmigen Molekülen bestehen, fand das Fraunhofer IWM heraus. Um aus den Flüssigkristallen einen praxistauglichen Schmierstoff zu entwickeln, fehlte allerdings noch viel. Daher startete das Fraunhofer IWM gemeinsam mit der Nematel GmbH und den Schmierstoffexperten der Dr. Tillwich GmbH ein Projekt, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurde. Die Schmierstoffentwicklerinnen und -entwickler bei Tillwich verbesserten mithilfe von Additiven die Stabilität der Flüssigkristall-Schmierstoffe. Gleichzeitig bauten sie einen speziellen Prüfstand, auf dem sie die extrem geringen Reibungswerte mit Lasertechnik berührungslos messen konnten.

Das Fraunhofer IWM entschlüsselte mit Versuchen und Simulationen die werkstoffmechanischen Mechanismen, die zu den ultraniedrigen Reibwerten führen, und fand heraus, wie die neuen Schmierstoffe gezielt weiter optimiert werden konnten. Außerdem untersuchten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die chemischen Mechanismen im Reibkontakt und die Auswirkung von Mischungen unterschiedlicher Flüssigkristallmoleküle.

Am Ende des Projekts hatten die Partner den Prototyp eines flüssigkristallinen Schmierstoffs in der Hand, der seine beste Wirkung in Gleitlagern aus Eisen zeigt. Für diese Pionierleistung erhielt das Konsortium den Wissenschaftspreis des Stifterverbands 2014, der alle zwei Jahre für exzellente Verbundprojekte der angewandten Forschung vergeben wird.

Die nächsten Schritte sind, mit weiteren Industriepartnern innovative, mit Flüssigkristallen geschmierte Gleitlager für Elektrokleinmotoren in Autos zu entwickeln, die beispielsweise in Lichtmaschinen oder zum Antrieb von Scheibenwischern zum Einsatz kommen. Aufgrund der derzeit (noch) teuren Synthese im Vergleich zu Standard-Schmierstoffen liegen die Einsatzbereiche dort, wo keine großen Mengen Schmierstoff zur Verfügung stehen müssen.



Mikromechanische Beanspruchungsanalyse. © Fraunhofer IWM

Neue Tests auf der Mikroskala für mehr Zuverlässigkeit von großen und kleinen Bauteilen

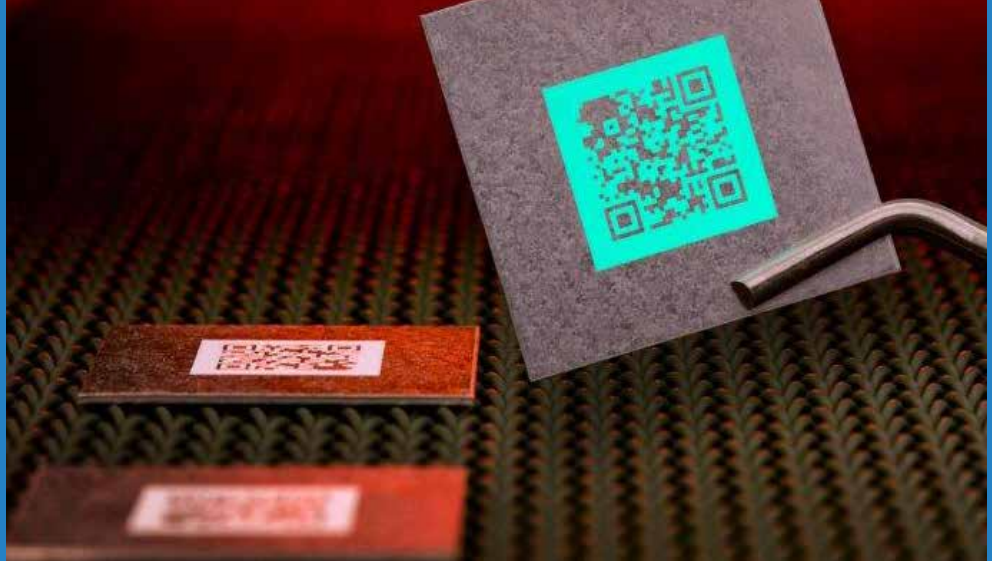
Was unspektakulär klingt, ist weltweit einzigartig: Wissenschaftler am Fraunhofer IWM können bei winzigen, oft nur haardicken Proben die werkstoffmechanischen Eigenschaften mit derselben Qualität bestimmen, die bei makroskopischen Versuchen Standard ist. Für kleine Bauteile, Beschichtungen in großen Bauteilen oder Schweißnähte lassen sich nun konkrete Aussagen zu ihrer Lebensdauer treffen und dadurch die Zuverlässigkeit von Anwendungen erheblich verbessern.

Notwendig sind die Untersuchungen winziger Proben aus zwei Gründen: Einerseits reagieren Werkstoffe in sehr kleinen Bauteilen auf Außeneinflüsse anders als in großen, andererseits entstehen Schäden in großen Bauteilen meist innerhalb eines kleinen, hoch belasteten Volumens. Entsprechende Versuche auf der Mikroskala fehlten bisher: Die Werkstoffproben für Mikrobauteile waren oft größer als das eigentliche Bauteil. Lokale Eigenschaften ließen sich nicht richtig bewerten, auch wie sich spezielle Oberflächenbeschichtungen unter Belastung verhalten, war bisher nicht exakt zu messen. Man wusste »es hält«, aber nicht warum und wie lange.

Die Gründe für lokale Schädigungen liegen in stark variierenden Werkstoffeigenschaften, die aufgrund einer notwendigen Bauteilgeometrie, einer starken lokalen Umformung während der Herstellung oder beim Schweißen auftreten. Ein Beispiel: Um initialen Rissen vorzubeugen, bringen Hersteller bei großen Bauteilen lokal Beschichtungen auf, härten das Bauteil durch Aufkohlung, Aufnitrierung oder Kaltumformung, oder bringen an der Oberfläche Druckspannungen ein. Mit makroskopischen Versuchen ist es meist schwierig, die Wirkung einer Maßnahme eindeutig zu validieren und dadurch die Parameter des Herstellungsprozesses optimieren zu können. Die Messungen der lokal veränderten Materialeigenschaften am Fraunhofer IWM liefern exakte Charakterisierungen auf der Mikroskala. Zusätzlich unterstützten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mikro- und makroskopische Versuche mit Simulationen. So können Kunden ihre Herstellungsprozesse optimieren und die Zuverlässigkeit der Bauteile erheblich steigern.

Je kleiner das Bauteil und je kleiner die Werkstoffprobe, desto stärker wirken sich beispielsweise richtungsabhängige Eigenschaften und Größeneffekte auf das Materialverhalten aus. Das trifft auf die immer kleiner werdenden Bauteile der Medizin-, Kommunikations- oder Automobiltechnik zu. Im Testlabor für die Mikro- und Mesoskala am Fraunhofer IWM können beispielsweise die mechanischen Eigenschaften einzelner Minibauteile für Sensoren exakt bestimmt und so Reserven bei den Leistungsgrenzen ausgelotet werden. Indem die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Versuche aus der Makro- in die Mikrowelt übertragen, ziehen sie Rückschlüsse über Lebensdauer, optimales Design von Kleinstformatbauteilen und Schutzschichten für Bauteile und helfen so der Industrie, Ausfallraten zu reduzieren. Neben Industriepartnern arbeitet das Fraunhofer IWM auch mit internationalen Top-Universitäten zusammen, weil allein die Gruppe »Meso- und Mikromechanik« in der Lage ist, beispielsweise Ermüdungserscheinungen an sehr dünnem Material so genau zu charakterisieren.

Zu nahezu jedem Material und jeder Fragestellung entwickelt und baut das IWM Wissenschaftsteam individuelle Mikro-mess-Apparaturen. So messen sie die elasto-plastischen Materialeigenschaften – je nach Bedarf – unter statischer und dynamischer Last, in unterschiedlichen Gas-Umgebungen und zukünftig auch bei Temperaturen zwischen minus 40 bis 1000 Grad Celsius. Für die Industrie bedeutet das: Sie kann Minibauteile mit einer höheren Zuverlässigkeit oder Produkte mit verbesserten Schutzschichten produzieren.



QR-Code auf Basis keramischer Leuchtstoffe zur Chargenverfolgung.
© Fraunhofer IKTS

Keramische Leuchtstoffe für die Produktmarkierung

Um Halbzeuge und Produkte zuverlässig, eindeutig und fälschungssicher zu markieren, existieren verschiedenste Kennzeichnungslösungen am Markt. Diese reichen von einer simplen Seriennummer bis hin zu integrierten RFID-Chips. Den speziellen Anforderungen in der Metallverarbeitung werden diese Lösungen meist jedoch nicht gerecht, da sie den extremen Prozessbedingungen nicht standhalten. Keramische Leuchtstoffe des Fraunhofer IKTS ermöglichen hier völlig neue Systeme zur Produktmarkierung oder Chargenverfolgung, da sie sehr robust sind: Sie sind unempfindlich gegenüber hohen Temperaturen, chemischen Einflüssen, starker Feuchte oder intensiven elektromagnetischen Feldern.

Keramische Leuchtstoffe zeigen als Reaktion auf optische Anregung wie beispielsweise Laserbestrahlung eine ausgeprägte Lumineszenz. Wie stark sie nachleuchten, kann kundenspezifisch angepasst werden. Da diese Anpassung sowohl während als auch nach der Synthese der Leuchtstoffe erfolgen kann, entstehen Eigenschaften, die nur unter hohem Zeit- und Kostenaufwand kopiert werden können und damit fälschungssicher sind. Dieser Vorteil kann z. B. bei der Markierung von Ersatzteilen oder anderen Komponenten genutzt werden.

Die keramischen Leuchtstoffe lassen sich Tinten oder Pasten einfach beimischen, so dass sie direkt mittels Sieb- oder Tintenstrahldruck auf die Bauteile aufgebracht werden können. Da nur kleinste Materialmengen verdruckt werden, ist eine Beeinflussung der Werkstückeigenschaften oder der Haftung von Beschichtungen auszuschließen. Die mit Leuchtstoffen versetzten Tinten und Pasten sind sicher und umweltfreundlich, so dass keine weiteren Arbeitsschutzmaßnahmen notwendig sind. Durch den hohen Kontrast zwischen Markierung und Trägermaterial ist ein Auslesen in allen Beleuchtungssituationen möglich.

BetoScan - selbstnavigierender Roboter für schnelle Scans großer Betonflächen.
© Fraunhofer IZFP

BAUEN UND WOHNEN

Betonroboter untersucht Parkhäuser und Brücken auf Schäden

Vielseitig und robust, aber keineswegs unverwüstlich ist Stahlbeton, wie er beispielsweise in Autobahnbrücken, Parkhäusern, Tiefgaragen oder Industrieböden bzw. Decken zum Einsatz kommt. Vor allem Feuchtigkeit, Tausalze und stark wechselnde klimatische Bedingungen machen ihm zu schaffen. Die Bewehrung wird angegriffen, beginnt zu korrodieren und die Stabilität des Gebäudes leidet.

Um die Sicherheit von Brücken und anderen Bauwerken aus Stahlbeton zu gewährleisten, müssen regelmäßig Untersuchungen durchgeführt werden. Das Problem dabei: Da der Verschleiß und die Mängel von außen kaum oder gar nicht zu erkennen sind, wird in aller Regel stichprobenartig kontrolliert. Hierfür werden Proben entnommen und analysiert. Dieses Verfahren ist allerdings langwierig und ausgesprochen kostspielig.

Dass es auch anders, deutlich schneller und effektiver gehen kann, zeigt ein System zur zerstörungsfreien Prüfung von Betonbauwerken, das Mitarbeiter des Fraunhofer-Instituts für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) sowie Experten aus Unternehmen entwickelt haben: Mit »BetoScan« wurde eine selbstfahrende und -navigierende Roboterplattform für zerstörungsfreie Prüfsensoren konzipiert und umgesetzt, die eigenständig Betonflächen abfahren und vor allem großflächig auf Schäden untersuchen kann, ohne diese zu zerstören: Der Roboter ist in der Lage, pro Tag mehrere hundert Quadratmeter Parkdeck selbstständig zu untersuchen, wobei eine einzelne Person für Bedienung und Überwachung ausreicht.

Hindernisfreie Betonflächen können von dem Betonroboter selbstständig in einem vorgewählten Raster abgefahren werden – die dabei gewonnenen Daten der verschiedenen Prüfverfahren werden parallel aufgezeichnet. Das kaskadierbare Halterungssystem für die Prüfsensoren erlaubt den Einsatz und schnellen Austausch von am Markt erhältlichen Sensoren. Hinsichtlich der Sensorauswahl für das entwickelte System wurde neben der Automatisierbarkeit der Messwerterfassung das Augenmerk auf bereits etablierte Prüfverfahren gerichtet.

Dies erlaubt eine umfassende Zustandserfassung, durch die Schäden frühzeitig erkannt werden können. Zudem entsteht ein aktueller Grundriss der untersuchten Struktur. Als erheblicher Vorteil erweist sich darüber hinaus die Kombinierbarkeit zerstörungsfreier Prüfverfahren sowie deren Integration in das Robotersystem. Die Sensoren analysieren unter anderem Feuchte und Dicke des Betons sowie Tiefe und Zustand der Bewehrung: Die Ergebnisse können flächenhaft graphisch dargestellt werden; eine entsprechende Verwaltung der Messdaten rundet diese Entwicklung ab.

BetoScan ist ein Projekt, welches im Rahmen des Programmes zur »Förderung von innovativen Netzwerken« (InnoNet) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert wurde.

Multifunktionales Fassadenelement mit Wärmedämmplatten (EPS) und integrierter Kanalführung aus Kunststoffrohren. © Fraunhofer ISE

Detailaufnahme des Adsorptionswärmeübertragers mit Zeolith. © Fraunhofer ISE

Flexibel und funktional: Vorgefertigte Fassadenelemente erleichtern die Gebäudesanierung

Die Senkung des Energieverbrauchs und die Steigerung der Energieeffizienz sind wichtige Voraussetzungen für einen klimaneutralen Gebäudebestand. Experten des Fraunhofer ISE treiben seit vielen Jahren Entwicklungen voran, welche die thermische Gebäudehüllensanierung und die Optimierung haustechnischer Anlagen verbinden. Im Projekt »Retrokit« wurden Fassadenelemente aus multifunktionalen Dämmplatten und vorgefertigten Fenstermodulen entwickelt, die sich vor allem für die Sanierung von Bestands- und Altbauten eignen und die Energieeffizienz der Gebäude verbessern. Die verwendeten Materialien und die integrierte Technik können nach Kundenwunsch kombiniert werden. Als technische Komponenten können Versorgungsleitungen für Strom, Daten, Heizung und Sanitär integriert werden.

Ein großer Vorteil der multifunktionalen Fassadenelemente: Sie werden von außen an die Fassade angebracht, die Bewohner werden durch die Sanierungsarbeiten weniger beeinträchtigt. Auch der Zeitaufwand für die Handwerker ist geringer. Zunächst werden die Fenstermodule auf die Fassade montiert, anschließend eine erste Schicht Dämmung mit integrierter Kanalführung befestigt. Die Rohre für die Haus- und Sanitärtechnik werden mit einem einfachen Klick-System verlegt, danach die zweite Dämmschicht montiert und der Putz aufgetragen. Zuletzt werden von innen die alten Fenster ausgebaut. Die Vorgehensweise ermöglicht eine schnelle, kosteneffektive und hochqualitative Sanierung.

Adsorberentwicklung: Adsorptionswärmepumpen und -kältemaschinen

Im Bereich thermisch angetriebene Wärmepumpen und Kältemaschinen arbeitet das Fraunhofer ISE u. a. an einem kompakten Adsorptionswärmeübertrager. Hierfür wurden gängige Wärmeübertragerkonzepte mit einem neu entwickelten Adsorbens-Metall-Komposit kombiniert.

Der Abtransport der beim Adsorptionsprozess entstehenden Wärme ist von großer Bedeutung für den Betrieb eines Adsorbers. Die Leistungsdichte des Adsorbers hängt zudem von der Menge des Sorptionsmaterials pro Volumen ab. Eine Möglichkeit der Adsorberoptimierung sind poröse metallische Trägerstrukturen mit hoher spezifischer Oberfläche und guten Wärmeleiteigenschaften.

Die Entwicklung eines Kompositmaterials aus versinterten Aluminium-Fasern und Zeolith erfolgte im Fraunhofer Eigenforschungsprojekt »THOKA«. Hier wurde ein erstes Testmuster eines Adsorptionswärmeübertragers erstellt. Die Wärmeübertragerstruktur basiert auf Aluminium-Flachrohren, die im Strangpressverfahren hergestellt werden und mit Lötmittel beschichtet sind. Ein deutlicher Vorteil dieser Bauart ist die flächige Kontaktierung des Kompositmaterials mit der Wärmeübertrager-Oberfläche, die für kurze Wege bei der Abfuhr von Wärme aus dem aktiven Material sorgt. Messergebnisse im Adsorberelemente-Teststand des Fraunhofer ISE zeigen, dass dieses Adsorber-Konzept bei ausreichender Dampfzugänglichkeit und gutem thermischen Kontakt zwischen Wärmeübertrager und Kompositmaterial ein hohes Potenzial für eine Steigerung der Leistungsdichte aufweist.

Derzeit erfolgen die Weiterentwicklung des Kompositmaterials sowie die Integration in gängige Wärmeübertragerkonzepte. Dabei erweisen sich auch alternative Trägermaterialien wie Metallgestricke oder -schäume und neue Klassen von Adorptionsmaterialien wie metallorganische Gerüstverbindungen als aussichtsreich.

WPC-Platte ohne (oben) und mit (unten) Flammschutzausrüstung. © Fraunhofer WKI

Binderbasierte Beschichtung mit zeolithartigem Sorptionsmaterial auf einem Luft-Luft-Wärmeübertrager im Industriemaßstab für die Gebäudeklimatisierung. © Fraunhofer ISE

Holz-Polymer-Werkstoffe (WPC) mit Flammschutz

Forscher des Fraunhofer-Instituts für Holzforschung WKI haben im von der EU geförderten Projekt »LIMOWOOD« gemeinsam mit Industriepartnern WPC-Plattenwerkstoffe für Möbel entwickelt, die flammgeschützt und feuchteresistent sind.

Das Material besteht zu 60 Prozent aus Holzpartikeln und zu 40 Prozent aus thermoplastischen Kunststoffen, insbesondere Polypropylen und Polyethylen. Die Ausgangsmaterialien können aus Recyclingströmen stammen. Auch andere lignocellulosehaltige Rohstoffe wie Hanf- oder Baumwollfasern sowie Reishülsen lassen sich zur Herstellung der Platten verwenden. Die WKI-Forscher produzieren die WPC-Platten im Pressverfahren ohne formaldehydhaltige Klebstoffe. Die Werkstoffe sind zu 100 Prozent recycelbar.

In der Schmelzphase wurden kommerzielle, halogenfreie Flammschutzmittel zugegeben. Die besten Ergebnisse erzielten die Forscher durch Kombinationen von Flammschutzmitteln wie etwa rotem Phosphor und Blähgrafit. Die so ausgerüsteten WPC-Rezepturen zeigten Sauerstoffindizes von bis zu 38 Prozent, wenn gleichzeitig auch flammgeschützte Holzpartikel eingesetzt wurden. Zum Vergleich: Der Sauerstoffindex einer nicht flammgeschützten WPC-Platte liegt bei 19 Prozent. Im Kleinbrennertest entzündeten sich die ausgerüsteten Platten selbst nach einer Beflammungsdauer von 300 Sekunden nicht.

Die WPC-Platten nehmen darüber hinaus nur wenig Wasser auf und eignen sich daher besonders für den Einsatz in feuchter Umgebung. Die Anwendung von WPC findet nur dort ihre Grenzen, wo hohe statische Lasten auftreten.

Durch eine geschickte Komponentenauswahl ist es gelungen, hohe Biegefestigkeiten zu erhalten, die die Anforderungen an Spanplatten weit übersteigen. So ist ein Einsatz der flammgeschützten WPC nicht nur im Möbelbau, sondern auch für Fassadenverkleidungen, im Messebau sowie im Bau- und Transportwesen denkbar.

Hochporöse Beschichtungen für thermische Kühlanlagen und Wärmepumpen

Thermisch angetriebene Kältemaschinen sind eine Alternative zur herkömmlichen Klimatisierung. Sie verdampfen Flüssigkeit, z. B. Wasser, bei niedrigem Druck und entziehen der Umgebung dabei Wärme. Das Fraunhofer ISE arbeitet an neuartigen Sorptionsmaterialien, die besonders viel Wasserdampf speichern können. Die Forscher setzen dabei auf metallorganische Gerüstverbindungen (engl. Metal Organic Framework / MOF). Diese bestehen aus einem Metallkomplex und einem organischen Teil. Sie haben typische innere Oberflächen von bis zu 4000 m² pro g und können bis zu 1,4 g Wasser pro g Material binden. Bisher wurden MOF als Schüttung verwendet. Eine Schüttung aus MOF-Granulat behindert jedoch die Wärmeleitung. Wird das Material dagegen in einer dünnen Schicht auf Metalllamellen aufgebracht, vervielfacht das die Wärmeableitung und damit die Leistungsfähigkeit des Geräts.

Die Forscher haben zwei komplementäre Verfahren entwickelt, um Wärmetauscher und andere Bauteile mit hochporösen metallorganischen Gerüstverbindungen zu beschichten – ein Direktkristallisationsverfahren und eine binderbasierte Beschichtung. Damit können verschiedene MOF oder andere Adsorbentien wie Silicagele, Zeolithe oder Silica-Aluminophosphate auf Bauteile aufgebracht werden.

Die Anwendung ist nicht nur für den Gebäudebereich interessant, sondern auch in Bereichen, in denen reversibel chemische oder physikalische Reaktionen mit Wärmeumsatz ablaufen. Chemische Prozesse verwenden oft Katalysatoren mit großen inneren Oberflächen. Durch Beschichtungen mit MOF oder Zeolithen kann der Durchsatz oder die Konstanthaltung der Temperatur verbessert werden.

Der am Fraunhofer WKI entwickelte Holzschaum besteht zu 100 Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen.
© Fraunhofer WKI

Holzschaum - Vom Baum zum Schaum

Schaumstoffe bestehen üblicherweise aus Kunststoffen auf petrochemischer Basis. Am Fraunhofer-Institut für Holzforschung WKI in Braunschweig entwickelten Forscher ein neues Schaummaterial: Es besteht zu 100 Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen, ist klimafreundlich und recycelbar. Langfristig könnte der Holzschaum herkömmliche erdölbasierte Schaumstoffe ersetzen, sei es für Wärmedämmungen, Verpackungen oder Leichtbaumaterialien.

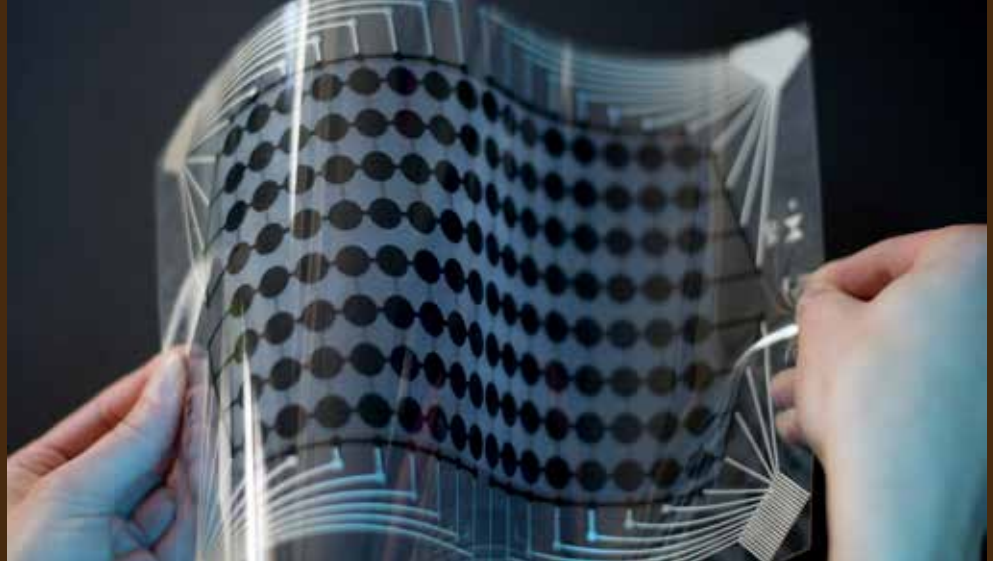
Die Forscher am WKI erarbeiteten Verfahren, um aus Holzpartikeln Schaumstoff herzustellen. Um den Schaum zu erzeugen, wird das Holz zunächst bei hohem Wassergehalt in feine Partikel zermahlen, bis eine zähflüssige Masse entsteht. Diese Suspension schäumen die Forscher chemisch oder physikalisch mithilfe von internen oder externen Gasbildnern, wie CO_2, auf. Anschließend härtet die Masse im Trockenschrank aus. Holzeigene Bindekräfte bewirken den Zusammenhalt des Schaums. Eine mögliche gesundheitliche Belastung durch Emissionen aus Klebstoffen ist daher nicht gegeben. Das Ergebnis ist ein leichter Grundwerkstoff mit einer porösen, zelligen Struktur und einer niedrigen Rohdichte. Schäume aus Buchenholz können beispielsweise gezielt in einem Dichtebereich zwischen 40 kg/m³ und 280 kg/m³ hergestellt werden. Das Material ist als Hartschaumplatte oder elastischer Schaumstoff weiterzuverarbeiten und, wie andere Holzwerkstoffe, einfach zu sägen oder zu fräsen. Dabei bildet das Produkt kaum Staub und ist geruchsneutral.

Die Holzschäume eignen sich besonders gut als Dämmmaterial für Gebäude. Zwar gibt es bereits Dämmstoffe auf Holzbasis, diese haben jedoch den Nachteil, dass sie weniger formstabil sind als Dämmmaterialien aus Kunststoff. Der am WKI entwickelte Holzschaum kann dagegen mit klassischen Kunststoffschäumen mithalten. Die Schaumprodukte wurden bereits nach den Normen, die für Dämmstoffe gelten, untersucht. Sowohl bei den wärmedämmenden Eigenschaften als auch bei den mechanischen und hygrischen wurden viel versprechende Werte erhalten. Die Druckfestigkeiten bei 10 Prozent Stauchung betragen, je nach Dichte, 0,02 N/mm² bis 0,82 N/mm². Die Wärmeleitfähigkeiten liegen zwischen denen von Polystyrol und Holzfaserdämmplatten; eine Verifizierung der Werte steht noch aus. Die Dickenquellung nach 24-stündiger Wasserlagerung ist < 1 Prozent. Das Brandverhalten ähnelt dem von Naturfaserdämmstoffen; sie brennen und glimmen, die Flamme erlischt zum Teil von selbst. Für den Flammschutz eventuell erforderliche Additive lassen sich einfach und effizient im Herstellungsprozess mit den Faserstoffen vermischen.

Ein weiterer Vorteil: Im Gegensatz zu herkömmlichem Schaumstoff ist der Holzschaum problemlos zu recyceln. Wird er beispielsweise als Verpackung verwendet, kann der Verbraucher ihn einfach zum Altpapier geben.
Derzeit experimentieren die Wissenschaftler mit verschiedenen Holzarten. Schon in wenigen Jahren sollen sich Produkte aus Holzschaum im großen Maßstab industriell fertigen lassen und auf dem Markt erhältlich sein.

Wie groß das Potenzial des neuartigen Materials ist, zeigen die Auszeichnungen, die der Holzschaum erhalten hat. Die Entwicklung wurde 2014 für den Deutschen Rohstoffeffizienzpreis nominiert und gewann 2015 sowohl den Interzum-Award »Best of the Best« als auch den GreenTec-Award in der Kategorie »Bauen und Wohnen«.

Die Ausgangsstoffe für den Holzschaum: Holzfasern und Wasser werden zu einer Suspension aufgemahlen und aufgeschäumt.
© Fraunhofer WKI



Sensitive, flexible Folie für Touchdisplays. © Fraunhofer ISC

MIKROSYSTEMTECHNIK

■ **Neue Sensormaterialien ermöglichen flexible und leichte Touchscreens für Displays**

Flexible und kostengünstig gedruckte Touchdisplays sind heute noch Zukunftsmusik, doch werden ihnen weite Anwendungsfelder vorausgesagt. Ihr großer Vorteil ist ihre Designfreiheit. Sie können nahezu beliebig angepasst werden, da die Displayfolie sozusagen ausgerollt werden kann. Außerdem ist das kostengünstige Herstellungsverfahren im Vergleich zu anderen Methoden mit geringem Materialaufwand bei gleich bleibend guten Sensoreigenschaften verbunden. Die Materialien lassen sich auch in großem Maßstab produzieren. Nicht zuletzt sind Touchdisplays auf Polymerbasis leichter und robuster als die bisher üblichen harten, glasbasierten berührungsempfindlichen Displays.

Eine neue Materialentwicklung des Fraunhofer ISC bringt die flexible Displaytechnologie einen großen Schritt voran. Druckbare Sensormaterialien können – auf eine Folie aufgebracht – Verformungen registrieren und senden ihr Signal direkt und hochauflösend an einen Rechner. In Kombination mit einem flexiblen Display können Tablet-PCs und Smartphones so nicht nur über virtuelle Schalter und Buttons bedient werden, sondern über Verformung und Bewegung der Folie.

Signal durch Verformung

Die im Rahmen des EU-Projekts »Flashed« entwickelten Sensoren – aufgebaut aus neuartigen piezoelektrischen Druckpasten – können großflächig auf eine flexible Polymerfolie aufgebracht werden und erlauben den Aufbau von elektronischen Drucksensoren mit simplen Printverfahren. Die sensitive Oberfläche der Folie – beispielsweise verknüpft mit einem Display – misst bei Berührung die Verformung. Das daraus entstehende Signal kann digitalisiert und räumlich dargestellt werden. Die neue Touchsensortechnologie wird die Bedienung von mobilen Endgeräten grundlegend ändern, da die neuartigen Sensoren eine intuitivere Steuerung möglich machen – ohne Schalter, Tasten oder Wischfuktion.

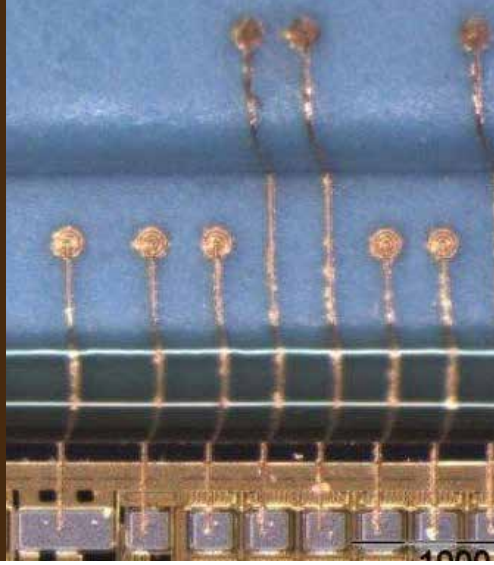
Nicht nur druck- sondern auch temperaturempfindlich

Die kostengünstig herstellbaren Sensoren registrieren außer den 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 können die Entwickler aber auch unterdrücken, wenn er nicht benötigt wird. Für das FLEX SENSE Display ist es beispielsweise vorteilhaft, wenn die Temperatursensitivität komplett ausgeschaltet wird, um eine höhere Ortsauflösung zu erreichen. Darüber hinaus können die Sensoren auch als Aktoren genutzt werden und ein haptisches Feedback ermöglichen. Für viele Anwendungen kann die Kombination der Sensoreigenschaften mit einem haptischen Feedback die Nutzerfreundlichkeit verbessern und den Funktionsumfang erhöhen.

Zukünftig bleifrei

Bisher wurde für die Sensoren Blei-Titanat verwendet. In Zukunft soll jedoch auf das gesundheitlich als bedenklich eingestufte Material verzichtet werden. Ein wichtiges Ziel ist deshalb der Ersatz des bleihaltigen Piezomaterials durch andere Werkstoffe ohne allzu große Einbußen bei der Sensitivität. Dazu werden im Rahmen des Projekts neue ferroelektrische Partikel-Matrix-Systeme entwickelt und für gängige Siebdruckverfahren angepasst.

Mit modernen Ultraschall-mikroskopen eröffnen sich vielfältige Anwendungsfelder in der Mikroelektronik.
© Fraunhofer IMWS



Gedruckte Edelmetallkontaktierung.
© Fraunhofer IKTS

■ Neue Fehleranalytikverfahren für die 3D-Integration mikroelektronischer Systeme

Um die Packungsdichte und Leistung von mikroelektronischen Bauteilen weiter zu erhöhen, setzen viele Hersteller auf die Ausnutzung der dritten Dimension mit gestapelten Chipaufbauten. Diese neuen Bauteil-Architekturen mit neu entwickelten Verbindungstechnologien bringen enorme technische Herausforderungen entlang der Produktionskette mit sich. Dabei sind auch zahlreiche neue Fehlerbilder aufzuklären. Auf diese Arbeit und die Entwicklung geeigneter Analysetechniken hat sich eine Gruppe am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IMWS in Halle spezialisiert.

Als zerstörungsfreies Analyseverfahren hat die Ultraschallmikroskopie eine hohe Bedeutung für die Defektanalyse. Gemeinsam mit dem Gerätehersteller PVA Tepla Analytical Systems GmbH hat das Fraunhofer IMWS ein neues, international einmaliges, rasterakustisches Mikroskop für den Hochfrequenzbereich von bis zu 2 GHz entwickelt.

Die damit verbundenen Möglichkeiten der Defektanalyse in Dünnschichtsystemen, die messtechnische Erfassung mechanischer Parameter sowie eine sehr hohe laterale und Tiefenauflösung im einstelligen Mikrometerbereich erschließen neue Anwendungsbereiche für die akustische Mikroskopie. In Kooperation mit dem belgischen Forschungszentrum IMEC konnte das neu entwickelte GHz-Ultraschallmikroskop erfolgreich für den Nachweis und die Ortung von Defekten in innovativen 3D-Kontaktierungen mikroelektronischer Chips – Through Silicon Vias (TSV) – eingesetzt werden. Gemeinsam mit PVA Tepla sowie weiteren Industrie- und Fraunhofer-Partnern sollen zukünftig weitere Einsatzfelder für das 2014 von PVA Tepla auf den Markt gebrachte Verfahren erschlossen und die Leistungsfähigkeit des Verfahrens weiter erhöht werden.

■ Edelmetalltinten für die Mikroelektronik

Der digitale Druck funktioneller Materialien hat großes Potenzial für die Produktion elektronischer und sensorischer Bauelemente. Verfahren wie der Inkjet- und Aerosoldruck zeichnen sich hierbei durch ihre hohe Flexibilität, Schnelligkeit sowie Skalierbarkeit aus. Im Gegensatz zur klassischen Halbleitertechnologie werden für die Elektronikfertigung Materialtinten zum direkten Druck der Schaltungskomponenten auf das Zielsubstrat eingesetzt. Diese Entwicklung führte bereits zu einer Vielzahl innovativer Anwendungen wie beispielsweise flexible elektrische Schaltungen, miniaturisierte und kostengünstige Sensorik oder Wafer / Chip-Umverdrahtung und Kontaktierung.

Um das Potenzial dieser und weiterer Anwendungen zu erschließen, entwickeln Forscher am Fraunhofer IKTS geeignete Materialtinten auf Basis von Gold, Silber, Platin, Palladium, Rhodium, Kupfer sowie Kohlenstoff und Glas. Die technischen Anforderungen sind hoch, da die Tinten zu bestehenden Drucktechnologien kompatibel und auch für neue Substrate wie Polymere geeignet sein müssen. Diese werden im Gegensatz zu keramischen Substraten schon bei Temperaturen deutlich unter 180 °C gebrannt, was eine gezielte Einstellung der Sintereigenschaften verlangt.

Mittels einer speziellen Nanopartikelsynthese sowie geeigneter Lösungsmittel und organischer Additive haben die Forscher Tinten mit Partikeln deutlich kleiner als einem Mikrometer entwickelt. Neben der geringen Partikelgröße zeichnen sich die Tinten durch eine geringe Viskosität und Oberflächenspannung bei gleichzeitig hoher elektrischer Leitfähigkeit aus. Die Tinten können dadurch mit extrem feinen und dünnen Strukturbreiten abgeschieden werden und verringern so deutlich den Einsatz kostspieliger Materialien.

Sensorplattform.
© Fraunhofer ICT-IMM

SICHERHEIT

■ **Den richtigen Fluchtweg finden mit der neuen Sensorplattform**

Eine der schrecklichsten Situationen, die sich ein U-Bahn Passagier vorstellen kann: es brennt in einer U-Bahnstation, überall ist Rauch und der einzige Gedanke: »zurück an die Oberfläche, wo es frische Luft gibt«. Aber welchen Weg können Passagiere in einer U-Bahnstation oder einem U-Bahntunnel gefahrlos benutzen? Meist gibt es nicht viele Alternativen und wenn dann auch noch diese Wege gleichzeitig Strömungswege für den Rauch und andere gesundheitsschädliche Gase sind, befinden sich die Flüchtenden schnell in einer Todesfalle. In dem BMBF-Projekt MAusKat entwickelten Forscher des Fraunhofer ICT-IMM gemeinsam mit anderen Partnern ein Mess- und Analysesystem, mit dem die Ausbreitungswege von gasförmigen Gefahrstoffen auch in komplexen Gebäudestrukturen nachvollzogen werden können. Denn nur wenn diese Informationen gesichert vorliegen, können die Flucht- und Rettungswege effizient geplant werden.

In der Vergangenheit gab es einige Terroranschläge in U-Bahnsystemen wie z. B. 1995 der Sarin-Gas-Anschlag in Tokio mit 13 Toten und Tausenden Verletzten oder auf dem Moskauer Flughafen Domodedowo 2011 (36 Tote, 152 Verletzte), aber auch Brände in Hochhäusern (Shanghai 2010 mit 53 Toten), die aufgezeigt haben, dass die Planung von Fluchtwegen und Aufstellung von Rettungsplänen ein komplexes Thema ist, das am Reißbrett nicht adäquat und umfassend zu erfüllen ist. Betreiberorganisationen und Rettungskräfte brauchen exakte und zuverlässige Informationen, und zwar im Vorfeld eines Zwischenfalls. Hier setzt das von Fraunhofer ICT-IMM im Projekt MAusKat entwickelte Mess- und Analysesystem an, dessen Herzstück eine mobile und infrastrukturunabhängige Sensor-Plattform ist. In einer Testsituation bringt man in bestehenden Gebäuden ein ungefährliches Tracergas, üblicherweise SF6, aus und erfasst dann an verschiedenen Messpunkten die Strömung, Ausbreitung und Konzentration des Gases. Auf Basis dieser Daten wird in einer Simulation die Strömung und Konzentration berechnet und Gefahrenbereiche innerhalb eines Bauwerks identifiziert. Anschließend können die vorhandenen Fluchtwege auf den Prüfstand gestellt und entsprechend den Ergebnissen neue Flucht- und Rettungskonzepte geplant werden.

Sensor-Plattform erfasst SF6 und Klimadaten

Die von Fraunhofer ICT-IMM entwickelte Sensorplattform ist mit Sensoren ausgestattet und erfasst neben der Konzentration des Tracergases SF6 auch klimatologische Messgrößen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und Windgeschwindigkeit in x, y und z Richtung.

Bei Schwefelhexafluorid handelt es sich um ein synthetisches Gas – eine anorganische, chemische Verbindung aus einem Schwefelatom, an das sechs Fluoratome gebunden sind (SF6). Es ist unter Normalbedingungen farb- und geruchlos, äußerst reaktionsträge, nicht brennbar und ungiftig. Aufgrund der physikalischen Eigenschaften wird SF6 hauptsächlich als Isoliergas z. B. in der Mittel- und Hochspannungstechnik eingesetzt. Da die Hintergrundkonzentration in der Erdatmosphäre sehr gering ist (ca. 0,005 ppb) und angesichts der sehr guten Nachweisbarkeit mit zuverlässiger Gassensorik, wird SF6 auch als Tracergas zur Erfassung und Bewertung von Luftströmungen eingesetzt. Problematisch bei der Verwendung von SF6 ist jedoch das immense Treibhauspotential (Global Warming Potential) von 22.800 GWP. Der Umwelt zu liebe sollten daher nur geringe SF6-Gaskonzentrationen eingesetzt und emittiert werden.
Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen, bei denen in einem

aufwändigen und kostenintensiven Verfahren Proben per Hand entnommen und in einem Labor, mittels Gaschromatograph, untersucht werden mussten, werden dank der Sensorplattform die Messgrößen im Intervall von einer Sekunde automatisch erfasst und gespeichert. Bei den Messungen entscheiden Sekunden, daher wurde eine hochpräzise Uhr mit einer Exaktheit von ± 3,5 ppm eingebaut, die die einzelnen Messdaten mit einem Zeitstempel versieht, um die Messdaten der einzelnen Plattformen miteinander vergleichbar zu machen. Die gespeicherten Messdaten können nach Beendigung des Messzyklus auf einen USB-Stick oder je nach Ausstattung auch kabellos an das Analysesystem übertragen werden. Ausgestattet mit einer netzunabhängigen Spannungsversorgung (Akku) ist ein Betrieb von 24 bis 48 Stunden gewährleistet.

Im Projekt MAusKat wurden Tests unter anderem in Kaufhäusern, Auditorien und natürlich U-Bahnsystemen durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass mit Hilfe der neuen Analysemesstechnik eine genauere und zeitnahe Darstellung der klimatologischen Verhältnisse auch in komplexen Infrastrukturen über einen langen Zeitraum möglich ist. Weiterhin können die Messpunkte flexibel gewählt werden. »Der personelle Aufwand beschränkt sich auf die Installation des Messsystems und die sich anschließende Auswertung der Messdaten. Was die Kosten einer Untersuchung um ein Vielfaches senkt im Vergleich zu den Kosten, die bei einer manuellen Probennahme und der Analyse im Labor entstehen.« erläutert Dr. Karin Potje-Kamloth, Abteilungsleiterin Mikrofluidische Analysesysteme von Fraunhofer ICT-IMM.

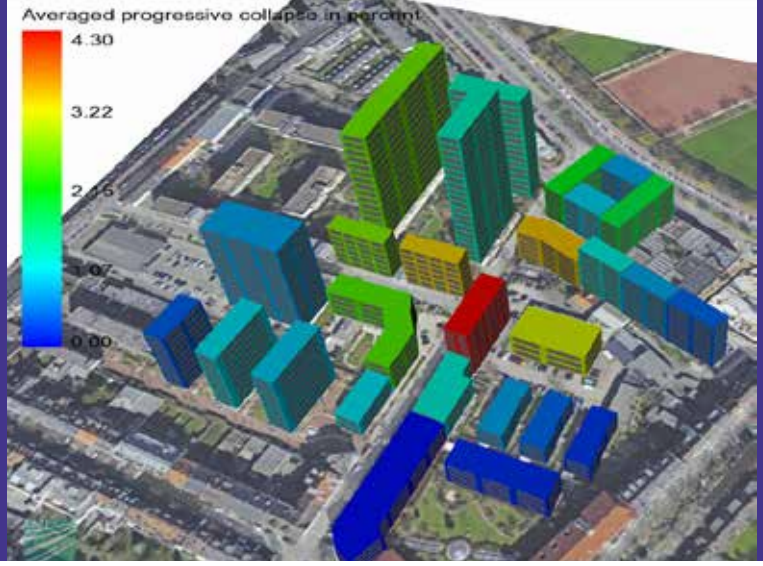
Kleinste Mengen unter ppm Bereich

Bei den beschriebenen Fällen und angesichts des umweltpolitischen Aspekts wird deutlich, dass die Gassensoren besonders empfindlich sein müssen, um schon kleinste Mengen im unteren ppm-Bereich erfassen zu können. Hierzu wurde im Laufe des Projektes von der Firma smartGAS Mikrosensorik GmbH aus Heilbronn eine robuste und hochempfindliche SF6-Sensorik entwickelt, mit der stationär, stromnetzunabhängig, zeitlich hochauflösend und längerfristig das Tracergas im sub-ppm-Bereich erfasst werden kann. Diverse Praxistests und ein Vergleich mit der Gaschromatographie haben ergeben, dass mit der mobilen Sensorplattform zuverlässig SF6-Tracergas-Konzentrationen ab 50 ppb (0,05 ppm) mit einer Auflösung von 10 ppb erfasst werden können, so Christian Stein, Geschäftsführer von smartGAS.

So viele Anwendungsfelder wie Sensoren auf dem Markt

Eine besondere Stärke des Fraunhofer ICT-IMM ist es, Systeme so zu entwickeln, dass sie perfekt zu den Anforderungen des Kunden bzw. Projekts passen, aber gleichzeitig so modular und flexibel aufgebaut sind, dass sie leicht an geänderte Bedingungen oder Ansprüche angepasst werden können. So ist ein Einsatz der Sensor-Plattform z. B. als Lecksuchgerät in allen Anwendungsgebieten von SF6 möglich. »In Trafostationen dient SF6 als Kühlmittel, aber auch bei Isolation von Hochspannungsleitungen oder AWACS Flugzeugen wird SF6 benutzt.« zählt Dr. Potje-Kamloth auf.

Festinstalliert kann die Sensor-Plattform auch als kontinuierliches Überwachungs- / Kontrollsystem genutzt werden. Besonders für eingangs erwähnte Zwecke zum Schutz der Öffentlichkeit vor Terroranschlägen könnte das Sensorsystem einen wichtigen Beitrag leisten. Im BMBF-Projekt OrGaMir wurde bereits 2011 gezeigt, wie die Sensor-Plattform als Prognose- und Entscheidungshilfetool für den Betreiber und die Rettungskräfte vor Ort eingesetzt werden kann. Installiert in einem U-Bahnsystem und ausgestattet mit Sensoren für Gase und Dämpfe, die als besonders kritisch identifiziert wurden, zeigt das System im Unglücksfall schnell an, ob und wo giftige Gase ausgetreten sind und wie sie sich aktuell ausbreiten.



Gewichtete Verwundbarkeit eines Stadtgebiets unter Berücksichtigung aller möglicher Gefahrenherde (Position, Intensität). © Fraunhofer EMI

Die lizensierte Software »VITRUV«

Die lizensierte Software VITRUV (Vulnerability Identification Tools for Resilience Enhancements of Urban Environments) ermöglicht das direkte Einbinden von Sicherheitsaspekten in den Prozess der Städteplanung. Städte können damit bereits in der Entwicklungsphase nachhaltiger und robuster geplant werden, außerdem ermöglicht es die Software, Schwachstellen in urbanen Gebieten zu identifizieren.

In Zusammenarbeit mit potenziellen Anwendern wie Städteplanern, Architekten und der Polizei wurde im EU-Projekt VITRUV eine benutzerfreundliche Software entwickelt. Die grafische Benutzeroberfläche (GUI) beinhaltet eine dreidimensionale Visualisierung der Stadtgebiete und verwendet dabei gängige Dateiformate (JPEG, DXF, CityGML). Mit abrufbaren vordefinierten Gebäudetypen kann die betrachtete Stadt schnell nachgebildet werden.

Zur Schwachstellenanalyse in urbanen Gebieten sind verschiedene Vorgehensweisen integriert. Im ersten Schritt ermöglicht eine empirische Risikoanalyse die Bewertung der Anfälligkeit bestimmter Gebiete, indem sie historische Daten verarbeitet. Statistische Häufigkeiten (Suszeptibilitäten) werden in Abhängigkeit der Bedrohungsart, des bedrohten Objekts, der Region und der Exposition visualisiert. Anschließend kann der mögliche Schaden mithilfe eines validierten physikalischen Ingenieurmodells im Rahmen einer quantitativen Risikoanalyse berechnet werden.

Unterschiedliche Leistungskriterien wie die Anzahl betroffener Personen, struktureller oder monetärer Schaden, sind für Gebäude und Verkehrsinfrastrukturelemente abrufbar. Verschiedene Schutzmaßnahmen sind implementiert und ermöglichen eine Erhöhung der urbanen Resilienz, also der Robustheit von Städten gegenüber Störungen. Weiterhin bieten diese Maßnahmen eine Grundlage für Kosten-Nutzen Analysen für Entscheidungsträger.

Weitere Informationen unter www.vitruv-tool.eu

Empirische Häufigkeitsverteilung potentieller Gefahrenherde. © Fraunhofer EMI

Transparentkeramik für den Ballistikschutz.
© Fraunhofer IKTS

Transparentkeramik für den Ballistikschutz

Keramische Werkstoffe werden ständig weiter entwickelt und weisen mittlerweile Eigenschaftsprofile auf, die vor wenigen Jahren noch undenkbar waren. Dazu tragen wesentlich die immer weiter spezialisierten Herstellungsverfahren und maßgeschneiderte Rohstoffe bei. Transparente keramische Werkstoffe stellen in Bezug auf Reinheit, Porenfreiheit, Homogenität und Defektfreiheit höchste Ansprüche an die Herstellungstechnologie. Sie bieten aber mit den möglichen speziellen optischen Parametern in Kombination mit den genannten typischen keramischen Eigenschaften interessante Alternativen und Innovationspotenzial zu bekannten optischen Gläsern. So ermöglichen es beispielsweise transparente Schutzkeramiken, zivile und militärische Personen, Fahrzeuge und Ausrüstungen mit maximaler Ballistikschutzwirkung bei minimalem Gewicht auszustatten.

Das Fraunhofer IKTS ist seit Jahren weltweit führend in der Herstellung von transparenten Keramiken mit besonders feinkristallinen Gefügen und äußerst guten mechanischen Parametern. Zur Herstellung von Keramik-Backing-Verbunden wird die Schutzkeramik auf einem metallischen Grund (Backing) aufgebracht und außen von einem Splitterschutz überdeckt. Für transparente Sicherheitsfenster besteht das Backing aus Glas. Die besondere Wirkung ist, dass bei Einschlag eines Eindringkörpers die Keramik selbst bricht, ihre scharfkantigen Bruchstücke dann aber den Eindringkörper aufreiben. Dabei ermöglichen wenige Millimeter Sinterkeramik eine stärkere Schutzwirkung als dicker Panzerstahl oder 10 cm dickes Panzerglas mit einem Flächengewicht von 150 kg/m². Demgegenüber reduziert die Keramik im Verbund mit dem Backing die Gesamtmasse des Schutzsystems auf nahezu 50 Prozent – mit entsprechenden Vorteilen für Beweglichkeit, Reichweite und Sicherheit von Fahrzeug und Insassen.

Textilien mit InnoSolTex®-Beschichtung.
© Fraunhofer ISC

InnoSolTEX® – funktionalisierte Textilien

An Textilien werden heute vielfältige Anforderungen gestellt. Sie dienen nicht mehr nur als Bekleidung, sondern erfüllen als High-Tech-Materialien technische oder schützende Funktionen. Durch die vielfältigen Einsatzbereiche ergeben sich neue Herausforderungen, denn Schutzkleidung ist je nach Einsatzbereich bestimmten Normen unterworfen. Die Textilien sollen nach Bedarf zum Beispiel vor mechanischen Einwirkungen, vor Hitze und Flammen, vor Nässe oder auch vor chemischen Stoffen sowie Mikroorganismen Schutz bieten und eine antistatische Funktion besitzen. Verschiedenste Ausführungen von Schutzkleidung können gegen eine oder mehrere dieser Einwirkungen schützen.

Sechs Funktionen in einer Textilbeschichtung

Weil nicht alle verlangten Eigenschaften über die Faserstoffe und die textile Struktur erfüllt werden können, werden die Textilien entsprechend veredelt. Bisher war es nicht möglich, alle Schutzeigenschaften in einem Produkt zu vereinen. Das Fraunhofer ISC hat nun gemeinsam mit seinen Kooperationspartnern ein neues hybrides Beschichtungssol auf Basis von anorganisch-organischen Hybridpolymeren entwickelt.

Das InnoSolTEX®-Beschichtungssystem ermöglicht es, bis zu sechs Funktionen miteinander zu kombinieren. Basis für die Beschichtung ist die am Fraunhofer ISC entwickelte Stoffklasse der ORMOCER®e, anorganisch-organische Hybridpolymere. Ihre Eigenschaften lassen sich je nach Anforderung variieren. So erfüllen sie hydrophobe, flammfeste und waschbeständige Funktionen und ermöglichen gleichzeitig eine antistatische Oberfläche, eine verbesserte Abbriebbeständigkeit und eine antimikrobielle Wirksamkeit. Mit dem Baukastensystem können die Beschichtungseigenschaften spezifischen Kundenwünschen entsprechend zusammengestellt werden.

Nur ein Arbeitsschritt bei der Herstellung

Die neue Beschichtung kann sowohl auf Garne als auch auf fertige Stoffe appliziert werden. Ein weiteres Plus: Bereits bestehende Produktionsanlagen können mit dem System aufgerüstet werden. Zudem ist die Beschichtung der Textilien in einem einzigen Arbeitsschritt möglich. Die neuen InnoSolTex®-Lacke sind mit Wasser verdünnbar und können problemlos bei einer Temperatur von 6 °C einige Wochen lang gelagert werden.

Parallel zu den Materialentwicklungen am Fraunhofer ISC wurde bei den Partnern der Produktionsmaßstab aufskaliert, sodass Chargengrößen von 30 Kilogramm herstellbar sind. Erste Industrietests zeigen, dass sich die beschichteten Fäden hervorragend zu Flächengebilden verarbeiten lassen. Sie kleben und reißen nicht und lassen sich auch gut bei höheren Maschinengeschwindigkeiten von der Spule abziehen. Die Textilien können bei maximal 60 °C Pflegeleichtwäsche mit Feinwaschmittel oder Desinfektionsmittel gereinigt werden, bleiben auch nach mehreren Waschgängen beständig und behalten ihre antimikrobielle Funktion.

So vereint das neue Beschichtungssystem InnoSolTEX® mehrere Vorteile: Weniger Prozessschritte bei der Herstellung, niedrigere Energie- und Produktionskosten und ein leistungsstärkeres Produkt, das problemlos auf herkömmlichen Industrieanlagen verarbeitet werden kann.

© Fraunhofer ISC

Das One World Trade Center in New York – Hier wurde DUCON für mehr Sicherheit eingesetzt.
© Fraunhofer EMI

DUCON: Ein leistungsfähiger Werkstoff bei dynamischen Einwirkungen

Immer mehr Menschen leben in Städten eng beieinander, damit steigen auch die Gefahren durch Extrembelastungen infolge von Naturkatastrophen, Unfällen und terroristischen Anschlägen. Beim Bau großer Wohnhäuser oder kritischer Infrastrukturen können neue Werkstoffe dazu beitragen, diese Gebäude sicherer gegen derartige extreme Einwirkungen zu machen. Ein prominentes Beispiel hierfür ist das One World Trade Center in New York City, das auf Ground Zero im Jahr 2013 fertiggestellt wurde.

Der Sicherheitsaspekt spielte hier auch in der Auswahl der verwendeten Baustoffe eine große Rolle. Hier kam der Hochleistungswerkstoff DUCON® zum Einsatz, der vom Fraunhofer EMI gemeinsam mit der Firma DUCON entwickelt und optimiert wurde.

Dieses Material ist ein Verbundwerkstoff, in das eine Mikrostahlbewehrung in eine hochfeste Betonmatrix eingebettet ist. Es bietet eine hohe Schutzwirkung bei dynamischen Einwirkungen. Mit einer Druckfestigkeit von über 150 Megapascal und einer hohen Zugfestigkeit von mehr als 6 Megapascal zeichnet sich die Betonmatrix ebenso durch eine optimierte Mikrostruktur mit geringer Porosität aus, was zu einem hervorragenden Verbund mit der Stahlbewehrung führt. Erst dadurch können die positiven Eigenschaften erreicht werden. Die Verwendung von Hochleistungskomponenten sowie die Zugabe von feinen Zuschlägen führen zu einer Optimierung der Packungsdichte. Die geringere Porosität, aber auch die hohen Festigkeitswerte können die Anwendungsbreite von Betonwerkstoffen erheblich vergrößern.

Die Verwendung der Bewehrung in Form von Mikrostahlmatten bewirkt nicht nur eine Reduktion der Sprödigkeit, sondern auch eine Verbesserung des Verhaltens bei Maximalbelastung und führt zu einer deutlichen Steigerung der Bruchenergie.

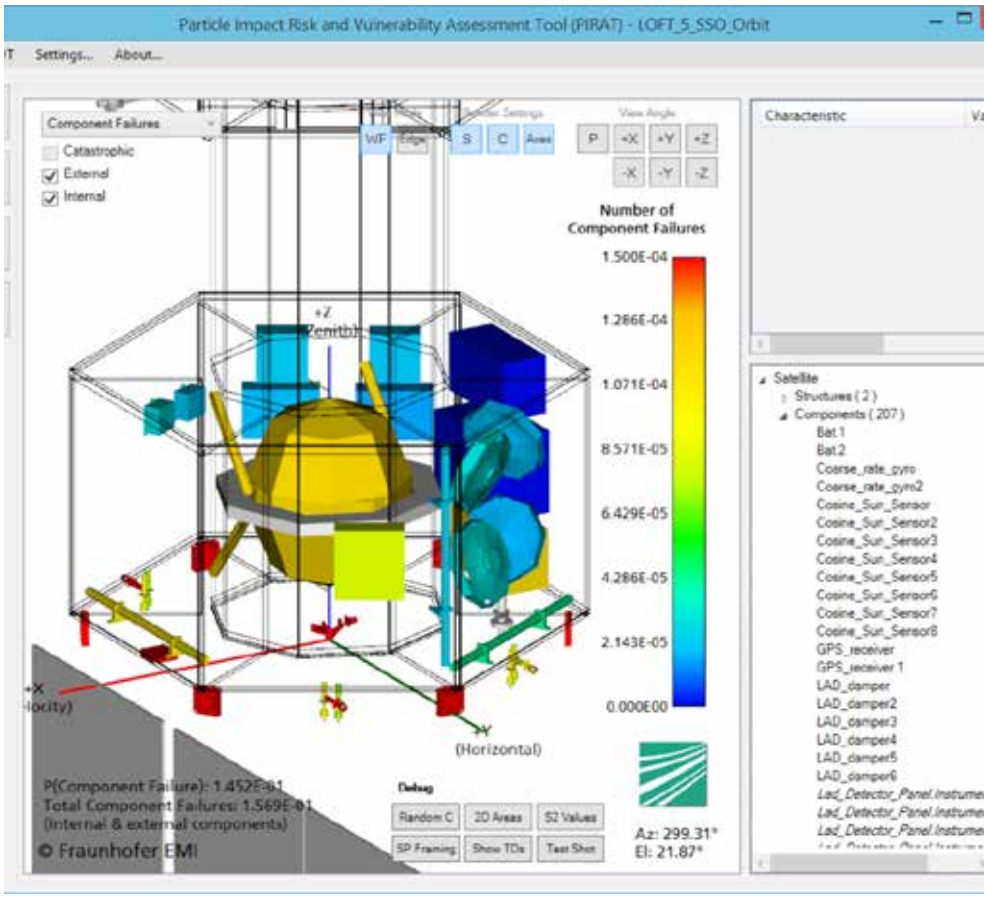
DUCON® eignet sich aufgrund seiner speziellen Mikrostruktur auch für den Einsatz in aggressiven Umgebungen, wie zum Beispiel Meerwasser. Versuche am Ernst-Mach-Institut haben gezeigt, dass die Anwendung des Materials in kritischen Bauteilen ein signifikant höheres Schutzniveau ermöglicht.

Das One World Trade Center in New York City.
© Fraunhofer EMI

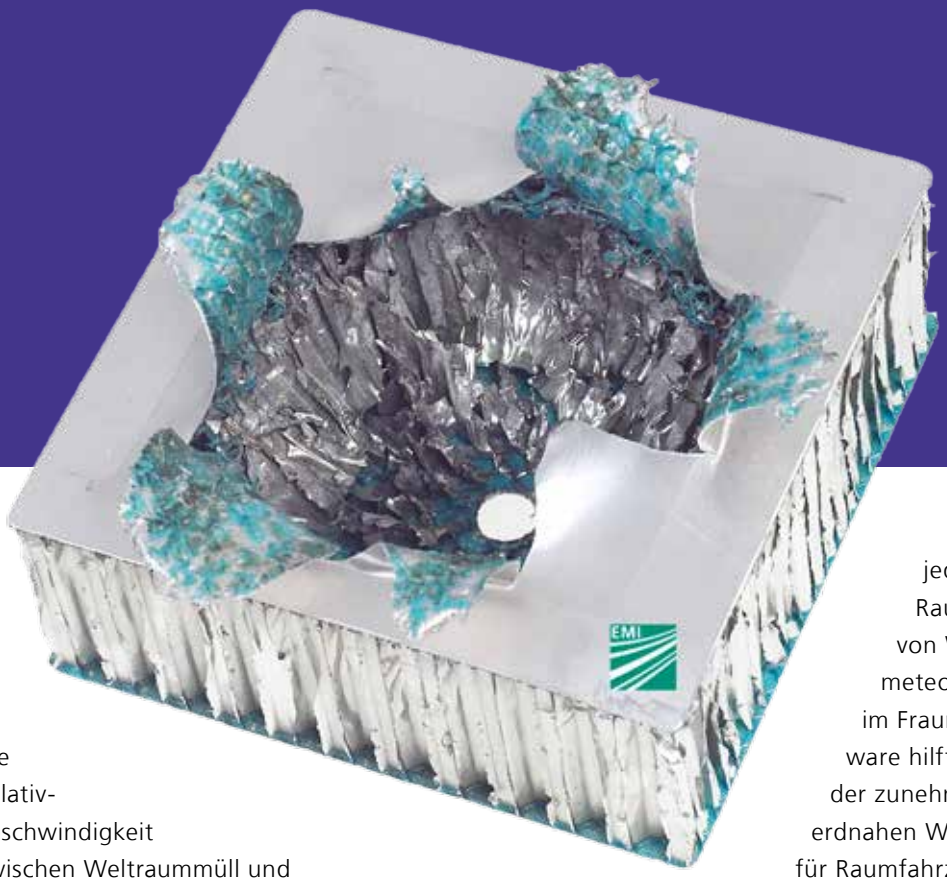
Satelliten-Verwundbarkeitsanalyse-Software »PIRAT«

Weltraumschrott ist ein Oberbegriff für Objekte in Erdumlaufbahnen, die eine Kollisionsgefahr für Raumfahrzeuge darstellen. Weltraumschrott entsteht unter anderem als Abfallprodukt bei Raketenstarts, bei der Trennung von Oberstufen, bei der Freisetzung der Satelliten oder bei der Zerlegung von Raumfahrzeugen durch Explosion von Resttreibstoffen oder Batterien sowie durch Kollisionen zwischen Objekten in erdnahen Umlaufbahnen. Eine weitere Ursache sind abgebrannte Treibstoffe von Feststoffmotoren.

Durch Weltraumschrott in Erdumlaufbahnen können Satelliten zerstört und andere Objekte beschädigt werden.



PIRAT Software Tool des EMI zur Untersuchung der Verwundbarkeit von Satellitenkomponenten gegen Einschläge von Weltraummüll und Mikrometeoroiden.
© Fraunhofer EMI



Aluminium- Strukturwand für Satelliten nach Durchschlag eines Aluminiumkügelchens. © Fraunhofer EMI

Die Relativgeschwindigkeit zwischen Weltraummüll und einem Raumfahrzeug kann bis zu 16 Kilometern pro Sekunde in erdnahen Umlaufbahnen betragen. Kollisionen mit Weltraumschrott-Teilchen bereits ab einer Größe von einem Millimeter können ernste Konsequenzen für Satelliten haben, denn Teilchen ab dieser Größe können Satellitenwände durchdringen, und im Innern des Satelliten auf Komponenten wie Druckleitungen und -Tanks, Treibstofftanks, Kabel und elektronische Geräte aufprallen und diese schädigen oder zerstören. Komponenten auf der Außenseite des Satelliten sind besonders von Einschlägen betroffen, lassen sich aber kaum dagegen schützen.

Wie wahrscheinlich es ist, dass Komponenten eines Satelliten durch Weltraumschrott zerstört werden, konnte bisher nur abgeschätzt werden. Mit der neu entwickelten Verwundbarkeitsanalyse-Software »PIRAT« (»Particle Impact Risk and Vulnerability Assessment Tool«) kann nun die Versagenswahrscheinlichkeit für jede einzelne Komponente des Raumfahrzeugs durch Einschläge von Weltraumschrott und Mikrometeoroiden berechnet werden. Die im Fraunhofer EMI entwickelte Software hilft, die Gefährdung, die von der zunehmenden Verschmutzung des erdnahen Weltraums durch Weltraummüll für Raumfahrzeuge ausgeht, quantitativ zu ermitteln.

PIRAT ermöglicht es, die Verwundbarkeit einzelner Komponenten sowie des gesamten Raumfahrzeugsystems schon während früher Entwicklungsphasen (Phasen 0/A/B) zu erfassen und dadurch frühzeitig Schutzmaßnahmen für besonders exponierte Raumfahrzeugkomponenten im Design einzuplanen. PIRAT wurde 2014 in der Concurrent Design Facility der European Space Agency (ESA) als ein Software-Tool zur Unterstützung von ESA-Ingenieuren während Phasen 0/A im Raumfahrzeugdesign eingeführt. PIRAT ist auch eine Methode, mit der Effekte, die durch den Einschlag von Weltraumschrott-Teilchen und Mikrometeoroiden entstehen, auf Systemebene in Satelliten untersucht und prognostiziert werden können.

Lizenzen für die PIRAT Software sind beim Fraunhofer EMI erhältlich.

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

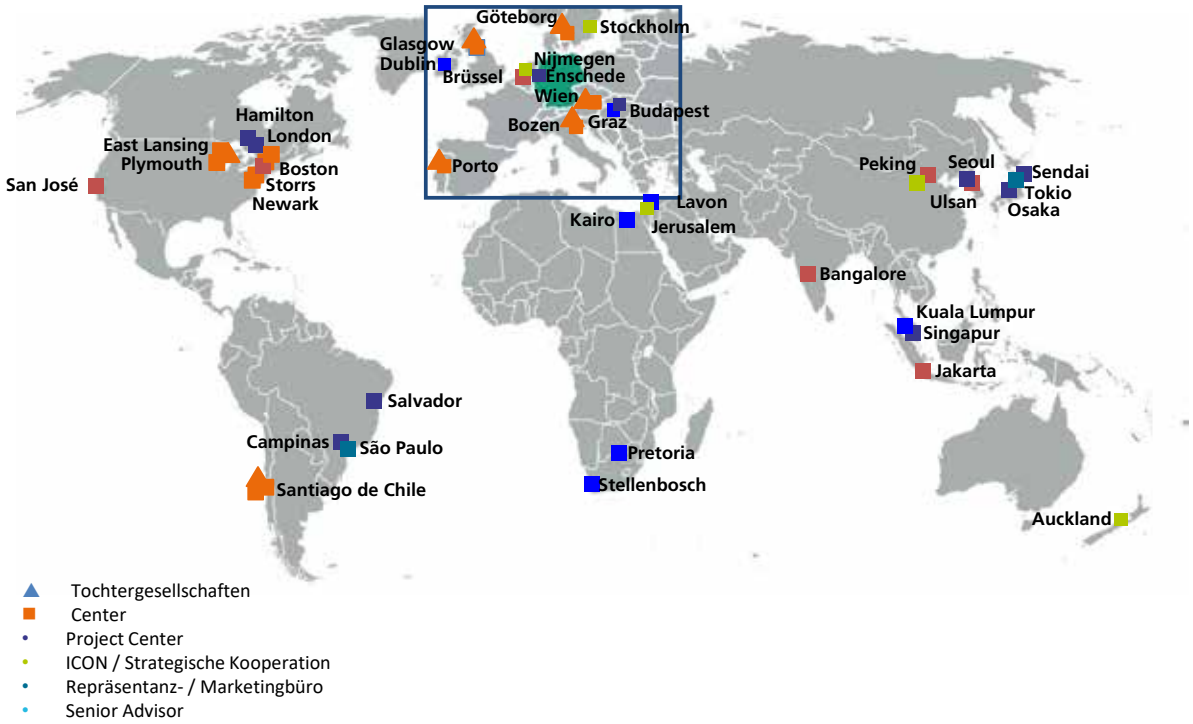
Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 69 Institute und Forschungseinrichtungen. 24 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,1 Milliarden Euro. Davon fallen rund 1,9 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

* Stand Januar 2017



FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

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.

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.

Kompetenzen bündeln

Fachlich verwandte Institute organisieren sich in Forschungsverbünden und treten gemeinsam am FuE-Markt auf. Sie wirken in der Unternehmenspolitik sowie bei der Umsetzung des Funktions- und Finanzierungsmodells der Fraunhofer-Gesellschaft mit.

- IUK-Technologie
- Life Sciences
- Ligth & Surfaces
- Mikroelektronik
- Produktion
- Verteidigungs- und Sicherheitsforschung
- Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS

www.fraunhofer.de

IMPRESSUM

Herausgeber
Fraunhofer-Verbund MATERIALS
Geschäftsstelle
c/o Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit
und Systemzuverlässigkeit LBF
Bartningstraße 47
64289 Darmstadt

Telefon +49 6151 705-262
Fax +49 6151 705-214
info-verbund-materials@lbf.fraunhofer.de
www.materials.fraunhofer.de

Vorsitzender des Verbundes
Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner

Stv. Vorsitzender des Verbundes
Prof. Dr. Peter Gumbsch

Redaktion
Dr. phil. nat. Ursula Eul,
Geschäftsführung Fraunhofer MATERIALS

Koordination
Tanja Beisel-Hallstein,
Assistenz Fraunhofer MATERIALS

Konzeption
Dr. phil. nat. Ursula Eul, Fraunhofer LBF
innos - Sperlich GmbH, Göttingen, www.innos-sperlich.de

Design/Layout/PrePress
innos - Sperlich GmbH, Göttingen,
www.innos-sperlich.de

Fotografie
Titelcollage/-composing: innos - Sperlich GmbH
Urheber Einzelbilder (www.fotolia.com):
Marco2811, Thaut Images, Gerd Gropp, hfng, James Thew

Druck
SAXOPRINT GmbH

© Geschäftsstelle Fraunhofer-Verbund MATERIALS,
c/o Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit, Darmstadt,
Mai 2017

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten.

Fraunhofer
MATERIALS

Geschäftsstelle:
Dr. phil. nat. Ursula Eul
c/o Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit
und Systemzuverlässigkeit LBF
Bartningstraße 47
64289 Darmstadt
Telefon +49 6151 705-262
info-verbund-materials@lbf.fraunhofer.de

www.materials.fraunhofer.de