



## Über das Institut

---

Das Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS ist ein methodisch ausgerichtetes Fraunhofer-Institut in den Fachdisziplinen Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. Das Fraunhofer IMWS ist Ansprechpartner für die Industrie und öffentliche Auftraggeber für alle Fragestellungen, die die Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen betreffen – mit dem Ziel, Materialeffizienz und Wirtschaftlichkeit zu steigern und Ressourcen zu schonen.

Jahresbericht 2021

# Jahresbericht 2021

---

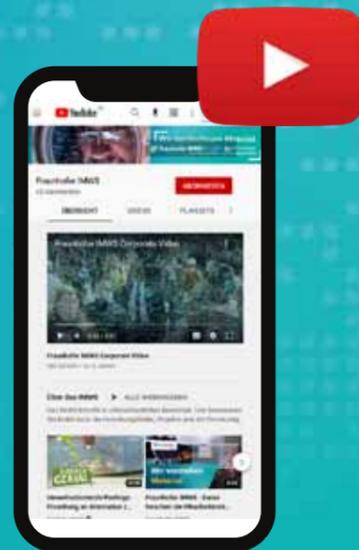
## Forschungshighlights

# Abonnieren Sie unsere Social-Media-Kanäle



Auf unserer Unternehmensseite bei LinkedIn präsentieren wir ausführliche Informationen über unsere Aktivitäten.

Bei Twitter erhalten Sie unsere Neuigkeiten kurz und knapp in 280 Zeichen.



Spannende Videos über unsere Arbeit finden Sie auf unserem YouTube-Kanal. Anschauen lohnt sich!

## Grußwort



### Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

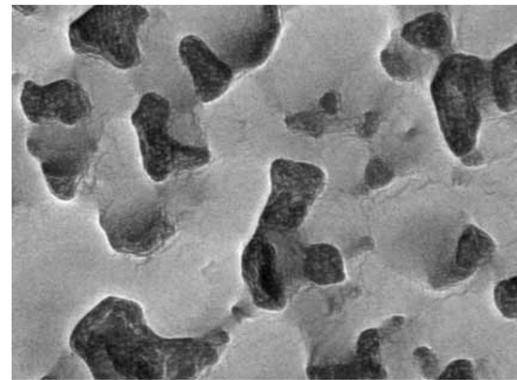
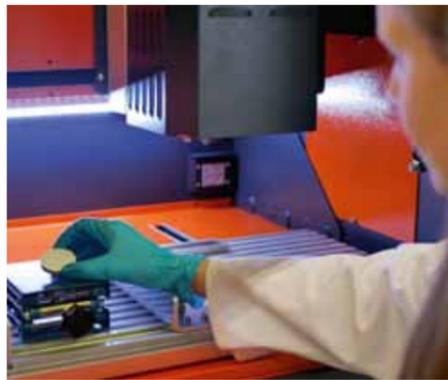
zum dritten Mal darf ich Ihnen an dieser Stelle einige Höhepunkte aus der Jahresbilanz unseres Instituts präsentieren. In meiner Funktion als kommissarischer Leiter wird es zugleich das letzte Mal sein. Der Prozess für die Nachfolge der Institutsleitung ist nun endlich erfolgreich abgeschlossen. Ich freue mich sehr, dass wir Frau Prof. Dr. Erica Lilleodden für die Übernahme der Verantwortung für das Fraunhofer IMWS ab dem 1. Februar 2022 gewinnen konnten.

Im zurückliegenden Jahr haben wir in Forschungsprojekten und in internen Strategieprozessen intensiv daran gearbeitet, die Ausrichtung des Instituts weiter zu schärfen und unsere Kompetenzen in Mikrostruktur und Erforschung des Materialverhaltens bedarfsgerecht auszubauen. Inhalte, Zielstellungen und Resultate aktueller Arbeiten auf diesem Wege finden Sie auf den folgenden Seiten. Die Beispiele belegen, dass der Wert der Beiträge, die Fraunhofer für seine Auftraggeber leistet, nicht allein in Innovation und Kreativität besteht. Zunehmend rücken auch Zukunftsthemen in den Brennpunkt, die auf Nachhaltigkeit und Technologiesouveränität in der Gesellschaft oder auf die Resilienz von Unternehmen abzielen. Auch in diesem Kontext zählen die Inbetriebnahme unseres Erweiterungsbaus am Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ in Schkopau, die Mitarbeit in führenden europäischen Konsortien zur Entwicklung besonders zuverlässiger elektronischer Komponenten oder das neue Fraunhofer-Leitprojekt »Waste4Future« zu den herausragenden Aktivitäten im Jahr 2021. Der Start des Hydrogen Labs Leuna HLL war ein wichtiger Meilenstein für die großtechnischen Aktivitäten zur Wasserstoffelektrolyse, die seit 2022 unter dem Dach des Fraunhofer-Instituts für Windenergiesysteme IWES koordiniert werden, während wir am Fraunhofer IMWS unsere Kompetenzen auf zuverlässige Materialien für die Wasserstoffwirtschaft konzentrieren.

Dass wir 2021 dabei aber gleichzeitig erneut ein sehr positives wirtschaftliches und finanzielles Ergebnis erzielen konnten, ist im zweiten Jahr der Pandemie keine Selbstverständlichkeit. Ich bin froh, dass die neue Institutsleiterin damit ein gut bestelltes Haus vorfindet und die weitere Entwicklung in gesicherten Bahnen laufen kann. Ebenso froh bin ich, dass wir in den vergangenen Jahren kontinuierlich auf Ihr Vertrauen als unsere Auftraggeber und Partner setzen durften, sodass unser Fraunhofer-Institut 2022 sein 30-jähriges erfolgreiches Bestehen feiern kann. Auch dies ist nicht selbstverständlich, und so möchte ich mich dafür auch an dieser Stelle bei allen Kunden, Zuwendungsgebern, wissenschaftlichen Einrichtungen sowie bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ganz herzlich bedanken. Gleichzeitig bin ich sehr sicher, dass unser Institut unter der neuen Leitung von Frau Prof. Lilleodden – gemeinsam mit Ihnen allen – diese Entwicklung fortsetzen und erfolgreich ausbauen wird.

Prof. Dr. Matthias Petzold

# Inhalt



<b>Grußwort</b> .....	1	<b>Biologische und makromolekulare Materialien</b> .....	38
<b>Köpfe 2021</b> .....	4	Interview mit Geschäftsfeldleiter Priv.-Doz. Dr. Christian Schmelzer .....	39
<b>Institut in Zahlen</b> .....	6	Materialforschung für Dental Care .....	40
Haushalt .....	6	Kollagenfaser-Beschichtungen von Implantatkunststoffen verbessern Biokompatibilität .....	42
Personalentwicklung .....	7	Verbesserte Schutzmasken durch integrierten Ansatz für innovative Schutztextilien .....	43
<b>Werkstoffe und Bauelemente der Elektronik</b> .....	8	<b>Anwendungszentrum für Anorganische Leuchtstoffe</b> .....	44
Interview mit Geschäftsfeldleiter Frank Altmann .....	9	Interview mit Geschäftsfeldleiter Prof. Dr. Stefan Schweizer .....	44
Leistungselektronik optimiert für Offshore-Windkraftanlagen .....	10	Infrarot-Thermografie zur Analyse des Wärmeleitweges .....	45
Daten-Plattform für Kupfer-Legierungen .....	12	<b>Gerätebau und Konstruktion</b> .....	46
Forschungsprojekte für vertrauenswürdige Elektronik .....	13	Interview mit Gruppenleiter Andreas Krombholz .....	46
<b>Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP</b> .....	14	Schneller gesund nach einem Sturz: App soll Versorgung bei Beckenring-Fraktur verbessern .....	47
Interview mit Geschäftsfeldleiter Prof. Dr. Ralph Gottschalg .....	15	<b>Nachruf</b> .....	48
Strombasiertes Reparaturverfahren für neue Solarzell-Technologien .....	16	<b>Kuratorium</b> .....	49
Materialanalyse von Oberflächen mittels Laser-Induzierter Plasmaspektroskopie .....	18	<b>Organigramm</b> .....	50
Farbige Solarmodule in Gebäudefassaden für verbesserte Energiebilanzen .....	19	<b>Preise und Ehrungen</b> .....	51
<b>Optische Materialien und Technologien</b> .....	20	<b>Veröffentlichungen</b> .....	52
Interview mit Geschäftsfeldleiter Prof. Dr. Thomas Höche .....	21	<b>Patente und Dissertationen</b> .....	54
Sub-Nanometer-Auflösungsanalyse von optischen Bauelementen .....	22	<b>Technische Ausstattung</b> .....	55
Vereinfachung von Probenpräparation mittels fokussierender Ionenstrahltechnik .....	23	<b>Veranstaltungen</b> .....	56
<b>Wasserstoff-Technologien</b> .....	24	<b>Vernetzung</b> .....	57
Interview mit Geschäftsfeldleiterin Dr.-Ing. Sylvia Schattauer .....	25	<b>Mission</b> .....	58
Hydrogen Lab Leuna hat Betrieb aufgenommen .....	26	<b>Kernkompetenzen</b> .....	59
Leitfaden zur Wasserstoffsicherheit .....	28	<b>Hochschulpartnerschaften</b> .....	60
Internationale Logistik für den Import von grünem Wasserstoff .....	29	<b>Nachhaltigkeitsbericht</b> .....	61
<b>Kohlenstoff-Kreislauf-Technologien</b> .....	30	<b>Ausblick</b> .....	62
Interview mit Geschäftsfeldleiter Prof. Dr. Martin Gräbner .....	30	<b>Impressum</b> .....	64
Vom Abfall zum Rohstoff: »Waste4Future« ebnet neue Wege für Kunststoff-Recycling .....	31		
<b>Polymeranwendungen</b> .....	32		
Interview mit Geschäftsfeldleiter Prof. Dr. Peter Michel .....	33		
Leichtbau, Industrie 4.0 und Reifen als Zukunftstechnologien .....	34		
RUBIO gibt Bio-Booster für die Kunststoff-Industrie in Mitteldeutschland .....	36		
Optimierung von Carbonfasern für den Einsatz in UD-Tapes .....	37		

# Köpfe 2021

Dr. Juliana Martins-Schalinski eröffnete im August die digitale Veranstaltungsreihe »Materials Insights 20|21«. In insgesamt elf Sessions präsentierte das Fraunhofer IMWS darin aktuelle Forschungs-Highlights in kompakter Form. ▼



Institutsleiter Prof. Dr. Matthias Petzold (rechts) und der ehemalige Institutsleiter Prof. Dr. Dieter Katzer (Mitte) überbrachten die Grüße des Fraunhofer IMWS – und einen Weinstock als Präsent – zum 50. Jubiläum des Fraunhofer IWM in Freiburg. ▼



▲ Sachsen-Anhalts Ministerpräsident Dr. Reiner Haseloff besucht den Kubus auf der EinheitsEXPO in der Innenstadt von Halle (Saale). 36 Schülerinnen und Schüler hatten dafür mit Legosteinen ihr »Revier der Zukunft« gebaut. Das Fraunhofer IMWS zeigte zum Tag der Deutschen Einheit dort das Hydrogen Lab Leuna (HLL) als Lego-Modell.



▲ Dr. Stephan Großer vom Fraunhofer CSP engagiert sich ehrenamtlich im Schülerlabor für Elektronenmikroskopie. Der außerordentliche Lernort soll Schülerinnen und Schüler für MINT-Fächer begeistern und hat 2021 neue Räume am Weinberg Campus in Halle (Saale) bezogen.



◀ Das »Feminin Science Camp« der Hochschule Merseburg war im August zu Gast am Fraunhofer IMWS. Die Schülerinnen informierten sich unter anderem zu Forschung für bessere Zahnpflege und neuen Anwendungsmöglichkeiten für Photovoltaik. Hier präsentiert Patrick Diehle die Einsatzmöglichkeiten der Elektronenmikroskopie.

Stephan Hensel ist Teil des Teams, das am Fraunhofer CSP eine industriennahe Plattform entwickelt hat, mit der sich statistische Qualitätskontrolle sowie neue Ansätze zu daten-basierten Prozessanalysen für die messdatenbasierte Prozesssteuerung in der Photovoltaik-Industrie 4.0 kombinieren lassen. ▼



Eine Million Kilogramm Organosandwichs hat unser Kooperationspartner ThermHex Waben GmbH im Jahr 2021 verkauft. Das Leichtbaumaterial besteht aus zwei sehr dünnen, hochbelastbaren Deckschichten und einem Wabenkern. Hier begutachtet unser Mitarbeiter André Henkel ein Demonstratorbauteil. ▶



▲ Einen neuen Ansatz für die verbesserte Effizienz von lumineszierenden Boratgläsern und -glaskeramiken als temperaturstabile Lichtkonverter hat Dr. Charlotte Rimbach am Fraunhofer-Anwendungszentrum (AWZ) für Anorganische Leuchtstoffe in Soest in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Südwestfalen entwickelt.



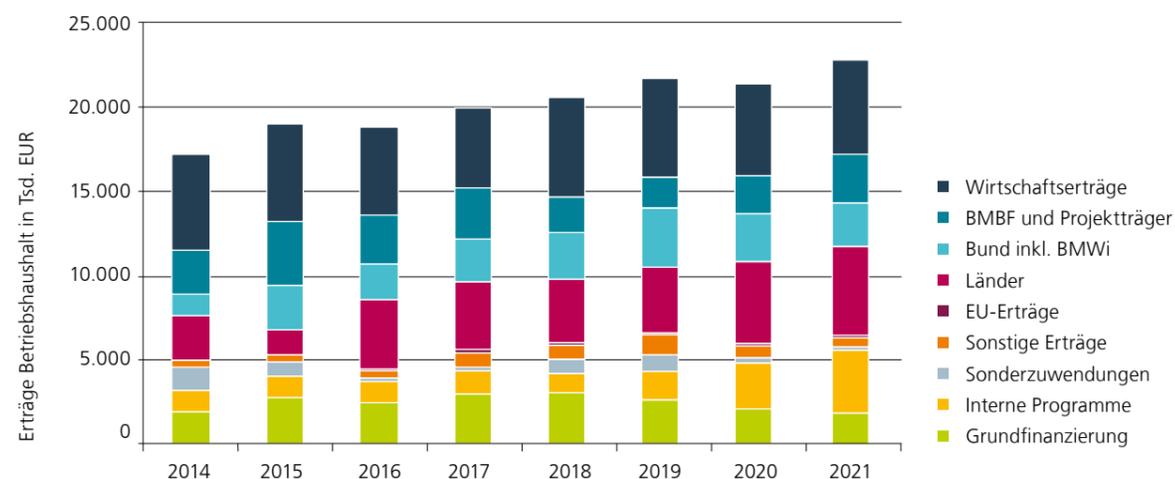
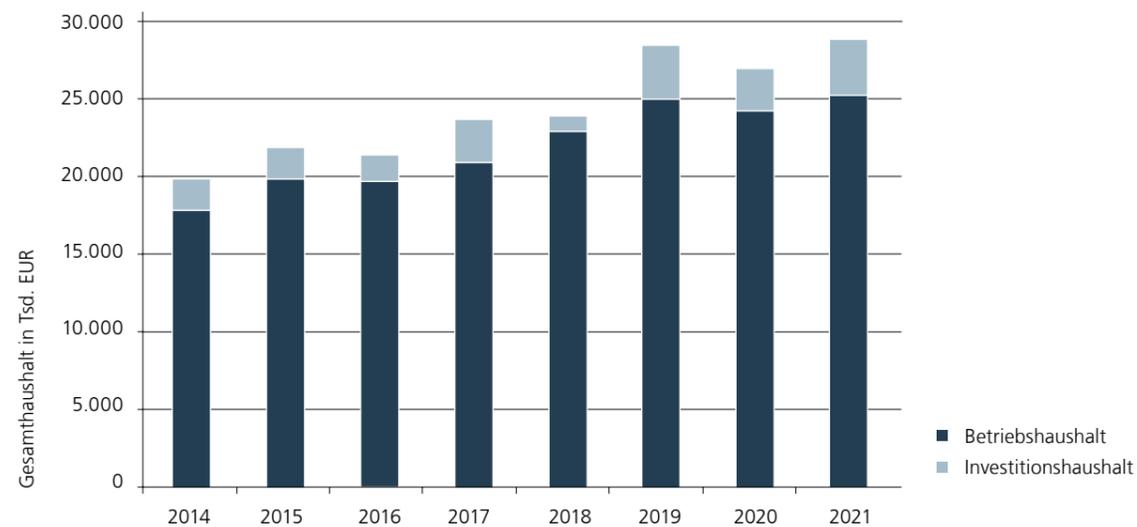
◀ Dr. Klemens Ilse (Zweiter von rechts) begrüßte im Oktober eine Delegation aus Südkorea. Im Rahmen der Germany-Korea Hydrogen Conference wurde auch ein Memorandum of Understanding unterzeichnet.

# Institut in Zahlen

## Haushalt

Der Haushalt des Fraunhofer IMWS setzt sich zusammen aus einem Betriebshaushalt und einem Investitionshaushalt. Der Betriebshaushalt des Fraunhofer IMWS belief sich im Jahr 2021 auf 25,1 Millionen Euro. Im Betriebshaushalt sind alle Personal- und Sachaufwendungen enthalten.

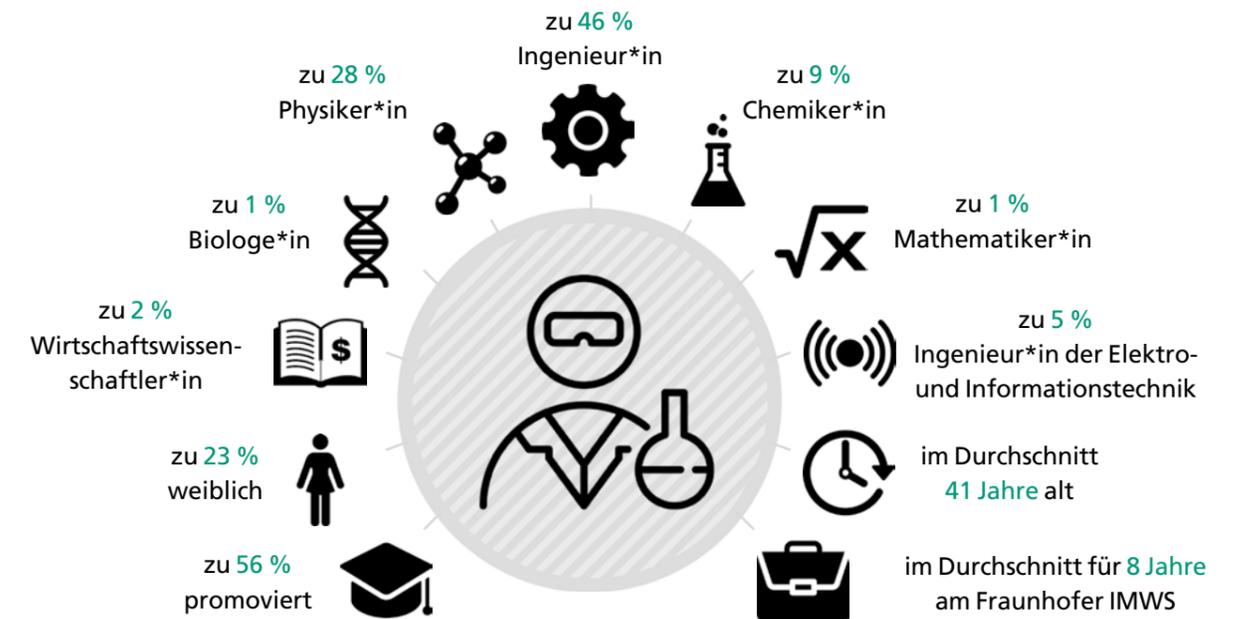
Er wird finanziert durch externe Erträge aus Industrie und öffentlicher Hand und durch institutionelle Förderung (Grundfinanzierung). Der Anteil der Industrieerträge am Betriebshaushalt 2021 liegt bei 24,6 Prozent. Der Investitionshaushalt 2021 beträgt 3,7 Millionen Euro.



## Personalentwicklung

Ende 2021 sind am Fraunhofer IMWS insgesamt 260 Mitarbeitende als Stammpersonal beschäftigt. Dazu gehören 110 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Einschließlich der Auszubildenden, wissenschaftlichen Hilfskräften sowie Praktikantinnen und Praktikanten umfasst die Belegschaft des Instituts 346 Personen.

### Wissenschaftliches Personal am Fraunhofer IMWS ist ...



# Werkstoffe und Bauelemente der Elektronik

## Ausgewählte Forschungserfolge

Leistungselektronik optimiert für Offshore-Windkraftanlagen .....	10
Daten-Plattform für Kupfer-Legierungen .....	12
Forschungsprojekte für vertrauenswürdige Elektronik .....	13

# Effiziente Methoden der Fehlerdiagnostik sind enorm wichtig

## Interview mit Geschäftsfeldleiter Frank Altmann

### Was waren Highlights 2021 für Ihr Geschäftsfeld?

Mich hat sehr gefreut, dass wir innerhalb sich rapide verändernder Rahmenbedingungen wieder wichtige Beiträge für unsere Auftraggeber leisten konnten, sowohl in öffentlich geförderten, internationalen Konsortien als auch im Rahmen der Auftragsforschung mit vielen Bauelemente- und Diagnostikgeräteherstellern. Wenn man bedenkt, was sich seit 2019 alles geändert hat – neues Gebäude, neue Geschäftsfeldleitung, Arbeit unter Pandemie-Bedingungen – war 2021 ein Jahr der erfolgreichen Konsolidierung.

### Zuletzt war häufig von der Mikrochip-Krise die Rede. Wie schätzen Sie das ein? Und wie kann das Fraunhofer IMWS zu einer Lösung beitragen?

Zunächst zeigt dieser Begriff die große Halbleiter-Nachfrage insbesondere in den Marktsegmenten Automotive, Industrieanlagen, Energie, Kommunikations- und Computertechnik. Aufgrund der Lieferengpässe steigt der Druck, alternative, weniger qualifizierte Hersteller mit ins Boot zu nehmen. Hier wird unsere Arbeit in der Fehlerdiagnostik und Zuverlässigkeitsbewertung der Bauteile und zunehmend auch die Überprüfung von Lieferketten hinsichtlich Fälschungen umso wichtiger. Auch die enorm kurzen Entwicklungszyklen spielen hier eine Rolle, dort sind unsere Kompetenzen beim Blick auf die Material- und

Prozessqualifizierung und Qualitätssicherung ebenfalls ganz entscheidend.

### Wie genau sieht das F&E-Angebot Ihres Geschäftsfelds für Unternehmen aus?

Mit unseren Kompetenzen und analysetechnischen Möglichkeiten können wir innovative Lösungen für die Verbesserung der Zuverlässigkeit und Qualitätssicherung von elektronischen Bauteilen anbieten. Basis dafür ist unsere breit aufgestellte und sehr leistungsfähige Fehlerdiagnostik, mit der wir die gesamte Elektronik-Zuliefererkette vom Halbleiter bis zur Baugruppe und Systemebene abdecken. Wir können beispielsweise prozess- und einsatzbedingte Ausfallrisiken erkennen und Potenziale und Grenzen neu eingesetzter Bauelementdesigns, Materialien und Herstellungstechnologien bewerten.

### Was erwarten Sie für 2022?

Das Thema vertrauenswürdige Elektronik gewinnt enorm an Bedeutung, hier sind wir beispielsweise bereits im Plattformprojekt »Velektronik« aktiv. Auch der Einsatz von KI-Methoden zur Automatisierung und damit Effizienzsteigerung der Fehlerdiagnostik insbesondere für komplexe Fehlermodi wird zunehmen. Ich bin gespannt auf den weiteren Fortschritt unserer Projekte »Failure Analysis 4.0« und »Intelligent Reliability 4.0«.



### Autor

Frank Altmann  
Geschäftsfeldleiter  
»Werkstoffe und Bauelemente der Elektronik«  
Tel. +49 345 5589-139  
frank.altmann@  
imws.fraunhofer.de

# Leistungselektronik optimiert für Offshore-Windkraftanlagen

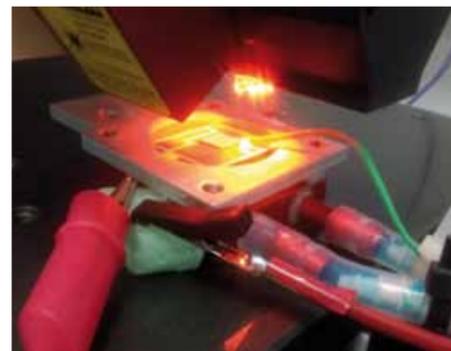
Komponenten für Einsatz in rauen Umgebungen entscheidend verbessert

die Lebensdauer der Komponenten steigt um **50%**

Leistungselektronik sorgt in Windkraftanlagen dafür, dass die fluktuierend erzeugte Energie gleichmäßig ins Netz eingespeist wird. Die dabei eingesetzten Materialien und Komponenten sind extremen Belastungen ausgesetzt. Gemeinsam mit Partnern hat das Fraunhofer IMWS einen Ansatz für deutlich robustere Lösungen entwickelt. Die auf einem Megawatt-Prüfstand getesteten neuen Komponenten vom Chip bis zur Systemebene verringern Schaltverluste, verbessern Leistungsdichte und Zuverlässigkeit und ermöglichen eine um 50 Prozent gesteigerte Lebensdauer.

Mehr als ein Viertel des in Deutschland erzeugten Stroms stammt mittlerweile aus Windenergie. Ein erheblicher Teil wird dabei auf hoher See (Offshore) erzeugt. Um die dabei eingesetzten Windkraftanlagen noch effizienter und robuster zu machen, haben die Infineon Technologies AG, SEMIKRON Elektronik GmbH & Co. KG, Freqcon GmbH, nano-Analytics GmbH und das Fraunhofer IMWS in einem gemeinsamen Forschungsprojekt die in Offshore-Windkraftanlagen eingesetzten Komponenten der Leistungselektronik entscheidend verbessert.

Leistungselektronik hat in Windkraftanlagen eine zentrale Aufgabe: Je stärker der Wind weht, desto höher sind die Drehzahlen des Rotors und die im Generator erzeugte



*Laser-Triangulationsmessung der Oberflächenverformung eines Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBT) unter thermischer Belastung. Diese Methode zur Verformungsmessung ermöglicht die Ermittlung der intrinsischen und thermomechanischen Spannungen im Halbleiter und der Fügeverbindung nach dem Sinter- und Lötprozess.*

Spannung. Leistungshalbleiter gleichen diese Schwankungen aus und sorgen für eine gleichmäßige Energieübertragung ins Stromnetz. Die eingesetzten Komponenten werden durch die bei den Schaltvorgängen entstehende Wärme, externe Temperaturwechsel, Feuchte, Salz, hohe Spannungen sowie mechanische Kräfte extrem belastet. Defekte an Leistungsmodulen sind deshalb häufig an Ausfällen von Windkraftanlagen beteiligt, was entsprechende Ertragsverluste und Wartungskosten mit sich bringt.



*Die Komponenten von Offshore-Windkraftanlagen sind extremem Stress ausgesetzt.*

Der Ansatz der Projektpartner ermöglicht Optimierungen in vielfältigen Bereichen, etwa der Energieeffizienz durch die Reduzierung von Schaltverlusten bei gleichzeitiger Steigerung der Leistungsdichte und Zuverlässigkeit. Er unterstützt die Netzstabilität und steigert die Widerstandsfähigkeit der Anlagen gegenüber Umwelteinflüssen wie Feuchte und Salz. Die Lebensdauer der Komponenten kann damit von 20 auf 30 Jahre erhöht werden, was die Kosten des Gesamtsystems erheblich senkt.

Das Fraunhofer IMWS brachte dabei vor allem seine Kompetenzen zur Werkstoffcharakterisierung ein und entwickelte verbesserte Methoden für die Materialprüfung der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT), sowohl für die eingesetzten Halbleiterbauelemente wie Transistoren und Dioden als auch für die verschiedenen Kontaktierungskonzepte der Halbleiterchips. Nur mit gezielten Diagnostikverfahren und Analysemethoden lassen sich die Zuverlässigkeits- und Materialeigenschaften bewerten und sehr zeitig Defektmechanismen und Fehlerrisiken identifizieren. Damit können die Bauteile später den Beanspruchungen beim Einsatz in Windenergieanlagen über möglichst lange Nutzungszeiträume standhalten, in denen sie hunderttausende thermische und elektrische Zyklen durchlaufen müssen.

Dabei wurden Methoden der hochauflösenden, nanoanalytischen Materialcharakteri-

sierung wie Rasterelektronen- (REM) und Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) eingesetzt, zudem wurde die Anwendbarkeit neuer Ansätze der akustischen Mikroskopie als zerstörungsfreie Alternative für die Defektanalyse untersucht. So konnten im Projekt schrittweise Materialien und Herstellungsverfahren für neue Kontaktsysteme sowie die darauf aufbauenden Leistungsmodule ausgewählt werden, die keine mikrostrukturellen Defekte wie Hohlräume (Voids), Delaminationen, Diffusionsmechanismen oder Risse mit sich bringen. Zugleich wurden neue Präparationsverfahren für die morphologische und chemische Analytik der Grenzflächenprozesse in den Fügeverbindungen entwickelt und gemeinsam mit den Partnern ein Fehlerkatalog für die identifizierten Defektmechanismen formuliert.

Schwerpunkte der Arbeiten der Partner waren beispielsweise die Entwicklung von beidseitig gesinterten Systemen anstelle von Drahtbond- und Lötverbindungen, um höhere Chiptemperaturen möglich zu machen, die Verbesserung der Modulkühlung im System oder die Weiterentwicklung korrosionsbeständiger Chip-Randabschlüsse. Entwicklungsbegleitend konnte so ein tiefgreifendes Verständnis für gesinterte Leistungselektroniksysteme auf Basis der neuen Kontaktmaterialsysteme entwickelt werden, was elementar für die Reduzierung von Defekten und Zuverlässigkeitsrisiken ist.

## Autorin

**Bianca Böttge**  
Teamleiterin  
»Leistungselektronik«, Gruppe  
»Bewertung elektronische Systemintegration«  
Tel. +49 345 5589-224  
bianca.boettge@imws.fraunhofer.de

# Daten-Plattform für Kupfer-Legierungen

Eine Plattform mit Daten zu Kupfer-Legierungswerkstoffen entlang des gesamten Lebenszyklus möchte das Fraunhofer IMWS gemeinsam mit Partnern im Projekt »KupferDigital« bereitstellen.

Für die Entwicklung neuer Kupferlegierungen, eine effizientere Nutzung des Metalls sowie bessere Möglichkeiten zum Recycling bietet die Digitalisierung erhebliche Chancen. Diese möchte das Fraunhofer IMWS gemeinsam mit Partnern im Projekt »KupferDigital« erschließen. Das Konsortium setzt auf öffentlich frei zugängliche Ontologien, also auf eine formal geordnete Repräsentation von Daten und der zwischen ihnen bestehenden Beziehungen, um Forschungs-, Produktions- und Prozessdaten zu beschreiben. Daten zwischen den Partnern maschinenverständlich auszutauschen, wird Entwicklungszyklen für neue Legierungen und Produkte, aber auch für Fehlerdetektion erheblich beschleunigen.



Werkstoffdaten. Das Fraunhofer IMWS betreut dabei das Teilvorhaben »Mikrostruktur und Eigenschaftskorrelation« und bringt dabei bei-

Die mittels Ontologien verknüpften Daten verbinden Werkstoffcharakterisierung, Legierungsentwicklung, Performance und Lebensdauer bis hin zum Recycling. Das ermöglicht eine beschleunigte Materialentwicklung sowie die Analyse ganzer Produktkreisläufe, um diese sowohl nachhaltiger als auch produktiver zu gestalten – bei voller Datensouveränität.

Der »digitale Materialwilling« soll Material-, Prüf-, Produktionsprozess-, Simulations- und Recycling-Daten berücksichtigen, die den gesamten Lebenszyklus kupferbasierter Werkstoffe umfassen. Voraussetzung für die Entwicklung einer geeigneten Ontologie und eines leistungsfähigen Daten-Ökosystems in einem virtuellen Materialdatenraum sind eine geeignete Struktur der Daten und Metadaten sowie eine Systematisierung des Umgangs mit hierarchischen, prozessabhängigen

spielsweise seine Expertise zur systematischen Mikrostrukturanalyse, theoretischen Finite-Elemente-Modellierung sowie mechanischer und normkonformer Charakterisierung von Kupfer und Kupferlegierungen in den digitalen Datenraum ein.

Anhand des entstehenden Datenraums lässt sich beispielsweise simulieren, wie sich neue Legierungen über mehrere Skalen und Lebensabschnitte verhalten, was eine beschleunigte Entwicklung von neuen Legierungen mit signifikant anderen Eigenschaften verspricht. Der Energie- und Rohstoffverbrauch von Produktionsprozessen kann optimiert und Recyclingquellen und -routen können besser bewertet werden. Der Ansatz lässt sich auch auf andere Werkstoffe wie Stahl oder Aluminium übertragen.

## Autor

Robert Klengel  
Gruppe »Bewertung  
elektronischer  
Systemintegration«  
Tel. +49 345 5589-159  
robert.klengel@  
imws.fraunhofer.de

# Forschungsprojekte für vertrauenswürdige Elektronik

Um Elektronik sicher und zuverlässig einzusetzen, muss man nachvollziehen können, woher sie kommt, ob sie richtig funktioniert und dass keine Hintertüren für sogenannte Hardware-Trojaner eingebaut sind. Das Plattformprojekt »Velektronik« will hierfür neue Lösungskonzepte erarbeiten. Auch im Projekt »nanoEBeam« arbeitet das Fraunhofer IMWS an neuen Methoden zur Abwehr von Cyber-Attacken auf der Hardware-Ebene.

Eine zukunftsorientierte Gesellschaft muss sich auf elektronische Komponenten verlassen können – ob in kritischen Infrastrukturen, in der Industrie 4.0 oder bei medizinischen Geräten. Elektronik ist dann vertrauenswürdig, wenn sie allen unseren Erwartungen an die Funktionalität entspricht und gleichzeitig keine Hintertüren oder Schwachstellen für Angreifer und Manipulationen offenlässt. Ob dies wirklich der Fall ist, lässt sich aufgrund der komplexen und internationalen Wertschöpfungsketten bisher nicht immer eindeutig beantworten.

Im Projekt »Velektronik« wird gemeinsam von Forschungsinstituten und Unternehmen eine Vernetzungsplattform für vertrauenswürdige Elektronik für Deutschland aufgebaut. So sollen Lösungskonzepte für alle Bereiche der Elektronikentwicklung und -fertigung entstehen. Das Fraunhofer IMWS bringt seine Kompetenzen zur Materialdiagnostik und der Methodenentwicklung zur Überprüfung der Fälschungssicherheit und dem Nachweis von Hardware-Trojanern ein. So soll sich etwa durch die Evaluierung geeigneter Analyseverfahren für elektronische Komponenten verschiedener Integrationsstufen, die Erarbeitung qualifizierter Analyse-Workflows und den Nachweis technologiespezifischer Vertrauensmerkmale erkennen lassen, ob gefälschte Komponenten oder Backdoors eingeschleust



Um Elektronik sicher und zuverlässig einzusetzen, muss man nachvollziehen können, was sie macht und wie sie aufgebaut ist.

wurden, damit Unternehmen an späteren Stufen der Wertschöpfungskette dies erkennen können.

Im Projekt »nanoEBeam« werden ebenfalls Strategien gegen Hardware-Attacken entwickelt. Durch die Miniaturisierung von Technologieknoten unter 10 Nanometer stoßen die bisher von den Angreifern meist genutzten optischen Techniken an ihre Grenzen. Hochauflösende Abbildungstechniken bieten hier ganz neue Möglichkeiten, um Schwachstellen zu identifizieren und für Hackerangriffe ausnutzen zu können. Die Erkenntnisse des Projekts sollen dazu dienen, sich bei neuartigen, nanotechnologischen Bauelementen einen Wissensvorsprung vor den Angreifern zu sichern und zugleich Fehlerdiagnostikverfahren wie das E-Beam-Probing für die nächste Chip-Generation weiterzuentwickeln.

## Autor

Frank Altmann  
Leiter Geschäftsfeld  
»Werkstoffe und Bauelemente der Elektronik«  
Tel. +49 345 5589-139  
frank.altmann@  
imws.fraunhofer.de

# Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP

## Ausgewählte Forschungserfolge

- Strombasiertes Reparaturverfahren für neue Solarzell-Technologien . . . . . 16
- Materialanalyse von Oberflächen mittels Laser-Induzierter  
Plasmaspektroskopie . . . . . 18
- Farbige Solarmodule in Gebäudefassaden für verbesserte  
Energiebilanzen . . . . . 19

## »Wir haben die gesamte Wertschöpfungskette im Blick«

### Interview mit Geschäftsfeldleiter Prof. Dr. Ralph Gottschalg

#### Was waren Highlights 2021 für Ihr Geschäftsfeld?

Wir haben unsere technischen Möglichkeiten erneut erweitern können. Mit der industrienahe Mess- und Klassifizierungsplattform »MK4« können wir noch bessere Unterstützung für die Prozess- und Datenanalytik in der Hochleistungs-Photovoltaik-Produktion bieten. Im Projekt »Mon-KI« haben wir gezeigt, dass wir die Formel »KI + PV« sehr gut beherrschen und wie sich damit Zustandsanalyse und -vorhersage von PV-Systemen optimieren, Energieerträge besser berechnen und Wartungsarbeiten reduzieren lassen. Wir haben mit LIBS und Thermo-GCMS Methoden zur Materialbestimmung und -quantifizierung etabliert, die auch Additive in Polymeren quantifizieren können.

#### Welche F&E-Angebote können Unternehmen in der Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer CSP nutzen?

Unser Kerngeschäft ist die Unterstützung der Photovoltaik-Industrie bei der Qualitätskontrolle sowie der Optimierung ihrer Produkte hinsichtlich Leistung, Lebensdauer und Zuverlässigkeit. Wir können Empfehlungen zur Materialauswahl geben, Produktionsprozesse optimieren sowie bei Installation, Betriebsführung und IP-Konflikten beraten. So lassen sich Risiken vermeiden und damit Erträge optimieren. Wir verfügen über eine exzellente technische Ausstattung in der Diagnostik und Metrologie von Solarzellen, der Fehlerdiagnostik und der Ursachenaufklärung von Defekten und Degradationsprozessen und außerdem für

die Polymer- und chemische Analytik sowie die Bewertung und Automatisierung von Prozessen.

#### Zuletzt wurden die Klimakonferenz in Glasgow und die Ziele der neuen Bundesregierung als Neustart für die Energiewende bezeichnet. Welche Rolle kann Photovoltaik dabei spielen?

Die Energie für eine grüne Stromversorgung und neue Anwendungen wie Elektromobilität, Wärmepumpen und grünen Wasserstoff zur Verfügung zu stellen, ist nur mit einem stark beschleunigten Ausbau der PV möglich. Ein nachhaltiges Energiesystem braucht eine gute Qualitätssicherung. Hier können wir die Industrie unterstützen.

#### Was erwarten Sie für 2022?

Wir haben viele Ideen, wie wir mit unserem Know-how dazu beitragen können, bestehende PV-Anlagen werthaltig zu optimieren. Ich erwarte auch ein Fortschreiten der Internationalisierung unseres Geschäfts, wofür wir durch unsere bestehenden Netzwerke, die Kooperationen mit Hochschulen, die Mitarbeit an Industrierichtlinien im Europäischen Industrieverband Solar Power Europe oder die Mitwirkung an der neuen Datenplattform »PV Camper« sehr gut aufgestellt sind.



#### Autor

Prof. Dr. Ralph Gottschalg, PhD  
Geschäftsfeldleiter am  
Fraunhofer CSP  
Tel. +49 345 5589-5001  
ralph.gottschalg@  
csp.fraunhofer.de

# Strombasiertes Reparaturverfahren für neue Solarzell-Technologien

## Serienwiderstand von kristallinen Solarzellen senken und damit den Wirkungsgrad steigern

Die nächste Generation von Solarzellen wird erheblich zu einer nachhaltigen Stromversorgung im weltweiten Maßstab beitragen. Für aktuelle Technologien wie PERC (Passivated emitter and rear cell), die dabei im Fokus stehen, hat ein Team des Fraunhofer-Centers für Silizium-Photovoltaik CSP jetzt einen Wirkmechanismus erforscht, mit dem Hochleistungszellen optimiert werden können.

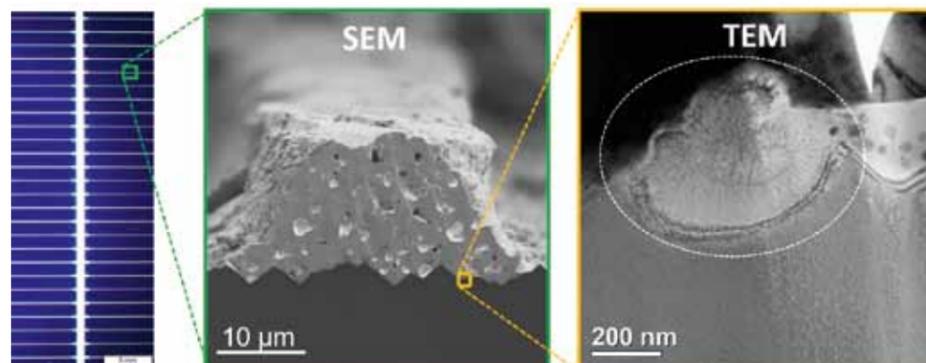
PERC steht für Passivated emitter and rear cell, also für Zellen mit passivierter Emitter- und Rückseite. Diese ermöglichen eine größere Lichtausbeute im hinteren Bereich der Zelle und damit einen höheren Stromertrag. Die PERC-Technologie dominiert derzeit den Markt, kann in günstiger Massenproduktion

umgesetzt werden und ermöglicht eine noch leistungsfähigere Photovoltaik.

Da die hocheffizienten Solarzellen neuer Generationen noch nicht so gut erforscht sind wie seit Jahrzehnten etablierte Standardtechnologien, können damit auch neue Fehlerursachen, Degradationsprozesse oder Versagensrisiken einhergehen. Das Team der Gruppe »Diagnostik und Metrologie« am Fraunhofer CSP will dafür frühzeitig Lösungen schaffen. Im kürzlich abgeschlossenen Projekt war dafür die CE Cell Engineering GmbH mit an Bord, die sich auf Technologien und Prozesse für die Optimierung von kristallinen Solarzellen spezialisiert hat.

Gemeinsam haben die Projektpartner ein neues Verfahren für Solarzelltechnologien

Im Projekt konnten Leistungsverluste, die im Bereich hochohmiger Kontakte auftreten, mit Hilfe des LECO-Verfahrens deutlich reduziert und der zugehörige Wirkmechanismus auf Mikrostrukturebene aufgeklärt werden. Die Abbildungen zeigen Details der Kontaktstellen mittels Rasterelektronenmikroskopie (SEM) und Transmissionselektronenmikroskopie (TEM).



Mit einer speziellen Testplattform hat das Forschungsteam fehlerhafte Halbleiter-Metall-Kontakte untersucht.

erprobt, wobei sie vor allem darauf abzielten, den Serienwiderstand kristalliner Solarzellen zu senken und damit den Wirkungsgrad zu steigern. Die Kontaktierung von Oberflächenstrukturen (Emittieren) von Solarzellen mit hohem Schichtwiderstand ist derzeit technisch möglich, aber aufwendig. Der Serienwiderstand der Kontaktstruktur auf der Solarzelle steigt durch hohe Kontaktwiderstände an, was die Effizienz einer Solarzelle deutlich reduziert. Im Projekt haben die Partner hingegen den Serienwiderstand durch den Einsatz von Laser-unterstützter Strombehandlung senken und das Wirkprinzip aufklären können.

Gegenstand der Untersuchungen waren fehlerhafte Halbleiter-Metall-Kontakte in den Zellen, bei denen es zu einer unzureichenden elektrischen Kontaktbildung zwischen Metall und Halbleiter kam. Das Team testete, ob und inwiefern der Einsatz von Laser-unterstützter Strombehandlung an den Kontaktstellen die Leistungsfähigkeit der Solarzellkontakte verbessert. Durch Aufklärung der Mikrostruktur konnte der bisher unbekannte physikalische Wirkmechanismus der Kontaktbildung durch das Laser Enhanced Contact Optimization-Verfahren, auch LECO-Prozess genannt, am Interface zwischen dem Metall und dem Siliziumwafer identifiziert werden.

Der LECO-Prozess stellt einen nachgeschalteten Prozess dar, der die Metall-Halbleiter-Kontakte verbessert und somit die Ausbeute der Produktion erhöht. Die Optimierung der Kontakte findet durch eine Vielzahl von mikroskopisch kleinen Strom-gefeuerten Kontaktpunkten statt, die einen sehr geringen Serienwiderstand zwischen dem metallischen Silber-Kontaktfinger und dem dotierten Siliziumwafer ermöglichen.

Die Forschenden am Fraunhofer CSP meldeten zudem neuartige Methoden zur elektrischen Charakterisierung und Bewertung von LECO-Prozessparametern zur Patentierung an. Die durchgeführten Untersuchungen der Stabilität der Solarzellen zeigten, dass das angewendete LECO-Verfahren zu keiner Schädigung der Solarzellen führte.

F&E-Aktivitäten bilden einen wichtigen Bestandteil zur Effizienzerhöhung von Solarzellen und somit zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Solarenergie und somit zur Einsparung von CO<sub>2</sub>. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sind ein hilfreicher Baustein zur Entwicklung und Herstellung innovativer Maschinenteknik für den Weltmarkt.

### Autor

Dr. Stephan Großer  
Teamleiter »c-Si-Defekt-  
diagnostik«,  
Gruppe  
»Diagnostik und  
Metrologie«  
Tel. +49 345 5589-5112  
stephan.grosser@  
imws.fraunhofer.de

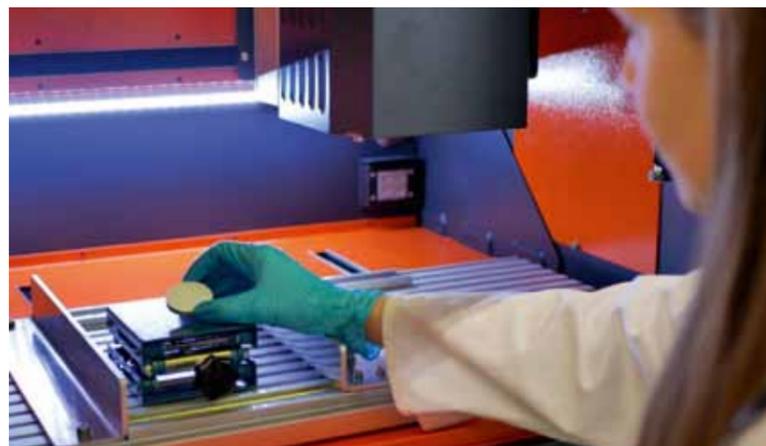
# Materialanalyse von Oberflächen mittels Laser-Induzierter Plasmaspektroskopie

Die Laser-Induzierte Plasmaspektroskopie, auch als Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) bezeichnet, bietet als innovatives optisches Oberflächenanalyseverfahren ein breites Anwendungsspektrum.

Mit ihr ist es möglich, die Elementzusammensetzung fester, flüssiger oder gasförmiger Stoffe berührungslos zu bestimmen. Am Fraunhofer CSP wird die LIBS-Technologie in Kombination mit leistungsfähigen Auswertungsalgorithmen eingesetzt, um sehr schnell präzise Multi-Elementanalysen durchzuführen.

Die Anwendungsmöglichkeiten des spektroskopischen Messverfahrens LIBS für die qualitative und quantitative Elementanalyse sind vielfältig und reichen von grundlagenorientierter Elementanalytik im Vakuum bis hin zur Klassifizierung von Rohstoffen für das Recycling. Das Prinzip basiert dabei auf der spektralen Analyse elementspezifischer Emissionslinien. Ein hochenergetischer Kurzpuls-Laserstrahl schlägt eine winzige Menge, typischerweise wenige  $\mu\text{m}$ , aus der Probenoberfläche heraus, woraufhin sich unter lokaler Erwärmung von bis zu  $10.000\text{ }^\circ\text{C}$  ein Licht emittierendes Plasma bildet. Das Plasma leuchtet mit einem materialspezifischen Lichtspektrum, wobei die spektrale Verteilung des Lichtes unmittelbar in Echtzeit aufgenommen wird. Aus diesen Daten kann die exakte Elementverteilung am Messpunkt bestimmt werden.

Seit 2019 wird LIBS am Fraunhofer CSP erfolgreich für die Analyse von Elementgehalten und Verteilungen eingesetzt. Die Forscherinnen und Forscher unterstützen Kunden und Partner aus der Industrie sowie öffentliche Auftraggeber mit ihrer Expertise im Bereich der Plasmaspektroskopie und helfen bei der Kontrolle von Beschichtungsprozessen, der Optimierung von Recyclingvorgängen oder bei



Die leistungsfähigen Auswertungsalgorithmen des LIBS-Systems ermöglichen schnelle und präzise Analysen zu Vorkommen und Konzentrationen der Elemente im Messfleck der untersuchten Probe.

der Entwicklung von inline-fähiger Materialkontrolle. Sie nutzen dabei die Vorteile, die LIBS gegenüber konkurrierenden Methoden bietet: Die Analyse erfolgt berührungslos, der Probenabtrag ist gering und es ist kaum Probenvorbereitung notwendig.

Die Leistungsfähigkeit dieser Methode für die Ermittlung des Verlusts des Fluoranteils beim Schmelzen bioaktiver Gläser und Glaskeramiken hat das Fraunhofer CSP in einer Studie mit Mitarbeiterinnen des Otto-Schott-Instituts für Materialforschung nachgewiesen. Bei den Analysemethoden fiel die Auswahl auf LIBS, weil diese Methode die Fluor-Quantifizierung mit reduzierter Analysezeit und mit einer hohen räumlichen Auflösung ermöglicht.

## Autorin

Stefanie Wahl  
Gruppe »Materialien und Prozesse«  
Tel. +49 345 5589-5122  
stefanie.wahl@imws.fraunhofer.de

# Farbige Solarmodule in Gebäudefassaden für verbesserte Energiebilanzen

Photovoltaikmodule leisten seit Jahren einen erheblichen Beitrag, um die Energiebilanz von Gebäuden zu verbessern. Nachdem die Kosten der Modul-Anschaffung rasant gefallen sind, werden neue Anforderungen an die Gestaltung und das Design von Solarmodulen gestellt.

Neue Ansätze verfolgt ein Gemeinschaftsprojekt des Fraunhofer CSP. Die Projektpartner wollen Farbgebungskonzepte für Fassaden-Solarmodule mit ästhetisch anspruchsvoller und individueller Gestaltbarkeit sowie reduzierten farbbedingten Energieertragseinbußen entwickeln.

Solarmodule auf einem Flachdach zu platzieren, hat zwei entscheidende Vorteile: Erstens ist dort die Sonneneinstrahlung am höchsten. Zweitens stören sie an dieser Position nicht den ästhetischen Gesamteindruck eines Gebäudes. Will man zusätzliche Flächen für die Gewinnung von Sonnenstrom erschließen, steigen die Anforderungen an die gestalterischen Möglichkeiten.

Das Gemeinschaftsprojekt »Lichtmanagement und Fertigungskonzepte für farbige Photovoltaikmodule in Gebäudefassaden« (Color PV) des Fraunhofer CSP, der Hohenstein Isolierglas GmbH und der Kogu Print & Werbetechnik GmbH & Co. KG setzt an diesem Punkt an. Ziel ist eine flexible Darstellung unterschiedlicher Designs auf Solarmodulen mit großer Farbauswahl und relativ hoher Auflösung, so dass auch die Darstellung fotorealistischer Bilder möglich wird. Im Gegensatz zu den meisten bisher für die Farbgebung von Solarmodulen untersuchten Technologien, die spektral selektive Beschichtungen nutzen und somit nur homogene, einfarbige Flächen mit stark begrenzter Farbauswahl ermöglichen, setzen die Projektpartner auf digitale Druckverfahren und den Mehrfarbendruck für



Abbildung links: Denkmalschutzkonforme Nachrüstung mit Photovoltaikmodulen als Anwendungsbeispiel für farbige Photovoltaikmodule. Abbildung rechts: Schwarze und farbige Photovoltaikmodule als nachgerüstete Fassade eines Wohnblocks in Halle-Neustadt (Fotomontage).

vielfältige Farbtöne sowie individuelle, semitransparente Farbdrucke (Kogu Print). Zudem soll das Potenzial spezieller interferenzbasierter Tinten mit hoher Lichttransmission für farbige PV-Module aufgezeigt und verschiedene Strukturierungs- und Laminationsprozesse optimiert werden.

Mit der Entwicklung einer farbigen, digital bedruckten Fassaden-Solarmodulfront mit hoher Lichttransmission im relevanten Spektralbereich eröffnen die Forschenden neue Möglichkeiten der Fassadengestaltung. Das Besondere bei der Bearbeitung des bis Januar 2022 laufenden Projekts ist die Abbildung einer vollständigen Wertschöpfungskette: Von der Folien- und Glasverarbeitung bis hin zum Digitaldruck und der Solarmodulfertigung.

## Autorin

Dr. Charlotte Pfau  
Gruppe »Diagnostik und Metrologie«  
Tel. +49 345 5589-5127  
charlotte.pfau@csp.fraunhofer.de

# Optische Materialien und Technologien

## Ausgewählte Forschungserfolge

- Sub-Nanometer-Auflösungsanalyse von optischen Bauelementen ..... 22
- Vereinfachung von Probenpräparation mittels fokussierender Ionenstrahltechnik ..... 23

## »Wir leben Disruption«

### Interview mit Geschäftsfeldleiter Prof. Dr. Thomas Höche

#### Was waren Highlights 2021 für Ihr Geschäftsfeld?

Es ist uns gelungen, sich ergebende Chancen zur strategischen Schärfung unseres Tuns systematisch zu nutzen. Wir haben sowohl den wissenschaftlichen Vorlauf geschärft als auch die Arbeit mit unseren industriellen Auftraggeber intensiviert. So können wir jetzt auf ein Portfolio zurückgreifen, das hoffentlich eine solide Basis für unsere zukünftige Entwicklung bilden wird. Mit den nun verfolgten, disruptiven Ansätzen sind mit dem Know-how und der Kreativität unseres Teams sowie der extrem leistungsfähigen, apparativen Ausstattung beste Voraussetzungen geschaffen, die Entwicklungserfolge, die wir unter anderem gemeinsam mit der 3D-Micromac AG mit dem Präparationstool microPREP™ PRO erzielt haben, in anderen Bereichen zu wiederholen.

#### Die Geräteentwicklung ist also neben der Auftragsforschung ein wichtiges Standbein des Geschäftsfelds geworden?

Sie bietet uns in jedem Fall eine sehr gute Gelegenheit, unsere methodischen Kompetenzen gemeinsam mit unseren Partnern direkt in Anwendungen zu bringen. Wenn ein Gerät wie die microPREP™ PRO weltweit Lösungen etablierter Player in den Schatten stellt, eine regelrechte »Community« entsteht und bei sehr vielen namhaften Unternehmen beispielsweise aus der Mikroelektronik-Branche zum Einsatz kommt, macht das sehr stolz und vermittelt das unbeschreibliche Gefühl, einen

echten Beitrag geleistet zu haben. So wird die Fraunhofer-Idee im besten Sinne greifbar.

#### Woher kommen Ihre Kunden und welche Vorteile haben Sie durch die Zusammenarbeit mit Ihrem Geschäftsfeld?

Unsere Auftraggeber kommen vor allem aus der optischen Industrie, dem Spezialmaschinenbau und der Lackindustrie. Sie nutzen unser Know-how in Forschung und Entwicklung vor allem in der Anwendung mikrostrukturdiagnostischer Analysetechniken. Unsere Mikrostrukturkompetenz liefert dabei eine wichtige Grundlage für die beschleunigte Entwicklung neuer Werkstoffe. Zunehmend wird auch unsere Erfahrung im Bereich der Materialentwicklung und mikrostrukturbasierter Prozessentwicklung nachgefragt.

#### Was erwarten Sie für 2022?

Ich freue mich auf die neue Institutsleitung, die ich als Mitglied der Berufungskommission bereits kennenlernen durfte. Im Geschäftsfeld wollen wir weiter disruptive Impulse setzen, um weiterhin innovative Lösungen für den Bedarf der Industrie zu entwickeln, oder diesen Bedarf gar zu schaffen.



#### Autor

Prof. Dr. Thomas Höche  
Geschäftsfeldleiter  
»Optische Materialien und  
Technologien«  
Tel. +49 345 5589-197  
thomas.hoeche@  
imws.fraunhofer.de

# Sub-Nanometer-Auflösungsanalyse von optischen Bauelementen

Viele Bauelemente komplexer optischer Systeme, wie hochreflektierende Laserspiegel oder Bandpassfilter, beruhen auf mehrlagigen Dünnschichtstrukturen. Mit modernen Verfahren der Oberflächenanalytik lässt sich die Beschaffenheit solcher Mehrschichtstapel aufklären. So werden Verunreinigungen oder unerwünschte Kristallisation vermieden und eine möglichst genaue Architektur der Strukturen und Homogenität der Schichten sichergestellt.

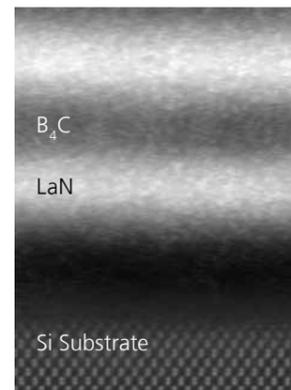
In mehrschichtigen Dünnschichtstrukturen für optische Bauelemente sind Materialien mit abwechselnd hohem und niedrigem Brechungsindex übereinandergestapelt. So lässt sich sehr genau steuern, wie viel Licht die einzelne Schicht durchdringt und wie viel reflektiert wird. Die einzelnen Schichten sind dabei in der Regel nur wenige Nanometer dick. Die steigende Nachfrage nach höheren Reflexionsgraden, längeren Lebenszyklen und Zugänglichkeit kürzerer Wellenlängenbereiche führt zu neuen Anforderungen an die Beschaffenheit der dünnen Schichten. Insbesondere ist eine höhere Reinheit der Dünnschichtmaterialien, eine sehr hohe Gleichmäßigkeit der Schichtdicken, eine Verringerung der Einzelschichtdicken und eine Erhöhung der Anzahl der Schichtpaare innerhalb des Stapels gefragt.

Um das möglich zu machen und bei neuen Prozessen und Anwendungen die nötige Qualität zu sichern, müssen auch die entsprechenden Analysetechniken für einen detaillierten Einblick in die Nanostruktur von Mehrschichtstapeln immer leistungsfähiger werden. Am Fraunhofer IMWS wurden mit einer Kombination aus analytischer hochauflösender Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) und Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektrometrie (ToF-SIMS) die Eigenschaften von EUV-reflektierenden Bauelementen untersucht, die

auf Mehrschichtstapeln aus La oder LaN und  $B_4C$  basieren.

Im TEM wurden sowohl der gesamte Stapel (Homogenitätsinformation) als auch einzelne Schichten bis in den sub-nm-Bereich (Schichtdickenbestimmung) abgebildet. Ein EDX-System für die Elementanalyse ermöglicht eine Kartierung der Elementverteilungen mit sub-nm-Genauigkeit, wobei sich auch prozessbedingte Veränderungen wie die Oxidation der obersten Schichten (etwa durch eine Wärmebehandlung) erkennen lassen. Die zusätzliche Analyse im ToF-SIMS erlaubt die Tiefenprofilierung von Element- und Verbindungsverteilungen mit sub-nm-Genauigkeit und sehr hoher Nachweisempfindlichkeit (Spurenanalyse), auch für den gesamten Stapel.

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass die Kombination dieser Methoden allen analytischen Anforderungen an die Untersuchung von Dünnschicht-Mehrschichten in optischen Bauelementen gerecht wird.



Mit der verbesserten Auflösung des aberrationskorrigierten STEM HF5000 wird in der Mikrostruktur La innerhalb von  $B_4C$  sichtbar.

## Autor

Dr. Christian Patzig  
Gruppe »Mikrostruktur optischer Materialien«  
Tel. +49 345 5589-192  
christian.patzig@imws.fraunhofer.de

# Verbesserte Probenpräparation mittels fokussierender Ionenstrahltechnik

Hochintegrierte mikroelektronische Schaltungen sind in einer Vielzahl von modernen Zukunftstechnologien verbaut. Für die Fehleranalyse solcher Bauteile hat sich unter anderem die fokussierende Ionenstrahltechnik (FIB) bewährt.

Autonomes Fahren, Smart Home und Künstliche Intelligenz sind nur einige Beispiele, für die mikroelektronische Schaltungen unabdingbar sind. Um Funktionalität und Zuverlässigkeit zu gewährleisten, werden die dabei eingesetzten Bauelemente während der Entwicklung, Fertigung und Einsatzkontrolle einer umfassenden mikrostrukturellen Charakterisierung unterzogen. Sie werden hierfür beispielsweise mithilfe der Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) analysiert, um selbst kleinste Defekte in den Dimensionen von zehn bis einigen hundert Nanometer erkennen zu können.

Erfolgsentscheidend ist dabei die Qualität der Proben, die meist mittels fokussierender Ionenstrahltechnik (FIB) aufwendig vorbereitet werden müssen: Der Ionenstrahl trägt dabei Material von der Probe ab, bis die zu untersuchende Stelle dünn genug ist, um mittels TEM untersucht werden zu können. Präzision und hohe Abtragsrate bei der FIB-Bearbeitung müssen dabei jedoch als Kehrseiten ein und derselben Medaille angesehen werden. Während Präzision üblicherweise durch einen räumlich stark begrenzten Strahl mit vergleichsweise wenig Strahlstrom realisiert wird, resultiert aus dem schlechteren Strahlprofil intensiver Ionenstrahlen eine verminderte Genauigkeit des Abtrags. Dies ist insbesondere für die Präparation von TEM-Lamellen kritisch.

Um dieses Paradoxon aufzulösen und zukünftig die Präparation von ausgedehnten elektronentransparenten Bereichen mit hohem Durchsatz an Proben zu ermöglichen, kooperieren das Fraunhofer IMWS und die point electronic GmbH

Dazu wird aktuell ein neuartiges Verfahren für die nanometergenaue Hochdurchsatz-Probenpräparation mittels fokussierter Ionenstrahltechnik erforscht. Die Grundlage hierfür bildet die am Fraunhofer IMWS entwickelte iNotch™-Technologie zur gezielten, lokalen Erhöhung des Materialabtrags an Initialkanten. Um dieses auf die Präparation unter Verwendung der fokussierten Ionenstrahltechnik übertragen zu können, entwickeln die beiden Partner gemeinsam sowohl spezielle Lösung zur Ansteuerung des ionenoptischen Systems von FIB-Anlagen als auch der präzisen geometrischen Analyse von TEM-Lamellen. Der daraus abgeleitete Präparationsworkflow soll zukünftig deutlich größere elektronentransparente Probenbereiche, nicht nur für die Transmissionselektronenmikroskopie sondern auch für Verfahren der Rasterelektronenmikroskopie schnell und gleichzeitig artefaktfrei zugänglich machen.



Ein zusätzlicher fokussierter Ionenstrahl in einem Rasterelektronenmikroskop wird genutzt, um einen präzisen Materialabtrag zu erzielen.

## Autor

Dr. Michael Krause  
Gruppenleiter  
»Mikrostrukturbasierte Materialprozessierung«  
Tel. +49 345 5589-154  
michael.krause@imws.fraunhofer.de

# Wasserstoff-Technologien Kohlenstoff-Kreislauf- Technologien

## Ausgewählte Forschungserfolge

<b>Hydrogen Lab Leuna hat Betrieb aufgenommen</b> .....	26
<b>Leitfaden zur Wasserstoffsicherheit</b> .....	28
<b>Internationale Logistik für den Import von grünem Wasserstoff</b> .....	29
<b>Interview mit Geschäftsfeldleiter Kohlenstoff-Kreislauf-Technologien Prof. Dr. Martin Gräbner</b> .....	30
<b>Vom Abfall zum Rohstoff: »Waste4Future« ebnet neue Wege für Kunststoff-Recycling</b> .....	31



## »Wir wollen Akzente für die Wasserstoffwirtschaft setzen«

Interview mit Geschäftsfeldleiterin Dr.-Ing. Sylvia Schattauer

### Was waren Highlights 2021 für Ihr Geschäftsfeld?

Dass wir im Mai den ersten Abschnitt des Hydrogen Labs Leuna in Betrieb nehmen konnten, war natürlich das herausragende Ereignis. Nicht nur, weil damit viele Jahre der Vorbereitung ihren vorläufig krönenden Abschluss finden, sondern auch, weil wir jetzt tatsächlich beginnen können, die Industrie mit einem einmaligen Angebot in einer absoluten Zukunftstechnologie zu unterstützen. Die ersten laufenden Projekte wie ECO<sub>2</sub>Met oder unser Part beim Start der Referenzfabrik für eine Elektrolyseur-Massenproduktion beweisen das. In Leuna das Band bei der feierlichen Eröffnung zerschneiden zu dürfen, fühlte sich wirklich an wie ein bedeutender Entwicklungsschub für die Wasserstoffwirtschaft insbesondere in Mitteldeutschland.

### Sehr viele Einrichtungen und Regionen wollen gerade am Wasserstoff-Boom partizipieren. Wie stehen die Chancen für Mitteldeutschland, vorne dabei zu sein?

Die Region ist derzeit in einer Vorreiter-Rolle. Wir wollen mit unseren Aktivitäten – auch in Görlitz, an anderen Standorten und mit einem schlagkräftigen Fraunhofer-Netzwerk – dazu beitragen, dass diese weiter ausgebaut wird. Es ist beeindruckend zu sehen, wie viel Rückhalt und Drive es bei diesem Thema sowohl in der Industrie vor Ort als auch in der Landespolitik gibt. Damit haben wir beste Voraussetzungen, bei der Entwicklung massentauglicher

H<sub>2</sub>-Technologien Akzente setzen zu können, auch mit Blick auf die erfolgreiche Gestaltung des Strukturwandels in der Chemieindustrie und darüber hinaus.

### Wie sieht das Angebot aus, das Kunden in Ihrem Geschäftsfeld finden können?

Wir unterstützen unsere Auftraggeber mit einem tiefgreifenden Prozessverständnis und einer einmaligen Forschungsinfrastruktur für praxisnahe Leistungs- und Belastungstests im industrienahen Maßstab, eingebettet in den Stoffverbund des Chemieparks Leuna. Das ist ein entscheidender Schritt für die Skalierung von Elektrolyseuren in neue Leistungsklassen, die Entwicklung leistungsfähiger und kostengünstiger Komponenten mit Eignung für die Serienfertigung sowie Tests der Betriebssicherheit im Realbetrieb – und damit für den Markthochlauf. Zu unserem breiten Technologie-Know-how gehört auch eine umfangreiche Digitalisierungsexpertise.

### Was erwarten Sie für 2022?

Ein großer Teil unserer Aktivitäten wird 2022 unter dem Dach des Fraunhofer IWES fortgesetzt und ausgebaut. Ich freue mich auf die künftige Kooperation mit dem Fraunhofer IMWS und die ersten Ergebnisse in Projekten wie »Waste4Future« oder dem BMBF-Verbundprojekt »H<sub>2</sub>Mare«.



### Autorin

Dr.-Ing. Sylvia Schattauer  
stv. Institutsleiterin und  
Leiterin Geschäftsfeld  
»Wasserstoff-Technologien«  
Tel. +49 345 5589-115  
sylvia.schattauer@  
imws.fraunhofer.de

# Hydrogen Lab Leuna hat Betrieb aufgenommen

Mit Kombination von Pilotanlagen schafft Fraunhofer ein weltweit einmaliges Angebot

**100 000**  
Normkubikmeter  
Wasserstoff  
pro Stunde  
benötigt die  
Mitteldeutsche  
Chemieregion  
etwa.

Grüner Wasserstoff ist ein Schlüsselement für eine nachhaltige Rohstoffversorgung der Industrie und das Erreichen der Klimaziele. Mit dem Hydrogen Lab Leuna hat im Mai 2021 die erste Pilotanlage für Test und Skalierung der dazu notwendigen Elektrolysesysteme ihren Betrieb aufgenommen, die vollständig in einen Chemiapark integriert ist. Das unterstützt den benötigten Markthochlauf von H<sub>2</sub>-Technologien, den die Fraunhofer-Gesellschaft durch Bündelung ihrer Wasserstoffaktivitäten im Norden und Osten Deutschlands weiter beschleunigen möchte: Die Hydrogen Labs in Leuna, Görlitz und Bremerhaven sowie ein Anwendungszentrum in Hamburg werden miteinander verknüpft. Somit entsteht ein weltweit einmaliges Angebot von Pilotanlagen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft.

Wenn Wasserstoff mittels Elektrolyse unter Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien hergestellt wird, entsteht ein klimaneutraler Rohstoff, der als Energieträger und -speicher sowie zur stofflichen Nutzung als Alternative zu fossilen Rohstoffen bereitsteht. Das bietet erhebliche Potenziale für industrielle Prozesse und Mobilität mit weitgehendem Verzicht auf fossile Rohstoffe sowie für die Umsetzung der Energiewende. Das Fraunhofer IMWS, das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme

IWES und das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU bündeln ihre Expertise, um diesen Ansatz schneller in die Anwendung zu überführen. Mit dem Hydrogen Lab Leuna sowie den gerade entstehenden Forschungsaktivitäten in Görlitz, Bremerhaven und Hamburg decken sie den gesamten Prozess von der CO<sub>2</sub>-neutralen Stromerzeugung durch Offshore- und Onshore-Energiegewinnung über die Testung und Optimierung der Elektrolyse sowie die Produktion der dabei eingesetzten Anlagen bis hin zur Speicherung, dem Transport und der Nutzung von grünem Wasserstoff ab.

Mit dem ersten Fraunhofer Hydrogen Lab in Leuna wird dabei die Überführung von Wasserstofftechnologien aus dem Labor für sichere und effektive Anwendungen im Industriemaßstab adressiert. Das Hydrogen Lab Leuna bietet modular nutzbare Testflächen für Elektrolysesysteme, Power-to-X- und Power-to-Liquid-Projekte bis 5 MW Anschlussleistung. Die direkte Integration in die Infrastruktur eines Chemiaparks bietet neben der Anbindung an das H<sub>2</sub>-Pipelinennetz Mitteldeutschland auch den Zugang zur örtlichen Chemieindustrie. Auf der Pilotanlage in Leuna werden nicht nur Elektrolyseure getestet und weiterentwickelt, sondern auch weitere Fragestellungen der Power-to-X-Technologien bearbeitet, etwa in einem bereits laufenden Projekt mit einem Hochtemperatur-Elektrolyseur der 1 MW-Klasse in Kombination mit der



Feierliche Inbetriebnahme des Hydrogen Labs Leuna. Von links nach rechts: Gerd Unkelbach (Leiter Fraunhofer CBP), Prof. Dr. Matthias Petzold (Leiter Fraunhofer IMWS), Dr. Markus Wolperdinger (Leiter Fraunhofer IGB), Joachim Heider (Leiter Vertriebsregion Nordost, Linde Gas), Thomas Behrends (TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH), Prof. Dr. Reimund Neugebauer (Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft), Dr. Sylvia Schattauer (Stv. Leiterin Fraunhofer IMWS) Prof. Dr. Thorsten Posselt (Leiter Fraunhofer IMW), Willi Frantz (TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH).

Herstellung von grünem Methanol.

Die drei Hydrogen Labs der Megawatt-Klasse verfügen über klare Alleinstellungsmerkmale: In Leuna ist die Pilotanlage direkt an die Pipeline der regionalen Chemieindustrie angeschlossen. In Görlitz (12,3 MW Anschlussleistung; geplante Inbetriebnahme: Ende 2022) liegt der Schwerpunkt auf Erzeugung, Speicherung sowie Nutzung von Wasserstoff für mobile sowie stationäre Brennstoffzellen, insbesondere für die Mobilität und zur Versorgung von Quartieren und Industriestandorten. In Bremerhaven (zunächst 2 MW Anschlussleistung, erweiterbar auf 10 MW; Inbetriebnahme: 2023) ist die Besonderheit die Anbindung an eine MW-Windenergieanlage und an die virtuelle Nachbildung eines Stromversorgungsnetzes, um elektrische Eigenschaften von Elektrolyseuren zu untersuchen. Ergänzt werden die Labore durch ein Anwendungszentrum in Hamburg, wo an

der Modellierung und Regelung dezentraler, lokaler Energiesysteme geforscht wird.

An allen vier Standorten werden außerdem jeweils die Besonderheiten der regionalen Industrie aufgegriffen, z. B. beim Angebot spezifischer Prüfverfahren für neu entwickelte Technologien. Die gemeinsame Orchestrierung der Aktivitäten durch die drei Institute ermöglicht erstmalig eine sektorübergreifende Demonstration der regenerativen Energieerzeugung hin zur Wirkung und Modellierung des Zusammenspiels großer regionaler Energieerzeugung, Speicher- und Verbrauchereinheiten. Anlagenbauer und Komponentenhersteller erhalten die Möglichkeit, neue apparative Entwicklungen im industriellen Maßstab zu testen. Die enge Kooperation gewährleistet einen intensiven Erfahrungsaustausch, eine komplementäre Entwicklung und einen erleichterten Zugang für die Industrie.

## Autorin

Dr.-Ing. Sylvia Schattauer  
stv. Institutsleiterin und  
Leiterin Geschäftsfeld  
»Wasserstoff-Technologien«  
Tel. +49 345 5589-115  
sylvia.schattauer@  
imws.fraunhofer.de

## Leitfaden zur Wasserstoffsicherheit

**Einen Leitfaden für Wasserstoffsicherheit, der als Anleitung für künftige Wasserstoffprojekte dienen kann, haben Fachleute im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojekts der Initiative »Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany – HYPOS« entwickelt.**

Die Sicherheit beim Umgang mit Wasserstoff ist eine grundlegende Voraussetzung für Projekte zur Wasserstoffanwendung. Mit dem Ziel, spezifische Gefährdungen von Wasserstofftechnologien zu analysieren sowie eine Methodik für eine integrative Sicherheitsbetrachtung der technisch-technologischen Wertschöpfungskette von Power-to-X-Technologien zu entwickeln, haben im Projekt »INES« der TÜV SÜD, die Technische Universität Dresden, die Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und das Fraunhofer IMWS zusammengearbeitet.



*Die Sicherheit der Anlagen ist Voraussetzung für den Erfolg der Wasserstoffwirtschaft.*

Der Leitfaden enthält sicherheitstechnische und organisatorische Hinweise, die den sicheren Betrieb von Anlagen für Wasserstoffherzeugung, -transport, -speicherung und -verwertung ermöglicht.

Das Fraunhofer IMWS brachte seine Expertise zu Risikoanalysen für Elektrolysesysteme sowie zu deren sicherheitstechnischer Werkstoff- und Systemanforderungen ein. So wurden anhand von Standortfaktoren, Komponenten und eingesetzter Materialien die einzelnen Elektrolysesysteme untersucht und für die verschiedenen Technologien (Alkalische Elektrolyse, PEM-Elektrolyse und Hochtemperaturelektrolyse) sicherheitstechnische Besonderheiten herausgearbeitet. Diese Betrachtung bezog dabei ebenfalls Faktoren ein, die die Betriebsmöglichkeiten der verschiedenen Systeme beeinflussen beziehungsweise begrenzen. Diese Erkenntnisse fließen in Testzyklen für

Elektrolysesysteme ein, wie sie das Institut im Rahmen des Hydrogen Lab Leuna (HLL) erstellt und zur Systemprüfung in einer vorhandenen Wasserstoffinfrastruktur nutzt.

Der Schwerpunkt des Projekts lag in der Begleitung weiterer HYPOS-Projekte hinsichtlich Fragen der Sicherheit, damit ein einheitlicher Ansatz für die Erfassung und Bewertung von Risiken verfügbar ist, der nun in einem Leitfaden zusammengeführt wurde. Der Leitfaden gibt Anwendern, Herstellern oder Projektentwicklern nicht nur eine erste Orientierung, sondern auch konkrete Hinweise zum Einstieg in das Thema Wasserstoffsicherheit auf allen betrachteten Wertschöpfungsstufen und bildet so einen wichtigen Baustein zur Anpassung und Optimierung der bereits bestehenden und neu entstehenden Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland.

### Autor

Jonas Bollmann  
Gruppe  
»H2-Technologien«  
Tel. +49 345 5589-8222  
jonas.bollmann@  
imws.fraunhofer.de

## Internationale Logistik für den Import von grünem Wasserstoff

**Zusammen mit koreanischen Forschungspartnern untersuchen und erforschen die Hochschule Anhalt und das Fraunhofer IMWS die Möglichkeiten und Bedarfe eines zukünftigen Imports von grünem Wasserstoff.**

Im Vorhaben »H<sub>2</sub>DeKo« kooperieren der Studiengang Logistik und Luftverkehrsmanagement an der Hochschule Anhalt und das Fraunhofer IMWS zur Errichtung eines deutsch-koreanischen Forschungsnetzwerks. Das Verbundprojekt wird für fünf Jahre mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und soll kooperative, deutsch-koreanische Forschungsvorhaben und Bildungsnetzwerke zur Logistik von grünem Wasserstoff anstoßen. Dazu soll gemeinsam eine Forschungspräsenz in Korea aufgebaut werden, begleitet von jährlichen Workshops und intensivem Austausch von wissenschaftlichem Personal. Nach Abschluss der Förderung wird durch Einbindung möglicher Industriefinanzierung eine nachhaltig in die koreanische Forschungslandschaft eingebundene Präsenz der deutschen Partner angestrebt.

Zur Erreichung der CO<sub>2</sub>-Neutralität der Volkswirtschaften in Deutschland und Korea ist die Erzeugung von H<sub>2</sub> mittels Elektrolyse mit regenerativ gewonnenem Strom eine notwendige Voraussetzung. Dabei sind die vorhanden und geplanten Photovoltaik- und Windkraftkapazitäten sowohl in Deutschland als auch in Korea nicht ausreichend, um alle Bedarfe aus Industrie oder privaten Haushalten zu decken. Erhebliche Importmengen von H<sub>2</sub> aus Ländern, in denen ausreichend Kapazität an regenerativ



*Die Optimierung der Elektrolyse ist eine Voraussetzung für eine ausreichende Versorgung mit grünem Wasserstoff.*

erzeugter elektrischer Energie verfügbar gemacht werden kann, sind für beide Länder zwingend erforderlich. Beide Länder haben daher einen ähnlichen Forschungsbedarf zu notwendigen Voraussetzungen und Anforderungen für die gesamte logistische Kette des grünen H<sub>2</sub> vom Erzeugerland über die relevanten Transportwege zum Bestimmungsland und der inländischen Distribution.

Der Masterstudiengang Logistik und Luftverkehrsmanagement der Hochschule Anhalt hat einen Forschungsschwerpunkt im Bereich der Wasserstofflogistik. Ebenso wie das Fraunhofer IMWS hat die Hochschule eine lange und erfolgreiche Tradition der Kooperation mit forschungstarken Partnern in Südkorea. Seitens des Fraunhofer IMWS sollen kooperative Forschungsvorhaben sowie Projekte zur Wasserstofflogistik angestoßen werden, um Synergiepotenziale zwischen den beiden Ländern zu heben und durch die entstehenden Netzwerke der deutschen Industrie einen verbesserten Zugang zu diesen Märkten zu verschaffen.

### Autor

Dr. Klemens Ilse  
Gruppe  
»Wasserstofftechnologien«  
Tel. +49 345 5589-5263  
klemens.ilse@  
imws.fraunhofer.de

# »Unsere Infrastruktur in Freiberg ist einmalig«

## Interview mit Geschäftsfeldleiter Prof. Dr. Martin Gräbner

### Was waren Highlights 2021 für Ihr Geschäftsfeld?

Nach meinem Amtsantritt im April 2021 war ich beeindruckt von der Leistungsfähigkeit des Geschäftsfelds, ebenso erfreut von der großen Nachfrage auf Seiten der Industrie. Auch deshalb war der Start für den Aufbau einer Pyrolyseplattform ein wichtiger Meilenstein. Wir können damit bald eine Technologie-offene Plattform im industrierelevanten Maßstab anbieten, etwa zur Entwicklung innovativer Lösungen zur direkten Pyrolyse oder Verölung, ebenso für die Einsatzstoffaufbereitung durch Torrefizierung / Verflüssigung mit anschließender Option der Gasifizierung. Auch im Rahmen des Fraunhofer-Leitprojekts »Waste4Future« wird die Plattform eine wichtige Rolle spielen.

### Wie genau sieht Ihr Beitrag in »Waste4Future« aus?

Im Leitprojekt arbeiten sieben Fraunhofer-Institute zusammen, um neue Recyclingmöglichkeiten zur Erschließung sekundärer Kohlenstoffquellen zu schaffen – als wichtiger Beitrag für Chemie 4.0 und eine zirkulare statt lineare Kohlenstoffwirtschaft. Dabei wird von uns ein neuartiges, entropiebasiertes Bewertungsmodell entwickelt, um die optimalen Recyclingpfade zu identifizieren. Durch neue Möglichkeiten in den Pyrolyse- und Gasifizierungstechnologien wollen wir im Teilprojekt »Chemisches Recycling« Kunststoffabfälle stofflich statt energetisch nutzen und somit CO<sub>2</sub> einsparen. Gemeinsam mit weiteren

Geschäftsfeldern bringen wir auch Kompetenzen zu Degradation von Kunststoffen und zum Recycling von Solvolyse-Resten ein.

### Welche Branchen und Themen stehen in Ihrem Geschäftsfeld im Mittelpunkt?

Unsere besondere Expertise ist die integrierte Technologieentwicklung für einen effektiven und nachhaltigen Einsatz von Kohlenstoffträgern. Das beinhaltet Verfahren für Extraktion und Solvolyse, Pyrolyse, Gasifizierung, Gasreinigung und Abwasserbehandlung, ebenso wie CO<sub>2</sub>-tolerante und CO<sub>2</sub>-basierte Synthesen oder Lösungen für Restabfallvorbereitung, Förder- und Beschickungssysteme. Basis dafür ist eine erstklassige Analytik von Kohlenstoffträgern und deren Konversionsprodukten. Einmalig ist unsere Infrastruktur in Freiberg mit Anlagen im Pilotmaßstab zum Test verschiedener Einsatzstoffe in unterschiedlichen Umwandlungskonzepten unter industriennahen Bedingungen.

### Was erwarten Sie für 2022?

Ich freue mich darauf, die Pyrolyseplattform in Aktion zu erleben, ebenso wie auf den Abschluss der ersten Projekte, in die ich mich einbringen konnte. Nachdem die Phase des Kennenlernens nach meinem Start im Geschäftsfeld abgeschlossen ist, möchte ich 2022 Akzente in der Strategieentwicklung setzen.



#### Autor

Prof. Dr. Martin Gräbner  
Leiter Geschäftsfeld  
»Kohlenstoffkreislauf-  
Technologien«  
Tel. +49 345 5589 -8201  
martin.graebner@  
imws.fraunhofer.de

# Vom Abfall zum Rohstoff: »Waste4Future« ebnet neue Wege für Kunststoff-Recycling

Sieben Fraunhofer-Einrichtungen, darunter das Fraunhofer IMWS, bündeln im Leitprojekt »Waste4Future« ihre Kompetenzen, um neue Lösungen für das Kunststoff-Recycling zu entwickeln. Mit Innovationen von der Rohstoffbasis über die Stoffströme und Verfahrenstechnik bis zum Ende des Lebenszyklus eines Produkts wollen sie Energie- und Ressourceneffizienz erhöhen.

Die Grundidee: Kunststoffe enthalten Kohlenstoff. Wenn Produkte aus Kunststoff nicht mehr gebraucht werden, landet dieser oft als CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre. Die chemische Industrie hingegen benötigt Kohlenstoff als Ressource. Wenn sie statt fossiler Rohstoffe dafür auf Kunststoffabfälle setzen könnte, verbliebe der Kohlenstoff im Kreislauf. Das Ergebnis wäre: weniger Bedarf an Erdöl und Erdgas, weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen und Plastikmüll, höhere Versorgungssicherheit der Industrie. Dazu müsste es gelingen, kohlenstoffhaltige Bestandteile in Abfällen besser zu erkennen, besser zu bewerten und daraus wieder hochwertige Ausgangsmaterialien herzustellen. Diesen Weg wollen die Partner im bis Ende 2023 laufenden Leitprojekt »Waste4Future« beschreiten: Der Abfall von heute wird zur Ressource von morgen.

Konkret geplant ist die Entwicklung eines entropiebasierten Bewertungsmodells, das die bis dato prozessgeführte Recyclingkette zu einer stoffgeführten Kette reorganisiert (Entropie = Maß für die Unordnung eines Systems). Eine neuartige Sortierung erkennt, welche Materialien und insbesondere welche Kunststofffraktionen im Abfall enthalten sind. Aufbauend auf dieser Analyse wird der Gesamtstrom getrennt und für die entstehenden Teilströme dann zielgerichtet entschieden, welcher Weg des Recyclings

für diese spezifische Abfallmenge der technisch, ökologisch und ökonomisch sinnvollste ist. Was mittels werkstofflichen Recyclings nicht weitergenutzt werden kann, steht für chemisches Recycling zur Verfügung, stets mit dem Ziel des maximal möglichen Erhalts von Kohlenstoffverbindungen.

Zu den Forschungszielen gehören die Bewertung sowohl von Inputmaterialien als auch von Rezyklaten nach ökologischen, ökonomischen und technischen Kriterien. Das werkstoffliche Recycling gilt es zu optimieren, Verfahren und Technologien für die Schlüsselstellen der stofflichen Nutzung von Kunststofffraktionen – hier liegt einer der Schwerpunkte des Fraunhofer IMWS im Projekt – müssen etabliert werden. Außerdem gilt es, auch durch Methoden des maschinellen Lernens, geeignete Sensorik zu entwickeln, die Materialien im Sortiersystem zuverlässig identifizieren kann. Nicht zuletzt erfolgen eine ökonomische Bewertung der neuen Recyclingprozesskette sowie umfassende Ökobilanzstudien.



Kohlenstoff soll im Projekt »Waste4Future« im Kreislauf geführt werden.

#### Autor

Dr. Jörg Kleeberg  
Gruppenleiter  
»Thermochemische  
Konversion«  
Tel. +49 345 5589-8216  
joerg.kleeberg@  
imws.fraunhofer.de

# Polymeranwendungen

## Ausgewählte Forschungserfolge

**Leichtbau, Industrie 4.0 und Reifen als Zukunftstechnologien** ..... 34

**RUBIO gibt Bio-Booster für die Kunststoff-Industrie in Mitteldeutschland** ..... 36

**Optimierung von Carbonfasern für den Einsatz in UD-Tapes** ..... 37

# »Unsere neue Ausstattung stärkt die nachhaltige Entwicklung in der Kunststoffverarbeitung«

## Interview mit Geschäftsfeldleiter Prof. Dr. Peter Michel

### Was waren Highlights 2021 für Ihr Geschäftsfeld?

Herausragend war die Eröffnung des Erweiterungsbaus am Fraunhofer PAZ in Schkopau für den Bereich Polymerverarbeitung. Die experimentellen Möglichkeiten zur Entwicklung von neuen Materialien und Prozessen im Bereich der automatisierten Herstellung von thermoplastbasierten Leichtbau-Produkten erreichen ein technisches Niveau auf allerneuestem Stand der Technik und darüber hinaus. Grundlage für erweiterte Innovationen sind die einzigartigen Möglichkeiten aus Halbzeugherstellung, Umform- und integrierten Spritzgießverfahren. Ein zweiter Schwerpunkt liegt im Bereich der innovativen Kautschuktechnologien. Besonders stolz sind wir auf die Einbringung einer Tandemknetelinie, mit der wir Alleinstellung im Umfeld der Kautschuk-Entwicklung erreichen konnten.

### Nachhaltigkeit und Kunststoffe – das scheint für viele Menschen angesichts von Schlagworten wie Plastikmüll und Mikroplastik ein Widerspruch zu sein. Wie sehen Sie das?

Die Polymerverarbeitung kann viele Beiträge zur Steigerung der Nachhaltigkeit und zur intelligenten Nutzung von begrenzten natürlichen Ressourcen leisten. Dazu gehören in unserem Geschäftsfeld die Leichtbau-Aktivitäten, neue Lösungen für Kunststoff-Recycling, Kreislaufwirtschaft und den Einsatz von Biopolymeren oder die 2021 mit dem Hugo-Junkers-Preis ausgezeichnete Entwicklung des

BISYKA-Kautschuks, der sowohl Rollwiderstand und somit Treibstoffverbrauch als auch Abrieb und damit den Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt reduziert.

### Welche besonderen Kompetenzen kann Ihr Geschäftsfeld Auftraggebern anbieten?

Wir bringen unser Know-how in der Kunststoffverarbeitung und Optimierung von Polymermaterialien ein, um Energie- und Ressourceneffizienz beim Einsatz der von uns entwickelten Materialien und Prozesse zu verbessern, und zwar bis in den Industriemaßstab. Für unsere Kunden beispielsweise aus dem Mobilitätsbereich, der Kunststoffindustrie und dem Maschinenbau betrachten wir dabei die gesamte Wertschöpfungskette von der Mikrostruktur des Werkstoffs bis zum Bauteil nach Maß. Wir können bei der Auswahl der Rohstoffe ebenso unterstützen wie der Anpassung von Verarbeitungstechnologien, Charakterisierung von Werkstoffen und Bauteilen, Modellierung und Simulation oder der Prozessentwicklung.

### Was erwarten Sie für 2022?

Für mich selbst wird im Frühjahr der Abschied in den Ruhestand anstehen. Ich freue mich auf die Übergabe an meinen Nachfolger, ebenso wie auf die ersten Ergebnisse in großen Nachhaltigkeitsprojekten wie »RUBIO« oder »Waste4Future«.



### Autor

Prof. Dr.-Ing. Peter Michel  
Geschäftsfeldleiter  
»Polymeranwendungen«  
und Leiter Polymerverarbeitung am Fraunhofer PAZ  
Tel. +49 345 5589-203  
peter.michel@imws.fraunhofer.de

# Leichtbau, Industrie 4.0 und Reifen als Zukunftstechnologien

11 Millionen Euro in Erweiterung der Polymerverarbeitung am Fraunhofer PAZ investiert

**28**  
Personen  
sind nach der  
Erweiterung in  
der Polymer-  
verarbeitung  
tätig

Mit 1000 m<sup>2</sup> zusätzlicher Fläche und neuen Anlagen für den thermoplastbasierten Leichtbau, nachhaltige Reifenanwendungen sowie digitale Bauteilentwicklung und Produktionsprozesse in der Kunststoffverarbeitung ist der Bereich Polymerverarbeitung am Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ in Schkopau erweitert worden. Aus Mitteln der Europäischen Union, des Landes Sachsen-Anhalt und der Fraunhofer-Gesellschaft wurden insgesamt gut 11 Millionen Euro in den Erweiterungsbau investiert.

Das Fraunhofer PAZ Schkopau kombiniert als gemeinsame Einrichtung Kompetenzen der Polymersynthese des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP (Potsdam) und der Polymerverarbeitung des Fraunhofer IMWS in Halle/Saale. Schwerpunkt der Forschungseinrichtung ist die Maßstabsübertragung, also das Überführen neuer Ergebnisse und Ideen aus der Forschung in Größenordnungen, die für die Industrie relevant sind. Unternehmen wie Polymerhersteller, Anlagenbauer oder aus der Automobilindustrie werden so bei der Kommerzialisierung neuer Produkte und Herstellungsverfahren unterstützt.

Die erweiterten Räumlichkeiten und neu installierten Geräte im Bereich Polymerverarbeitung bieten insbesondere deutlich verbesserte Möglichkeiten für die Herstellung von thermoplastischen Faserverbund-Bauteilen in Großserie. Diese Technologie ist besonders wichtig für den automobilen Leichtbau – je leichter ein Fahrzeug ist, desto weniger Treibstoff verbraucht es oder desto größer ist seine Reichweite in der E-Mobilität. Die Forschungsarbeiten zielen auf die Herstellung hoch belastbarer Kunststoffbauteile in Zykluszeiten von unter einer Minute ab. Dafür stehen jetzt hochschnelle Handlinggeräte und -maschinen in allen Produktionsschritten (Preformen, Hot-Handling und Spritzguss) zur Verfügung. Ebenso ist nun die Integration von Sensoren in verschiedenen Phasen des Verarbeitungsprozesses möglich. Das ist eine entscheidende Voraussetzung für digitale Bauteilentwicklung und digitale Produktionsprozesse im Rahmen der Industrie 4.0. Durch die Verknüpfung von auf verschiedenen Ebenen gewonnenen Daten können neue, anwendungsspezifische Konfigurationen von Bauteilen möglich werden, ebenso wie neue Tools zur Fehlererkennung und eine nachhaltige Produktion in der Kunststoffverarbeitung. Dazu tragen auch ein hoher Automatisierungsgrad und Serientauglichkeit durch hohe Reproduzierbarkeit bei.

Am erweiterten Fraunhofer PAZ stehen nun Lösungen für die komplette Wertschöpfungskette endlosfaserverstärkter Bauteile



Prof. Peter Michel, Prof. Armin Willingmann, Prof. Michael Bartke und Prof. Matthias Petzold eröffnen den Erweiterungsbau.

zur Verfügung. Ausgebaut wurden auch die bestehende UD-Tape-Anlage sowie die Möglichkeiten zur Nutzung von Biopolymeren und nachwachsenden Rohstoffen, sowohl als Verstärkungsfasern als auch in der Kunststoffmatrix, um den deutlich gestiegenen Bedarf der Industrie zu begegnen und einen signifikanten Beitrag zur Kreislaufwirtschaft zu leisten.

Ein zweiter Schwerpunkt des erweiterten Profils liegt auf innovativen Kautschuktechnologien, die eine Optimierung bei Haftung (Rollwiderstand), Verschleiß und Abrieb (geringere Mikroplastik-Belastung der Umwelt) von Reifen sowie verbesserte Möglichkeiten zur Kreislaufnutzung (Runderneuerung, Recycling) bieten. Im neuen Technikum stehen Aufbereitungstechnologien für innovative Kautschukcompounds im Pilotmaßstab (Innenmischer, Vulkanisator, Extruder, Walzwerk) zur Verfügung, auch hier einschließlich der Berücksichtigung digitaler Möglichkeiten. Das Fraunhofer PAZ ist die einzige Forschungseinrichtung weltweit, die über einen Tandemknetter

verfügt, was die Erzeugung verbesserter Kautschukmischungen mit neuartigen Morphologien im Pilotmaßstab möglich macht. Zudem sind die 28 Mitarbeitenden im Bereich Polymerverarbeitung nun bestens für Erprobung und Anwendung neuartiger Elastomere, Füllstoffe und Additive gerüstet und werden sich künftig noch stärker mit der Weiterentwicklung von synthetischem Kautschuk, auch aus biobasierten Quellen, beschäftigen.

Durch die zusätzlichen Kompetenzen und Geräte steht eine herausragende Forschungsinfrastruktur für die regionale chemische Industrie bereit, ebenso für andere Auftraggeber. Das Fraunhofer PAZ unterstützt Unternehmen so dabei, die Megatrends Digitalisierung und Nachhaltigkeit zu bewältigen und die damit verbundenen Chancen zu ergreifen. Parallel läuft in Schkopau der Ausbau des Bereichs Polymersynthese, ebenfalls mit einem neuen Gebäude und neuen Anlagen. Die Inbetriebnahme ist hier für 2022 geplant.

## Autor

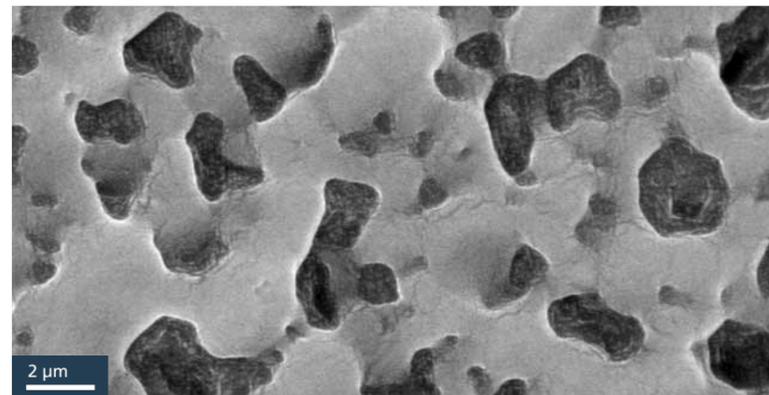
Prof. Dr.-Ing. Peter Michel  
Geschäftsfeldleiter  
»Polymeranwendungen«  
Tel. +49 345 5589-203  
peter.michel@  
imws.fraunhofer.de

## RUBIO gibt Bio-Booster für die Kunststoff-Industrie in Mitteldeutschland

Aus regional verfügbaren Rohstoffen sollen vielfältig einsetzbare Kunststoffe werden und Mitteldeutschland somit zur Vorzeigeregion einer Grünen Chemie machen: Mit diesem Ziel haben sich 18 Partner im Projekt »RUBIO« zusammengeschlossen, um innerhalb von drei Jahren bio-basierte und gleichzeitig biologisch abbaubare Kunststoffe auf den Markt zu bringen.

Die beteiligten Einrichtungen werden in fünf Kompetenzfeldern gemeinsam an Lösungen für Gewinnung und Aufschluss biobasierter regionaler Ressourcen, Rezeptierung, Verarbeitungsverfahren bis in den jährlich zweistelligen Kilotonnen-Bereich und Recyclingverfahren arbeiten. Das Fraunhofer IMWS bringt seine Erfahrungen in der hochauflösenden Strukturaufklärung und numerischen Simulation für die Rezeptur- und Prozessentwicklung von Bio-Kunststoffen ein. Zudem werden hier die Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften analysiert, um effiziente Entwicklungszyklen umzusetzen zu können. Auch beim Upscaling wird das Institut unterstützen, ebenso wie mit den Kompetenzen zu thermomechanischen, oxidativen und hydrolytischen Abbauprozessen von Kunststoffen und der Reaktivextrusion von Rezyklaten für das Recycling.

Das RUBIO-Konsortium setzt dabei auf Polybutylensuccinat (PBS). Dieser Bio-Kunststoff ermöglicht eine hohe Variantenvielfalt und bringt gute Verarbeitungseigenschaften mit sich, etwa für Anwendungen wie Verpackungen, technische Textilien und Geokunststoffe. Nicht zuletzt ist er regional gut verfügbar: Am Beginn des RUBIO-Prozesses stehen Cellulose- und Lignocellulose-haltige Stoffe, die bisher als Nebenprodukte anfielen oder gar nicht verwertet wurden, etwa Holz, Gräser, Reststoffe aus der Papierindustrie oder Gärreste aus



Mikrostruktur einer Biopolymermischung aus Polybutylensuccinat (PBS) und Polylactid (PLA, dunkle Partikel im Bild).

Biogasanlagen. Daraus werden über biotechnologische Aufschlussverfahren Kohlenhydrate gewonnen. Diese werden per Fermentation in die Ausgangsstoffe für PBS umgewandelt, nämlich Bernsteinsäure und 1,4-Butandiol. Aus diesen Monomeren werden per Polykondensation die PBS-Polymere synthetisiert. Im RUBIO-Projekt sollen auch geeignete Verfahren für Compoundierung und Herstellungsverfahren wie Spritzguss sowie geeignete Recyclingprozesse entwickelt werden, mit denen PBS-haltige Materialien aus dem Abfallstrom herausgefiltert und erneut stofflich verwertet werden können.

Die gewünschten Materialeigenschaften sollen sich dabei sehr genau für den jeweiligen Bedarf einstellen lassen. Wenn das gelingt, lässt sich die CO<sub>2</sub>-Bilanz der hergestellten Produkte sowie der Energieverbrauch bei der Verarbeitung gegenüber den derzeit eingesetzten Kunststoffen halbieren.

### Autor

Dr.-Ing. Patrick Hirsch  
Gruppe  
»Thermoplastbasierte Faserverbund-Bauteile«  
Tel. +49 345 5589-264  
patrick.hirsch@imws.fraunhofer.de

## Optimierung von Carbonfasern für den Einsatz in UD-Tapes

Die Steigerung der mechanischen Performance von Verbundwerkstoffen wollen die Polymer Service GmbH Merseburg (PSM) und das Fraunhofer IMWS in einem gemeinsamen Forschungsprojekt erreichen. Sie setzen auf die Oberflächenbehandlung von Carbon-Verstärkungsfasern, um diese besser für den Einsatz in thermoplastischen Kunststoffen anzupassen.

Unidirektional faserverstärkte Kunststoffe haben sich in vielen Bereichen des Leichtbaus bewährt. Die Verstärkungsfasern, häufig Glas- oder Carbonfasern, werden dabei so in eine Kunststoff-Matrix eingebracht, dass ihre Ausrichtung optimal dem späteren Lastverlauf im Bauteil entspricht. Meist wird dieser Ansatz mit duroplastischen Systemen umgesetzt, bei denen sich die einmal produzierten Kunststoff-Bauteile später nicht mehr verformen lassen. Das hat verschiedene Nachteile. Der Herstellungsprozess ist aufwendig und zeitintensiv, duroplastische Materialsysteme können zudem nicht recycelt werden.

Im neuen Projekt stehen deshalb Thermoplaste im Fokus, insbesondere die Einsatzmöglichkeiten von Carbonfasern in diesem Bereich. Denn kommen in thermoplastbasierten Materialsystemen mit unidirektionalen Verstärkungsfasern, sogenannten Organoblechen oder UD-Tapes, Carbon- statt Glasfasern zum Einsatz, lassen sich noch bessere mechanische Eigenschaften erzielen. Bisher sind Carbonfasern aber vor allem für den Einsatz in duroplastischen Systemen ausgelegt. Sie sollen im Projekt mittels atmosphärischer Plasmabehandlung für Thermoplaste optimiert werden, damit sich die Stärken von UD-Tapes mit den Stärken von Carbonfasern ideal kombinieren lassen.

Dazu nötig ist beispielsweise eine Anpassung der Faserflächen und Faserimprägnierung, damit die Verstärkungselemente sich gut und gleichmäßig in eine thermoplastische Matrix einbetten und optimal an diese Matrix anbinden. Angestrebt wird eine Lösung, die eine individuelle Oberflächenbehandlung der Faser erlaubt, die auf das jeweilige Matrixmaterial zugeschnitten ist und sich direkt (inline) in den Prozess der UD-Tape-Herstellung integrieren lässt. Von diesen optimierten Materialsystemen könnten insbesondere kleine und mittlere Unternehmen wie etwa Automobilzulieferer profitieren, weil dann Standard-Carbonfasern für ihre Anwendungen genutzt werden können, statt mit sehr viel Aufwand eigene und für die jeweilige Thermoplast-Matrix passgenaue Beschichtungen der Fasern zu entwickeln.



Atmosphärische Plasmabehandlung von Kohlefasern.

### Autor

Nico Teuscher  
Gruppe  
»Thermoplastbasierte Faserverbund-Halbzeuge«  
Tel. +49 345 5589-288  
nico.teuscher@imws.fraunhofer.de

# Biologische und makromolekulare Materialien

## Ausgewählte Forschungserfolge

Materialforschung für Dental Care .....	40
Kollagenfaser-Beschichtungen von Implantatkunststoffen verbessern Biokompatibilität .....	42
Verbesserte Schutzmasken durch integrierten Ansatz für innovative Schutztextilien .....	43

## »Wir wollen die Lebensqualität der Menschen steigern«

### Interview mit Geschäftsfeldleiter Priv.-Doz. Dr. Christian Schmelzer

#### Was waren Highlights 2021 für Ihr Geschäftsfeld?

Ich habe mich sehr über die positive Entwicklung unseres Projekts »matriheal« gefreut, das unmittelbar vor der Ausgründung steht und 2021 gleich mehrere Preise gewonnen hat. Das Team hat Materialien entwickelt, die zur Behandlung komplexer Wunden eingesetzt werden können und bald in Form von Hydrogelschwämmen und Nanofaservliesen auf den Markt kommen sollen. Wir konnten unsere Ausstattung erneut erweitern, etwa im Bereich Dental Care, und haben spannende Ansatzpunkte in einem Anti-Corona-Projekt ermittelt. Persönlich war für mich zudem der erfolgreiche Abschluss meiner Habilitation ein Meilenstein.

#### Im Anti-Corona-Projekt sollen »Next Generation Schutztextilien« entwickelt werden. Was passiert da genau?

Wir arbeiten in einem großen Fraunhofer-Konsortium an der Entwicklung von Schutztextilien, die eine starke Filterwirkung mit hohem Tragekomfort und Funktionalisierungen wie antiviralen Eigenschaften kombinieren. Es soll also eine bessere Schutzwirkung geben als bei verfügbaren Masken. Wir haben bisher beispielsweise mit morphologischen 2D- und 3D-Analysen wichtige Parameter für Filtrationseffizienz, Atemwiderstand, Leckage und auch die Sprachverständlichkeit identifiziert. Außerdem testen wir Dekontaminationsmethoden für Schutzmasken. Die Ergebnisse sollen 2022 vorliegen.

#### Welche Kunden können von den Angeboten in Ihrem Geschäftsfeld profitieren?

Unser Fokus liegt auf der Materialforschung für Produkte in den Bereichen Medizin und Personal Care. Dabei kooperieren wir – häufig von der Idee bis zur Zulassung – vor allem mit Kunden aus der Medizinproduktebranche und den Bereichen Pflege und Umwelt. Insbesondere beim Einsatz innovativer Materialien und für die Qualitätskontrolle können wir ein vielfältiges Angebot machen, durch erstklassiges Know-how, technische Ausstattung auf Top-Niveau und einem tiefen Verständnis für die Belange unserer Kunden. Unsere Kompetenzen fließen beispielsweise bei der Erprobung nachhaltiger Rohstoffe für Kosmetikprodukte ein oder bei der Optimierung von Implantaten durch die Funktionalisierung von Oberflächen. Durch bessere Werkstoffe wollen wir also letztlich die Lebensqualität von Menschen steigern.

#### Was erwarten Sie für 2022?

Wir möchten »matriheal« beim erfolgreichen Markteintritt unterstützen und ich bin gespannt auf die Verwertungspotenziale aus dem Projekt »Next Generation Schutztextilien«. Zudem haben wir die Gruppe »Biofunktionale Materialien für Medizin und Umwelt« neu aufgestellt und wollen dort unter anderem Impulse bei Biomodellen und proteinbasierten Materialien setzen.



#### Autor

Priv.-Doz. Dr.  
Christian Schmelzer  
Geschäftsfeldleiter  
»Biologische und makromolekulare Materialien«  
Tel. +49 345 5589-116  
christian.schmelzer@  
imws.fraunhofer.de

# Materialforschung für Dental Care

Auf Basis der Mikrostruktur lassen sich Zahncremes, Zahnbürsten und Prothesen optimieren

Wie wirken Zahnpasten oder Mundspüllösungen? Wie unterscheidet sich die Mikrostruktur von Zähnen, Dentalprothesen oder auch Knirscherschienen vor und nach der Pflege? Welche Form sollten die Borsten von Zahnbürsten für eine optimale Reinigungsleistung haben? Solche Fragen untersuchen Mitarbeitende im Bereich Dental Care am Fraunhofer IMWS. Ihre werkstoffmechanischen Untersuchungen sind die Basis, um medizinische und kosmetische Pflegeprodukte zu charakterisieren und zu verbessern.

Reinigungsprozesse, etwa das Zusammenspiel von Borstenspitze, Zahn und Zahnpasta lassen sich auf der Mikro- und Nanoebene analysieren, wo sich winzige Reibungsprozesse abspielen. Durch die Aufklärung solcher Wirkmechanismen lassen sich neue Materialien und Oberflächentechnologien zur Verbesserung der biofunktionalen Eigenschaften entwickeln. Diese Informationen können wiederum bei der Entstehung von Produkten mit neuen, verbesserten Materialeigenschaften hilfreich sein. Auch die Entwicklung und Erprobung verbesserter Werkstoffe wird so möglich, die beispielsweise über eine optimierte Struktur- und Oberflächenkompatibilität oder maßgeschneiderte Funktionalitäten für medizinische Anwendungen und Tissue Engineering verfügen. All das trägt dazu bei, die Lebensqualität von Menschen zu steigern.



Im Fokus der Arbeitsgruppe stehen anwendungsorientierte und materialwissenschaftliche Fragestellungen im Auftrag von Forschungs- und Entwicklungspartnern aus dem Dental Care-Endproduktebereich und der Zulieferindustrie.

Im Fokus stehen für die seit 2012 bestehende Gruppe »Charakterisierung medizinischer und kosmetischer Pflegeprodukte« am Fraunhofer IMWS dabei immer anwendungsorientierte und materialwissenschaftliche Fragestellungen im Auftrag von Forschungs- und Entwicklungspartnern sowohl aus der Großindustrie als auch von kleinen und mittleren Unternehmen aus dem Dental Care-Endproduktebereich und der Zulieferindustrie.

Das Team unterstützt bei der Produktentwicklung unter anderem mit der Charakterisierung von Zahnpflegeprodukten und der Aufklärung von deren Interaktionen mit biologischen Oberflächen sowie prothetischen,



Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterstützen mit präklinischen Produktbewertungen Unternehmen bei der Vorbereitung aufwendiger klinischer Studien.

kieferorthopädischen, restaurativen und Implantatmaterialien. Dazu kommt die Entwicklung neuer Methoden, spezieller Versuchsaufbauten, Testverfahren und Modelle. Die technische Ausstattung auf Top-Niveau und das Verständnis für die Belange der Kunden, mit denen häufig bereits über viele Jahre kooperiert wird, runden das Angebot ab. Aktuelle Anwendungsbeispiele sind die Untersuchung der Fluoridaufnahme bei neuen Zahnpasten, Auswirkungen der Reinigung auf Dentalprothesen, der Verschluss von Tubuli durch geeignete Partikel in Zahnpasten, um die Schmerzempfindlichkeit zu verringern, die Entwicklung von Mikroplastik-freien und biokompatiblen abrasiven Partikeln oder Forschungsansätze, mit denen der altersbedingten Mundtrockenheit (Xerostomie) begegnet werden kann, die durch die damit einhergehende Veränderung der Mundflora häufig zur Entstehung von Karies und Parodontitis beiträgt.

Zur besonderen Expertise gehört die Untersuchung von Produkten, denen Wirkungen in Bezug auf die De- und Remineralisation von Zahnschmelz, Zahnerosion, Hypersensibilität sowie Zahnverfärbungen und -reinigung

zugeschrieben werden. Die Forschenden unterstützen mit diesen präklinischen Produktbewertungen Unternehmen bei der Vorbereitung aufwendiger klinischer Studien. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Partnern aus dem FuE-Bereich, wie Universitäten und anderen Forschungsinstitutionen, ergeben sich weitere Synergien.

Dafür nutzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler modernste Technologien, um die Strukturen von Materialien bis in den atomaren Bereich aufzuklären. Mit seiner Ausstattung in diesem Bereich gehört das Fraunhofer IMWS zu den führenden Forschungseinrichtungen in Europa. Verschiedene Verfahren wie die akustische Rastermikroskopie, die Elektronenmikroskopie, die Spektrometrie und das 3D-Röntgen erlauben eine zerstörungsfreie Fehlerlokalisierung bei Dental-Care-Fragestellungen. Die Analyse natürlicher Gewebeprobe ist im so genannten »environmental scanning electron microscope« möglich. Die plastischen Informationen aus dem Elektronenmikroskop können ebenfalls dazu beitragen, Wirkmechanismen aufzuklären. Außerdem werden in vitro-Tests und kalorimetrische Durchflussmessungen durchgeführt.

## Autor

Dr.-Ing. Andreas Kiesow  
Gruppenleiter  
»Charakterisierung medizinischer und kosmetischer Pflegeprodukte«  
Tel. +49 345 5589-118  
andreas.kiesow@imws.fraunhofer.de

# Kollagenfaser-Beschichtungen von Implantatkunststoffen verbessern Biokompatibilität

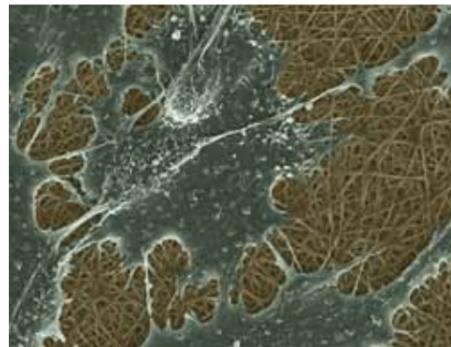
Bei der Fertigung von Implantaten in der Wirbelsäulen Chirurgie, Traumatologie und Orthopädie kommt der Hochleistungskunststoff Polyetheretherketon (PEEK) zum Einsatz. In einem Forschungsprojekt des Fraunhofer IMWS und der SpinPlant GmbH ist es nun gelungen, die Oberfläche von PEEK-Implantaten mit Hilfe von Kollagen-Nanofasern so zu funktionalisieren, dass die Biokompatibilität beim Einwachsen in das Gewebe stark verbessert wird.

Das Material, aus dem Implantate gefertigt werden, muss belastbar, flexibel und für das menschliche Gewebe biokompatibel sein. Metalle wie Titan oder Kobalt-Chrom waren lange die Favoriten. Seit den späten 1990er Jahren ist Polyetheretherketon (PEEK) als Hochleistungskunststoff im Einsatz. Es hat bessere mechanische Eigenschaften, die denen des menschlichen Knochens nahekommen, und ist röntgenologisch und MRT-kompatibel. Nachteilig ist jedoch die inerte Oberflächeneigenschaft, wodurch die Implantatintegration in das umgebende Gewebe erschwert oder gar verhindert wird.

Für dieses Problem hat das Fraunhofer IMWS in Zusammenarbeit mit der SpinPlant GmbH im Projekt »SpinCoat« eine Lösung zur Oberflächenmodifikation von PEEK erforscht, wodurch die osteokonduktiven und bioresorbierbaren Wechselwirkungen des menschlichen Gewebes und der Implantatoberfläche verbessert wurden. Der materialwissenschaftliche Forschungsschwerpunkt lag darin, eine stabile, fest anhaftende, biokompatible Vliesfaserbeschichtung aus elektrogewebenen Proteinanfasern auf einer inerten PEEK-Oberfläche zu ermöglichen.

Bei der Herstellung der elektrogewebenen Kollagenvliese ermittelte das Forschungsteam für die Verspinnung ein optimales

Mischungsverhältnis von Kollagen und Lösungsmittel, wobei beim Prozess des Verspinnens von Kollagen zu Nanofasern die native Struktur des Kollagens erhalten blieb. Durch das Austesten und Einarbeiten von Zusätzen ohne pharmazeutische Wirkung und Nanopartikeln konnte das Projektteam die



REM Aufnahme eines Kollagenvlieses auf einer PEEK-Oberfläche, besiedelt mit Zellen der Osteosarkomzelllinie SW1353.

Beschaffenheit der Kollagenvliese verbessern. Während des Einarbeitens der Partikel kam nanokristallines Hydroxylapatit zum Einsatz, das für ein gleichbleibendes Viskositäts- und Konduktivitätsverhalten sorgt. Die mikrostrukturellen Untersuchungen führten die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer IMWS mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Mikro-Computertomographie ( $\mu$ CT) durch.

## Autorin

Dr.-Ing. Andrea Friedmann  
Gruppe »Biofunktionale Materialien für Medizin und Umwelt«  
Tel. +49 345 5589-258  
andrea.friedmann@imws.fraunhofer.de

# Verbesserte Schutzmasken durch integrierten Ansatz für innovative Schutztextilien

Mund-Nasen-Schutz ist in der Covid-19-Pandemie zum Alltagsgegenstand geworden. Doch viele der verfügbaren Produkte sind nicht für solche Einsatzfälle zugeschnitten. Im Projekt »Next Generation Schutztextilien (NGST)« arbeiten zehn Fraunhofer-Einrichtungen an verbesserten Lösungen, die hohe Schutzwirkung mit optimiertem Tragekomfort kombinieren.

Bis Anfang des Jahres 2020 wurden FFP2-Masken vor allem genutzt, um beispielsweise Beschäftigte in der Baubranche vor Feinstaub zu bewahren. Seit der Covid-19-Pandemie sind solche und ähnliche Masken zum Massenprodukt geworden und in vielen Bereichen des öffentlichen Lebens mittlerweile sogar vorgeschrieben. Für die Nutzung durch jedermann und über einen langen Zeitraum sind die bisher verfügbaren Produkte aber nicht konzipiert. Das bringt Defizite mit sich, etwa erhöhten Atemwiderstand, nachlassende Schutzwirkung bei Durchnässung oder Lecks, durch die sich Viruspartikel bewegen können, weil die Masken nicht auf unterschiedliche Gesichtsformen zugeschnitten sind.

Das NGST-Konsortium arbeitet deshalb seit November 2020 an qualitativ hochwertigen Schutztextilien, die sowohl in Masken als auch in komplexeren Filtersystemen eingesetzt werden können. Angestrebt wird die Entwicklung von Textilien mit besserer Schutzwirkung und/oder einem höheren Tragekomfort insbesondere für Langzeiträger, eine umfassende Analytik von Leistungsparametern textiler Schutzausrüstung sowie Lösungen für die Produktion entsprechender Schutztextilien. Dafür werden beispielsweise Textilien erprobt, die zusätzlich zu ihrer effektiven Filterwirkung auch Viren deaktivieren können, die an den Oberflächen einzelner Maskenschichten adsorbieren.



Verschiedene Maskendesigns werden im Projekt beispielsweise hinsichtlich ihrer Passform getestet.

Das Fraunhofer IMWS bewertet die eingesetzten Materialien und identifiziert so geeignete Werkstoffe für den Einsatz in Schutztextilien. Zudem werden hochauflösende bildgebende Verfahren, Atemwiderstand-, Partikelrückhalt-, Sprachverständlichkeitsmessungen sowie Materialmodifizierung mittels reaktiver Plasmaaktivierung eingesetzt, um die Funktions-, Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen der neuartigen Schutzmasken zu prüfen. Das Team stellt basierend auf virtuellen Designstudien schließlich Prototypen per 3D-Druck her und bewertet diese.

Erste Resultate zeigen, dass bei den neu entwickelten Vliesstoffen deutlich geringere Atemwiderstände auftreten, die Filterwirkung durch elektrostatische Aufladung der Materialien verbessert wird und die Leckage der Masken durch die im Projekt optimierte Passform reduziert werden kann. Die vollständigen Ergebnisse werden 2022 vorliegen.

## Autorin

Annika Thormann  
Gruppe »Biofunktionale Materialien für Medizin und Umwelt«  
Tel. +49 345 5589-281  
annika.thormann@imws.fraunhofer.de

## »Wir stehen für mehr als Leuchtstoffe«

### Interview mit Geschäftsfeldleiter Prof. Dr. Stefan Schweizer

#### Was waren Highlights 2021 für Ihr Geschäftsfeld?

Wir haben in Kooperation mit der Firma Tailorlux aus Münster erfolgreich lumineszierende Gläser für den Produktschutz entwickelt. Damit steht eine neue Materialklasse zur Markierung von Produkten wie Kunststoffen, Fasern oder Harzen zur Verfügung. Die Kennzeichnung kann sehr individuell erfolgen und so gestaltet werden, dass sie auch maschinenlesbar ist – Produkte erhalten also quasi einen optischen Fingerabdruck. Für das von uns entwickelte »Verfahren zur Bestimmung der orts aufgelösten thermischen Strukturfunktion und/oder Zeitkonstantenspektren eines Objekts« haben wir ein neues Patent erhalten, in dem wir große Verwertungspotenziale sehen. Mit der laufenden Entwicklung einer individuellen LED-Leuchte als Hilfe für Menschen, die von altersbedingter Makuladegeneration betroffen sind, stoßen wir auf großes Interesse. Sehr gefreut haben mich der erfolgreiche Abschluss der Dissertation von Charlotte Rimbach und die Auszeichnung für unsere Doktorandin Michelle Grüne. Das unterstreicht unsere sehr gute Kooperation mit der Fachhochschule Südwestfalen.

#### Welche Märkte stehen für Sie im Fokus und wie profitieren Unternehmen von einer Kooperation mit dem Fraunhofer AWZ Soest?

Wir sind kompetenter und kreativer Forschungspartner für die Beleuchtungsindustrie

und verwandte Branchen. Unser Angebot umfasst komplexe optische und spektroskopische Analysen, thermische Messmethoden sowie Leistungsmessungen im Labor für die Bewertung und Entwicklung von Leuchtstoffen, Leuchtstoffsystemen und Werkstoffen. Damit können Unternehmen aus der Licht- und Beleuchtungsindustrie – viele davon haben ihren Sitz in direkter Nachbarschaft des AWZ Soest – ihre innovativen Ideen schneller in den Markt bringen und somit ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern.

#### Was erwarten Sie für 2022?

Gemeinsam mit unserem Industriebeirat wollen wir die Strategie des AWZ Soest weiter auf den Bedarf der Märkte anpassen, mit einem Fokus auf die Beleuchtungsindustrie, aber auch dem Blick auf Chancen für andere Anwendungen, bei denen wir mit unserem Know-how und unserer Infrastruktur unterstützen können. So werden wir beispielsweise Messverfahren für die Raman-Spektroskopie weiterentwickeln, gemeinsam mit der Firma S & I Spectroscopy & Imaging in Warstein. Diese ermöglichen eine Kombination von zeit aufgelöster Raman- und Photolumineszenz-Spektroskopie. Unsere Aktivitäten auf dem Gebiet der Infrarotthermografie wollen wir zur Bewertung von Leistungshalbleitermodulen weiter ausbauen.

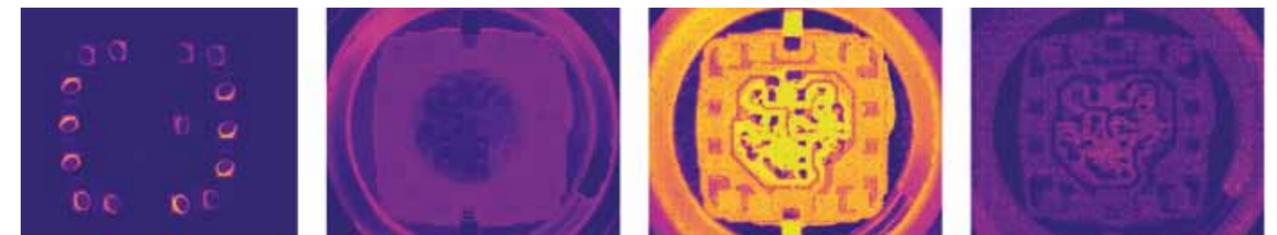


#### Autor

Prof. Dr. Stefan Schweizer  
Leiter des Fraunhofer-  
Anwendungszentrums  
Soest  
Tel. +49 2921 378-3410  
stefan.schweizer@  
imws.fraunhofer.de

## Infrarot-Thermografie zur Analyse des Wärmeleitweges

Ausreichende Kühlung von wärmeempfindlichen Bauteilen ist in vielen Gebieten der Technik unerlässlich, beispielsweise bei LEDs. Ein vom Fraunhofer-Anwendungszentrum für Anorganische Leuchtstoffe AWZ zusammen mit der Fachhochschule Südwestfalen in Soest entwickeltes und patentiertes Verfahren soll helfen, Schwachstellen aufzuspüren und zu bewerten.



Aufnahmen der einzelnen Komponenten des Wärmepfades eines LED-Leuchtmittels.

Obwohl moderne weiße LEDs eine hohe Effizienz bei der Lichterzeugung aufweisen, wird ein erheblicher Teil der elektrischen Energie in Wärme umgewandelt. Diese erhöhten Temperaturen beschleunigen Alterungsprozesse. Das Wärmemanagement ist deshalb ein wichtiger Teil in der Entwicklung einer Leuchte. Während der innere Aufbau der LED hinsichtlich des Wärmetransports bereits durch den LED-Hersteller optimiert wird, liegen die weiteren Komponenten des Wärmepfades in der Verantwortung des Leuchtenherstellers.

Ein gängiger Weg, den Wärmeleitweg von LED-Modulen zu qualifizieren, ist die Messung der Betriebstemperatur der LEDs an bestimmten Referenzpunkten. Während Thermoelemente für diesen Zweck weit verbreitet sind, bietet die Infrarot-Thermografie eine berührungslose und effiziente Methode, um die erforderlichen Temperaturinformationen zu erhalten. Obwohl statische Temperaturentnahmen es ermöglichen, übermäßig warme Bereiche eines Prüflings zu lokalisieren, liefern sie keine detaillierten Informationen, welche

Komponente des Wärmepfades die Schwachstelle darstellt.

Für diese Herausforderung wurde am Fraunhofer-Anwendungszentrum Soest in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Südwestfalen ein bildgebendes Verfahren entwickelt, das die Schwachstellen eines Wärmepfades aufspürt und bewertet. Dazu wird zunächst gewartet, bis sich das LED-Modul auf seine Betriebstemperatur erwärmt hat. Anschließend wird die Stromversorgung abgeschaltet und die Abkühlung mit einer Hochgeschwindigkeits-Thermografiekamera aufgenommen. Diese Bilder werden anschließend durch einen eigens dafür entwickelten Algorithmus verarbeitet, um die einzelnen Komponenten des Wärmepfades zu separieren.

Diese Technik ermöglicht die Analyse von geringfügigen Änderungen im thermischen Pfad. Somit kann beispielsweise eine inhomogene oder defekte Verlotung erkannt werden, die zu einem unzureichenden thermischen Kontakt zwischen LED und Platine führt.

#### Autor

Dr. Peter Nolte  
Teamleiter am Fraunhofer-  
Anwendungszentrum  
Soest  
Tel. +49 2921 378-3555  
peter.nolte@  
imws.fraunhofer.de

## »Wir bieten Qualitätssicherung für 3D-gedruckte Bauteile«

### Interview mit Gruppenleiter Andreas Krombholz

#### Was waren Highlights 2021 für die Gruppe »Gerätebau und Konstruktion«?

Wir haben zwei spannende Projekte zum Einsatz von Naturstoffen begonnen, nämlich zu faserverstärkten Halbzeugen aus Hanffasern für den Leichtbau und zu einem biobasierten Epoxidharz auf Basis von Rapsschalen, das beispielsweise als Dämmstoff eingesetzt werden kann. Große Fortschritte hat auch die Entwicklung des »Cargo Cruiser II« gemacht. Das ist ein Lastenfahrzeug mit Elektromotor-Unterstützung für den Logistikbereich, insbesondere für die letzte Meile, also die Paketauslieferung bis zur Haustür. Wir haben unsere Projektpartner hier unter anderem mit der Konstruktion der modular konzipierten Karosserie aus besonders leistungsfähigen Naturfaser-Laminaten unterstützt. Mit einer Höchstgeschwindigkeit bis zu 50 km/h in der Fahrzeugklasse L7e und einem drei Kubikmeter großen Laderaum hat der »Cargo Cruiser II« klare Alleinstellungsmerkmale. Die ersten Testfahrten verliefen sehr vielversprechend.

#### Wie sieht das Angebot Ihrer Gruppe für Kunden aus?

Ein Schwerpunkt in unseren Forschungsprojekten mit Partnern aus der Industrie und öffentlichen Auftraggebern sind neue Fertigungstechnologien, insbesondere additive

Fertigungsverfahren wie 3D-Druck. Ein zweiter Fokus liegt auf biobasierten Materialien für Anwendungen im Strukturleichtbau. Hier können wir sowohl bei der Materialentwicklung als auch der Charakterisierung und der Qualitätsprüfung von Werkstoffen und Bauteilen unterstützen. Zusätzlich bieten wir auch Umweltbewertungen wie Life Cycle Analysis (LCA) an. Nicht zuletzt sind wir ein interner Dienstleister innerhalb des Instituts. Wir unterstützen die Geschäftsfelder also beispielsweise mit speziellen Versuchsaufbauten oder im wissenschaftlichen Gerätebau.

#### Was erwarten Sie für 2022?

Unsere Gruppe wird zum Jahresbeginn ins Geschäftsfeld »Polymeranwendungen« integriert. Das bietet viele Vorteile, weil es beispielsweise beim Thema 3D-Druck große Synergien gibt. Wir wollen hier insbesondere unsere Expertise für die Qualitätssicherung in der additiven Fertigung einbringen und ausbauen, sowohl für die eingesetzten Werkstoffe als auch für 3D-gedruckte Bauteile, wo es noch viel Forschungsbedarf gibt und mehr Aufmerksamkeit auch auf Anwendungsseite braucht. Als Teil des Geschäftsfelds können wir unseren Kunden ein noch besseres Angebot an technischer Ausstattung und FuE-Know-how machen.



#### Autor

Andreas Krombholz  
Gruppenleiter  
»Gerätebau und  
Konstruktion«  
Tel. +49 345 5589-153  
andreas.krombholz@  
imws.fraunhofer.de

## Schneller gesund nach einem Sturz: App soll Versorgung bei Beckenring-Fraktur verbessern

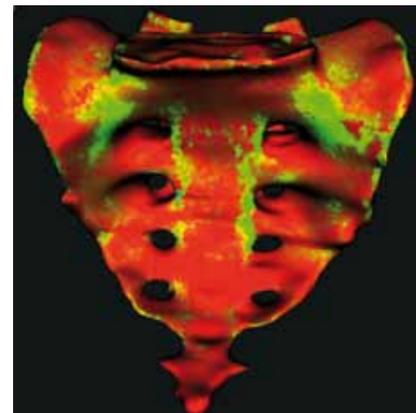
Sehbehinderungen, nachlassende Routinen im Alltag oder gelegentlicher Schwindel führen dazu, dass ältere Menschen häufiger stürzen. Rund die Hälfte solcher Stürze hat eine Verletzung des Beckenrings zur Folge. In einem gemeinsamen Projekt mit dem BG Klinikum Bergmannstrost Halle (gGmbH) will das Fraunhofer IMWS ein numerisches Modell entwickeln, das sowohl die operative Versorgung als auch die Rehabilitation nach Frakturen des Beckenrings verbessern soll.

Vor allem Menschen jenseits des Rentenalters sind von Frakturen des Beckenrings betroffen. Das liegt zum einen an der stärker ausgeprägten Fallneigung im höheren Lebensalter, zum anderen an der abnehmenden Knochenqualität. Bei Knochenschwund (Osteoporose) oder nachlassender Knochendichte als Vorstufe dazu (Osteopenie) kann schon ein Sturz aus dem Stand ausreichen, um Verletzungen des Beckenrings (Fragilitätsfrakturen) hervorzurufen.

Bisher gibt es keinen Konsens darüber, wie altersbedingte Beckenfrakturen bestmöglich chirurgisch behandelt werden. Es fehlt Wissen über die Effekte einzelner Operationsmethoden oder Implantate, ebenso wie genaue Kenntnisse über das mechanische Verhalten eines von Osteoporose betroffenen Beckenrings im Zusammenspiel mit den Bänder-, Muskel- und Knocheneigenschaften. Es gibt bereits numerische Modelle für diese Fragestellung. Diese berücksichtigen aber weder den deutlichen mikrostrukturellen Umbau des Knochens noch Eigenschaften noch die Veränderung des Bandapparats, der die Belastungen in das System des Beckenrings ein- und ausleitet.

Deshalb kommt im Projekt die Finite-Elemente-Methode (FEM) zum Einsatz, die eine

*Gemittelte Knochensteifigkeitsverteilung eines Kreuzbeins (Teil des Beckengürtels) bei alten Patienten mit Osteoporose. Grüne Bereiche verfügen über eine hohe Knochensteifigkeit, rote über eine geringe.*



vollständige, dreidimensionale Beschreibung von Knocheneigenschaften und Spannungsfeldern in Knochenstrukturen ermöglicht. In dieses Multiphasenmodell fließen radiologische Daten ein, so dass die Geometrie des Knochens ebenso erfasst wird wie seine innere Struktur und die Gestalt des umgebenden Weichgewebes. Diese Datensätze aus dem Klinikum Bergmannstrost verknüpft das Forschungsteam mit experimentellen mikromechanischen Werkstoffmodellen des Fraunhofer IMWS. Das Modell soll dann in der Lage sein, die Materialeigenschaften zu benennen. So lässt sich beispielsweise die Belastung beim Gehen für den Beckenring realistisch simulieren.

Das entstehende Modell soll in Form einer App zur Verfügung stehen, die geeignete Operationsmethoden für eine optimale Frakturversorgung, passende Implantate und angepasste Rehabilitationsstrategien möglich macht.

#### Autor

Dr.-Ing. Stefan Schwan  
Gruppe »Konstruktion  
und Fertigung«  
Tel. +49 2921 5589-282  
stefan.schwan@  
imws.fraunhofer.de

# Trauer um Prof. Dr. Andreas Heilmann

Das Fraunhofer IMWS trauert um Prof. Dr. Andreas Heilmann. Der Physiker, der im Januar 2021 nach längerer schwerer Krankheit verstorben ist, hat die Forschungseinrichtung in seiner mehr als 20-jährigen Tätigkeit entscheidend mitgeprägt, zuletzt als wissenschaftlicher Leiter des Geschäftsfelds »Biologische und Makromolekulare Materialien«.



Prof. Dr. Andreas Heilmann  
(1960 – 2021)  
hat das Fraunhofer-Institut in  
Halle entscheidend geprägt.

Andreas Heilmann war ein hochgeschätzter Wissenschaftler, der das Institut mit seiner wissenschaftlichen Tätigkeit, seinem unermüdlichen Einsatz, seinen Impulsen für die strategische Weiterentwicklung und nicht zuletzt seiner Rolle als Führungskraft entscheidend geprägt hat.

Nach dem Physikstudium an der Technischen Universität im damaligen Karl-Marx-Stadt war Andreas Heilmann bis 1992 dort als wissenschaftlicher Assistent tätig. Er promovierte 1988 auf dem Gebiet der Experimentalphysik, 1993 erhielt er ein Habilitationsstipendium der DFG am Lehrstuhl Gasentladungs- und Ionenphysik am Institut für Physik der mittlerweile als TU Chemnitz-Zwickau firmierenden Hochschule. 1997 schloss er seine Habilitation ab. Vorausgegangen waren Forschungsaufenthalte an der University of Oulu/Finnland und Helsinki University of Technology (1990), an der RWTH Aachen (1996–1997) sowie an der Stanford University/USA (1994, 1995).

Seit 1997 war Andreas Heilmann für das Fraunhofer-Institut in Halle (Saale) tätig, zunächst als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der »Fachgruppe 5.1 Mikrosystemtechnik«. 1999 wurde er zum Leiter des damaligen Leistungsbereichs »Biologische und Biomedizinische Materialien und Implantate« ernannt. Seit Juni 2006 war er Honorarprofessor für das Fachgebiet Mikro- und Nanotechnologien der Hochschule Anhalt, 2009 wurde er Leiter des Geschäftsfelds »Biologische und makromolekulare Materialien«, dessen wissenschaftlicher Leiter er zuletzt seit 2018 war. Sein wissenschaftlicher Werdegang hat mehr als 400 Publikationen und Abstracts in Büchern, Fachzeitschriften und Tagungsbänden, 13 Patente und 135 von ihm betreute Nachwuchsarbeiten hervorgebracht.

Ohne seinen herausragenden Einsatz wäre das Institut heute nicht das, was es ist. Insbesondere um die Entwicklung des Geschäftsfelds »Biologische und makromolekulare Materialien« hat sich Andreas Heilmann mit seiner großen fachlichen Kompetenz, seinem beharrlichen Forscherdrang und seiner unermüdlich hohen Identifikation mit dem Auftrag des Instituts größte Verdienste erworben. Seiner Persönlichkeit und seinen Verdiensten werden wir ein besonderes Andenken erhalten.

# Kuratorium

## Aufgaben des Kuratoriums

Dem Kuratorium des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS gehören Persönlichkeiten aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft an, die dem Institut fachlich nahestehen und sich einmal jährlich treffen.

Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Vorstand beraten die Mitglieder des Kuratoriums das Institut mit ihrer Expertise bei strategischen Themen, Weichenstellungen am Institut und der Entwicklung von Zukunftsperspektiven. Sie werden vom Fraunhofer-Vorstand im Einvernehmen mit der Institutsleitung berufen und arbeiten ehrenamtlich.

## Mitglieder des Kuratoriums

- **Prof. Dr. Jörg Bagdahn**, Hochschule Anhalt
- **Dr. Steffen Bornemann**, Folienwerk Wolfen GmbH
- **Dr. Torsten Brammer**, Wavelabs Solar Metrology Systems GmbH
- **Thomas Gerke**, Ministerium für Wissenschaft, Energie, Klimaschutz und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt
- **Uwe Girgsdies**, Audi AG (stv. Vorsitzender des Kuratoriums)
- **Prof. Dr. Frank Gonser**, Sanofi-Aventis Deutschland GmbH
- **Dr. Andreas Grassmann**, Infineon Technologies AG
- **Prof. Dr. Peter Gumbsch**, Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM (Gast)
- **Dr. Sandra Hofmann**, Trinseo Deutschland GmbH
- **Dr. Florian Holzapfel**, Pedanios GmbH
- **Prof. Ingrid Mertig**, Institut für Physik, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- **Dr. Christoph Mühlhaus**, Cluster-Chemie-Kunststoffe Mitteldeutschland
- **Matthias Müller**, Schott AG
- **Prof. Stuart S. P. Parkin**, Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik
- **Dipl.-Ing. Tino Petsch**, 3D-Micromac AG
- **Dr. Wolfgang Pohlmann**, Hella GmbH & Co. KGaA.
- **Jef Poortmans**, imec vzw
- **Dr. Thomas Rhönisch**, Rehau AG + Co.
- **Dr. Carsten Schellenberg**, Lanxess – IAB Ionenaustauscher GmbH
- **Dr. Frank Stietz**, Heraeus Holding GmbH (Vorsitzender des Kuratoriums)
- **Hans-Jürgen Straub**, X-FAB Semiconductor Foundries AG
- **Dr. Jürgen Ude**, Staatssekretär im Ministerium für Wirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft und Forsten des Landes Sachsen-Anhalt
- **Dr. Bert Wölfli**, Polifilm Extrusion GmbH

# Organigramm

INSTITUTSLEITUNG: Matthias Petzold*, Thomas Höche (stv.), Sylvia Schattauer (stv.), Thomas Merkel (Verwaltungsleiter)						
GESCHÄFTSFELDER						
<b>WERKSTOFFE UND BAUELEMENTE DER ELEKTRONIK</b> Frank Altmann*	<b>FRAUNHOFER-CENTER FÜR SILIZIUM-PHOTO-VOLTAIK CSP</b> Ralph Gottschalg	<b>OPTISCHE MATERIALIEN UND TECHNOLOGIEN</b> Thomas Höche	<b>WASSERSTOFF-TECHNOLOGIEN</b> Sylvia Schattauer	<b>KOHLSTOFFKREIS-LAUF-TECHNOLOGIEN (FREIBERG)</b> Martin Gräbner	<b>POLYMERANWENDUNGEN</b> Peter Michel	<b>BIOLOGISCHE UND MAKROMOLEKULARE MATERIALIEN</b> Christian Schmelzer
Bewertung elektronischer Systemintegration Sandy Klengel	Diagnostik und Metrologie Christian Hagendorf	Mikrostrukturbasierte Materialprozessierung Michael Krause	H <sub>2</sub> -Technologien** Sylvia Schattauer	Thermochemische Konversion** Jörg Kleeberg	Thermoplastbasierte Faserverbundhalbzeuge Ivonne Jahn	Charakterisierung medizinischer und kosmetischer Pflegeprodukte Andreas Kiesow
Diagnostik Halbleitertechnologien Frank Altmann	Modul- und Systemzuverlässigkeit Matthias Ebert	Mikrostruktur optischer Materialien Christian Patzig	Wasserstoff-Materialanalytik** Nadine Menzel*	Systemanalyse und Technologietransfer** Martin Gräbner	Bewertung von Faserverbundsystemen Ralf Schlimper	Biofunktionale Materialien für Medizin und Umwelt Andrea Friedmann
	Materialien und Prozesse Sylke Meyer			Prozessmodellierung und -optimierung** Martin Gräbner	Polymerbasiertes Materialdesign Mario Beiner	
				Chemische Prozesse und Katalyse** Sven Kureti	Thermoplastbasierte Faserverbundbauteile Matthias Zschehye	
<b>AWZ FÜR ANORGANISCHE LEUCHTSTOFFE SOEST</b> Stefan Schweizer						

\* kommissarisch  
\*\* in Gründung

INFRASTRUKTUR				
Thomas Merkel, Verwaltung			Matthias Petzold, Wissenschaftsmanagement	
Projekte und Finanzen Sven Heßler	Technische Dienste und IT Sebastian Gerling	Gerätebau und Konstruktion Andreas Kromholz	Büro Institutsleitung Jane Schmidt	Presse- und Öffentlichkeitsarbeit Michael Kraft
Personal und Dienstreisen Constanze Palecke	Recht und Compliance Thomas Merkel			

# Preise und Ehrungen

## Auszeichnung im Ranking der »Innovativsten Unternehmen Deutschlands« vom »Capital«-Magazin und Marktforschungsdienstleister »Statista«

Fraunhofer IMWS  
22.02.2021, Hamburg



## Hugo-Junkers-Preis des Landes Sachsen-Anhalt, 1. Platz in der Kategorie »Innovativste Projekte der angewandten Forschung«

Mario Beiner  
Ausgezeichnet wurde das Projekt »BISYKA«, in dem gemeinsam mit vier weiteren Fraunhofer-Instituten ein biomimetischer Synthesekautschuk entwickelt wurde.  
29.03.2021, virtuelle Preisverleihung

## Hugo-Junkers-Preis des Landes Sachsen-Anhalt, 2. Platz in der Kategorie »Innovativste Projekte der angewandten Forschung«

Christian Schmelzer, Tobias Hedtke und Marco Götze  
Ausgezeichnet wurde das Projekt »matriheal«, das die Bereitstellung leistungsfähiger und biokompatibler Materialien für innovative Wundauflagen möglich macht.  
29.03.2021, virtuelle Preisverleihung

## Erster Platz der Evonik-Challenge in der Kategorie »Boosting the performance of long-chain polyamides«

Magdalena Jablonska und Nicole Michler, gemeinsam mit Harald Rupp von der Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg  
»Compatibility and adhesion improvement of long-chain polyamides«  
01.04.2021, virtuelle Preisverleihung



## Werkstoffpreis der Schott AG

Klemens Ilse  
»Microstructural investigation and simulation of natural soiling processes on PV modules«  
11.06.2021, virtuelle Preisverleihung

## IQ-Preis der Stadt Halle

Christian Schmelzer, Tobias Hedtke und Marco Götze  
»matriheal – innovative Wundauflagen«  
25.06.2021, virtuelle Preisverleihung

## Jubiläumspreis des Fachverbandes der Fahrzeugindustrie Österreichs

Johannes Höflinger  
»Efficiency and operating strategy assessment of a fuel cell range extended electric vehicle«  
05.11.2021, Graz/Österreich

## »Soroptimist Förderpreis für herausragende Abschlussarbeiten von Absolventinnen in MINT-Fächern« der Fachhochschule Südwestfalen

Michelle Grüne  
»Dysprosium oxide doped lithium aluminoborate glass for LED light guides«  
25.11.2021, Soest

## Dissertationspreis der Hochschule Anhalt

Klemens Ilse  
»Microstructural investigation and simulation of natural soiling processes on PV modules«  
29.11.2021, Köthen

# Veröffentlichungen

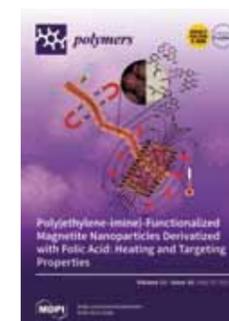
## Highlights



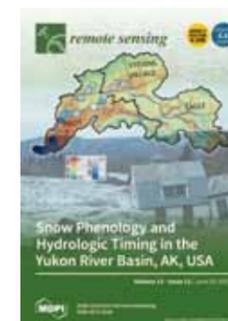
Poganietz, W-R.; Lee, R.P.  
**Systemanalyse**  
*Technikfolgenabschätzung, Handbuch für Wissenschaft und Praxis*  
 Nomos Handbuch (2021), 276-285



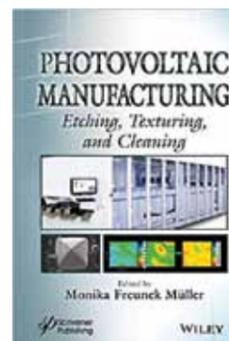
Ziegeler, N. J.; Nolte, P. W.; Schweizer, S.  
**Quantitative performance comparison of thermal structure function computations**  
*Energies*  
 Volume 14, Issue 21 (2021)



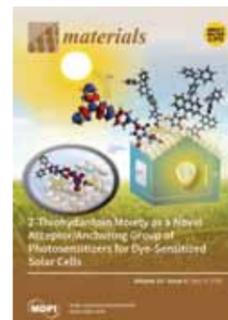
Omar H.; Smales, G.J.; Henning, S.; Li, Z.; Wang, D.-Y.; Schönhals, A.; Szymoniak, P.  
**Calorimetric and dielectric investigations of epoxy-based nanocomposites with halloysite nanotubes as nanofillers**  
*Polymers*  
 Volume 13, Issue 10 (2021)



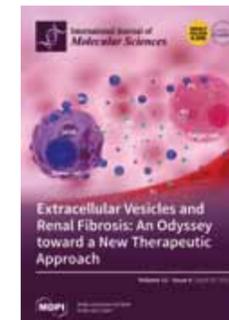
Torres, B.M.; Völker, C.; Nagel, S. M.; Hanke, T.; Kruschwitz, S.  
**An ontology-based approach to enable data-driven research in the field of NDT in civil engineering**  
*Remote Sensing*  
 Volume 13, Issue 12 (2021)



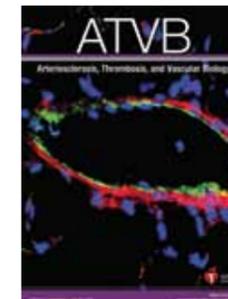
Wahl, S.; Meyer, S.  
**Analytical techniques for wet processing**  
*Photovoltaic Manufacturing*  
 Wiley (2021), 161-180



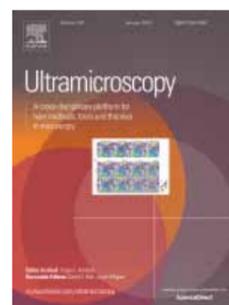
Mukherjee, K.; De Santi, C.; Borga, M.; Geens, K.; You, S.; Bakeroot, B.; Decoutere, S.; Diehle, P.; Hübner, S.; Altmann, F.; Buffolo, M.; Meneghesso, G.  
**Challenges and perspectives for vertical GaN-on-Si trench mos reliability: From leakage current analysis to gate stack optimization**  
*Materials*  
 Volume 14, Issue 9 (2021)



Friedmann, A.; Baertel, A.; Schmitt, C.; Ludtka, C.; Milosevic, J.; Meisel, H.-J.; Goehre, F.; Schwan, S.  
**Intervertebral disc regeneration injection of a cell-loaded collagen hydrogel in a sheep model**  
*International Journal of Molecular Sciences*  
 Volume 22, Issue 8 (2021)



Jeanne, A.; Sarazin, T.; Charlé, M.; Kawecky, C.; Kauskot, A.; Hedtke, T.; Schmelzer, C.E.H.; Martiny, L.; Maurice, P.; Dedieu, S.  
**Towards the therapeutic use of Thrombospondin 1/CD47 targeting TAX2 peptide as an antithrombotic agent**  
*Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*  
 Volume 41, Issue 1 (2021)

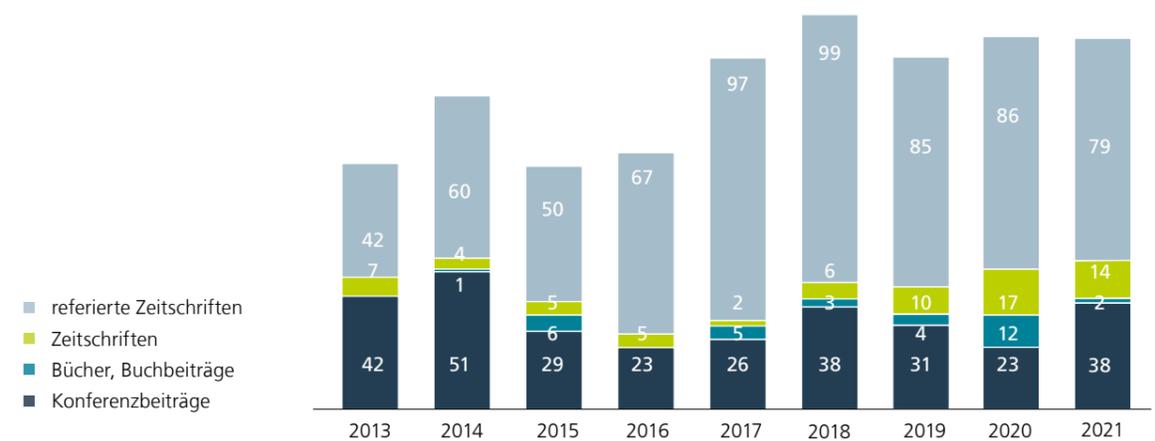


Diehle, P.; Kovács, A.; Duden, T.; Speen, R.; Žagar Soderžnik, K.; Dunin-Borkowski, R.E.  
**A cartridge-based turning specimen holder with wireless tilt angle measurement for magnetic induction mapping in the transmission electron microscope**  
*Ultramicroscopy*  
 Volume 220 (2021)



Hakeem, A. S.; Ali, S.; Höche, T.; Drmosh, Q.A.; Khan, A. A.; Jonson, B.  
**Microstructure evaluation and impurities in Ia containing silicon oxynitrides**  
*Nanomaterials*  
 Volume 11, Issue 8 (2021)

## Publikationen insgesamt



# Patente und Dissertationen

## Erteilte Patente 2021

### Gläßer, Thomas / Michel, Peter

Method for additively manufacturing a component  
Patent-Nr. EP 3 374 157 B1

### Großer, Stephan / Hagendorf, Christian / Naumann, Volker / Tänzer, Tommy

Schichtsystem und Verfahren zur Bestimmung des spezifischen Widerstandes  
Patent-Nr. DE 10 202014 211 352 B4

### Hagendorf, Christian / Schneider, Jens / Turek, Marko

Sensormodul und Verfahren zur Erfassung externer Einflussparameter, insbesondere beim Monitoring von Photovoltaik-Anlagen  
Patent-Nr. DE 10 2018 204 150 B4

### Höche, Thomas / Krause, Michael

Method and arrangement for manufacturing a sample for microstructural materials diagnostics and corresponding sample  
Patent-Nr. EP 2 787 338 B1

### Jacob, Tino / John, Marianne

Verfahren zum Einbetten bzw. Herstellen eines Faseroptikverbinders in einem Bauteil  
Patent-Nr. DE 10 2016 213 084 B4

## Dissertationen

### M. Sc. Hamed Hanifi

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Design von c-Si Modulen für hohe Wüstenbedingungen

### M. Sc. Tabea Luka

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Beiträge zur Aufklärung der lichtinduzierten Solarzell-Degradation unter erhöhter Temperatur

### M. Eng. Tim Schaffus

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Untersuchung des Einflusses von Probenpräparationsverfahren auf die mechanische Spannung im Silizium mittels Raman-Spektrometer

# Technische Ausstattung

Mit einem einzigartigen und umfangreichen Angebot für die Fehleranalyse und Werkstoffcharakterisierung unterstützt das Fraunhofer IMWS seine Auftraggeber. Dazu gehört eine technische Ausstattung auf höchstem Niveau – innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft verfügt das Fraunhofer IMWS über die umfassendste Ausstattung zur Mikrostrukturaufklärung. Die technische Ausstattung wird permanent erweitert und modernisiert, um den Kunden kontinuierlich High-Tech und erstklassigen Service bieten zu können. Hier eine Auswahl der 2021 neu hinzugekommenen Geräte.

## Pyrolyse – Gaschromatographie – Massenspektrometrie (Py-GC-MS)

Die neuen Geräte (multifunktionaler Pyrolysatoren, Single-Quadrupol-GC-MS-System und Gaschromatograph) ermöglichen die direkte Analyse von Polymermaterialien ohne aufwendige Probenvorbereitung, bereits für kleinste Probenmengen mit einer Masse von weniger als 100 mg. So lässt sich die Polymerzusammensetzung von Proben bestimmen, ebenso wird es möglich, Additive und/oder Verunreinigungen zu detektieren. Die Geräte können mit vielfältigen Probeaufgabenmöglichkeiten beispielsweise zur Analyse von Mikroplastik, dem Ermitteln der Kohlenwasserstoff-Profile von Ölen oder der Identifizierung von bisher unbekanntem Materialien/Zusammensetzungen genutzt werden. Sowohl qualitative als auch quantitative Analysen sind möglich, wobei intelligente Routinetools, beschleunigte Reaktionszeiten sowie der Autosampler für schnelle und reproduzierbare Resultate und hohen Probendurchsatz sorgen. Momentan wird diese Analysemethode am Fraunhofer IMWS eingesetzt, um Degradationseffekte von Solarmodulen zu erforschen. Durch Untersuchung der Verkapselungspolymere und insbesondere deren Additivstruktur sollen alterungsbedingte Leistungseinbußen der Module mit Veränderungen im Polymermaterial korreliert werden.

## 3D-Drucker Yizumi SpaceA-500-1100

Der 3D-Drucker von Yizumi erweitert die Möglichkeiten zur additiven Fertigung am Fraunhofer IMWS. Das Gerät vereint die Beweglichkeit eines 6-Achs-Industrie-Roboters mit der



Wirtschaftlichkeit eines Schneckenextruders für Kunststoffgranulat. Ein integrierter KUKA-Roboter erhöht die Freiheitsgrade gegenüber herkömmlichen additiven Fertigungsanlagen. Dadurch besteht die Option, sich von den Grenzen des zweidimensionalen Schichtaufbaus zu lösen und Strukturen lastpfadgerecht im Raum zu fertigen. Die Verarbeitung desselben Industriegranulats wie für Spritzgussanwendungen senkt die Herstellungskosten erheblich, sodass rentable Produktpreise möglich werden, wobei die gewohnten Freiheitsgrade in puncto Farbgebung und Additivierung mit denselben Masterbatches des Spritzgusses erhalten bleiben. Der hohe Austrag und die damit verbundene Druckgeschwindigkeit erlauben überdies eine zeit- und kostenoptimierte Fertigung, insbesondere großer Bauteile. Mit dem integrierten Fräskopf können gedruckte Oberflächen anschließend optimiert werden, um Passungen oder Oberflächen zu definieren.

# Veranstaltungen



Annika Thormann präsentierte neue Forschungsergebnisse in der Veranstaltungsreihe »Materials Insights«

## Vom Fraunhofer IMWS (mit-)organisierte Fachveranstaltungen

### 71st Electronic Components & Technology Conference ECTC 2021

01.06.–16.07.2021, virtuelle Veranstaltung

### PolyMerTech 2021

09.06.–11.06.2021, virtuelle Veranstaltung

### BIOPOLYMER – Processing & Moulding

15.06.2021, virtuelle Veranstaltung

### Ammonia for a sustainable and net zero economy

16.06.2021, virtuelle Veranstaltung

### Laser micromachining – a change in perspective

30.06.2021, virtuelle Veranstaltung

### International SPM Symposium on Failure Analysis and Material Testing – FAMT 2021

01.07.2021, virtuelle Veranstaltung

### PV Days

21.10.2021, virtuelle Veranstaltung

### Materials Insights 20 | 21

Im Rahmen dieser digitalen Veranstaltungsreihe wurden in zehn Einzelsession aktuelle Highlight-Themen des Fraunhofer IMWS präsentiert.

## Weitere öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen

### Feierliche Inbetriebnahme des Hydrogen Lab Leuna

21.05.2021, Leuna

### Beteiligung an der EinheitsEXPO zum Tag der Deutschen Einheit

19.09.–03.10.2021, Halle (Saale)

### Feierliche Inbetriebnahme des Erweiterungsbaus am Fraunhofer PAZ

04.11.2021, Schkopau



Der Kubus auf der EinheitsEXPO in Halle (Saale) u.a. mit dem Lego-Modell vom Hydrogen Lab Leuna (HLL).

# Vernetzung

Das Fraunhofer IMWS bringt sich in zahlreiche Netzwerke mit Partnern aus Industrie, Wissenschaft und Zivilgesellschaft ein, sowohl innerhalb von Fraunhofer-Formaten als auch mit externen Einrichtungen.

## Vernetzung innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft

- Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS
- Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik (Gastmitgliedschaft)
- Fraunhofer-Allianz Energie
- Fraunhofer-Leitprojekt Manitu
- Fraunhofer-Leitprojekt Waste4Future
- Fraunhofer Academy
- AG Reviernetzwerk (Arbeitsgruppe zum Strukturwandel)

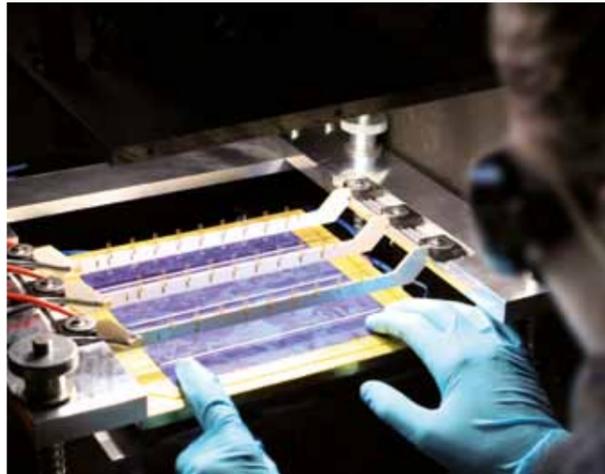
## Vernetzung mit externen Partnern

- Leistungs- und Transferzentrum Chemie- und Biosystemtechnik  
[www.chemie-bio-systemtechnik.de](http://www.chemie-bio-systemtechnik.de)
- Leistungszentrum für transdisziplinäre Systemforschung und Transfer (TransTech)  
<https://s.fhg.de/transtech>
- DFG-Sonderforschungsbereich Polymere unter Zwangsbedingungen  
[www.natfak2.uni-halle.de/sfbtrr102](http://www.natfak2.uni-halle.de/sfbtrr102)
- BMBF-Spitzencluster BioEconomy  
[www.bioeconomy.de](http://www.bioeconomy.de)
- BMBF-Spitzencluster SolarValley Mitteldeutschland  
[www.solarvalley.org](http://www.solarvalley.org)
- BMBF-Zwanzig20-Projekt HYPOS  
[www.hypos-eastgermany.de](http://www.hypos-eastgermany.de)

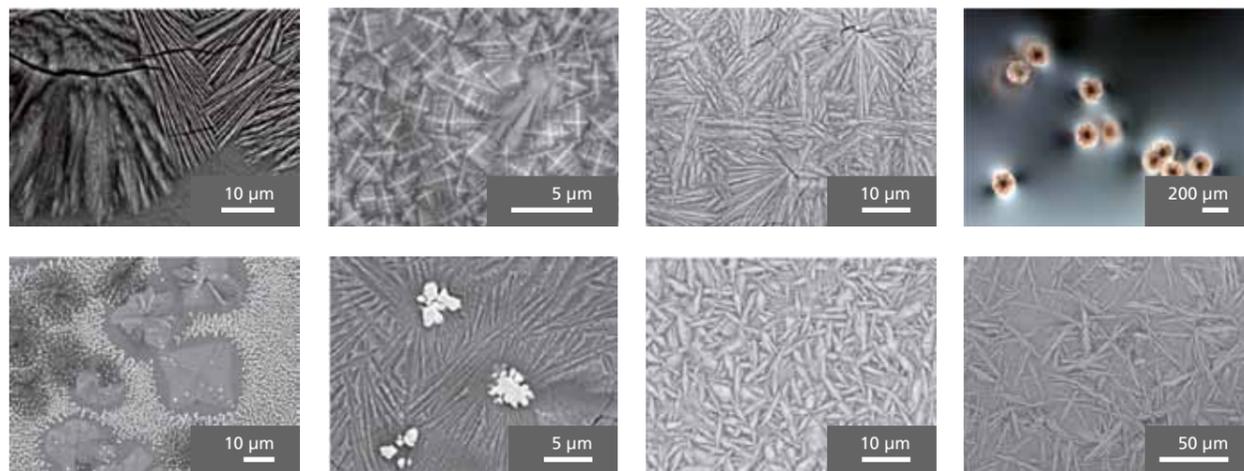
# Unsere Mission

## Mikrostrukturbasierte Diagnostik und Technologieentwicklung für innovative, effiziente und zuverlässige Werkstoffe, Bauteile und Systeme

Die Arbeit des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in Halle (Saale) baut auf den Kernkompetenzen in leistungsfähiger Mikrostrukturdiagnostik und im mikrostrukturbasierten Materialdesign auf. Dabei erforscht das Institut Fragen der Funktionalität und des Einsatzverhaltens sowie der Zuverlässigkeit, Sicherheit und Lebensdauer von innovativen Werkstoffen in Bauteilen und Systemen, die in unterschiedlichen Markt- und Geschäftsfeldern mit hoher Bedeutung für die gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung zur Anwendung kommen. Für seine Partner in der Industrie und für öffentliche Auftraggeber verfolgt das Fraunhofer IMWS das Ziel, zur Entwicklung neuer Werkstoffe beizutragen, Materialeffizienz und Wirtschaftlichkeit zu steigern sowie Ressourcen zu schonen. Damit leistet das Institut einen Beitrag zur Sicherung der Innovationsfähigkeit wichtiger Zukunftsfelder im Hinblick auf Werkstoffe und Technologien sowie zur Nachhaltigkeit als zentraler Herausforderung des 21. Jahrhunderts.



Unsere Kernkompetenz »Mikrostrukturdiagnostik«: Eine Solarzelle wird im Sonnensimulator überprüft. So lassen sich Defekte erkennen und Aussagen über das Degradationsverhalten treffen.

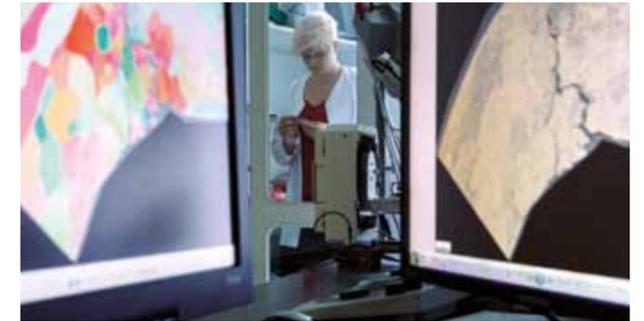


Unsere Kernkompetenz »Mikrostrukturdesign«: Durch die Realisierung homogener Volumenkeimbildung konnte die neuartige, niedrigdehnende Keramik LEAZit™ entwickelt werden.

# Kernkompetenzen

## Mikrostrukturdiagnostik – discovered by Fraunhofer IMWS

Das Fraunhofer IMWS verfügt über ausgezeichnetes Know-how und bietet innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft die umfassendste Ausstattung zur Mikrostrukturaufklärung. Bis zur atomaren Ebene bestimmen wir damit mikrostrukturelle Werkstoff- und Bauteilmerkmale und die daraus resultierenden Eigenschaften im Einsatzfall. Wir setzen die Mikrostruktur, vor allem von Halbleitern, Polymeren und biologischen Materialien, in Korrelation zu lokalen Eigenschaften und machen so Leistungsreservoirs nutzbar.



Mit modernster Technik sind tiefe Einblicke in Materialien und deren Verhalten im Einsatz möglich.

## Mikrostrukturdesign – designed by Fraunhofer IMWS

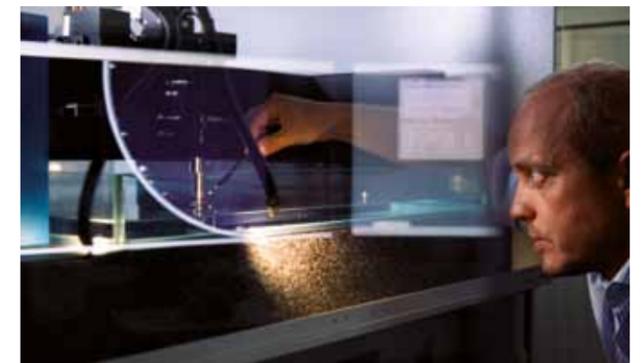
Das Verständnis und die Beherrschung der Mikrostruktur ermöglichen uns Eingriffe in fundamentale Materialeigenschaften. Mit Hilfe von Mikrostrukturdesign bringen wir unser Material-Know-how bereits während der Entwicklungsphase ein und unterstützen unsere Kunden am Beginn der Wertschöpfungskette mit passgenauen Materialien für den jeweiligen Einsatz. Das Fraunhofer IMWS leistet damit einen entscheidenden Beitrag zur Ressourceneffizienz und der Wettbewerbsfähigkeit seiner Kunden, ermöglicht leistungsfähigere Werkstoffe und eröffnet neue Anwendungsfelder.



UD-Tapes aus faserverstärkten Kunststoffen werden zu besonders leichten und robusten Bauteilen verarbeitet.

## Entwicklung von Prüfgeräten – engineered by Fraunhofer IMWS

Erfolgreiche Mikrostrukturanalytik im Sinne unserer Kunden ist nur durch den Einsatz von hochkarätigem Instrumentarium möglich. Die komplexen Fragestellungen in Forschung und Entwicklung sowie neue Methoden und Materialien erfordern passgenaue Gerätschaften und so engagieren wir uns – aufbauend auf unserer langjährigen Erfahrung mit vorhandenen Techniken – zunehmend in der Entwicklung neuer Geräte. Unabdingbar dafür sind langjährige Kooperationen mit unseren Industriepartnern.



Mit akustischer Mikroskopie lassen sich kleinste Risse in Materialien erkennen, ohne die Proben zu zerstören.

# Hochschulpartnerschaften



- 1** Rensselaer Polytechnic Institute RPI, Troy, New York, USA
- 2** CIC nanoGUNE Nanoscience Cooperative Research Center, San Sebastian, Spanien
- 3** Institute of Scientific Instruments of the Academy of Sciences of the Czech Republic (ISI), Brno, Tschechien
- 4** Institut de Recherche en Energie Solaire et Energies Nouvelles (IRESEN), Rabat, Marokko
- 5** Qatar Environment and Energy Research Institute QEERI, Ar-Rayyan, Katar
- 6** Hanyang University, Seoul, Südkorea
- 7** Korea Institute of Energy Research KIER, Daejeon, Südkorea
- 8** Yeungnam University, Gyeongsan, Südkorea
- 9** Korea Institute of Energy Technology (KENTECH), Naju, Südkorea

- A** Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Burg Giebichenstein Kunsthochschule Halle
- B** Hochschule Anhalt (Köthen)
- C** Hochschule Merseburg
- D** Universität Leipzig, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
- E** Technische Universität Dresden
- F** Hochschule Schmalkalden
- G** Technische Universität Ilmenau
- H** Fachhochschule Südwestfalen (Soest)
- I** Technische Universität Bergakademie Freiberg

# Nachhaltigkeitsbericht

Weniger innerdeutsche Dienstreisen (Rückgang um 80 Prozent im Vergleich zu 2019), weniger Auslandsreisen (minus 97 Prozent), weniger zurückgelegte Kilometer mit den Dienstwagen (minus 62 Prozent): Die Auswirkungen der Covid-19-Pandemie haben auch 2021 dazu beigetragen, dass am Fraunhofer IMWS weitere Ressourcen und Emissionen eingespart wurden. Natürlich beschränkten sich die Bemühungen um mehr Nachhaltigkeit auch in den Prozessen des Instituts aber nicht auf diese Faktoren, die durch äußere Umstände eingetreten sind. Mit vielfältigen Aktivitäten strebt das Fraunhofer IMWS danach, auch in der eigenen Arbeit nachhaltig zu denken und zu handeln.

Dazu gehört der Blick auf den Ressourcenverbrauch in den Liegenschaften des Instituts. So gelang im zweiten Halbjahr 2021 am Standort Heideallee eine deutliche Energieeinsparung durch bedarfsgerechte Optimierung der Kühlwasser-Vorlauf-temperaturen, und zwar trotz der Inbetriebnahmen weiterer wissenschaftlicher Geräte. In der Walter-Hülse-Straße wurden der Lüftungsbetrieb und die Druckluftherzeugung weiter verbessert. Die neben dem Fraunhofer CSP installierte Photovoltaik-Anlage erzeugte im Gesamtjahr 93.520,88 kWh Strom, der am Institut genutzt wird. Somit konnten rund 37,5 Tonnen CO<sub>2</sub> im Vergleich zum Bezug dieser Menge aus dem durchschnittlichen deutschen Strommix eingespart werden. Eine weitere Solaranlage auf dem Dach der Walter-Hülse-Straße ist in Planung und wird diesen Effekt künftig noch vergrößern.

In zwei Projekten der Fraunhofer-Zukunftsstiftung engagieren sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für Ziele, die eng an den Sustainable Development Goals (SDG) der Vereinten Nationen ausgerichtet sind. Im Projekt »INSYGMMA« wird eine gemeinsam mit anderen Instituten entwickelte Lösung für verbesserten Reifenkautschuk in den Markt gebracht, die Rollwiderstand und damit Energieverbrauch sowie das Einbringen von Mikroplastik in die Umwelt reduziert. Im Rahmen von »myLens« arbeitet ein Team an neuartigen Laser-strukturierte Brillengläsern für die Therapie von Kurzsichtigkeit bei Kindern, die gezielt auch den Einsatz in Schwellen- und Entwicklungsländern adressiert.



Durch die Eigennutzung des Stroms aus der Solaranlage am Fraunhofer CSP konnten 2021 rund 37,5 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden.

Zur Stärkung der sozialen Aspekte im Nachhaltigkeitskonzept des Fraunhofer IMWS gehört auch die Ende 2021 abgeschlossene Betriebsvereinbarung zum orts- und zeitflexiblen Arbeiten. Basierend auf den guten Erfahrungen einer Übergangslösung in der Corona-Phase wird damit den Mitarbeitenden dauerhaft mehr Flexibilität eingeräumt, die Vereinbarkeit von Familie und Beruf erleichtert und nicht zuletzt weitere Ressourcen beispielsweise durch im Home Office nicht notwendigen Fahrtwege eingespart.

Im Mittelpunkt steht das Thema Nachhaltigkeit auch beim Angebot des Fraunhofer IMWS für Life Cycle Analysis (LCA). Hier wird für die Auftraggeber des Instituts ermittelt, wie groß der ökologische Fußabdruck eines Produkts über den gesamten Lebenszyklus ist, beginnend bei der Rohstoffgewinnung über Herstellung und Nutzung bis hin zu den Recycling-Möglichkeiten. Auf Basis genormter Prozesse lassen sich so präzise Aussagen zu Stoff- und Energieströmen treffen, aus denen Empfehlungen für Optimierungen hervorgehen können. Die Expertise des Instituts umfasst dabei auch die Modellierung von Stoffkreisläufen, Anbindung an normierte Datenbanksysteme sowie die vergleichende Bewertung von Schadstoffemissionen.

# Ausblick

Das wichtigste Ereignis für das Fraunhofer IMWS im Jahr 2022 konnten wir bereits zu Beginn des Jahres vermelden: Im Februar hat Prof. Dr. Erica Lilleodden die Leitung unseres Hauses übernommen. Die Materialwissenschaftlerin kommt vom Helmholtz-Zentrum hereon in Geesthacht, wo sie zuletzt zehn Jahre lang die Abteilung für Experimentelle Werkstoffmechanik geleitet hat. Zu den vorherigen Stationen der gebürtigen US-Amerikanerin gehören beispielsweise solch renommierte Forschungseinrichtungen wie die University of Minnesota – Twin Cities, die Stanford University und das Karlsruhe Institute of Technology KIT. Ihre persönlichen Forschungsschwerpunkte betreffen die Nano- und Mikromechanik von Werkstoffen wie Metallen, Keramiken und Verbundmaterialien, etwa im Hinblick auf Verformung und Defektbildung im Einsatz sowie die zielgerichtete Entwicklung von Materialien mit spezifischen Eigenschaften für Hochleistungsanwendungen. Damit schließen die fachlichen Erfahrungen und Kenntnisse unserer neuen Institutsleiterin eng an unsere eigenen Kernkompetenzen im Bereich der Mikrostruktur an und werden diese optimal für die Erschließung neuer Marktfelder ergänzen.

Wir freuen uns daher sehr, Prof. Dr. Erica Lilleodden in einem gemeinsamen Berufungsverfahren mit der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg für die Position in Halle (Saale) gewonnen zu haben. Wir sind uns gewiss, dass sich das Fraunhofer IMWS unter ihrer Führung weiterhin sehr erfolgreich entwickeln wird, aufbauend auf den Leistungen und sehr guten Ergebnissen des Instituts in den vergangenen Jahren unter der kommissarischen Leitung von Prof. Dr. Matthias Petzold.

Auch in weiteren Führungspositionen stehen für 2022 Neubesetzungen an. Prof. Dr. Peter Michel, Leiter des Geschäftsfelds »Polymeranwendungen«, werden wir im Frühjahr mit großem Dank für die engagierte Arbeit der vergangenen Jahre in den Ruhestand verabschieden. Gemeinsam mit der Hochschule Merseburg ist hier der Berufungsprozess für die Nachfolge weit fortgeschritten. Begonnen hat auch das gemeinsame Berufungsverfahren mit der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur (HTWK) Leipzig für eine ergänzende Aufstellung in der Leitung des Geschäftsfelds »Werkstoffe und Bauelemente der Elektronik« in Verbindung mit einer Hochschulprofessur.

Ein Höhepunkt im Veranstaltungskalender soll das Festkolloquium zum 30. Jubiläum der Fraunhofer-Aktivitäten in Halle sein. Mit vielen Akteuren, die zu dieser Erfolgsgeschichte beigetragen haben, möchten wir nicht nur auf die Historie des Instituts zurückblicken, sondern insbesondere die Zukunftsthemen des Fraunhofer IMWS sowie die neue Leitung in den Mittelpunkt stellen. Die zahlreichen bereits laufenden Projekte, die sich gerade anbahnenden Programme und künftigen Ideen, beispielsweise zu Bioökonomie-Lösungen im Kunststoffbereich, vertrauenswürdiger Elektronik, 3D-Druck oder neuen Funktionsmaterialien für medizinische oder optische Anwendungen bieten mehr als genug Themen, die wir zu diesem Termin – und natürlich gerne auch zu anderen Gelegenheiten – mit unseren Partnern aus Wirtschaft, Politik und der akademischen Welt diskutieren, weiterentwickeln und schließlich erfolgreich umsetzen möchten. Eine wichtige Rolle spielen dabei auch unsere Wasserstoffaktivitäten, die sich künftig auf unsere

Kompetenzen in der Diagnostik und Sicherung von Sicherheit und Zuverlässigkeit von Materialien für H<sub>2</sub>-Technologien und elektrochemische Wandler fokussieren werden. Dies erfolgt in enger Kooperation mit unseren Kolleginnen und Kollegen im Bereich Elektrolyse, die Ende 2021 in die neue Außenstelle des Fraunhofer IWES in Leuna übergewechselt sind.

Nicht zuletzt wird 2022 die weitere Strategieentwicklung zu den Themen der Kohlenstoffkreislaufprozesse an unserem Standort in Freiberg eine wichtige Rolle spielen. In all diesen Bereichen wollen wir auch weiterhin auf die vertrauensvolle Unterstützung unserer erfolgreich etablierten Industriebeiräte sowie des Kuratoriums setzen, das ebenfalls ein neues Gesicht erhalten wird. Intern wird die Umstellung vieler Verwaltungsvorgänge auf eine SAP-Lösung eine zusätzliche Herausforderung für unsere Arbeitsabläufe darstellen – wir hoffen, dass es im Ergebnis damit gelingt, die Effizienz unserer organisatorischen Prozesse deutlich zu erhöhen.

Mit Stolz kann festgestellt werden, dass die Akquisekoffer unserer Geschäftsfelder bereits zu Beginn des Jahres gut gefüllt sind, wodurch sich ein positiver Ausblick auf die wirtschaftliche Situation für 2022 abzeichnet. Im Rahmen der mittlerweile gut eingespielten New-Normal-Rahmenbedingungen am Institut können wir damit die Innovations- und Wettbewerbsfähigkeiten unserer Kunden und Partner in angewandten Forschungs- und Projektarbeiten weiterhin aktiv unterstützen und eigene fachliche Kompetenzen gezielt ausbauen. Wir wünschen uns für 2022 aber auch, dass eine Präsentation

fachlicher Ergebnisse sowie der Erfolge in der Weiterentwicklung des Fraunhofer IMWS wieder häufiger in Präsenz und in persönlichen Kontakten auf Messeauftritten und auf unseren eigenen wissenschaftlichen Veranstaltungen möglich sein wird, etwa bei der zweiten Auflage unserer Thermoplast-Sandwichtagung, auf dem langjährig etablierten internationalen CAM-Workshop zur Fehlerdiagnostik in der Elektronik, mit den PV Days der Photovoltaik oder im Rahmen der wieder stattfindenden Langen Nacht der Wissenschaften in Halle (Saale). Unsere digitale Veranstaltungsreihe »Materials Insights«, mit der wir in einem kompakten Format aktuelle Forschungshighlights des Instituts vorstellen, werden wir ebenfalls fortsetzen.

Wir freuen uns auf die kommende Zusammenarbeit und auf weitere persönliche Begegnungen mit Ihnen!

# Impressum

---

**Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von  
Werkstoffen und Systemen IMWS**  
**Walter-Hülse-Straße 1**  
**06120 Halle (Saale)**  
**+49 3 45 55 89-0**  
**info@imws.fraunhofer.de**  
**www.imws.fraunhofer.de**

## **Redaktion**

Michael Kraft, Luisa Mehl, Fraunhofer IMWS  
Redaktionsschluss: 31. März 2022

## **Anschrift der Redaktion**

Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von  
Werkstoffen und Systemen IMWS  
Öffentlichkeitsarbeit  
Walter-Hülse-Straße 1  
06120 Halle (Saale)  
+49 3 45 55 89-204  
info@imws.fraunhofer.de  
www.imws.fraunhofer.de

## **Gestaltung und Produktion**

4iMEDIA GmbH, Leipzig

## **Druck**

Reprocenter GmbH, Halle (Saale)

Alle Rechte vorbehalten. Bei Abdruck ist die Einwilligung der  
Redaktion erforderlich.

## **Abbildungsverzeichnis**

S. 4: © Thomas Meinecke Staatskanzlei Sachsen-Anhalt  
S. 4: © Fraunhofer IWM  
S. 8,11: © Wikimedia Commons / Drahniers  
S. 13: © Slejven Djurakovic-Unsplash / Padlock free icon:  
Flaticon.com, Montage: Fraunhofer IMWS  
S. 14, 16, 17, 18, 61: © Fraunhofer CSP  
S. 19: © Fotomontage Fraunhofer CSP / Solarreviews.com  
S. 28: © MEV-Verlag  
S. 30: © privat  
S. 45: © Fraunhofer AWZ Soest

Alle weiteren Abbildungen: © Fraunhofer IMWS

Wenn Sie den Jahresbericht regelmäßig erhalten wollen,  
können Sie sich unter <https://s.fhg.de/jb2021> für das Abonne-  
ment registrieren. Dort finden Sie auch die digitale sowie die  
englische Version unseres Jahresberichts.

Das Fraunhofer IMWS arbeitet nach  
einem Qualitätsmanagementsystem,  
das nach ISO 9001 zertifiziert ist.  
Zertifikatsnummer DE07/3361