

Jahresbericht 2020 | 2021

 **LESS**

 **IS**

 **MORE**





# Grußwort



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

neben klimafreundlicher Transformation und Digitalisierung gewinnt global der Umgang mit Ressourcen immer mehr Gewicht. Verteuerung von Rohstoffen und kritische Verfügbarkeit werden öffentlich diskutiert und haben auch Eingang in die politischen Leitlinien («Green Deal» der Europäischen Union) gefunden – ein Erfolg auch für die jahrelange Beharrlichkeit, mit der das ISC und seine Mitstreiter die Notwendigkeit des Umdenkens belegt und kommuniziert haben. Hier wird ein Paradigmenwechsel notwendig sein, der wirtschaftliche Prosperität vom Ressourcenverbrauch entkoppelt. »Less is more« – Wertschöpfung muss mit weniger Ressourceneinsatz geschaffen werden, und die genutzten Ressourcen müssen im Kreislauf geführt werden. Das ISC kann auch hier mit seiner Materialforschung wichtige Beiträge leisten, wie Sie bei der Auswahl der Projekte in diesem Jahresbericht feststellen werden. Eine wichtige Rolle spielen hierbei multifunktionelle Beschichtungsmaterialien, die beispielweise einen wesentlichen Beitrag für die Rezyklierbarkeit von Kunststoffverpackungen leisten können. Kollegin Dr. Sabine Amberg-Schwab erhielt zuletzt für ihre neuen Verpackungskonzepte einige wichtige Auszeichnungen, darunter den Deutschen Verpackungspreis 2020 in Gold und den Sustainability Award 2020 von European Packaging – eine große Ehre und Anerkennung ihres Engagements für umweltfreundlichere Verpackungen.

Einer der Vorreiter in der öffentlichen und wissenschaftlichen Diskussion ist hier die Batterieforschung und -entwicklung, in der sich eine Transformation hin zu einem schonenderen Ressourcengebrauch und den – auch monetären – Vorteilen einer Kreislaufwirtschaft immer mehr etabliert. Dies wurde auch in den Beiträgen auf der Green Batteries Conference 2021 deutlich, die das Fraunhofer ISC in Kooperation mit der Battery 2030+ Initiative der EU und dem Europäischen Lithium Institut eLi ins Leben gerufen hat. Rund 1400 Teilnehmer aus Forschung und Industrie registrierten sich zu dem erstmals stattfindenden Online-Event, ein beachtlicher Erfolg und ein deutliches Zeichen für das große Interesse an umweltfreundlichen und ressourcenschonenden Batterietechnologien.

Voran geht es auch mit der europaweit ersten industrienahen Faserpilotanlage am Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL in Bayreuth. Die Anlage konnte erfolgreich in Betrieb genommen werden, im September 2021 wurden die ersten SiC-Faserspulen von Projektpartner BJS Ceramics GmbH beim Bayerischen Wirtschaftsministerium präsentiert. Damit ist ein wichtiger Meilenstein für eine europäische Technologieplattform für nichtoxidische keramische Verstärkungsfasern erreicht – essentiell z. B. für die Weiterentwicklung innovativer Leichtbauwerkstoffe für eine effizientere, CO<sub>2</sub>-sparende Energiewandlung.

Die Entwicklung des Translationszentrums für Regenerative Therapien TLZ in Würzburg verläuft weiterhin sehr erfreulich. Für die Arbeiten im Projekt ImAi zu einem neuen Testverfahren, das den seit 1944 als Standard genutzten Draize-Eye-Test bei der Prüfung des Augenreizungspotenzials von Substanzen ersetzen soll, wurde Dr. Christian Lotz in diesem Jahr in Berlin mit dem Felix Wankel Tierschutz-Nachwuchspreis ausgezeichnet – Gratulation an den jungen Kollegen für diesen Erfolg! Die Sanierung der alten Würzburger Augenklinik schreitet indes voran – auch wenn es noch ein ganzes Stück Arbeit ist, bis das denkmalgeschützte Gebäude von 1901 in neuem Glanz und mit modernen Biolaboren erstrahlen wird ...

Ein herzlicher Dank an Sie, liebe Freunde und Partner, für Ihr Interesse, Ihr Feedback und Ihre Anregungen, wie auch an die Bundes- und Landesministerien für die Unterstützung unserer Forschung und an die Europäische Kommission für das Ermöglichen länderübergreifender Lösungsansätze.

Ich wünsche uns allen Glück, Tatkraft und Erfolg bei der Bewältigung der globalen Herausforderungen. Und ... bleiben Sie gesund!

Ihr

Gerhard Sextl



# Inhalt

---

Mehr im Internet –  
schauen Sie vorbei unter  
[www.isc.fraunhofer.de/  
jahresbericht](http://www.isc.fraunhofer.de/jahresbericht)

Grußwort .....	4
Jahresbericht – Das Fraunhofer ISC im Profil .....	7
Organigramm und Kuratorium .....	10 – 12
bioORMOCERE® – »ausgezeichnete« Verpackungsmaterialien für die Zukunft ....	14
»MoNova« – recyclingfähige Verpackungsfolien auf Monomaterialbasis .....	16
»NewHyPe« – bioabbaubare Mulchpapiere sorgen für Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft .....	18
»MaNiTU« – neue Funktionsmaterialien ermöglichen höhere Wirkungsgrade .....	20
»SUPERSMART« – direkt gedruckte Sensoren, Displays und Elektronikkomponenten auf Papier .....	22
»EVOBIO« – evolutionäre bioökonomische Prozesse .....	24
»HiQ-CARB« – Meilenstein für nachhaltige Batterien – »grünere Kohlenstoffe« ...	26
»DeCaBo« – CO <sub>2</sub> und Ressourcen am Bau einsparen .....	28
»EWA« – Wasser effizient aufbereiten .....	30
Keramik aus dem 3D-Drucker .....	32
»AirfOx« – Entwicklung einer faserverstärkten endkonturnahen Airfoil aus hochsteifer Oxidkeramik. ....	34
»FORGE« Entwicklung neuartiger und kostengünstiger Beschichtungen für Hochtemperaturanwendungen. ....	36
»digaP« – Beschichtungsverfahren spart kritische Ressourcen beim Galvanisieren ..	38
»OASIS« – EU-Projekt geht mit KMU-Democases in die nächste Runde. ....	40
»ImAi« – neues Testverfahren soll weltweiten Standard-Tierversuch ersetzen. ....	42
Impressum .....	45

# INFOGRAFIK



100% Ökostrom in den Liegenschaften des ISC

Personal

2020



Betriebshaushalt

2020

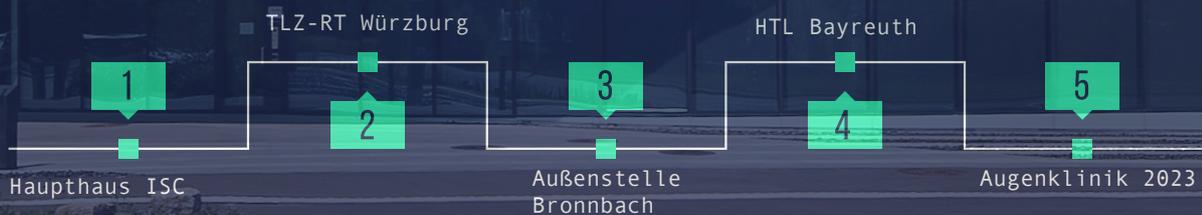


Personal

Technische Mitarbeiter	69
Graduierte Mitarbeiter	125
Wissenschaftliche Mitarbeiter	111
Doktoranden	17
Auszubildende	7
Hiwis	52
Praktikanten	3

Betriebshaushalt

EU   Sonstige	2,3 Mio €
Industrieaufträge	6,2 Mio €
Öffentliche Aufträge	6,6 Mio €
Institutionelle Förderung	10,3 Mio €



# Jahresbericht – das Fraunhofer ISC im Profil

---

Das wirtschaftliche Wachstum ist immer noch zu stark mit dem Wachstum des Ressourcenverbrauchs gekoppelt. Wir haben nur einen Planeten Erde und graben uns auf diese Weise buchstäblich den Boden unter den Füßen ab. Deshalb müssen wir unser Wirtschaften, unsere Produktion und unsere Wertschöpfung ändern. »Less is more« muss die neue Devise werden – das Fraunhofer ISC will und kann mit seiner Materialforschung und Verfahrensentwicklung seine Kunden und Entwicklungspartner in die Lage versetzen, ressourceneffizient zu arbeiten – d. h. mit möglichst wenig Ressourceneinsatz nachhaltige Produkte mit fairer Wertschöpfung herstellen.

## Irgendwie muss man ja anfangen ...

---

»Auch der Klimawandel, den wir mit unserem Hunger nach Energie, Mobilität, Konsum, weltweiter Vernetzung vorantreiben, wird in aller erster Linie uns selbst und unseren nachfolgenden Generationen schaden... an diesen Herausforderungen müssen wir unsere Arbeit messen und für ihre Lösung wollen wir im Fraunhofer ISC essentielle Beiträge leisten.«

Diesen Satz hatte das Fraunhofer ISC bereits in den vergangenen Jahren seinem Jahresbericht vorangestellt. Mit dem Beginn der weltweiten »Fridays for Future«-Bewegung ist der Klimawandel nun auch auf die Agenda der Politik gerückt, die EU hat einen »Green Deal« ausgerufen und das Erreichen der Klimaziele erhält endlich mehr Priorität.

Mit »Materials meet...« zeigt das Institut, in welchen Bereichen Materialforschung wirksam werden kann, um nicht nur das Erreichen der

Klimaziele zu unterstützen, sondern auch die nachhaltigere Nutzung der begrenzten Ressourcen zu ermöglichen.

Im Fokus der Berichterstattung sollen in diesem Jahresbericht die Projekte stehen, die hinsichtlich der Ressourceneffizienz besondere Bedeutung haben.

Eine wichtige Rolle spielen in diesem Zusammenhang auch die Forschungsaktivitäten, die unter »Materials meet... Energy« zusammenlaufen. Das Institut ist mit seinem Fraunhofer FuE-Zentrum Elektromobilität derzeit an mehr als einem Dutzend nationaler und internationaler Forschungsprojekte rund um die Etablierung einer neuen Generation von Energiespeichern und ihrer Produktionsplattformen in Europa beteiligt. Erklärtes Ziel der europäischen Aktivitäten ist die Schaffung einer starken Wettbewerbsposition für europäische Hersteller hinsichtlich der für Energiewende und Elektromobilität notwendigen stationären und mobilen Batterien. Neue Materialien und Komponenten für Lithium-basierte Speichertechnologien wie auch für die effiziente, ressourcenschonende Energiewandlung sowie optimierte

### Kontakt

---

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

Hochtemperaturprozesse für signifikant reduzierte CO<sub>2</sub>-Emissionen in besonders energieaufwändigen Branchen werden unter dem Dach des Fraunhofer ISC entwickelt. Im Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau am Standort Bayreuth wurde eine in Europa einzigartige Faserpilotanlage in Betrieb genommen, die Keramikfasern für den Hochtemperaturleichtbau bereits im industriellen Pilotmaßstab produziert.

### 3D-Testsysteme für die Biomedizin

Nach wie vor wird das Weltgeschehen jedoch durch die COVID19-Pandemie bestimmt. Damit rückt ein zweiter Forschungsschwerpunkt des Fraunhofer ISC in den Fokus: »Materials meet... Biomedicine«. Mit der Forschung des Translationszentrums für Regenerative Therapien arbeitet das Fraunhofer ISC auch hier an Lösungen für eine globale Herausforderung mit. So können mithilfe von humanen 3D-Gewebemodellen der Atemwege die Interaktion der Corona-Viren mit Körperzellen und die Wirksamkeit von Wirkstoffen untersucht werden. Durch das Zusammenführen von Materialsynthesen, zellbiologischen Systemen und additiven Herstellverfahren des Fraunhofer ISC werden neue biomedizinische Anwendungen in der regenerativen Medizin erschlossen. Als Alternativen zu Tierversuchen stehen humane 3D-Testmodelle zur Verfügung, die gesunde oder kranke Körperbarrieren simulieren und dadurch die Testung neuer Formulierungen und Therapeutika ermöglichen. Die Einbindung von automatisierten Produktionsmethoden und robotergestützten Systemen ermöglicht zukünftig eine zuverlässige, schnelle und kostengünstige Kultivierung von Zellmodellen und zellbasierten Testsystemen.

## ... um weiter in die Zukunft zu gehen

Die Material- und Prozessentwicklung implementiert mehr und mehr Methoden der Künstlichen Intelligenz, der Digitalisierung und Automatisierung, um schneller zu Lösungen zu kommen. Im Zentrum von »Materials meet... Digitization« am Fraunhofer ISC steht die Ausarbeitung einer übergreifenden ontologischen Beschreibung der vielfältigen Materialklassen an sich und der zur Verarbeitung notwendigen Prozessketten. Davon leitet sich die Architektur eines zentralen Datenraumes ab, der im Laufe seines beständigen Wachstums wechselseitig sowohl mit real erfassten Prozessparametern und Analyseergebnissen als auch mit Ausgabedaten von parallel entstehenden Simulationsmodellen gespeist wird. Weiterhin ermöglicht die Entwicklung modularer »Machine Learning Algorithmen« anhand der ontologischen Beschreibung, nicht direkt zugängliche Zusammenhänge zwischen Größen, insbesondere zwischen Parametern von Materialien und Prozessen und von Zieleigenschaften der Materialien, herzustellen. Zusätzlich sollen diese auch die Extraktion von Merkmalen aus Analysedaten, z. B. spektrale oder (elektronen-)optische, erleichtern und die menschliche Expertise sinnvoll ergänzen. Die Entwicklung von Datenstruktur und Datenprozedur ist von Beginn an als interaktiver Prozess mit agiler Methodik angedacht, am Ende soll jedoch ein allgemeingültiges Werkzeug zur effizienteren Forschung bereitstehen. Begleitende Entwicklungen wie die High-Throughput-Screeninganlage 4.0, das APRONA-Projekt zur automatisierten, robotergestützten Partikelherstellung oder hochskalierte Materialsynthesen mit Online-Erfassung synthesesrelevanter Materialparameter schaffen hier die notwendige Schnittstelle zwischen dem realen Material und dem digitalen Datenraum.

Um die mit der zunehmenden Digitalisierung verbundenen Zukunftsthemen wie zum Beispiel »Internet of Things«, Robotik, autonomes Fahren, Laborautomatisierung und schaltbare Systeme zu ermöglichen, werden auch neue Anforderungen an die Funktionen und Eigenschaften der verwendeten Materialien gestellt. Intrinsische Zustandsüberwachung durch sensorische Funktionen, adaptive Änderung der physikalischen Eigenschaften, Detektion von Umwelteinflüssen sowie multifunktionelle Materialien und elektro-opto-mechanische Systeme, die sich auch für digitale Fertigungsverfahren – z. B. hochaufgelösten 3D-Druck – eignen, sind einige der Aufgaben, die unter der Überschrift »Materials meet ... Adaptive Systems« im Fraunhofer ISC bearbeitet werden.



Neben der Digitalisierung gewinnt auch der Umbau der Wirtschaft von einer auf fossilen Ressourcen beruhenden Wertschöpfung hin zur nachhaltigen und ressourcenschonenden Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen an Bedeutung. Dies wird unter dem Begriff Bioökonomie als wissensbasierte Erzeugung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Prinzipien subsummiert, um Produkte und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen. Das Konzept der Bioökonomie ist eng verknüpft mit der »Circular Economy« und soll zu einer »Circular Bioeconomy« ausgebaut werden. Bioökonomie hat aber nicht nur die Optimierung der Stoffströme und das Ressourcenmanagement in den Blick, sondern zielt auf gesellschaftliche Veränderungsprozesse und eine Biologisierung vieler Industriezweige, die ganz neue Produkte und Lösungen hervorbringen.

Das Fraunhofer ISC positioniert sich hier mit »Materials meet... Clean Environment« und nachhaltigen Lösungen für die Veredelung und effiziente stoffliche Nutzung biogener Werkstoffe. Das Materialportfolio wird sukzessive hinsichtlich biogener Funktionsmaterialien und Recyclierbarkeit durch Vereinfachung komplexer Materialverbunde erweitert, unterstützt durch Verfahren der Qualitätssicherung. Biobasierte, biokompatible und bioabbaubare funktionelle Werkstoffe ersetzen umweltbelastende Materialien. Nachhaltige Materiallösungen sowie energie- und ressourceneffiziente Verfahren und Prozesse entlang der Wertschöpfungsketten sind Kernthemen.

Mit seiner chemisch-synthetischen Expertise unterstützt das ISC hier seine Kunden im Leitmarkt Chemie auf dem Weg zu nachhaltigeren Produkten.

Und so schließt sich der Kreis wieder, denn alle Entwicklungen am Fraunhofer ISC greifen ineinander, um aktiv daran mitzuarbeiten, die großen Herausforderungen unserer Zeit zu bewältigen und eine lebenswerte Zukunft für uns und nachfolgende Generationen zu sichern.

## Materials meet ... future challenges!

---



## Institutsleitung

Prof. Dr. Gerhard Sextl



## Stellv. Institutsleitung

Dr. Thomas Hofmann



**LEITUNG  
WERKSTOFFCHEMIE**  
Dr. Martin Peters

Dental | Mikromedizin  
Dr. Herbert Wolter

Partikeltechnologie  
Prof. Dr. habil. Karl Mandel

Chemische  
Beschichtungstechnologie  
Dr. Ferdinand Somorowsky



**LEITUNG FZEB**  
Dr. Henning Lormann

Lithium-Ionen-Technologie  
Dr. Guinevere Giffin

Blei-Säure-Technologie  
Jochen Settelein

Elektrochrome Systeme  
Dr. Marco Schott

Analytik/Dienstleistungen  
Dr. Sarah Hartmann

Verfahren  
Dr. Andreas Flegler



**LEITUNG  
ANWENDUNGSTECHNIK**  
Gerhard Domann

Glas | Mineral. Werkstoffe  
Dr. Gerhard Schottner

CeSMA | Adapt. Systeme  
Gerhard Domann

Materialentwicklung  
Dr. Daniela Collin

Systeme  
Dr. Sönke Steenhusen



**LEITUNG DIENSTLEISTUNGEN**  
Dr. Jürgen Meinhardt

Zentrum für Angewandte  
Analytik  
Dr. Alexander Reinholdt



Verwaltungsleitung  
Patrick Kübert



Personal  
Anette Rebohle-Mandel



Vertrieb | Marketing  
Dr. Victor Trapp



Zentrale Dienste  
Michael Martin



PR | Kommunikation  
Marie-Luise Righi



Patente | Lizenzen  
Dr. Carsten Gellermann

Sie erreichen uns per E-Mail unter  
vorname.nachname@isc.fraunhofer.de



LEITUNG HTL  
PD Dr. Friedrich Raether

Keramik  
Dr. Holger Friedrich

Simulation  
PD Dr. Gerhard Seifert

Keramikfasern  
Arne Rüdinger

Precursorkeramik  
Dr. Andreas Nöth

Verbundwerkstofftechnologie  
Dr. Jens Schmidt

Textile Faserkeramiken  
Prof. Dr. Frank Ficker



LEITUNG TLZ-RT  
PD Dr. Marco Metzger

Laborautomatisierung  
Thomas Schwarz

Klinische Entwicklung  
PD Dr. Oliver Pullig

Biomaterialien  
Dr. Sofia Dembski

Testsysteme  
Dr. Florian Groeber-Becker



LEITUNG  
PROJEKTZENTRUM  
STAMMZELLPROZESS-  
TECHNIK SPT/ISC  
PD Dr. Marco Metzger

3D-Materialien  
Sebastian Hasselmann

Mikrofluidik | Simulation  
Patrick Witzel

Aktorische Systeme  
Timo Gruneman



LEITUNG 3D-NANOCELL  
Prof. Dr. Doris Heinrich  
bis 31.12.2021

Biomaterialien  
Sebastian Hasselmann

Biosensoren  
Maria Götz



AUSSENSTELLE  
BRONNBACH  
Dr. Andreas Diegeler

Geräteentwicklung  
Dr. Andreas Diegeler

IZKK  
Sabrina Rota

# Kuratorium des Fraunhofer ISC

---

**PROF. DR.-ING. EGBERT LOX**

Vorsitzender des Kuratoriums

Grebenhain

**DIPL.-ING. PETER E. ALBRECHT**

Principal Director Operations

European Patent Office | München

**PROF. DR. MARTIN BASTIAN**

Stellvertretender Vorsitzender des Kuratoriums

Institutsdirektor

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum | Würzburg

**PROF. DR. PETER BEHRENS**

Geschäftsführende Leitung

Institut für Anorganische Chemie

Leibniz Universität Hannover

**PROF. DR. SABINE FLAMME**

Fachbereich Ingenieurwissen | FH Münster

**PROF. DR. MATTHIAS FROSCH**

Dekan Medizinische Fakultät

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

**PROF. DR. JOACHIM HORNEGGER**

Präsident der Friedrich-Alexander-Universität

Erlangen-Nürnberg

**PROF. DR. TIM HOSENFELDT**

Senior Vice President

Oberflächentechnik

Schaeffler Technologies AG | Herzogenaurach

**PROF. DR. HUBERT JÄGER**

Technische Universität Dresden

Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik

**DR. CLAUDIA JENTZSCH**

Disease Area Head Rheumatology

Novartis Pharma GmbH

**PROF. DR. STEFAN LEIBLE**

Präsident der Universität Bayreuth

**DR. PETER NAGLER**

Executive Director

Institute of Chemical and Engineering Sciences ICES Singapur

**PROF. DR. PAUL PAULI**

Präsident der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

**GUIDO VERHOEVEN**

General Manager

SIM-Flanders vzw | Zwijnaarde | Belgien

**MR DR. STEFAN WIMBAUER**

Leiter des Referats 43

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien,  
Energie und Technologie | München

**DR. DETLEF WOLLWEBER**

Wuppertal

**STÄNDIGER GAST IM KURATORIUM**

**PROF. DR. PETER GUMBSCH**

Vorsitzender Fraunhofer-Verbund MATERIALS



# PRO JEKTE

# bioORMOCER®e – »ausgezeichnete« Verpackungsmaterialien für die Zukunft

---

## Mehrfach ausgezeichnet

Verschmutzte Meere, endloser Plastikmüll und alarmierende Naturkatastrophen: Die allgegenwärtige Konfrontation mit der globalen Umweltkrise fordert ein Umdenken, auch in der Herstellung sowie dem Einsatz von Verpackungsmaterialien. Herkömmliche Plastikverpackungen (in der Regel nicht-recyclfähige Mehrschichtverbundfolien) erfüllen zwar eine Vielzahl von notwendigen Eigenschaften,



*The Sustainability Awards 2020*

die das sichere Verpacken von Lebensmitteln garantieren, stellen allerdings eine große Bedrohung für die Umwelt und in diesem Zusammenhang auch für die menschliche Gesundheit dar. Die unsachgemäße Entsorgung begünstigt das Eindringen von fein verteilten Kunststoffen – in Form von Mikroplastik – in die Biosphäre, in die Ozeane, in den Boden, ins Grundwasser und letztlich in die Nahrungskette.

Eine mögliche Lösung für dieses Problem eröffnen die im Fraunhofer ISC entwickelten ORMOCER®e. Hierbei handelt es sich um anorganisch-organische Hybridpolymere, die die relevanten Charakteristika von Verpackungsmaterialien, wie beispielsweise exzellente Barriere-Eigenschaften gegenüber Wasserdampf, Sauerstoff und dem Verlust bzw. Durchdringen von Aromen, aufweisen und sich somit zur Herstellung von multifunktionellen Beschichtungen eignen. Dank ihrer hohen Effektivität reicht eine extrem dünne Schicht der ORMOCER®e aus, um die geforderten Barriere-Eigenschaften sicherzustellen.

**bioORMOCER®e: von »umweltfreundlich« zu »biobasiert« und »kompostierbar«**

Vor dem Hintergrund, fossile Ressourcen einzusparen und alternative Materiallösungen vorzustellen, haben Dr. Sabine Amberg-Schwab und ihr Team die Materialklasse der ORMOCER®e optimiert und auf diese Weise die Materialklasse der bioORMOCER®e entwickelt. Diese Variante der Beschichtungslacke ist nicht nur biobasiert und kompostierbar, sondern stellt auch einen nachhaltigeren Ansatz dar. Denn die organisch-fossilen Bestandteile der ORMOCER®e werden hierbei durch bio-organische Bestandteile ersetzt, die sowohl aus Reststoffen der Lebensmittelherstellung als auch aus biologischen Abfällen



gewonnen werden können. Demzufolge bilden biogene, gut verfügbare Rohstoffe die Grundlage zur Herstellung von bioORMOCER®-Beschichtungen. Dieses »Upgrade« fördert einerseits die Recyclingfähigkeit von Verpackungen und ermöglicht andererseits das Einsparen von fossilen Ressourcen.

Als Weiterentwicklung der ORMOCER® haben die bioORMOCER®e vergleichbare Charakteristika und gewährleisten infolgedessen ebenfalls exzellente Barriere-Eigenschaften. Aus diesem Grund fungieren sie nicht nur als Veredelung von Verpackungsmaterialien in der Lebensmittelherstellung, sondern auch in der Kosmetikindustrie und der Pharmazie. Die Möglichkeit, bioORMOCER®e in Gestalt von Biolacken auf Biopolymere, konventionelle Kunststoffe oder auch Papier aufzutragen, erweitert das Spektrum an innovativen, biogenen Verpackungskonzepten und sorgt für nachhaltige Alternativen. Dank verschiedener Prozesse zum Auftragen der bioORMOCER®e ist sowohl das Beschichten von ebenen Substraten als auch von komplexen geometrischen Formen, wie Schalen, Tiegel, o. ä., realisierbar.

In den vergangenen Jahren wurde die Forschung von Dr. Sabine Amberg-Schwab und ihrem Team mehrfach mit Auszeichnungen gewürdigt. 2020 erhielten sie hierfür u. a. den Deutschen Verpackungspreis in der Kategorie »Nachhaltigkeit« in Gold.



#### Kontakt

Dr. Ferdinand Somorowsky  
Chemische  
Beschichtungstechnologie  
Tel. +49 931 4100 256  
ferdinand.somorowsky@  
isc.fraunhofer.de

# »MoNova« – recyclingfähige Verpackungsfolien auf Monomaterialbasis



Müllberge © unsplash

Plastikverpackungen sind fester Bestandteil des alltäglichen Lebens. Ob in der Nahrungs-, Kosmetik- oder Pharmaindustrie: sie kommen in vielen, verschiedenen Bereichen zum Einsatz. Insbesondere die Lebensmittelindustrie bedient sich vorrangig an mehrschichtigen Verpackungen auf Kunststoffbasis, da bisher nur sie die verpackten Produkte vor Sauerstoff, Wasserdampf, o.ä. schützen und zugleich eine leichte, kostengünstige sowie langlebige Verpackungsmöglichkeit bieten.

Der Nachteil dieser Plastikverpackungen verbirgt sich allerdings in der Nicht-Recyclbarkeit des Laminats. Während des Herstellungsprozesses werden die einzelnen Laminatschichten miteinander verbunden, können jedoch im Anschluss nicht wieder voneinander separiert werden. Die hieraus entstandenen Multiverbundfolien besitzen infolgedessen einen untrennbaren Aufbau aus chemisch inkompatiblen Kunststoffen. Das heißt, dass sie weder getrennt, noch gemeinsam recycelt werden können.

## »MoNova«: eine neue Generation von Verpackungs-Monofolien

In Zusammenarbeit mit drei weiteren Fraunhofer-Instituten, arbeitet das Fraunhofer ISC am Projekt »MoNova«, das eine Alternative zu den Multiverbund-Verpackungsmaterialien entwickelt, um somit eine nachhaltige bzw. ressourcensparende Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen. Das Ziel des Projekts ist es, ebendiese nicht-recyclingfähigen Mehrschichtverbundfolien durch Monomaterialien zu ersetzen und damit leicht recycelbare, umweltfreundliche Verpackungsmaterialien zur Verfügung zu stellen. In diesem Zusammenhang wird der komplette Herstellungsprozess von Verpackungsfolien betrachtet mit dem Ziel, die neuen Verpackungsfolien zu (mindestens) 95 % aus einem einzigen Basismaterial herzustellen und von vornherein bereits die Verwendung von recyceltem Material mit einzuplanen.

»MoNova« arbeitet mit sortenreinen Polyolefinen oder Rezyklaten, speziellen Additiven und deren physikalischer sowie nass-chemischer Nachbehandlung. Damit ergibt sich ein zweistufiger Prozess, der die neuen Verpackungsfolien im Hinblick auf die erforderlichen Eigenschaften für die jeweilige Verwendung einstellt. Mit einer funktionellen Hybridpolymer-Beschichtung in einem einfachen Beschichtungsverfahren erhalten sie die notwendigen Barriereigenschaften, die sie für den Einsatz in der Nahrungs-, Kosmetik- und Pharmaindustrie qualifizieren. Da sich das Material der Verpackungsfolien auf eine Plastikart reduziert, sind sie vollständig recycelbar. Auf diese Weise ermöglichen sie das Sicherstellen eines Materialkreislaufs, in dem die recycelten Materialien immer wieder als Rohstoffe für neue Verpackungsfolien dienen.

Innerhalb des Projekts wird die neue Verpackungsfolie zunächst für die Herstellung von Standbodenbeuteln für die Verpackung von Lebensmitteln eingesetzt. Im Anschluss erfolgt der Nachweis ihrer Recyclingfähigkeit durch das Wiederverwenden des Materials für die Herstellung von Standbodenbeuteln für die Kosmetikindustrie.

## Fraunhofer-Forschungsprogramm PREPARE

---

Das Projekt MoNova wird im Rahmen des Fraunhofer PREPARE Programms gefördert. Dieses Programm dient dazu, institutsübergreifend anspruchsvolle Vorlauf-forschung für neue Konzepte, Technologien und Ver-fahren es ermöglichen. Gefördert werden Themen mit hoher wirtschaftlich-gesellschaftlicher Relevanz, die in Innovationen mit großer Breitenwirkung münden.

MoNova ist mit seinem revolutionären Verpackungskonzept ein Paradebeispiel dafür. Die Verpackungsindustrien stehen vor einem Umbruch, ausgelöst einerseits durch gesellschaftlichen Druck und neue Regulatorik, andererseits durch eigene Bestrebungen, den Umgang mit wertvollen Ressourcen verantwortungsvoll zu gestalten und sich damit auch als verantwortungsvolles Unternehmen zu platzieren. MoNova wird das erforderliche Know-how ausbauen und die Industrie bei der Transformation ihrer Prozesse wirksam mit einem »Open Innovation Test Bed« unterstützen.

## Kontakt

---

Dr. Patrick Wenderoth  
Chemische  
Beschichtungstechnologie  
Tel. +49 931 4100 221  
patrick.wenderoth@  
isc.fraunhofer.de





# »NewHyPe« – bioabbaubare Mulchpapiere sorgen für Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft

**Obwohl Kunststoffe auf fossiler Basis – vor allem biologisch nicht-abbaubare Varianten – viele gute Eigenschaften aufweisen, stehen sie im Kontrast zur zukunftsorientierten, umweltfreundlichen und nachhaltigkeitsbedachten Gesellschaft von heute. Besonders in der Landwirtschaft stellen Kunststoffe auf fossiler Basis ein Problem dar.**

Mulchfolien sind für das Ausdehnen von Wachstumsperioden, die Beeinflussung des Wasserhaushalts des Bodens oder auch die Reduzierung des Pestizideinsatzes unabdingbar. Allerdings bestehen diese Mulchfolien bisher aus herkömmlichem Plastik, das einen erheblichen Teil zur Verschmutzung des landwirtschaftlichen Bodens bzw. der Umwelt beiträgt. Denn sie sind meist nicht recycelbar und landen daher nach relativ kurzer Nutzungsdauer in Form von Abfallresten auch in der Natur.

Forschungsinstitute sowie Unternehmen aus Norwegen, Finnland und Deutschland forschen in dem Verbundprojekt »NewHyPe« gemeinsam an einer Lösung für dieses Problem. Zentrum des Projekts bildet die Entwicklung einer nachhaltigen Alternative zu bisherigen Mulchfolien, deren Bestandteile aus

Kunststoffen auf fossiler Basis durch biobasierte Alternativen ersetzt werden sollen.

## **Neuartige Verbundwerkstoffe: Zellulose und ORMOCER®e**

Zellulose ist das am häufigsten vorkommende Biopolymer und bietet deshalb eine attraktive Grundlage für das Ersetzen von herkömmlichen Kunststoffen in verschiedenen Anwendungsbereichen. Der große Vorteil, den das Material gegenüber Kunststoffen auf fossiler Basis mitbringt, liegt in der Kompostierbarkeit: Zellulose ist grundsätzlich biologisch abbaubar, wodurch das Material keinen unerwünschten Müll auf dem Acker zurücklassen würde. Allerdings lassen Feuchtebeständigkeit und Reißfestigkeit für den Einsatz unter freiem Himmel zu wünschen übrig. Um Zellulose mit den für Mulchfolie benötigten Eigenschaften auszurüsten, müssen vor allem diese beiden Eigenschaften verbessert werden.

Im Projekt »NewHyPe« sollen zellulosebasierte Materialien und spezifische anorganisch-organische Hybridpolymere – sogenannte ORMOCER®e – miteinander kombiniert werden, um die Grundstabilität des Verbundmaterials zu erhöhen.

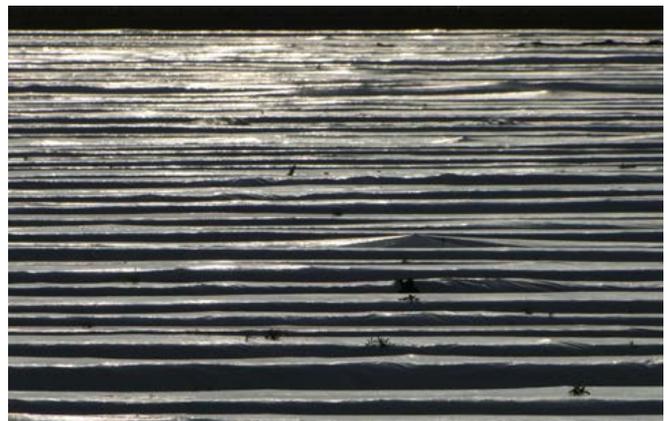


[www.newhype-project.com](http://www.newhype-project.com)

new  
HyPe

ORMOCER®e tragen dank ihrer hohen Funktionalität zur Bildung von chemischen Verbindungen innerhalb der Zellulosefasern bei. Damit lassen sich mechanische und chemische Beständigkeit des hybriden Verbundmaterials einstellen. Als auffallend innovatives Substrat hat sich in diesem Zusammenhang Nanozellulosepapier herauskristallisiert. Diese Variante von Mulchpapieren resultiert aus der Kombination von Nanocellulose-Dispersion als Trägerstruktur und ORMOCER®en als Matrixkomponente. Aufgrund ihrer Bioabbaubarkeit können sie nach der Einsatzdauer einfach in den Boden eingepflügt werden.

Das Fraunhofer ISC übernimmt innerhalb des Verbundprojekts »NewHyPe« eine besonders wichtige Rolle: die Koordination, die Verwaltung und das Management des gesamten Vorhabens. Dank der langjährigen Erfahrung und Expertise im Bereich der Beschichtungsentwicklung ist das Fraunhofer ISC außerdem für die Entwicklung, die Modifizierung und die Charakterisierung von hybriden Beschichtungsmaterialien – die Materialklasse der ORMOCER®e – und deren Kombination mit den zellulosebasierten Grundmaterialien verantwortlich.



Mulchfolien auf einem Acker © pixabay

#### Kontakt

Dr. Ferdinand Somorowsky  
Chemische  
Beschichtungstechnologie  
Tel. +49 931 4100 256  
ferdinand.somorowsky@  
isc.fraunhofer.de



## »MaNiTU« – neue Funktionsmaterialien ermöglichen höhere Wirkungsgrade

---

Seit den 1980er Jahren steigt das gesellschaftliche Bewusstsein für die Notwendigkeit einer Energiewende. Mit dem Übergang von der Verwendung endlicher Ressourcen zu erneuerbaren Energien geht auch die erforderliche Effizienzsteigerung von Solarenergiewandlern einher. Selbst Siliciumsolarzellen mit den derzeit höchsten Wirkungsgraden bieten zwar eindeutige Vorteile, stoßen allerdings auch an physikalische Grenzen.

Einerseits liefern hocheffiziente siliciumbasierte Solarzellen kostengünstigen Strom und verbrauchen hierbei weniger Fläche sowie Materialien als einfache Photovoltaikzellen. Andererseits sind auch sie in ihrem Wirkungsgrad nicht beliebig steigerungsfähig. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass ein zukunftsorientierter Forschungsansatz den Blick auf die Kombination aus mehreren Materialien richtet. Das Leitprojekt »MaNiTU« stellt daher die Entwicklung von Tandemsolarzellen ins Zentrum, indem es sich auf die Forschung an Absorbermaterialien konzentriert.

Ausgangspunkt des Leitprojekts ist die Perowskit-Solarzellentechnologie, die in den vergangenen zehn Jahren eine Steigerung ihres Wirkungsgrads von 3,8 % auf 24,2 % erfahren hat. Diese Technologie verspricht hierbei nicht nur

Steigerungspotenzial im Hinblick auf den Wirkungsgrad, sondern auch minimale Produktionskosten sowie einfache Herstellungsprozesse. Aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften eignet sich die Klasse der Perowskit-Materialien außerdem für den Einsatz in Tandemstrukturen, die auf Siliciumsolarzellen basieren. Tandemsolarzellen dieser Art sind besonders interessant, da sie Wirkungsgrade von über 35 % erzielen können.

Mit der EU-Richtlinie RoHS zur Einschränkung der Verwendung giftiger oder kritischer Materialien gestaltet sich der Einsatz von Perowskiten jedoch problematisch. Denn die Klasse der Perowskit-Materialien ist in der Herstellung von Solarzellen derzeit noch auf das als kritisch klassifizierte Material Blei angewiesen.

The logo for MaNiTU, featuring the letters 'M', 'A', 'N', 'I', 'T', 'U' in a white, sans-serif font. The letter 'A' is stylized with a white triangle pointing downwards, and the letter 'I' is a simple vertical bar. The logo is set against a background of a forest scene with a bright orange and yellow light flare.A white, stylized arrow pointing to the right, composed of two parallel lines that taper to a point.

## Im Leitprojekt MaNiTU entwickeln sechs Fraunhofer-Institute im Verbund nachhaltige, höchsteffiziente und kostengünstige Tandemsolarzellen auf Basis neuer bleifreier Absorbermaterialien.

### Nachhaltige Tandemsolarzellen ohne kritische Materialien

Die jährlichen Photovoltaik-Installationen steigen in den nächsten fünf bis zehn Jahren weltweit voraussichtlich auf mehr als 1 TWp. Demzufolge wird der Verzicht auf giftige sowie kritische Materialien bei der Herstellung von Solarmodulen immer wichtiger. Der Einsatz von Perowskiten ohne das Beifügen von Blei ist bisher nicht möglich. Im Leitprojekt »MaNiTU« arbeiten sechs Fraunhofer-Institute gemeinsam an der Entwicklung von neuen bleifreien Absorberschichten sowie Kontakt- und Passivierungsschichten.

Diese Schichten basieren auf bekannten Perowskitabsorbermaterialien, die dank modernster materialwissenschaftlicher Methoden ohne kritische und giftige Stoffe auskommen. Bei der Kombination aus bleifreier Perowskittechnologie und Siliciumtechnologie können Perow-

skitsolarzellen direkt auf Siliciumsolarzellen abgeschieden werden. Die einzelnen Solarzellen nutzen hierbei unterschiedliche Teile des Sonnenspektrums besonders effizient, sodass der Wirkungsgrad insgesamt gesteigert wird.

Auf diese Weise produziert die gleiche Solarzellenfläche letztendlich mehr Strom.

Das Fraunhofer ISC übernimmt mit seiner Expertise im Hinblick auf nasschemische Materialsynthese und Elektrodenapplikationen eine wesentliche Rolle im Leitprojekt »MaNiTU«. In Kombination mit der Expertise wird der Tandem-Ansatz die Solarzellenforschung in Deutschland voranbringen und einem auch wirtschaftlich interessanten Innovationsvorsprung ermöglichen.

### Kontakt

Dr. Bettina Herbig  
Partikeltechnologie  
Tel. +49 931 4100 403  
bettina.herbig@isc.fraunhofer.de

# »SUPERSMART« – direkt gedruckte Sensoren, Displays und Elektronikkomponenten auf Papier

---

Der Aufbau eines Smart Environments für Produktion, Handel und Logistik ist nicht nur im Augenblick wichtig, sondern spielt auch in der Zukunft eine immer größere Rolle. Denn intelligente Verpackungen überwachen nicht nur Transport und Logistik, sondern geben auch fälschungssichere Auskünfte über Herkunft sowie Echtheit der enthaltenen Produkte. Somit schaffen sie einen Mehrwert, indem sie zur Optimierung der Prozesse innerhalb dieses Sektors beitragen.

Zeitgleich befinden sich sowohl der Verpackungsmarkt, als auch die Elektronikindustrie im Wandel. Die Verpflichtung zu Ressourcenschonung, Klima- und Umweltschutz bedingt verschärfte Richtlinien und Gesetze. Die erlaubten Bestandteile wurden reguliert (REACH, RoHS, WEEE) und der Einsatz speziell von Kunststoffverpackungen (EU-Verpackungsverordnung) wurde eingeschränkt.

Das heißt, dass auch die Umsetzung eines »Smart Environments« im Allgemeinen auf einen neuen Ansatz angewiesen ist: Für die Realisierung von nachhaltigen smarten Verpackungen sind umweltfreundliche, möglichst gut recycelbare, kostengünstige Alternativen zu kunststoffbasierten Materialien und herkömmlicher Halbleitertechnologie notwendig.



*SUPERSMART wurde bei der OE-A-Competition 2021 für seinen nachhaltigen Ansatz ausgezeichnet*

## **SUPERSMART: Smarte Verpackungen aus Papier anstelle von Plastik**

Papier ist ein altbekannter Werkstoff, der Anforderungen an Verpackungsmaterial hinsichtlich Ressourcenschonung, Klima- und Umweltschutz erfüllt. Denn es besteht aus nachwachsenden Rohstoffen, ist gut recycelbar, haltbar und bei entsprechender Verarbeitung auch bioabbaubar. Als Trägermaterial für elektronische Komponenten, wie Sensoren und intelligente Etiketten, hat es sich bisher allerdings als untauglich erwiesen. Das Forschungsprojekt »SUPERSMART« – durchgeführt in einem europäischen Konsortium von elf Partnern aus Industrie und Forschung – hat jetzt einen smarten Ansatz ausgearbeitet, der gedruckte Elektronik auf Papier möglich macht.

Eine der großen Hürden bei der Herstellung von wettbewerbsfähigen, papierbasierten Smart Labels und Sensoren bildet der hohe Kostenaufwand, der mit der Herstellung der notwendigen Materialien verbunden ist. Diese konnten bisher nur in kleinen Mengen im Labormaßstab gefertigt werden, sodass die Kosten für den Druckprozess insgesamt hoch lagen. »SUPERSMART« hat deshalb Kriterien geeigneter Papiersubstrate und Lösungen für die industrielle Hochskalierung der Produktion funktioneller Materialien, den hochpräzise ausgerichteten Rolle-zu-Rolle-Druck von elektronischen Komponenten, die automatisierte Bestückung und die Entwicklung präziser Prozessprotokolle für die Qualitätssicherung erarbeitet.



# Papier anstatt Plastik – smarte Sensorik für nach- haltige Verpackungen«

## Vorteile für Ressourcenschonung, Klima- und Umweltschutz

Wie groß die Vorteile für die Ressourcenschonung, Klima- und Umweltschutz wirklich sind, zeigen die Ergebnisse des Life Cycle Assessments (LCA): Einerseits vereinfacht das Ersetzen von organischen bzw. anorganischen Substraten durch Papier das zukünftige Recycling.

Andererseits reduziert es das Abfallaufkommen während der Produktion sowie am Ende der Lebensdauer des Produkts. Die notwendigen Druckprozesse benötigen außerdem weniger Energie und Rohstoffe als konventionelle Halbleiterprozesse. Im direkten Vergleich zwischen Papier- und PET-Substraten ergeben sich deutliche Vorteile bei der Nutzung von gedruckter Elektronik auf Papier. In fast allen LCA-Kategorien – z. B. Erderwärmung, Ozonabbau in der Stratosphäre oder Ökotoxizität etc. – verursacht die Verwendung von Papiersubstraten nur 10 – 20 % der negativen Effekte von PET.

Im Projekt »SUPERSMART« wurden Papier, Funktionsmaterialien und Produktionsverfahren so aufeinander eingestellt, dass nun elektrische Komponenten direkt in einem Rolle-zu-Rolle-Verfahren gedruckt werden können. Die Funktionsfähigkeit wurde beispielhaft an zwei Typen von »Smart Labels« unter Beweis gestellt: einem Schockerkennungssensor, der beispielsweise über Erschütterungen beim Transport Auskunft geben kann, und einem intelligenten fälschungssicheren Etikett. Beide können einfach mit einer Smartphone-App ausgelesen werden. Mit »SUPERSMART« ist der Grundstein für eine skalierbare kostengünstige Herstellung von direkt auf Papier gedruckten elektronischen Komponenten gelegt.

## Kontakt

---

Gerhard Domann  
Anwendungstechnik  
Tel. +49 931 4100 551  
gerhard.domann@  
isc.fraunhofer.de

# »EVOBIO« – evolutionäre bioökonomische Prozesse

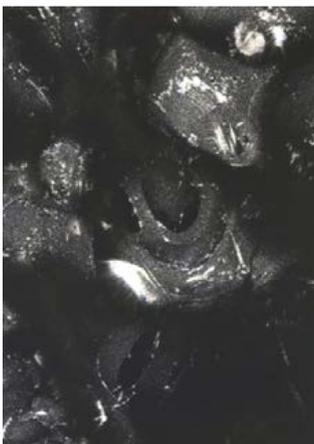
---

## »Integrative Nutzung von Stoffströmen zur Herstellung optimierter Materialien für innovative Produkte in bioökonomischen Prozesskreisläufen«

Weltweit führen Wertschöpfungs- und Produktionsprozesse zu schädlichen Emissionen und nicht verwertbaren Abfällen. Sie gehen oft mit einer nicht umkehrbaren Ausbeutung globaler Ressourcen einher, haben eine unausgewogene Landnutzung und den zunehmenden Verlust der Biodiversität zur Folge. Dies hat negative Folgen für den Lebensraum und die Lebensqualität vieler Menschen. Die Verfügbarkeit von sauberem Trinkwasser und die Konkurrenz um essenzielle Rohstoffe in vielen Ländern der Welt, die Lebensmittel- und Produktkriminalität sowie qualitativ minderwertige Produkte sind Beispiele dafür. Neben der generellen Verknappung oder Verteuerung der benötigten Ressourcen sind, im bioökonomischen Sinn, häufig nicht-optimierte Prozesse und Wertschöpfungsketten die Ursache. Das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie fasste einen möglichen Lösungsansatz folgendermaßen zusammen: »Eine konsequente Orientierung auf eine Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie hilft, weniger Primärressourcen einsetzen zu müssen und damit unabhängiger von globalen Lieferketten und Rohstoffen, zum Beispiel Funktionsmetallen, zu werden«

Im Projekt »EVOBIO«, eigenfinanziert im Rahmen des Fraunhofer Innovationsprogramms, wurden Konzepte entwickelt und an ausgewählten Beispielen demonstriert, die den Übergang von einer unidirektionalen Wirkkette hin zu einer vollständig integrativen Nutzung von Stoffströmen, Materialien und Produkten in nachhaltigen, ressourcenschonenden bioökonomischen Prozesskreisläufen ermöglichen.

*Nachträglich induktiv geöffnete Porenstruktur in magnetischen Additiven in einem dotierten Polystyrolschaum*

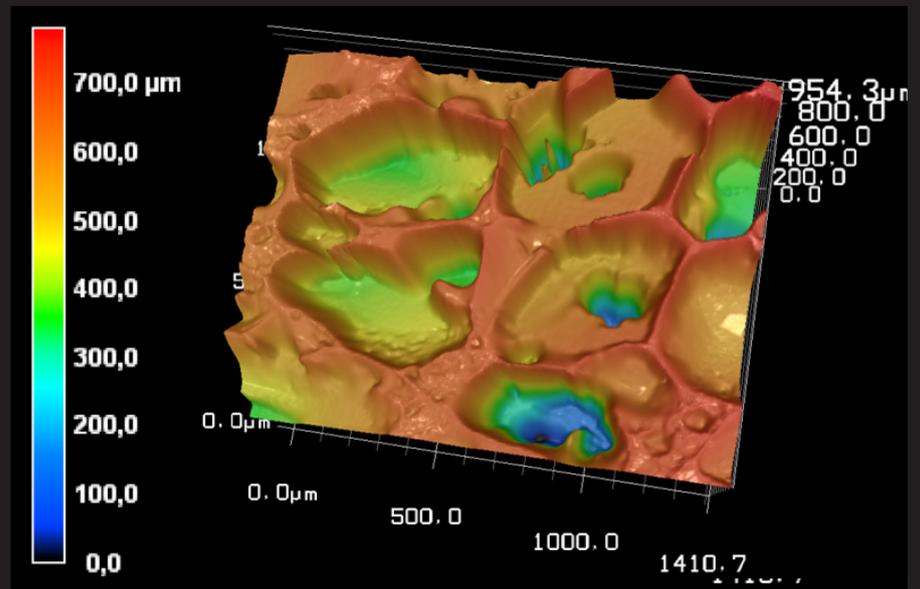
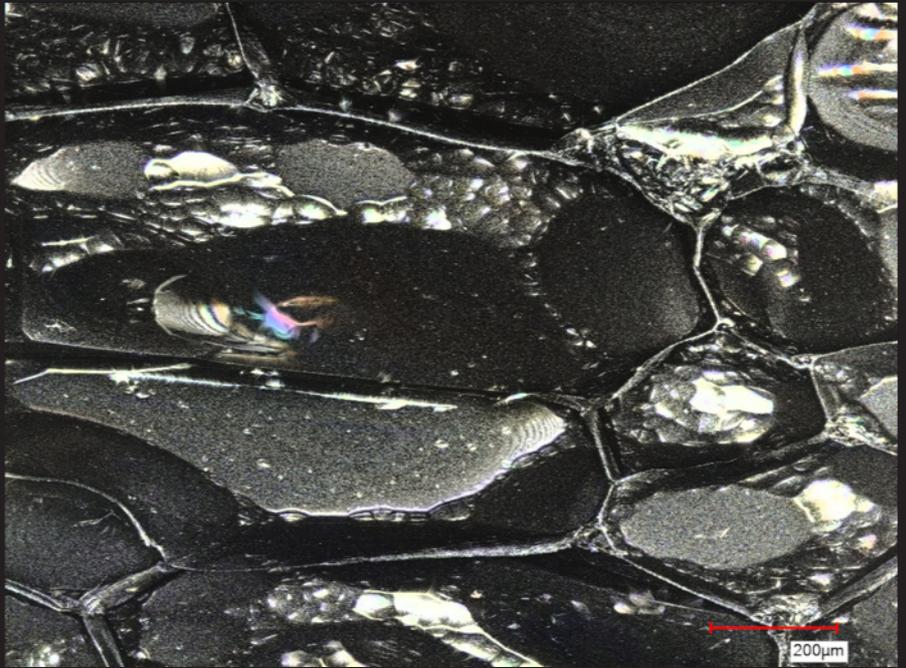


Neben der Betrachtung von Stoffströmen und innovativen Materialien lag der Fokus auch auf der kurzfristigen Entwicklung von Produktideen auf der Basis vorhandener Materialien. Hier kamen die spezifisch adaptierten Magnetpartikel (MagSilica®<sup>1</sup>) des Fraunhofer ISC zu einer buchstäblich treibenden Rolle, nämlich bei der Herstellung von neuartigen bioinspirierten Gradientenschäumwerkstoffen über ein Induktionsverfahren. Das induktive Heizen ermöglicht eine schnelle und direkte Wärmeerzeugung im Bauteil und ist damit effizienter und genauer lokalisierbar als indirekte, von außen wirkende Heizverfahren. Lokal variierende gradierte Schaumstrukturen können – analog zu Knochen – bei gleicher Stabilität ein deutlich geringeres Gewicht als massives Material aufweisen. Durch die gut einstellbare Verteilung der MagSilica®-Partikel konnten die gewünschten Gradientenstrukturen in den Polymerschäumen über induktives Heizen eingestellt werden. Dabei lassen sich auch sehr geringe Dichten und offenporige Schaumstrukturen realisieren. Darüber hinaus können MagSilica®-Partikel durch lokale induktive Erhitzung für das Verschweißen und eine spätere einfache, automatisierbare Auftrennung eingesetzt werden.

Damit wird eine kostengünstige und sortenreine Rückführung aller Materialien in den Wertstoffkreislauf erleichtert.

---

**1 MagSilica®: eingetragene Marke von Evonik, die am Fraunhofer ISC exklusiv weiterentwickelt wird.**



Gleichmäßige Porenstruktur eines induktiv geschäumten Polystyrols



## Kontakt

Dr. Benedikt Schug  
Partikeltechnologie  
Tel. +49 931 4100 435  
benedikt.schug@  
isc.fraunhofer.de



## »HiQ-CARB – grünere Kohlenstoffe« Meilenstein für nachhaltige Batterien

---

Große Teile der europäischen Industrie, darunter auch die europäische Automobilindustrie, sind zunehmend auf importierte Lithium-Ionen-Zellen angewiesen. Der europäische »Green Deal« und verschiedene unterstützende Maßnahmen zielen darauf ab, das Beschäftigungs-, Wachstums- und Investitionspotenzial von Batterien zu nutzen. Es soll eine wettbewerbsfähige Wertschöpfungskette »Batterie« in Europa geschaffen werden – nicht zuletzt, um Batterietechnologien umweltfreundlicher und »grüner« zu machen.

Lithium-Ionen-Batterien benötigen neben dem Lithium eine Reihe von speziellen Funktionsmaterialien für ihre Leistungsfähigkeit. Einige davon klingen eher unspektakulär: leitfähige Additive. Tatsächlich sind leitfähige Zusätze wie Leitruß oder Kohlenstoff-Nanoröhren ein entscheidender Baustein für die Leistungsfähigkeit und Umweltverträglichkeit von Lithium-Ionen-Batterien und sie sind für das Erreichen schneller Lade- und Entladeraten unerlässlich. Im schnell wachsenden Batteriemarkt machen die Rohstoffe den größten Teil der Kosten in der Produktion aus. Kohlenstoff, hier speziell Leitruß, wird in der Regel mit hohem Energie- und Prozessmaterialaufwand hergestellt.

Das vom Fraunhofer ISC koordinierte Verbundprojekt »HiQ-CARB« zielt darauf ab, neue Kohlenstoffe mit einer überlegenen Leistung und einem geringen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck für zukünftige »grünere« Batterien in Europa bereitzustellen.

### Weniger Kohlenstoff für gleiche Leitfähigkeit

Der »HiQ-CARB«-Ansatz für »grüne« Kohlenstoff-Additive ist die Kombination von dünnen Kohlenstoff-Nanoröhren und Acetylenruß, die mit hoher Leitfähigkeit und geringer CO<sub>2</sub>-Emission bei der Herstellung punkten. In Kombination bilden sie ein nahezu ideal leitendes Netzwerk innerhalb der Batterieelektrode. Dies trägt erheblich zur Verbesserung der Umweltbilanz bei, z. B. durch die Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks der Materialherstellung. Darüber hinaus werden die bereits kommerzialisierten Standard-Kohlenstoff-Nanoröhren (carbon nanotubes – CNT) durch neue, noch viel dünnere CNT ersetzt. Das erlaubt es, für die gleiche oder sogar bessere Batterieleistung die Menge an Kohlenstoffmaterialien zu reduzieren, und führt zu einer verbesserten Ressourceneffizienz. Darüber hinaus ist dies das einzige CNT Material weltweit, das aus einem erneuerbaren Bioethanol-Rohstoff hergestellt wird.



**RawMaterials**  
Connecting matters

Co-funded by the  
European Union



Carbon Black © Orion  
Engineered Carbons GmbH

### Nachwachsende Rohstoffe reduzieren CO<sub>2</sub>Fußabdruck weiter

Darüber hinaus wird im Rahmen des Projekts eine Lebenszyklusanalyse durchgeführt, um die Nachhaltigkeit des Produktionsprozesses zu bewerten.

Das Projektteam von »HiQ-CARB« setzt zum einen auf sehr profilierte Unternehmen wie ARKEMA oder ORION für die Herstellung von fortschrittlichen Additiven und Customcells für die Batteriezellproduktion. Zum anderen sind namhafte FuE-Partner wie das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC, die Aalto-Universität und die Universität Bordeaux für den wissenschaftlichen Teil der Evaluierung und Erprobung der neuen Materialkombinationen selbst und der daraus hergestellten Batteriezellen beteiligt. Gefördert wird das Projekt von der Europäischen Union über EIT RawMaterials.

#### Kontakt

Dr. Andreas Bittner  
Tel. +49 931 4100 213  
andreas.bittner@  
isc.fraunhofer.de

# »DeCaBo« – CO<sub>2</sub> und Ressourcen am Bau einsparen

---

Im Rahmen des eigenfinanzierten Innovationsprogramms der Fraunhofer-Gesellschaft wurde das Vorhaben DeCaBo (DeCarbonisation of Buildings and Operation) auf den Weg gebracht. Das Projekt untersuchte mit einer Laufzeit von nur fünf Monaten Lösungen für vier relevante Technologiebereiche, die das Ziel der Fraunhofer-Gesellschaft unterstützen, ab dem Jahr 2030 klimaneutral zu sein: CO<sub>2</sub>-arme Bauprodukte, Planung und Betrieb von Gebäuden sowie das Recycling von Baustoffen.

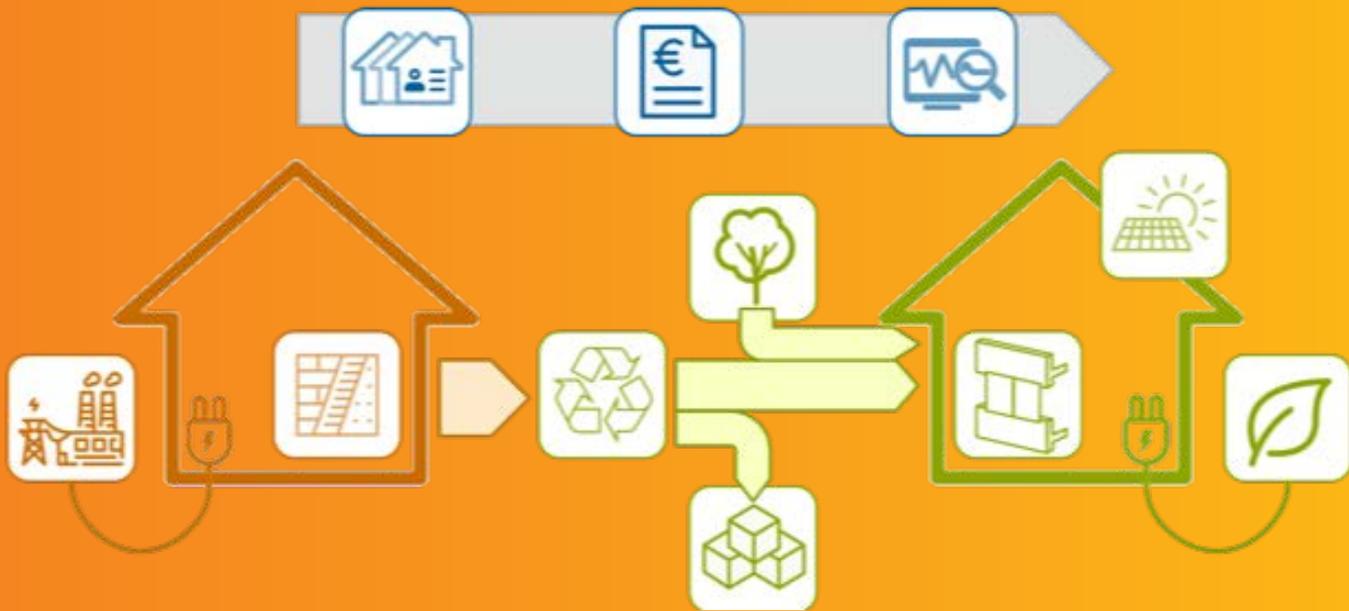


*Bauschutt © pixabay*

Das breite Know-how von 16 Fraunhofer-Instituten floss in die unterschiedlichen Fragestellungen ein. Mit dem Ziel, Methoden und Werkzeuge für die Transformation der Fraunhofer-Gesellschaft hin zu einem

klimaneutralen Betrieb zu entwickeln, wurden Leistungsbilder für Sanierungsfahrpläne sowie Potentiale für erneuerbare Energieträger ermittelt. Für die Digitalisierung des Gebäudebetriebs zur Steigerung der Energieperformance wurde eine Roadmap für die flächendeckende Einführung eines intelligenten Gebäudemonitorings aufgestellt und erste innovative Finanzierungsmodelle auch für die öffentliche Hand entwickelt.

Doch auch neue Lösungen für die Herstellung, den Einsatz und das effiziente Recycling von Baumaterialien wurden gesucht, denn die Entwicklung neuer Baustoffe und Verfahren kann einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen leisten. Neben Methoden und Verfahren für neue Bauprodukte wie z. B. Dämmstoffe aus Rotorblattrecycling und nachwachsenden Rohstoffe oder hybride Holz-Beton-Bauteile wurden auch Sanierputze und neue Technologien und Materialien für Wärmedämmverbundsysteme erfolgreich angearbeitet. Das Fraunhofer ISC war hier maßgeblich an der Entwicklung von Füge-technologien in der Glastechnik mit induktiv schmelzbaren Glasloten für energiesparende Vakuumisolierverglasungen beteiligt, die eine schnelle und energiesparende gasdichte Verbindung der Glasscheiben ermöglichen.



*DeCaBo- DeCarbonisation of Buildings and Operation*

Schlüssel zum Erfolg war hier die Verbindung von speziellen Magnetpartikeln (MagSilica®<sup>1</sup>), mit niedrigschmelzenden Gläsern.

Auch umweltfreundlichere Alternativen für PVC-Rahmenprofile und Dichtungscompounds auf der Basis nachwachsender Rohstoffe in Verbindung mit rPET/rHDPE Recyclaten wurden getestet. Das Fraunhofer ISC steuerte hier mit seinen ORMOCER®-Lacken Know-how und Material für den langfristigen Temperatur- und UV-Schutz der neuartigen Extrusionsmaterialien bei. Das ORMOCER®-Know-how kam darüber hinaus bei der Verbesserung von naturfaserbewehrten Geopolymeren zum Einsatz, die eine deutlich bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz aufweisen als Beton mit Stahlbewehrung.

Eine zentrale Herausforderung beim Recycling von Baustoffen ist das Trennen der unterschiedlichen Materialkomponenten. Im Rahmen des Projektes wurden Verfahren zur Anwendung thermischer Trennverfahren bei Klebstoffen erfolgreich weiterentwickelt.

**1 MagSilica®: eingetragene Marke von Evonik**

Auch hier kamen speziell adaptierte MagSilica®-Partikel aus dem ISC zum Einsatz, die sich in Harzsystemen gut dispergieren lassen. Damit konnten induktive Verfahren zur einfachen Auftrennung von Klebeverbindungen von Wärmedämm-Verbundsystemen und Beton-Fertigteilen erfolgreich eingesetzt werden.

Mit dem Vorhaben DeCaBo wurden eine Reihe von interessanten und kreativen Lösungsideen angedacht und getestet, die viel zum CO<sub>2</sub>-sparenden Bau und Betrieb von Gebäuden beitragen können. Was zunächst Ideen für die Fraunhofer-Gesellschaft selbst generiert hat, wird auch für die Bauindustrie in Zukunft wichtige Impulse geben können zur Weiterentwicklung von Baustoffen und Verfahren, um die hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus diesem Sektor zu senken.

## Kontakt

Dr. Benedikt Schug  
Partikeltechnologie  
Tel. +49 931 4100 435  
benedikt.schug@isc.fraunhofer.de

# »EWA« – Wasser effizient aufbereiten

## Ressource Wasser mehrfach nutzen!

Viele industrielle Prozesse greifen auf die Ressource Wasser zurück – als Rohstoff für die Produktion ebenso wie als Transport-, Löse- oder Trennmittel. Um Wasser so ressourcensparend und nachhaltig wie möglich zu nutzen und Trinkwasserreserven zu schonen, sind neue Lösungsansätze für eine effizientere Wassernutzung und Kreislaufführung notwendig.

Im KMU-akut Projekt »Effiziente Wasseraufbereitung« – kurz EWA – bündeln eine Reihe von Fraunhofer-Instituten unter der Federführung von Fraunhofer ISC und IFAM ihre Expertise für die elektrochemische Prozesstechnik, die Partikeltechnologie und die Materialanalytik. Gemeinsam mit Industriepartnern arbeiten sie in vier Themenfeldern an einer effizienten Aufbereitung und Mehrfachnutzung der wichtigen Ressource Wasser.

Die klassische, kommerzielle Prozesswasseraufbereitung ist für viele kleine und mittlere Unternehmen entweder überdimensioniert, zu spezifisch, zu kostspielig oder einfach ungeeignet. Im Rahmen des Projekts EWA soll diese Lücke geschlossen und Lösungsansätze entwickelt werden, die durch ihre Flexibilität, Skalierbarkeit und einen vergleichsweise geringen Kostenaufwand die Bedürfnisse kleinerer und mittlerer Unternehmen erfüllen. Gemeinsam mit den drei weiteren Fraunhofer-Instituten IKTS, ISE und IGB sowie fünf Industriepartnern wurden exemplarisch Machbarkeitsstudien und Validierungsprojekten für die Themenbereiche Batterierecycling, Lithiumgewinnung, Alginit in Klärprozessen und Meerwasserentsalzung für die Leitmärkte Energiewirtschaft, Chemische Industrie, Gesundheitswirtschaft sowie Anlagen- und Maschinenbau durchgeführt.

Einen guten Überblick für die Arbeitsweise der EWA-Projektpartner vermittelt zum Beispiel das Teilprojekt zur effizienten und nachhaltigen Aufbereitung von Prozesswasser aus Lithium-Ionen-Batterie-Recyclinganlagen. Mit der steigenden Anzahl von Elektrofahrzeugen fallen in der Folge mehr verbrauchte Traktionsbatterien an. Wertvolle Batteriematerialien möglichst effizient zurückzugewinnen und Prozesswasser so zu reinigen, dass es im Kreislauf geführt werden kann, ist für das ISC das Ziel im EWA-Projekt.

Im Anschluss sollen die Materialien im Idealfall sortenrein vorliegen und können direkt wieder zu neuen Batterien verarbeitet werden. Ausgangspunkt für die Projektarbeit war das Verfahren der elektrohydraulischen Zerkleinerung EHZ – eine Entwicklung des Projektpartners Impulstec – womit die Batterien in einzelne Materialfraktionen zerlegt werden können. In dem wasserbasierten Prozess entstehen grobe und feine Materialfraktionen sowie Stoffe, die in Lösung gehen.

Projektpartner MAB Recycling ist Anwender der EHZ und war auf der Suche nach einem geeigneten Aufbereitungsverfahren, um wertvolle Batteriematerialien möglichst vollständig und getrennt abzuscheiden und das Prozesswasser von störenden Verunreinigungen zu befreien.

Der Recyclingspezialist lieferte als Rohmaterial das Prozesswasser und erhielt im Gegenzug Analyseergebnisse und wichtiges Know-how, um die eigene Wasseraufbereitung voranzubringen.

*Wertvolle Materialien aus der Prozesswasseraufbereitung*



## Kostengünstiger umweltfreund- licher Ersatz für Aktivkohle

Weiterer Industriepartner im Projekt war die Firma CEPA, ein Hersteller von Industriezentrifugen. Das Unternehmen arbeitet schon seit geraumer Zeit gemeinsam mit Fraunhofer ISC an der Weiterentwicklung der Zentrifugentechnologie.

Im EWA-Projekt saßen die drei Unternehmen mit ihren spezifischen Fragestellungen gemeinsam mit dem Fraunhofer ISC am Tisch, um die Prozesswassermenge zu reduzieren, soweit wie möglich im Kreislauf zu führen und die möglichst sortenreine Materialauftrennung voranzubringen. Das Ergebnis sind verbesserte Prozesse, Wassereinsparung und weitere Ideen für gemeinsame Projekte über EWA hinaus.

### »Selektive Adsorption von Metallionen und Umweltschadstoffen«

Hier werden magnetische Adsorberpartikel genutzt, um (Schwer-)Metallionen und Schadstoffe wie Medikamentenrückstände selektiv und effizient aus Prozess- und Abwässern zu entfernen.

Mit im Boot als Industriepartner ist die Terra Natural Resources GmbH. Magnet- und Silicatpartikel werden mit einem besonders effizienten und selektiven Adsorber für Umweltschadstoffe kombiniert – Alginit. Es handelt sich um ein spezielles, natürlich vorkommendes, recyclebares Mineral, das im Gegensatz zur derzeit verwendeten Aktivkohle kostengünstig ist und eine hohe Umweltverträglichkeit sowie sehr gute Abtrennleistung sowohl für hydrophile als auch hydrophobe Stoffe aufweist. Die geschickte Modifizierung von Alginit mit magnetischen Partikeln sorgt dabei für eine gleichbleibend effiziente Adsorptionsleistung und garantiert darüber hinaus eine rückstands-freie Abtrennung der Adsorberpartikel aus den behandelten Abwässern. Der kostengünstige und nachhaltige Prozess birgt großes Potenzial und stellt zukünftig eine valide Alternative zur Anwendung in Kläranlagen dar.

### Kontakt

Dr. Michael Hofmann  
Lithium-Ionen Technologie  
Tel. +49 931 4100 228  
michael.hofmann@  
isc.fraunhofer.de

# 3D-Druck – mit weniger Material- und Energieeinsatz zum fertigen Produkt

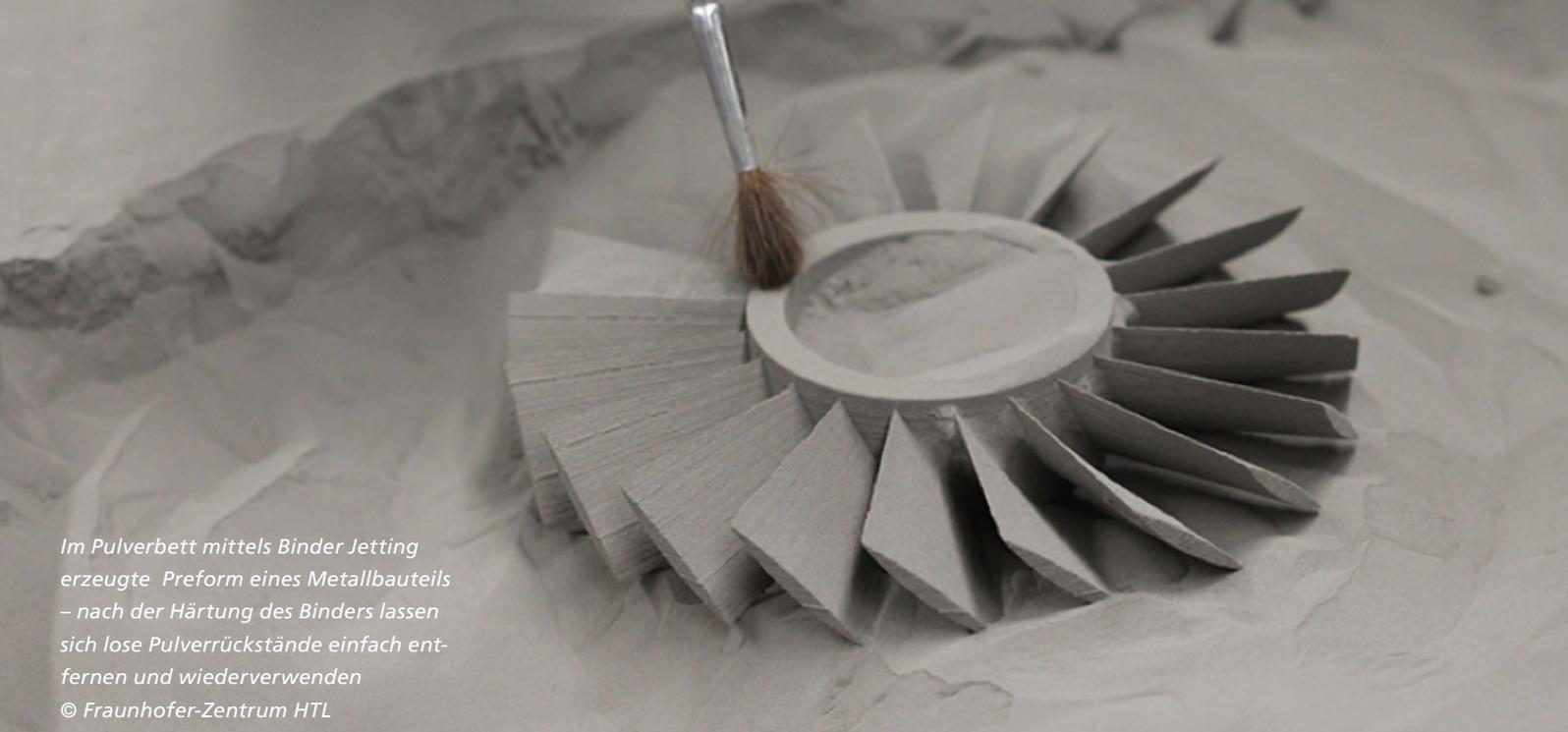
Zukünftige Fertigungsprozesse werden digital gesteuert und laufen automatisiert ab. Darüber hinaus sollen sie ressourcenschonend und energieeffizient sein sowie möglichst vollständig recycelbare oder biologisch abbaubare Produkte hervorbringen. Additive Verfahren können in Kombination mit den richtigen Materialkonzepten eine gute Lösung dafür sein und haben deshalb in bestimmten Anwendungsbereichen großes Potenzial. Ein weiterer Vorteil additiver Verfahren ist die einfach und kostengünstig personalisierbare, individuelle Herstellung einzelner Komponenten und ganzer Systeme – Stichwort »Losgröße 1«. Dies gilt insbesondere für energieintensive Fertigungsprozesse wie in der Spezialkeramik oder von neuartigen Materialverbunden im Bereich des Hochtemperatur-Leichtbau, aber auch für die Verwendung biologischer Materialien und deren Systemintegration, gerade im Bereich der Medizintechnik und Medizinprodukteentwicklung. Beispielsweise für biofunktionalisierten Trägermaterialien oder individualisierte Implantate ist die Technik interessant. Aber auch die Herstellung von spezifischen (mikro-)elektronischen und (mikro-)optischen Bauteilen profilieren von der Variabilität der additiven Fertigungsverfahren.

Neben den Vorteilen in der Individualisierbarkeit spielt aber zunehmend auch die Ressourceneffizienz eine wichtige Rolle beim Einsatz additiver Verfahren. Die endformnahe Fertigung durch 3D-Druck ohne Materialverlust ist auch für die Serienfertigung komplexer Bauteile und Strukturen interessant, besonders dort, wo hochqualifizierte Materialien eingesetzt werden. Das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC setzt eine Reihe von Verfahren in Kombination mit maßgeschneiderten Materialkonzepten für unterschiedlichste Anwendungsbereiche ein und entwickelt additive Techniken weiter. Gängige 3D-Druckverfahren bauen Werkstücke Schicht für Schicht auf. Je nach Material werden chemische (2K) oder physikalische (Temperatur, Licht) Initiierung eingesetzt. Üblicherweise werden 3D-Druckverfahren als Stand-Alone-Systeme genutzt. Für industriennahe Prozesse sind allerdings Konzepte zur Automatisierung von Prozessketten mit integriertem 3D-Druck erforderlich. Produktbezogen können sogar verschiedene 3D-Druckverfahren kombiniert werden, um optimal angepasste Materialkombinationen

und Funktionen zu erreichen. Das Fraunhofer ISC arbeitet an der Systemintegration von unterschiedlichen 3D-Druck-Techniken in einem Gerät und entwickelt prozessbegleitende Mess- und Monitoringsysteme. Fragestellungen wie die automatisierte Materialzufuhr, Nachbearbeitung (3D-Politur), oder die Standardisierung von Schnittstellen stehen dabei im Fokus, um die Implementierung in bestehende Prozesse zu erleichtern.

## Spezialkeramik/Metalle/Metall-Keramik-Verbunde

Das Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL nutzt zweistufige additive Fertigungsverfahren für die Herstellung von Metallen, Keramiken und Multimaterial-Kompositen. Dabei ist der energiearme additive Fertigungsprozess zur Erstellung eines sogenannten Grünbauteils von der nachfolgenden, in der Regel zeit- und energieintensiven Ofenbehandlung zur Entbinderung und Sinterung oder Infiltration getrennt. Das hat den Vorteil, dass thermische Spannungen und Verzug, wie sie bei anderen 3D-Druckverfahren auftreten, vermieden werden können. Darüber hinaus macht der simultane Brand vieler Bauteile diese Verfahren wirtschaftlich sehr attraktiv. Neben Feedstocks und Druckparametern entwickelt das HTL Analyseverfahren für die Qualitätssicherung an Bauteilen im Grünzustand. Dies ermöglicht eine effiziente Optimierung entlang der ersten Hälfte der Prozesskette. Für das Design der anschließenden thermischen Prozesse ermittelt das HTL die für die Prozesskinetik kritischen Materialeigenschaften. Hierbei nutzt es u.a. die herkömmliche Thermoanalyse sowie die In-situ-Analytik in den eigenentwickelten Thermo-optischen Messanlagen (TOM). Die Messdaten werden anschließend in einer gekoppelten FE-Simulation genutzt, die thermische, mechanische, chemische und geometrische Aspekte zur Optimierung berücksichtigt. Dadurch können Werkstoff, Bauteildesign, Ofenraum und Thermoprozesse im Zusammenspiel simuliert werden. Dies bildet die Grundlage, a priori potentielle Defektquellen, Schwindung und Verzug bauteil- und werkstoffspezifisch vorherzusagen und die gesamte Prozesskette für eine sichere, wirtschaftliche und dennoch flexible Serienfertigung auszulegen.



*Im Pulverbett mittels Binder Jetting erzeugte Preform eines Metallbauteils – nach der Härtung des Binders lassen sich lose Pulverrückstände einfach entfernen und wiederverwenden*  
© Fraunhofer-Zentrum HTL

### Sensorik/Aktorik/optische Komponenten

Miniaturisierte sensorische und aktorische Elemente sollen sich auch via 3D-Druck im Fertigungsprozess integrieren lassen. Das Fraunhofer ISC entwickelt die zugehörigen neuen Materialkombinationen, die piezoelektrisch, thermisch, elektrostatistisch, optisch, chemisch oder mechanisch responsiv geschaltet werden können. Die Herstellung optischer Bauteile erfordert besonders homogene, transparente und lichtstabile 3D-Formkörper, die frei von inneren Grenzflächen sind und eine sehr hohe Oberflächengüte aufweisen. Asphären und Gradienten-Index (GRIN) Optiken sind mit klassischen Verfahren nur aufwändig herzustellen. Der 3D-Druck bietet Optik-Designern die Möglichkeit, neue Komponenten als Freiformflächen fernab von üblichen sphärischen und rotationssymmetrischen Geometrien zu konzipieren und schnell zu testen.

### Biomedizin/Medizinprodukte

Neben dem Einsatz für Dentalprodukte und individuelle Otoplastiken ist der Einsatz von additiven Fertigungsverfahren auch für die Biomedizin interessant. So bieten neue biodegradierbare und/oder 3D-druckbare Materialien Lösungen, z. B. für die Herstellung von Stützstrukturen (Scaffolds) oder Funktionselementen, die nur temporär benötigt und danach durch ihre physiologische Umgebung abgebaut werden. Der Wachstumsprozess und das Verhalten von Zellen und Mikroorganismen lassen sich mit biokompatiblen und bioaktiven Materialien gezielt beeinflussen (Stimulation, Nährstofffreisetzung, Unterstützung der Wundheilung). Die Kombination von 3D-Druckverfahren mit lebenden Zellen (Bioprinting) kann für biomedizinische und pharmakologische Fragestellungen völlig neue Möglichkeiten bieten. Hierfür werden gemeinsam mit Kooperationspartnern schonende Drucktechnologien weiterentwickelt.

### Ressourcenschonendes Recycling/Sekundärrohstoffe

Für den 3D-Druckprozess werden hochspezialisierte Primärmaterialien mit genau definierten Eigenschaften benötigt, ein ressourcensparender Einsatz von Recyclaten oder Sekundärrohstoffen ist bisher nicht möglich. Das Fraunhofer ISC will mit seinem chemischen Synthese-Know-how dieses wertvolle Materialreservoir nutzbar machen. Produktionsabfälle oder recycelte Werkstoffe sollen so modifiziert werden, dass sie als Sekundärrohstoffe mit den für 3D-Druckverfahren benötigten Spezifikationen zur Verfügung stehen.

#### Kontakt

Gerhard Domann  
Tel: +49 931 4100 551  
gerhard.domann@isc.fraunhofer.de

PD Dr. Marco Metzger  
Tel: +49 931 31-86686  
marco.metzger@isc.fraunhofer.de

Joachim Vogt  
Tel: +49 921 78510-417  
joachim.vogt@isc.fraunhofer.de

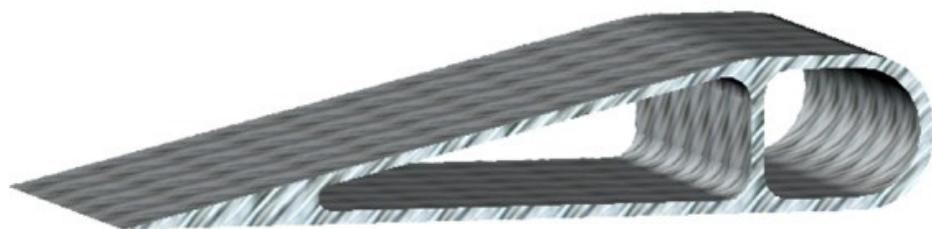
# »AirfOx« – Entwicklung einer faserverstärkten endkonturnahen Airfoil aus hochsteifer Oxidkeramik

CMC können helfen, Ressourcen einzusparen und CO<sub>2</sub>-Emissionen zu verringern.

Im Bereich der Luftfahrt stehen Gewichtsreduzierung und Energieeffizienz ganz oben bei den Anforderungen – auch für neue Materialien und Komponenten. Keramische Faserverbundwerkstoffe (CMC) bieten im Hinblick auf den Einsatz in Fluggasturbinen dabei wesentliche Vorteile: Bei CMC-Komponenten beträgt die Dichte nur ein Drittel im Vergleich zu konventionellen Metallbauteilen, damit tragen sie

der Verbrennungsatmosphäre gewährleistet, damit lässt sich die Betriebsdauer der Komponenten erhöhen.

Das Fraunhofer-Zentrum HTL arbeitet seit Anfang 2021 im Rahmen des Projekts »AirfOx«, gefördert über das bayerische Luftfahrtprogramm BayLu25, daran, einen auto-

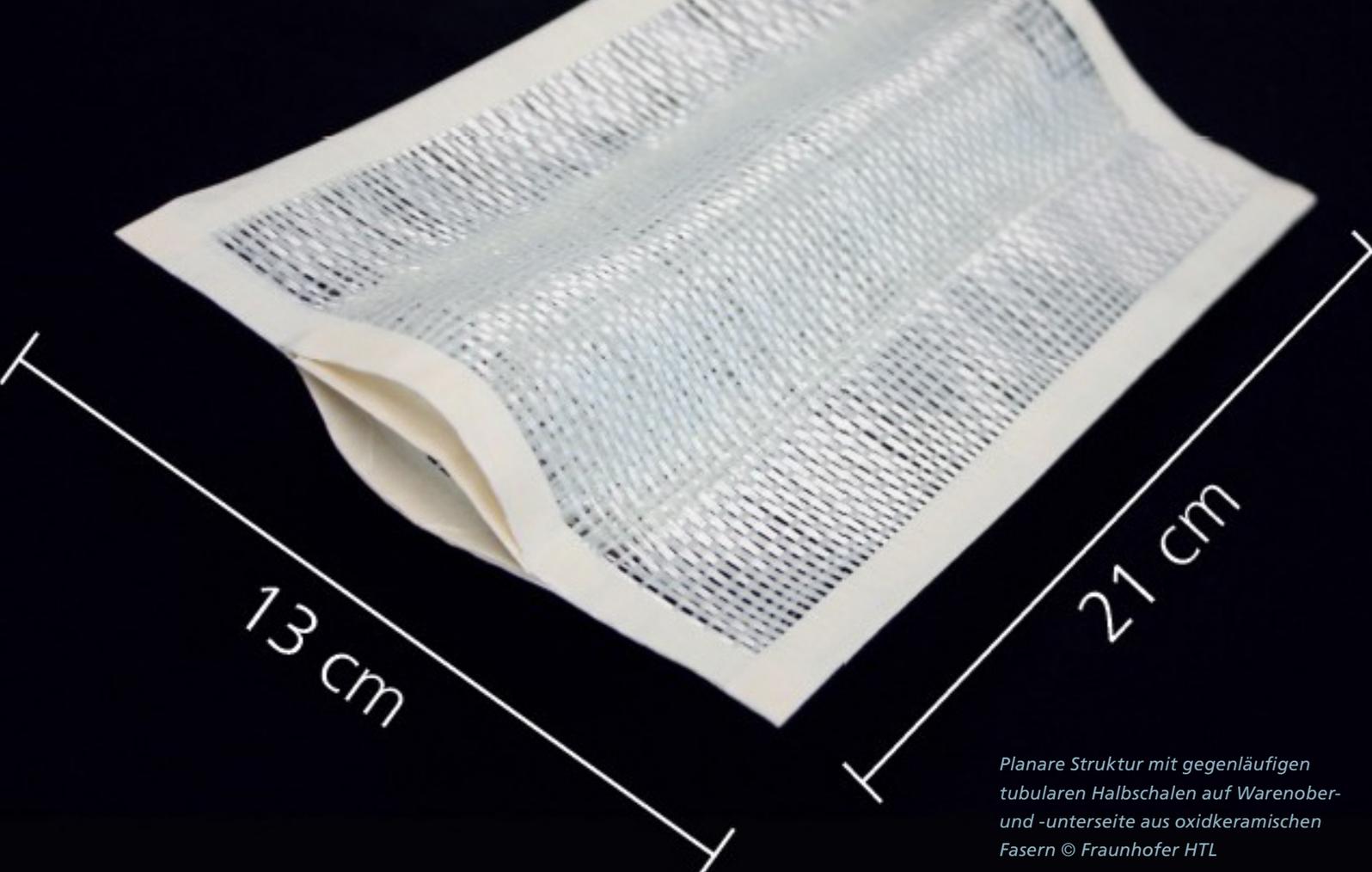


© Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG  
Airfoil-Geometrie, die in eine textile Keramikfaser-Preform übersetzt werden soll.

zu einer deutlichen Gewichtsreduzierung bei. Auch können sie bei bis zu 300 K höheren Temperaturen eingesetzt werden. Im Heißbereich von Gasturbinen ermöglichen CMC-Bauteile deshalb eine effizientere und vollständigere Verbrennung, sparen Treibstoff und verringern so die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Mit oxidkeramischen Verbundwerkstoffen (O-CMC) ist außerdem naturgemäß eine hohe Oxidationsbeständigkeit sowie eine geringe Korrosionsneigung in

matisierungsfähigen Prozess und Technologien zu entwickeln, mit denen eine endkonturnahe Fertigung von Triebwerksschaufeln für Fluggasturbinen (Airfoils) aus oxidischen Keramikfasern integral und serientauglich möglich ist.

Durch den Einsatz von Multiskalensimulation und CAD-Programmen zur lastgerechten Faserauslegung soll am Beispiel der Airfoil



*Planare Struktur mit gegenläufigen tubularen Halbschalen auf Warenober- und -unterseite aus oxidkeramischen Fasern © Fraunhofer HTL*

aufgezeigt werden, wie die Entwicklung einer komplexen 3D-Preform in der CMC-Herstellung ablaufen kann. Mit innovativen Webtechniken wird eine neue Herstellungsmethode für dreidimensionale Gewebe-Preforms aus keramischen Verstärkungsfasern für CMC-Komponenten mit unterschiedlich langen Deckflächen entwickelt, wobei gleichzeitig Stützstrukturen in Form von Stegen eingewebt werden können. Auch lokal auftretende Spannungsspitzen, die bei der Modellierung erkannt werden, können so bereits bei der Gewebeauslegung berücksichtigt werden. Dabei ist die Übertragung textiler 3D-Webtechniken auf keramische Fasern aufgrund deren Sprödigkeit eine besondere Herausforderung. Mit der speziellen Fertigungstechnologie werden die textilkeramischen 3D-Preforms endkonturnah an einem Stück hergestellt. So kann im Fertigungsprozess eine hohe Ressourceneffizienz gewährleistet werden.

Im Projekt wird ein Digitalisierungskonzept für die Fertigung der Preform entwickelt, um die Produktionsdaten, die wesentlich für die Bauteileigenschaften sind, während der webtechnischen Umsetzung des textilen Halbzeugs

kontinuierlich zu erfassen und zu bewerten. Ziel ist der Aufbau eines Daten-Management-Systems als vorbereitende Maßnahme für Zertifizierungen zur Gewährleistung der Rückverfolgbarkeit aller Prozessparameter, um so spätere Luftfahrtzulassung zu erleichtern.

Das textile Halbzeug wird in vier Schritten zu einem CMC-Bauteil umgesetzt, wobei das spezielle Verfahren für die Infiltration erstmals für diese Art von 3D-Preforms zur Anwendung kommt. Neben der Technologieentwicklung des Infiltrationsverfahrens steht die Automatisierbarkeit des Prozesses im Fokus.

CMC-Airfoils können signifikant dazu beitragen, den Treibstoffverbrauch zu reduzieren und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu verringern. »AirfOx« wird hier einen wesentlichen Beitrag in Richtung einer Serienfertigung leisten und soll den Weg ebnen, um die neue ressourceneffiziente Technologie zur Herstellung von komplexen 3D-Faserpreforms für CMCs zu etablieren, die dann auch für andere CMC-Typen, z. B. SiC/SiC-CMC, eingesetzt werden können.

*Durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie gefördert.*



## Kontakt

Dr. Silke Grosch  
Fraunhofer HTL  
Telefon +49 921 78510724  
silke.grosch@isc.fraunhofer.de

# »FORGE« – Entwicklung neuartiger und kostengünstiger Beschichtungen für Hochtemperaturanwendungen

Mit wenig Material viel erreichen

Im Rahmen des EU-Förderprogramms Horizon 2020 soll der Transformationsprozess energieintensiver Produktionsindustrien zur CO<sub>2</sub>-Neutralität in 2050 unterstützt werden. Im SPIRE-Verbundprojekt »FORGE« werden vier zentrale Herausforderungen – H<sub>2</sub>-Versprödung, Korrosion, Abrasion sowie mechanische und thermische Schädigung – in den vier Schlüsseltechnologien Zement-, Stahl, Aluminium- und Keramikherstellung adressiert.

mit verringerter CO<sub>2</sub>-Emission. Das von der EU finanzierte »FORGE«-Projekt will neue kostengünstige Beschichtungslösungen speziell für den Schutz besonders gefährdeter Anlagenkomponenten entwickeln. Im Fokus stehen dafür neuartige, sogenannte Compositionally Complex Materials, die in der Theorie aufgrund ihrer speziellen Zusammensetzung eine besondere mechanische, chemische und thermische Stabilität versprechen. FORGE wird diesen neuen Werkstoffraum der sogenannte Compositionally Complex Alloys (CCA) und Compositionally Complex Ceramics (CCC) erforschen.

Die derzeit in energieintensiven Industriezweigen eingesetzten Anlagen sind anfällig für Korrosion und Erosion sowie für Sprödbruch und Rissbildung, die durch die Gasatmosphäre und die thermische Belastung im Ofenbetrieb entstehen. Die Produktionseffizienz und Lebensdauer von Anlagenkomponenten zu erhöhen, ist von wesentlicher Bedeutung für eine umweltfreundlichere Zement-, Stahl, Aluminium und Keramikherstellung, auch im Hinblick auf für die Zukunft geplante Anlagen

Das Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperaturleichtbau HTL ist in »FORGE« für die Entwicklung neuartiger Beschichtungen zur Verringerung der thermischen und korrosiven Degradation des Feuerfestmaterials in Tunnelöfen verantwortlich. Im Zentrum stehen keramische Beschichtungen auf der Basis von CCC mit komplexen, entropie-stabilisierten Zusammensetzungen.



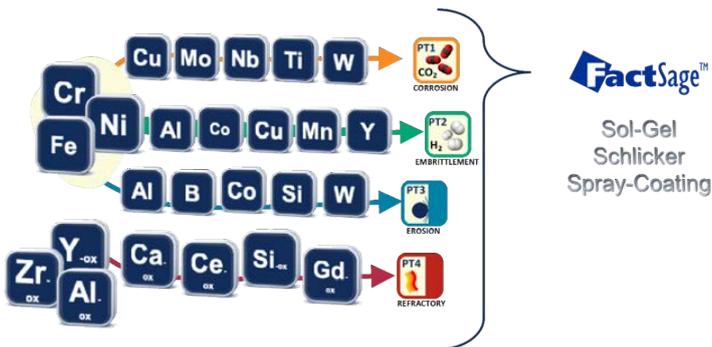


© ITC-AICE

## Entropie- stabilisierte Zusammensetzungen sorgen für hohe Beständigkeit

Diese Zusammensetzungen sollen durch die Kombination von Methoden des maschinellen Lernens, Künstlicher Intelligenz, Computational Chemistry sowie durch thermodynamische Betrachtungen und High-Throughput-Experimente entwickelt werden.

Im Rahmen des Projekts werden die neuen CCA- und CCC-Hochleistungsbeschichtungen in besonders anfälligen Prozessschritten wie CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Abwärmerückgewinnung sowie direkt in den Öfen eingesetzt, um die dort auftretenden Degradationskräfte zu bekämpfen. Es wird erwartet, dass als Ergebnis des FORGE-Projekts die Betriebsdauer der anfälligen Komponenten in den adressierten Industriezweigen wesentlich erhöht werden kann und damit eine signifikante Minimierung der Kosten sowie der CO<sub>2</sub>-Emissionen erreicht wird.



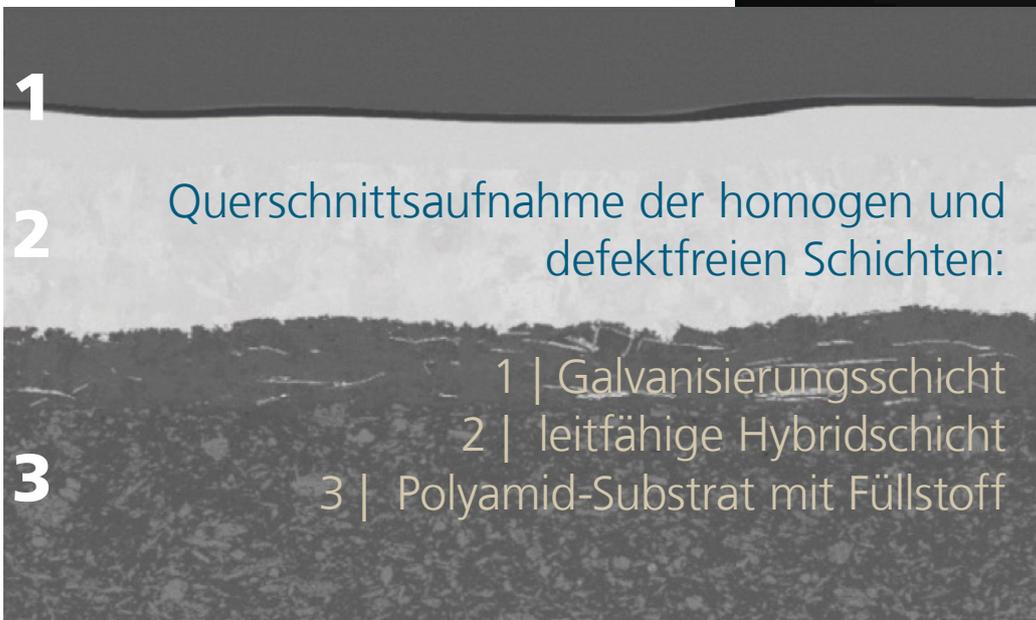
Mehr zum Projekt:



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme. Grant agreement 958457

### Kontakt

Dr. Holger Friedrich  
Fraunhofer HTL  
Telefon +49 921 78510 300  
holger.friedrich@isc.fraunhofer.de



## »digaP« – Beschichtungsverfahren spart kritische Ressourcen beim Galvanisieren

Das erste, das bei den meisten Produkten buchstäblich ins Auge fällt, ist die Oberfläche. Deshalb ist ihre Beschaffenheit enorm wichtig. Innovative Beschichtungen lassen Oberflächen nicht nur schön aussehen, sie schaffen vor allem mit wenig Materialeinsatz neue Funktionalitäten und Wertschöpfung und können helfen, kritische Materialien oder Prozessschritte in der Produktion zu ersetzen.

Im Automobilbau und in einer Vielzahl weiterer Branchen werden z. B. galvanisierte Kunststoffe gefertigt und eingesetzt. Die galvanisierten Oberflächen verleihen den preisgünstig und einfach herzustellenden Kunststoffkomponenten hochwertiges metallisches Aussehen und angenehme Haptik. Die Galvanotechnik benötigt allerdings sehr aufwändige Verfahren und Prozesse unter Einsatz von seltenen Metallen der Platingruppe sowie hochgiftigen und/oder gesundheitsschädlichen Substanzen (z. B. Säuren wie Flußsäure oder Chromschwefelsäure). Daher ist es ökonomisch und ökologisch notwendig, bestehende Galvanisierverfahren von Kunststoffteilen umweltverträglicher zu gestalten, den Prozess zu vereinfachen und auch den Anteil an seltenen Metallen im Prozess stark zu reduzieren.

Um Polymere, aber auch andere elektrisch nicht-leitende Materialien in einem Galvanikprozess mit einer Metallschicht zu veredeln, muss über eine »chemische Metallisierung« zunächst

eine dünne, elektrisch leitfähige Beschichtung aufgebracht werden. Meistens werden dafür dünne Kupfer- oder Nickelschichten eingesetzt. Für den Prozess der chemischen Metallisierung ist ein Katalysator notwendig, an dem sich Kupfer oder Nickel abscheiden. Dieser Katalysator ist Palladium (Pd), ein Element der Platinedelmetallgruppe. In den heute üblichen Verfahren erhalten alle chemisch zu metallisierenden Materialien durch eine Tauchbeschichtung zunächst eine Palladiumschicht. Vor der Palladiumbeschichtung wird die Kunststoffoberfläche durch Ätzen mit Chromschwefelsäure »aufgeraut«. Dieser Schritt ist besonders kritisch, da hier noch immer sechswertiges Chrom zum Einsatz kommt.

Das Fraunhofer ISC arbeitet gemeinsam mit zwei namhaften Industriepartnern aus der Kunststoff- und Galvanik-Branche an einem umweltfreundlicheren und schnelleren Verfahren. Es macht den Einsatz von Palladium als leitfähige Metallisierung überflüssig, vermeidet umweltschädliche Chemikalien und reduziert die Anzahl der bisher nötigen Prozessschritte deutlich. Möglich wird dies durch speziell designte multifunktionelle Hybridpolymere. Sie bieten durch ihren Chemismus und eine spezielle Struktur eine gute Haftvermittlung zwischen Kunststoffoberfläche und galvanischer Metallschicht und stellen durch eine Dotierung die für den Galvanisierungsprozess notwendige Leitfähigkeit her. Sie werden unter Verwendung von kommerziell leicht und günstig erhältlichen Rohstoffen hergestellt und in



## STANDARDPROZESS GALVANISIERUNG

Kunststoffsubstrat



Anquellen mit Lösemittel für Säurebehandlung



Chromschwefelsäure - Anätzen des Kunststoffs



Abscheiden von Pd-Verbindungen und Reduzierung von Pd<sup>0</sup>



Chemische Abscheidung von Ni<sup>0</sup> auf Pd<sup>0</sup>



Abscheidung von Cu - gefolgt z. B. von Cr

## NEUER PROZESS GALVANISIERUNG

Kunststoffsubstrat



Leitfähige ORMOCER®-Schicht (Nasslack)



Abscheidung von Cu - gefolgt z. B. von Cr

einem einzigen, einfachen Lackierprozess aufgetragen. Die teils toxischen Chemikalien für Ätzschritte und Aktivierung wie auch das kritische Palladium werden dadurch vollständig ersetzt.

Im noch laufenden Verbundprojekt werden Material und Prozess optimiert, damit die Oberflächengüte des galvanisierten Produkts auch höchsten Ansprüchen genügt. Parallel wird die Materialsynthese für das leitfähige Hybridpolymer hochskaliert, um am Ende des Projekts bereits über Kapazitäten für die Bemusterung und Testung unter Pilotbedingungen zu verfügen. Mit der Materialinnovation des Fraunhofer ISC könnte das Galvanisieren durch den Verzicht auf kritische Prozesschemikalien wesentlich umweltfreundlicher und einfacher werden.

Für die beteiligten Industrieunternehmen ist neben den Umweltaspekten auch die Vereinfachung und Beschleunigung des Prozesses wirtschaftlich gesehen sehr attraktiv.

### Kontakt

Dr. Klaus Rose  
Chemische  
Beschichtungstechnologie  
Tel. +49 931 4100 626  
klaus.rose@isc.fraunhofer.de



## »OASIS« – EU-Projekt geht mit KMU-Democases in die nächste Runde

Die im Rahmen des EU-Projekts »OASIS« bisher auf- bzw. ausgebauten 12 Pilotlinien für innovative Smart Lightweight Composites – darunter auch die Nanopartikelproduktion an Fraunhofer ISC – haben sich bereits in den OASIS Showcase-Projekten bestens bewähren können. Das Fraunhofer ISC war am Showcase des Bau-Konzerns Acciona Construccion SA zur Entwicklung einer neuen CO<sub>2</sub>-sparenden Fertigungstechnik für armierte leichte Betonbauteile beteiligt. Dafür steuerte die ISC-Partikeltechnologie induktiv heizbare Nanopartikel bei, die zur gleichmäßigen Aushärtung der Harzmatrix von Glasfaserarmierungen (GFK) beim Strangpressen eingesetzt wurden. Vorteil des neuen Verfahrens ist die schnelle induktive Erwärmung. Damit kann der ganze Querschnitt gleichmäßig und zuverlässig ausgehärtet werden. Fehler und unvollständig gehärtete Stellen werden vermieden. Mit den neuen Leichtbau-Armierungen können so Energie und Gewicht eingespart werden, ein Fortschritt für die Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich Bau und Konstruktion. Mit den magnetischen Partikeln wurde über eine Induktionsspule das Harz im Produktionsprozess vorgewärmt und so in der Praxis eine um 100 % gesteigerte Produktionsgeschwindigkeit erreicht. Die endgültigen, mit GFK-Stäben bewehrten Betonbauteile haben gute Ergebnisse hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften und des Brandverhaltens erzielt. Beständigkeitstests in einer realen Meeresumgebung werden derzeit durchgeführt und die Ergebnisse werden weitere interessante Informationen liefern.

Doch »OASIS« zielt eigentlich auf eine Verstärkung der Nutzung der Pilotlinien über die im Projekt durchgeführten Showcases hinaus und v. a. auf die Bereitstellung dieser Infrastruktur für kleine, mittelständische und große Unternehmen. Aus diesem Grund gab es bereits zwei offene Aufrufe an Unternehmen, sich mit Projektideen zu bewerben. Für die ISC-Pilotlinie kamen dabei sowohl im ersten als auch im zweiten Call interessante Projekte zustande. Mit einem namhaften polnischen Hersteller von Eisenbahnsitzen werden die halogenfreien flammhemmenden Partikel der ISC-Pilotlinie, in Kombination mit nanobasierten Produkten weiterer »OASIS«-Pilotlinien, für ein neues Produkt eingesetzt, das leicht, je nach Kundenanforderungen individualisierbar und umweltfreundlich ist. Für den Hersteller könnte die neue Entwicklung einen deutlichen Wettbewerbsvorteil auf dem Eisenbahnsektor bedeuten.



The project leading to this application has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 814581



Mehr zu der Pilotlinie für die Partikelherstellung unter  
<https://www.partikel.fraunhofer.de/>

Mehr über das Projekt »OASIS« unter  
<https://project-oasis.eu/>

*Abzentrifugierte Nanopartikel*

### **Schlüsseltechnologie für das Recyclen von Verbundmaterialien – vereinfachtes Bonding/Debonding mit induktiv heizbaren Partikeln**

Im zweiten Call kommt ein Projekt eines ebenfalls namhaften deutschen Zulieferers zum Zug, der an einem Konzept für eine verbesserte Kreislaufführung von Verbundmaterialien in neuartigen Leichtbaustrukturen für den Mobilitätssektor arbeitet. Die induktiv heizbaren Partikel aus der ISC-Pilotlinie sollen hier das einfache Bonding/Debonding ermöglichen und Klebeverbindungen durch induktives Erwärmen lösen. In beiden Fällen leisten die partikulären Additive aus der erweiterten Co-Pilot-Anlage am Fraunhofer ISC mit ihrer qualitätsgesicherten Partikelherstellung im kg-Maßstab einen wesentlichen Beitrag für das Gelingen neuer, umweltfreundlicherer und ressourcenschonender Industrieprodukte, und das mit einem vergleichsweise geringen Materialeinsatz – weniger ist (oft) mehr.

Das »OASIS«-Konzept, einen open access single-entry point für Unternehmen, die eine zwar forschungsbasierte, aber auch pilotproduktionsfähige Infrastruktur für innovative Leichtbaumaterialien nutzen möchten, bewährt sich offenbar. So konnten in den beiden offenen »OASIS«-Calls bereits elf sogenannten Democases für neue Produktideen durchgeführt oder

zumindest begonnen werden, mit Industriekunden aus unterschiedlichen Sektoren. Neben den Bau- und Mobilitätsbranchen sind z. B. auch die Medizintechnik oder Sportartikelhersteller unter den OASIS-Kunden. Deshalb wird derzeit an der Etablierung einer entsprechenden Einrichtung gearbeitet, die auch nach dem Ende des EU-Projekts »OASIS« die bisher entwickelten Dienstleistungen weiter anbietet – ein auch für die ISC-Pilotlinie erfreuliches Projektergebnis.

### **Kontakt**

Dr. Benedikt Schug  
Partikeltechnologie  
Tel. +49 931 4100 435  
[benedikt.schug@isc.fraunhofer.de](mailto:benedikt.schug@isc.fraunhofer.de)

# »ImAi« – neues Testverfahren soll weltweiten Standard-Tierversuch ersetzen

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt »ImAi« soll einen tierversuchsfreien Ersatz für den weltweit bei der Bewertung des Augenreizungspotenzials von Chemikalien eingesetzten Draize-Test an Kaninchen schaffen. Der neue Test basiert auf im Labor kultivierten Gewebemodellen der Augenhornhaut in Verbindung mit Impedanzspektroskopie.

Jede chemische Substanz, die in Umlauf gebracht wird, muss verschiedene Tests durchlaufen, um das jeweilige Gefahrenpotenzial zu definieren und entsprechend zu deklarieren. Einer dieser verbindlichen Tests untersucht die potenzielle Gefahr für Augenreizungen und klassifiziert die Substanzen entsprechend in die Kategorien »1« für irreversible Schädigung, »2« für reversible Schädigungen oder »3« nicht kennzeichnungspflichtig wenn die Substanz nicht reizend ist. Seit 1944 wird für die Einteilung der Schädlichkeit von Substanzen auf das Auge weltweit ein belastender toxikologischer Test an lebenden Kaninchen durchgeführt, der sogenannte »Draize Augenreizungstest« (gemäß OECD Prüfrichtlinie TG 405), bei dem die Substanzen lebenden Kaninchen ins Auge getropft werden.

Um diese quälende Prozedur zu ersetzen, wurden bereits verschiedene Anläufe unternommen, Gewebemodelle der menschlichen Augenhornhaut (Cornea) im Reagenzglas (in vitro) zu kultivieren und als Testsysteme zu verwenden. Da bisherige Gewebemodelle jedoch die Unterscheidung zwischen irreversiblen und reversiblen Schädigungen nicht ermöglichen, ist bislang nur eine Reduzierung, nicht ein Ersatz der Tierversuche gelungen.

Das Translationszentrum für Regenerative Therapien TLZ des Fraunhofer ISC, das Bundesinstitut für Risikobewertung und die Goethe-Universität Frankfurt arbeiten im Projekt »ImAi« gemeinsam mit den Unternehmen Clariant Produkte GmbH und Courage Khazaka Elektronik GmbH an einem leistungsfähigen Testsystem. Das neue Verfahren soll den »Draize-Eye-Test« nicht nur vollständig ersetzen, sondern darüber hinaus auch zuverlässigere Vorhersagen erlauben, da dem Gewebemodell menschliche Zellen als Basis dienen.

Kernstück des Testsystems wird das modifizierte, langlebige Cornea-Modell des TLZ sein. Um die unterschiedlichen Kategorien der Augenschädigung unterscheiden zu können, wird darüber hinaus auch eine nicht-invasive Messmethodik entwickelt, die eine wiederholte Untersuchung der künstlichen Hornhaut ohne zusätzliche Störung erlaubt. Damit kann eine zuverlässige Vorhersage über eine potenzielle Schädigung des Auges ermöglicht werden.

Die ersten Meilensteine – Testaufbau, Adaption der Impedanzspektroskopie an die Cornea-Modelle, d. h. wie lassen sich welche Schädigungen und Wirkmechanismen an der Cornea durch Impedanzspektroskopie einfach messen, unterscheiden und bewerten – sind bereits gemeistert. Auch der Prototyp des handlichen und einfach zu bedienenden mobilen Spektrometers wird bereits für die Messung der Testsubstanzen genutzt. In den kommenden Monaten werden



*Für diese Entwicklung erhielt unser Kollege Dr. Christian Lotz den Felix-Wankel-Tierschutzpreis*

## 3R-Prinzip

Als Grundsatz der experimentellen wissenschaftlichen Arbeit: Tierversuche so weit wie möglich durch andere Verfahren ersetzen (**R**eplacement), die Anzahl der Tiere verringern (**R**eduction) und ihr Leiden in den Versuchen minimieren (**R**efinement).

Gerätesoftware, Parametrierung des Testverfahrens, die standardisierte Testprozedur und die Messprotokolle optimiert, um möglichst umfassende Aussagen über die Wirkmechanismen der Testsubstanzen und eine zuverlässige und schnelle Vorhersage zum Reizpotenzial von Chemikalien zu ermöglichen. Anschließend wird eine Validierung des neuen Testverfahrens in einer Multi-laborstudie durchgeführt.

### 3R-Prinzip schont Tierleben und Ressourcen

Mittelfristig erlauben die im Projekt erzielten Ergebnisse bei erfolgreicher Validierung die Umsetzung als eigenständige Methode in eine OECD Prüfrichtlinie. Dann könnte nach rund 80 Jahren endlich das Ende des »Draize-Eye-Tests« bevorstehen – dem nicht nur die Kaninchen keine Träne nachweinen werden. Denn das neue Verfahren schont nicht nur die Versuchstiere, sondern auch Personalressourcen und Zeit und verringert letztlich die Kosten für eine Prüfung. In Zukunft ist denkbar, dass das Messverfahren auf weitere In-vitro-Modelle (Haut, Blut-Hirn-Schranke) übertragen werden kann und als Plattformtechnologie dient. Bereits jetzt ist das Interesse aus der Industrie an dem Verfahren groß.

### Kontakt

Dr. Christian Lotz  
In-vitro-Testsysteme  
Tel. +49 931 31-82596  
christian.lotz@  
isc.fraunhofer.de





Sie finden den gesamten Jahresbericht  
des Fraunhofer ISC im Internet unter  
[https://www.isc.fraunhofer.de/  
jahresbericht](https://www.isc.fraunhofer.de/jahresbericht)



# Impressum

---

## Redaktion

Marie-Luise Righi  
Sandra Köhler  
Susanne Kuballa  
Katrin Selsam  
Prof. Dr. Gerhard Sextl

## Grafiken und Diagramme

Katrin Selsam

## Layout und Produktion

Katrin Selsam

## Druck

Farbendruck Brühl Marktbreit

## Bildquellen

Abbildungen und Fotos Fraunhofer ISC oder Angabe der Copyrightnachweise beim Bild.

Das Kopieren und Weiterverwenden von Inhalten ohne Genehmigung der Redaktion ist nicht gestattet.

## Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC  
Neunerplatz 2  
97082 Würzburg

Tel +49 931 4100-150  
marie-luise.righi@isc.fraunhofer.de  
<https://www.isc.fraunhofer.de>



Fraunhofer-Institut  
für Silicatforschung ISC



Fraunhofer ISC



Fraunhofer\_ISC



Fraunhofer ISC

## LESS IS MORE

---

Aus weniger Ressourcen mehr zu machen, das wird ein immer wichtigeres Ziel für die Menschheit. Konsum und Bevölkerungswachstum steigen, doch die Reserven, die unser Planet bereithält, sind naturgemäß endlich. Gebraucht wird ein Paradigmenwechsel – auch um faire Lebensbedingungen für alle zu schaffen. Wachstum und Wohlstand müssen vom Ressourcenverbrauch entkoppelt werden. Daran müssen Forschung und Innovation noch mehr als bisher arbeiten. In diesem Jahresbericht haben wir viele Beispiele zusammengestellt, wie wir mit unserer Materialforschung bereits heute auf diesem Weg vorangehen – vom verantwortungsvollen Umgang mit dem Lebenselement Wasser bis hin zu ressourcensparend gedruckter Elektronik auf Papier.

Und auch hier gilt: Guter Umgang mit Ressourcen fängt schon im Kleinen an. Deshalb haben wir die gedruckte Ausgabe des Jahresberichts auf den Projektteil reduziert. Das Umschlagpapier besteht aus Recyclingkarton, für die Ober- und Unterseite wurde Graspfaser verwendet, zertifiziert mit dem Umweltzeichen FSC® Mix credit. Damit reduziert der Graskarton den Wasser- und Ressourcenverbrauch bei der Herstellung erheblich. Das Innenpapier ist zu 100 % aus Altpapier, FSC-zertifiziert sowie mit dem Blauen Umweltengel und dem EU Ecolabel ausgezeichnet.

Weitere Infos über die Arbeit hinter den Projekten und was sonst noch so passiert ist finden Sie auf unserer Internetseite unter <https://www.isc.fraunhofer.de/jahresbericht>

Folgen Sie uns auf LinkedIn und Twitter!