

# Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

Fraunhofer:  
die Geschichte  
eines Erfolges

CO<sub>2</sub>



Mauerwerk  
neu gedacht:  
Dr. Michael Prokein



## So wird der Schadstoff zum Rohstoff



**»Spitzenforschung ist der  
Treiber für Innovationen«**  
Im Interview: Hendrik Wüst, Minister-  
präsident und CDU-Hoffnungsträger

**»Wir brauchen eine  
Kultur der Offenheit«**  
Siemens-Chef  
Dr. Roland Busch

# Fraunhofer Match

---

[www.match.fraunhofer.de](http://www.match.fraunhofer.de)

Sie suchen wissenschaftliche Expertise für Ihr Unternehmen oder Ihr Projekt? Fraunhofer Match verbindet Sie schnell und unkompliziert mit den **idealen Expertinnen und Experten** aus den 76 Fraunhofer-Instituten und -Einrichtungen.

Fraunhofer Match ist die zentrale Match-Making-Plattform der Fraunhofer-Gesellschaft. Hier können Sie Forschungsanfragen platzieren und finden **zielgenau Unterstützung** bei **technologischen Herausforderungen**.

**Fraunhofer Match: It's a Match!**



# 75 Jahre Innovation

Von Prof. Holger Hanselka

Die Fraunhofer-Gesellschaft blickt mit Stolz zurück auf 75 Jahre Unternehmensgeschichte voller bahnbrechender Erfindungen und Lösungen für komplexe technologische Herausforderungen. Seit ihrer Gründung hat sie sich kontinuierlich weiterentwickelt und dabei zahlreiche Meilensteine erreicht, die ihre Innovationskraft und den Einsatz für Exzellenz in den verschiedensten Bereichen der Spitzenforschung widerspiegeln. Von bescheidenen Anfängen bis hin zu einer international anerkannten Forschungsorganisation hat sich Fraunhofer stets – ganz im Sinne unseres Namensgebers Joseph von Fraunhofer – durch Erfindergeist und unternehmerisches Handeln ausgezeichnet.

Zahllose Beispiele aus der Fraunhofer-Historie haben mit Innovationen das Leben vieler Menschen verbessert, zu den bekanntesten zählt sicherlich die Entwicklung des mp3-Audioformats. Ebenso beeindruckend sind Beispiele wie der Industrial Data Space für den sicheren Austausch von Daten in digitalisierten Industrieumgebungen oder innovative Technologien für leistungsfähige bionische Leichtbauteile. Von der Entwicklung neuer Materialien und Technologien bis hin zur Optimierung industrieller Prozesse revolutionieren Fraunhofer-Anwendungen diverse Branchen. Diese Erfolgsgeschichte gilt es fortzuschreiben und auch zukünftig Antworten zu liefern auf die zentralen Fragen unserer Zeit.

**Seit 1973 ermöglicht das Fraunhofer-Modell**, ein optimales Geschäftsmodell, anwendungsorientierte Forschung zu entwickeln, welche eng mit den Bedürfnissen der Industrie verknüpft ist. Das Fraunhofer-Modell mit der Ausrichtung auf die Wirtschaft umfasst dabei drei Säulen zu gleichen Teilen:

- (1) die Wirtschaftserträge als Alleinstellungsmerkmal in der deutschen Forschungslandschaft,
- (2) öffentlich im Wettbewerb eingeworbene Forschungsfördermittel,
- (3) die institutionelle Grundfinanzierung, bereitgestellt von der Bundesregierung und den Ländern, für strategische Vorlaufforschung.

Der Auftrag von Fraunhofer besteht darin, die deutsche und europäische Industrie mit neuen Technologien zu unterstützen und so als Innovationslieferant für Wirtschaft und

## Editorial



Prof. Holger Hanselka

Gesellschaft zu dienen. Dabei fokussiert Fraunhofer auf Schlüsseltechnologien und stärkt eine wertorientierte Wertschöpfung für eine lebenswerte, nachhaltige und erfolgreiche Zukunft. Fraunhofer unterstützt die Entwicklung neuer Technologien von der Idee bis zur Markteinführung und bietet seinen Partnern somit passgenaue, tragfähige Lösungen für deren entscheidenden Wettbewerbsvorteil.

**Die Ausrichtung des Fraunhofer-Modells** – zentriert auf die Bedürfnisse der Industrie – ist einzigartig im deutschen Innovationssystem und macht unsere Fraunhofer-Gesellschaft systemrelevant. Daher haben wir stets die Bedarfe der Wirtschaft im Fokus und liefern wichtige Impulse für die Weiterentwicklung von Schlüsseltechnologien, welche zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen beitragen. Dieser Dreiklang aus Forschung, Industrie und Gesellschaft spielt eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung der Zukunft und ist somit von großer Bedeutung für das gesamte Innovationssystem. Unsere Fraunhofer-Gesellschaft wird auch in den kommenden Jahren eine zentrale Rolle in der angewandten Forschung einnehmen, indem sie die Entwicklung innovativer und zielgerichteter Anwendungen vorantreibt, Partnerschaften stärkt und nachhaltige Lösungen für globale Herausforderungen entwickelt. Dafür stehe ich als Präsident. Dafür stehen 32 000 Mitarbeitende. Dafür steht die Fraunhofer-Gesellschaft.

Ihr

Prof. Holger Hanselka  
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

## Inhalt



10

**Titel**

### Kohlendioxid kann mehr

Mithilfe einer Elektrolysezelle testet Prof. Ulf-Peter Apfel vom Fraunhofer UMSICHT neue Katalysatoren zur klugen Nutzung von CO<sub>2</sub>.

03 Editorial

06 Kurz gemeldet

09 Impressum

10 **Kohlendioxid: Vom Problem-zum Rohstoff**

Eine Vielzahl technischer Innovationen will CO<sub>2</sub> als Kohlenstoffquelle nutzen

22 **Aus Schutt und Asche**

Die Zukunft des Bauens, Hoffnung für die Ukraine – und was Reisschalen damit zu tun haben

26 **»Spitzenforschung ist der Treiber«**

Im Interview: Hendrik Wüst, Ministerpräsident Nordrhein-Westfalen

26

### »Technologie-transfer beschleunigen«

NRW-Chef Hendrik Wüst plädiert für Partnerschaften zwischen Forschung und Industrie.



38

**Energiewende**

### Turbo für den Wasserstoff

Die H<sub>2</sub>-Produktion in Deutschland vorantreiben: Für dieses Ziel steht die Referenzfabrik.H2 in Chemnitz, geleitet von Dr.-Ing. Ulrike Beyer.

38 **Der »Käse« der erneuerbaren Energie**

Fit werden für die Wasserstoff-Ära: Die Referenzfabrik.H2 versorgt Unternehmen mit dem nötigen Know-how. Ein Ortsbesuch

48 **Grüner Wasserstoff für sauberen Stahl**

Eine innovative Prozesskette könnte den Traum von einer klimafreundlichen Stahlproduktion wahr werden lassen

**30 Fraunhofer international****32 Der Traum vom guten Fliegen**

Fernreisen ohne schlechtes Gewissen? Hybridelektrische Flugzeugantriebe sollen den Kerosinverbrauch senken und Lärm mindern

**35 Staffellauf des Wissens, Folge 11**

Wie erreichen wir gemeinsam eine neutrale Haltung für die besten Lösungen mit Blick auf aktuelle und mögliche Krisen, Herr Prof. Lauster?

**50 Stimme aus der Wirtschaft**

Dr. Roland Busch, Vorstandsvorsitzender der Siemens AG

**52 Hammer gegen Krebs**

Individualisierte Therapien zu verträglichen Preisen: Fraunhofer-Institute entwickeln effizientere Behandlungsoptionen

**56 Besser unterwegs mit Bus und Bahn**

Kann Künstliche Intelligenz die Zuverlässigkeit im Nahverkehr erhöhen?

**58 Bissig gegen Bakterien**

Gute Toxine: Fahndung nach dem Heilungspotenzial von Schlangengift

## 32 Nachhaltig abheben

Otto Lilienthal bahnte der Luftfahrt den Weg. Fraunhofer will das Fliegen nun klimafreundlicher machen.



## 22 Aufschwung für den Bau

Das Fraunhofer WKI will aus Abbruchmaterial neue Baustoffe herstellen – und so auch der Ukraine helfen.

**60 Vom Klima bedroht**

Historische Bauten leiden unter Extremwetter. Am Fraunhofer IBP arbeitet man an Schutzmaßnahmen

**63 Ein Grund zum Feiern – 75 Jahre Fraunhofer**

Seit 1949 erfolgreich im Dienste der Zukunft: Gratulationen aus Politik und Wirtschaft zum Fraunhofer-Jubiläum

**64 Fraunhofer-Forschungshighlights**

Wissen schaffen für die Wirtschaft – eine Zeitreise durch die Geschichte der Fraunhofer-Gesellschaft

**71 Jeder Tropfen zählt**

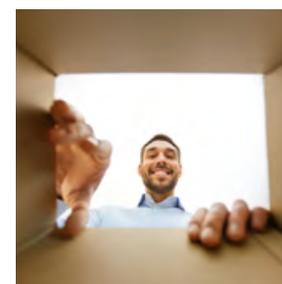
Lackieren ohne Verluste? Jetzt ist Schluss mit »Overspray«

**72 (Umwelt-)Bewusster bummeln**

Fraunhofer-Forschende haben untersucht, was die CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Online-Shopping senkt

**74 Speichern unter: DNA**

Das Genom zum Vorbild – nachhaltige Massendatenspeicherung mittels biologisierter Technik



## 72 Smart shoppen per Mausclick

Eine Studie zeigt, dass sich der Online-Einkauf umweltverträglicher gestalten lässt.

**76 Hugo-Geiger-Preise**

Ausgezeichnete Forschung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler

**82 Foto & Fraunhofer**

Projekt WowWow: Künstliche Hundehaut ermöglicht Tests ohne Tierleid

**84 Weniger Stress für Pflanzen**

Neue Sensortechnologien sollen bessere Ernten unter schwierigen Bedingungen gewährleisten

**87 Fraunhofer vor Ort**

**Grüner Wasserstoff** entsteht durch Elektrolyse von Wasser mithilfe erneuerbarer Energien. Bis 2030 will Deutschland hier zehn Gigawatt Elektrolyse-Kapazität aufbauen. Damit lassen sich aber maximal 50 Prozent des nationalen Wasserstoff-Bedarfs decken. Der Rest müsste dann importiert werden.

# 50%

## Kurz gemeldet



Gesundheitlich unbedenkliches Braten ohne Anpappen: Die neue PLASLON®-Beschichtung macht's möglich.

## Jahrhundertgifte ersetzen

Eine PFAS-freie Antihafbeschichtung für unter anderem Pfannen und Verpackungen haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM entwickelt. Viele per- und polyfluorierte Alkylverbindungen, kurz PFAS, sind nachweislich gesundheitsschädlich. Sie sind extrem stabil und können von der Natur nicht abgebaut werden, daher werden sie auch »Ewigkeitschemikalien« oder »Jahrhundertgifte« genannt.

Die innovative PLASLON®-Beschichtung zeichnet sich durch hervorragende Antihafteigenschaften in Kombination mit hoher mechanischer Beständigkeit aus. Die mittels Plasmatechnik hergestellte Beschichtung ist als Gradientenschicht ausgeführt, also als eine elektrochemisch erzeugte Metallschicht, um eine exzellente Haftung zum Produktkörper zu ermöglichen und dennoch optimale Antihafteigenschaften auszuprägen.

Im Gegensatz zu anderen Antihafbeschichtungen ist PLASLON® aufgrund ihrer guten Haftung und hohen Härte auch für Emaille, Glas, Steinzeug und Porzellan geeignet. Produkte aus diesen Werkstoffen sind zwar sehr kratzfest, weisen aber eine schlechte Antihafwirkung auf. ■

## Intelligente Textilien halten Giftstoffe ab

Feuerwehrleute besser vor gefährlichen Chemikalien schützen wollen Forschende des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS gemeinsam mit Partnern aus der Wirtschaft. Dafür haben sie einen speziellen Anzug entwickelt, der den Kontakt mit gesundheitsschädlichen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) wirkungsvoll unterbindet.

Entstehen können PAK, wenn Matratzen, Vorhänge, Holzbalken, Kunststoff oder andere Gegenstände aus organischen Materialien brennen. Das innovative Schutzkonzept der Anzüge umfasst High-Materialien und intelligente Überwachung: Moderne Vliese als zentraler Bestandteil der Schutzanzüge verhindern den Hautkontakt mit den Schadstoffen. In die Gewebe werden außerdem Ultraviolett-Sensoren integriert, die feststellen, wann der textile Schutzschild mit PAK gesättigt ist und ausgetauscht werden muss. Die ersten Feuerproben in Brandcontainern hat die neue Schutzkleidung bereits bestanden. ■



PAK reichern sich im Körper an und führen bei Feuerwehrleuten vermehrt zu Krebserkrankungen.



Mehr als 60 Prozent aller Textilien sind aus Kunstfasern hergestellt.

## Waschmaschinen-Filter schützt die Umwelt

Umweltgefahr Mikroplastik: Dass mikroskopisch kleine Kunstfasern von der Waschmaschine mit dem Wasser freigesetzt werden, verhindert der neuartige Zentrifugalfilter fibrEX. Entwickelt wurde er von Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT. Der flexibel integrierbare und wartungsfreie Filter trennt aus Waschwasser die Fasern ab, die während der Reinigung vom Textil abgerieben werden. Anders als ein Siebssystem nutzt fibrEX die Dichteunterschiede von Kunstfasern und Wasser und separiert beim Schleudern die beiden Komponenten voneinander. Auf diese Weise hält er mindestens 80 Prozent der synthetischen Mikrofasern aus dem Waschwasser zurück. Der neuartige Zentrifugalfilter kann sowohl in die Waschmaschine eingebaut als auch als externes Gerät betrieben werden. Ein weiterer Vorteil: Für den Betrieb wird kaum zusätzliche Energie benötigt.

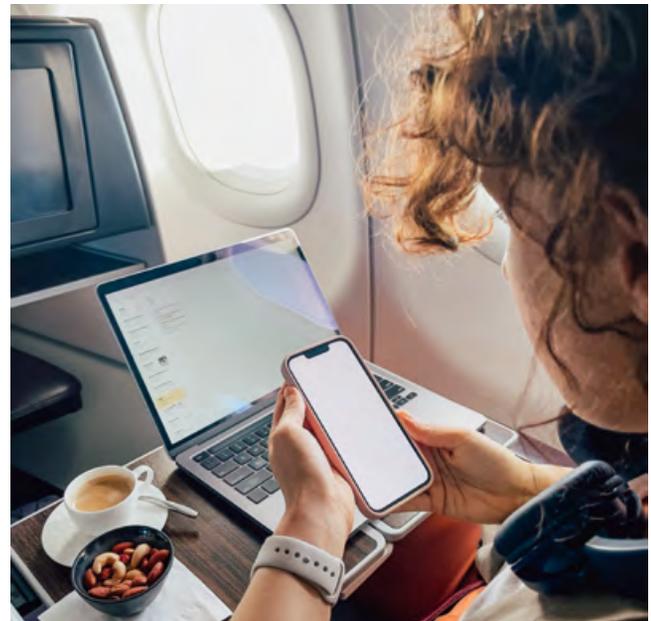
Zwischen 20 und 35 Prozent des weltweit verbreiteten Mikroplastiks sind synthetische Mikrofasern aus Textilien. Damit sind sie eine der größten Mikroplastik-Quellen. Nach intensiven Tests geht das Projekt fibrEX nun in die finale Phase. Aktuell werden potenzielle Partner für die letzten Schritte bis zur Markteinführung gesucht. ■

## Sicher fliegen

Wie sicher sind Lithium-Ionen-Akkus in Laptops, Smartphones oder Powerbanks auf Reisen im Flugzeug? Dieser Frage gehen die Forschenden der Fraunhofer-Institute für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI, und für Bauphysik IBP gemeinsam mit Airbus nach.

Durch Einklemmen in den Sitz oder durch eine Überhitzung beim Laden können sich die Lithium-Ionen-Batterien in den tragbaren elektronischen Geräten (Portable Electronic Device, PED) erwärmen und aufblähen. Im Extremfall treten dabei heiße, toxische und brennbare Gase aus. Nach Angaben der Federal Aviation Administration FAA ist es in den letzten Jahren vermehrt zu solchen Zwischenfällen in Passagierflugzeugen gekommen.

Das Forschungsteam charakterisiert im Projekt LOKI-PED die größten Gefahren, die von PED ausgehen. Die Konsequenzen von Rauch und Feuer im Cockpit und in der Kabine werden an leistungsstarken Prüfständen wie der Flight Test Facility des Fraunhofer IBP sowie dem Batterietestzentrum TEVLIB des Fraunhofer EMI untersucht. Letztere bietet einzigartige Voraussetzungen für die Durchführung von zerstörenden Tests auch an großen Batteriesystemen. Die Experimente dienen als Basis für numerische Simulationen und die anschließende Risikobeurteilung. Ziel ist es, wissenschaftlich basierte Vorschläge – etwa zu Belüftungskonzepten und zur Zertifizierung geeigneter Sicherheitsausrüstung – für eine höhere Sicherheit auf Flugreisen zu erstellen. ■



Die US-Luftfahrtbehörde schätzt die Anzahl der Zwischenfälle mit überhitzten Batterien auf 35 bis 50 pro Jahr – Tendenz steigend.

## Drohne erkennt Verschüttete

LUCY detektiert Hilferufe oder Klopfen, sodass Rettungstrupps gezielt bergen können.

6. Februar 2023: Im Südosten der Türkei und im Norden Syriens bebt die Erde. Bis April werden fast 60 000 Tote geborgen, mehr als 125 000 Menschen sind verletzt. Schnellere Bergung, gezieltere Hilfe, höhere Überlebenschancen: Mit einem speziellen Mikrofon-System ausgestattete Drohnen sollen künftig akustische Signale Verschütteter aus der Luft gezielt orten und Bergungskräfte

schneller zu den Verletzten führen. Die neuartige Technologie namens LUCY wurde von Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE entwickelt. Sie erhöht deutlich die Chancen auf eine schnelle Rettung für Hilfesuchende, die nicht per Kamera entdeckt werden können, weil sie unter Trümmern liegen oder durch Rauch, Nebel oder Dunkelheit nicht zu erkennen sind.

Um die Einfallsrichtung von Geräuschen wie Hilferufe, Klatschen oder Klopfesignale bestimmen zu können, montierten die Forscherinnen und Forscher ein Array von MEMS-Mikrofonen, ein sogenanntes Krähenneest-Array, an die Drohne. Die robusten, winzigen MEMS-Mikrofone sind kostengünstig und werden beispielsweise in Smartphones verwendet. Die Besonderheit des Systems: Die Mikrofone werden in einer speziellen geometrischen Anordnung an der Unterseite der Drohne angebracht und können Schall aus allen Richtungen wahrnehmen. LUCY kann zudem Frequenzen erkennen, die für Menschen unhörbar sind. Störende Umgebungsgeräusche etwa von Bergungsgeräten, Wind oder Vögeln, aber auch vom Rotoren-Surren der Drohne selbst blendet das System aus. ■



## Jugendliche vor Influencer-Marketing besser schützen

Mehr als die Hälfte der Jugendlichen gibt in einem halben Jahr bis zu 50 Euro für Produkte aus, die zuvor von Influencerinnen und Influencern auf Social Media beworben worden waren. Das ist eines der Ergebnisse einer quantitativen Erhebung mit 1000 Jugendlichen im Forschungsprojekt FAIR am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Ziel der Untersuchung war, den tatsächlichen Einfluss von Influencerinnen und Influencern auf das Konsumverhalten von Jugendlichen zu verstehen und Risiko- sowie Schutzfaktoren abzuleiten.

Influencer-Marketing birgt vor allem in sogenannten Storys ein höheres Risiko für Impulskäufe, zwanghaftes Kaufverhalten oder soziale Konflikte. Um die Resilienz von Kindern und Jugendlichen zu fördern, haben die Forschenden ein Handbuch entwickelt. Es richtet sich an Lehrkräfte oder Mitarbeitende der Schulsozialarbeit mit der Zielgruppe der 14- bis 18-Jährigen und enthält zahlreiche Ratschläge, um die Reflexionsfähigkeit und die Medienkompetenz von Jugendlichen zu fördern. ■



Vorbild Influencerin: Sie zeigt, wie man sich stylt, um sozial anerkannt zu sein.

**Impressum**

Fraunhofer. Das Magazin,  
Zeitschrift für Forschung,  
Technik und Innovation.  
ISSN 1868-3428 (Printausgabe)  
ISSN 1868-3436 (Internetausgabe)

**Herausgeber:**

Fraunhofer-Gesellschaft  
Hansastraße 27c, 80686 München  
Redaktionsanschrift wie Herausgeber  
Telefon +49 89 1205-1301  
magazin@zv.fraunhofer.de  
www.fraunhofer.de/magazin

**Kostenloses Abonnement:**

Telefon +49 89 1205-1301  
publikationen@fraunhofer.de

**Redaktion:**

Josef Oskar Seitz (V.i.S.d.P.),  
Josef Oskar Seitz (Chefredaktion),  
Dr. Sonja Endres, Beate Strobel

**Redaktionelle Mitarbeit:**

Dr. Janine van Ackeren, Mandy Bartel,  
Sirka Henning, Andrea Kaufmann,  
Manuel Montefalcone, Dr. Monika  
Offenberger, Franziska Sell, Stefanie  
Smuda, Mehmet Toprak, Yvonne  
Weiß

**Layout + Litho:**

Vierthaler & Braun

**Titelbild und Fotografie**

**der Titelstrecke:** Maya Claussen

**Fotografie Referenzfabrik H2:**

Sven Döring

**Druck:**

Kolibri Druck, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.  
München 2024

**Fraunhofer in Social Media:**

@Fraunhofer



www.facebook.com/  
fraunhoferde



www.instagram.com/  
fraunhofergesellschaft



www.linkedin.com/company/  
fraunhofer-gesellschaft



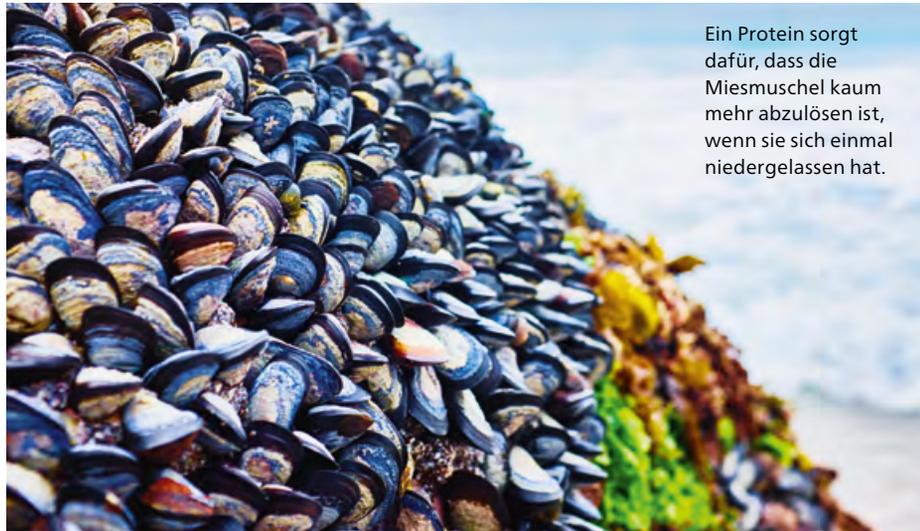
www.youtube.com/  
fraunhofer



Druckprodukt mit finanziellem  
**Klimabeitrag**  
ClimatePartner.com/H586-2311-1007



MIX  
Papier aus verantwor-  
tungsvollen Quellen  
FSC® C022647



Ein Protein sorgt dafür, dass die Miesmuschel kaum mehr abzulösen ist, wenn sie sich einmal niedergelassen hat.

## Haften wie die Muschel

Ein innovativer biomimetischer Klebstoff hält Hüftimplantate aus Titan in Zukunft länger am Knochen. Abgeschaut haben sich die Forschenden die neuartige Formulierung von einem wahren Klebekünstler: der Miesmuschel.

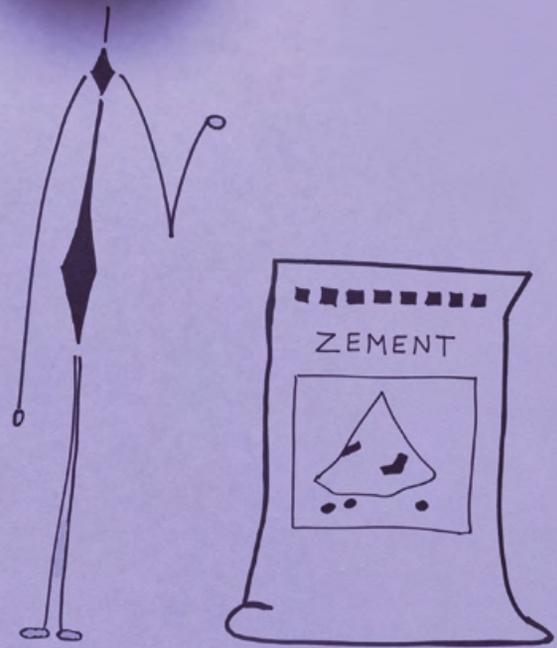
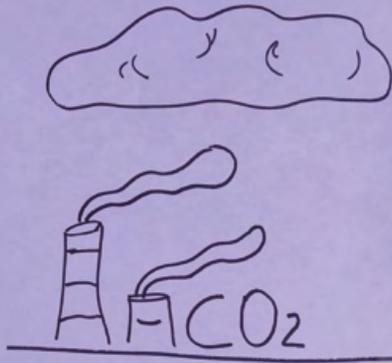
**H**üftimplantate aus Titan verlieren im Körper nach einiger Zeit den Halt, weil sich der Knochen zurückbildet. Forschende am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP haben gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB und dem Fraunhofer USA Center for Manufacturing Innovation CMI einen Gewebekleber entwickelt, mit dem sich der frühzeitige Austausch von Prothesen künftig vermeiden lässt. Das antimikrobielle Material lässt sich per 3D-Druck auf die Implantate bringen, stellt eine Verbindung zum Knochen her und haftet selbstständig an.

Vorbild für die innovative Formulierung war die Substanz, mit der sich Miesmuscheln an Felsen oder Schiffsrümpfe kleben. Der Bewuchs lässt sich nur mit großem Aufwand entfernen. Verantwortlich für diese starke Bindung ist ein Protein, das die Aminosäure Dihydroxyphenylalanin enthält, kurz DOPA. »Diese ef-

fektive Haftung haben wir auf unseren Klebstoff übertragen, indem wir Polymere synthetisiert haben, die den Baustein Dopamin enthalten, ein chemisches Analogon von DOPA«, erklärt Dr. Wolfdietrich Meyer, Wissenschaftler am Fraunhofer IAP. »Der dopaminbasierte Klebstoff lässt sich mit verschiedenen Additiven, wie Apatit-Partikeln – eine Substanz, aus der Zähne bestehen –, Proteinen und Signalmolekülen versetzen. Diese fördern das Wachstum von Knochenzellen und können als Beschichtungsmaterial etwa für Titanimplantate verwendet werden.« Die spezielle Beschichtung lässt das Implantat für den Körper natürlicher erscheinen und kann die Heilung und Integration des Implantats im Körper fördern.

Die dopaminbasierten Polymere eignen sich nicht nur für Gewebeklebstoffe, sondern auch für die Entwicklung funktionalisierter Oberflächen, antibakterieller Materialien und intelligenter Beschichtungen mit speziellen Funktionen. ■

# Titel



Was lässt sich aus CO<sub>2</sub> alles herstellen? Prof. Ulf-Peter Apfel vom Fraunhofer UMSICHT nutzt Kohlendioxid aus der Zementindustrie beispielsweise zur Produktion von Synthesegasen.

# Kohlendioxid: Vom Problem- zum Rohstoff

Resozialisierungsprogramm für den Klimakiller Nummer 1: Immer mehr technologische Innovationen wollen CO<sub>2</sub> als nachhaltige Kohlenstoffquelle nutzbar machen.

Von Beate Strobel, Fotografie: Maya Claussen

**E**in Teil Kohlenstoff, zwei Teile Sauerstoff: Kohlendioxid ist eine ziemlich simple chemische Verbindung. Mit aktuell 0,04 Prozent macht sie auch nur einen winzigen Teil unserer Luft aus. Doch das reicht aus, um der Welt große Probleme zu bereiten. Denn Kohlendioxid in der Atmosphäre kann die von der Erde abgegebene Wärme aufnehmen und zurückwerfen auf den Planeten. Das Gas gilt innerhalb der Treibhausgas-Mafia als Klimakiller Nummer 1. Und das nicht, weil es ein besonders hohes Treibhauspotenzial hat – hier liegen Lachgas, die Fluorkohlenwasserstoffe und Methan im Ranking deutlich vor CO<sub>2</sub> –, sondern weil es mengenmäßig den größten Anteil aufweist und verhältnismäßig lange in der Atmosphäre verbleibt.

Die Reduktion des Kohlendioxid-Ausstoßes gilt aktuell als Königsweg im Kampf gegen den Klimawandel. Doch das allein reicht nicht aus: Auf 60 Millionen Tonnen pro Jahr wird die Menge der unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland geschätzt. Dennoch will die Bundesregierung bis 2050 ein Negativ-Emissionsland sein. Wie soll das gehen?

Der Zaubertrick dabei ist die Idee, mehr Kohlendioxid zu binden als freizusetzen. Und das soll über drei Mechanismen funktionieren: »Carbon Capture and Storage« (CCS), also das Auffangen und Speichern von Kohlendioxid, und »Carbon Capture and Usage« (CCU), was der Nutzung des Gases nach dem Abscheiden entspricht. Eine dritte Version ist CDR – »Carbon Dioxide Removal« – mit dem Ziel, CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entfernen und dauerhaft in geologischen Formationen oder ozeanischen Speichern, in Biomasse

oder in langlebigen Produkten zu speichern, um so echte Negativemissionen zu erreichen. Bei der Entwicklung der entsprechenden Technologien drängt die Zeit: Allein um die Klimaziele Deutschlands bis 2030 zu erreichen, sind CO<sub>2</sub>-Abscheidungen im Megatonnenbereich nötig.

## Kohlendioxid direkt aus der Luft holen

Das Prinzip »Direct Air Carbon Capture and Storage« (DACCS) soll Kohlendioxid aus der Atmosphäre filtern. Dafür wird die Luft über einen Ventilator an einem Sorptionsmittel vorbeigeleitet, in dem sich CO<sub>2</sub> anlagert. »Aufgrund der geringen natürlichen CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft ist die Entnahme des Treibhausgases mit einem sehr hohen Energieverbrauch verbunden«, konstatiert Dr. Barbara Breitschopf, Projektleiterin am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, die mit ihrem Team die Potenziale von DACCS in einem Policy Brief ausgelotet hat. Sinn ergibt DACCS also nur dort, wo erneuerbare Energien ausreichend vorhanden sind. »Aus Gründen der Energieeffizienz sollte aber prioritär die Entnahme von CO<sub>2</sub> aus verfügbaren Punktquellen erfolgen«, urteilt die Fraunhofer-Expertin: Lieber das Gas direkt am Ort des Entstehens auffangen, als es erst in die Atmosphäre zu entlassen, um es anschließend energetisch aufwendig und teuer wieder herauszufiltern.

Eine dieser Punktquellen für CO<sub>2</sub> kann die Herstellung von Wasserstoff aus oder durch Biomasse sein. Denn H<sub>2</sub> wird nicht nur über Elektrolyse gebildet, sondern auch durch Umwandlung von biogenen ►

CO<sub>2</sub>

2023 betrug der deutsche Treibhausgas-Ausstoß von Deutschland **673 Mio. Tonnen** CO<sub>2</sub>-Äquivalente – der niedrigste Stand seit 70 Jahren. 2045 will Deutschland die Klimaneutralität erreicht haben.

Rest- und Abfallstoffen etwa aus der Lebensmittelherstellung oder der Agrarwirtschaft: Im Projekt H2Wood – Blackforest beispielsweise arbeiten Forschende des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB daran, Holzabfälle im Schwarzwald für die Wasserstoffherzeugung zu nutzen. Wird das bei solchen Prozessen als Nebenprodukt entstehende biogene Kohlendioxid aufgefangen und dauerhaft genutzt oder gespeichert, spricht man von einer CO<sub>2</sub>-negativen Wasserstoffproduktion – ein Zweifachgewinn aus ökologischer Sicht.

»Der Überbegriff für alle Arten der Biowasserstoff-Herstellung mit anschließender Speicherung von biogenem CO<sub>2</sub> lautet Hy-BECCS«, erklärt Umweltwissenschaftlerin Sonja Ziehn. Für ihre Masterarbeit hatte sie am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart im Projekt RhoTech daran geforscht, wie sich mithilfe von Purpurbakterien namens Rhodospirillum rubrum über die sogenannte »Dunkel-Photosynthese« aus Frucht- und Molkereiabfällen Wasserstoff produzieren lässt. Die Mikroorganismen nutzen hier den Zucker in den Reststoffen anstelle von Licht als Energiequelle. Großer Vorteil der Wasserstoff-Produktion im Dunkeln ist, dass der Prozess in

herkömmlichen Bioreaktoren aus Edelstahl beliebig hochskaliert werden kann. In einem Folgeprojekt – RhoTech II – wird nun ein Bioreaktor in die Produktionsabläufe einer Fruchtsaftfirma integriert, um mit den anfallenden Reststoffen die bakterielle Wasserstoffproduktion in Gang zu setzen. »Der Fraunhofer-Fokus liegt dabei auf der wirtschaftlichen und ökologischen Prozessoptimierung«, betont Sonja Ziehn: »Unter welchen Bedingungen entsteht am meisten Wasserstoff, aber auch besonders viel CO<sub>2</sub>?«

Die Produktion von Kohlendioxid maximieren: Das klingt angesichts des Klimawandels paradox. Doch dieses biogene CO<sub>2</sub> lässt sich nicht nur gut abscheiden, sondern auch einsetzen als Rohstoff für Chemikalien und Produkte, die bislang auf fossilem Kohlendioxid basierten und deshalb einen großen ökologischen Fußabdruck hinterlassen. »Nach dem Auslaufen der Förderung für Biogasanlagen nach dem Erneuerbare-

Energien-Gesetz EEG suchen Betreiber nach neuen Geschäftsmodellen«, erklärt Forscherin Ziehn. »Der Umstieg auf Wasserstoffproduktion über eine Hy-BECCS-Anlage ist eine Option, zumal Wasserstoff sich als Alternative zum Agrardiesel für Traktoren und andere landwirtschaftliche Maschinen geradezu anbietet.« Die Vermarktung von »grünem« Kohlendioxid könnte sich durch die Hy-BECCS-Technologien zu einem interessanten Nebenerwerb der Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion entwickeln.

Eine andere Perspektive für Agrarbetriebe mit Biogasanlagen offerieren die Forschenden am Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM. Denn das produzierte Biogas dient bislang vorwiegend zur Strom- und Wärmeerzeugung oder wird nach einem Aufbereitungsprozess als Methan ins Erdgasnetz eingespeist. Das dabei frei werdende Kohlendioxid landet bislang ungenutzt in der Atmosphäre. Auch wenn es sich dabei um biogenes und nicht fossiles CO<sub>2</sub> handelt, hält Dr. Gunther Kolb das für Verschwendung: »Sinnvoller wäre es, auch den CO<sub>2</sub>-Anteil des Biogases – der immerhin 40 Prozent ausmacht – in Methan umzuwandeln und so das Biogas komplett ins Erdgasnetz einzuspeisen«, konstatiert der Leiter des Geschäftsbereichs Energie beim Fraunhofer IMM.

»Unter welchen Bedingungen entsteht am meisten Wasserstoff, aber auch besonders viel CO<sub>2</sub>?«

Sonja Ziehn, Fraunhofer IPA



Im Projekt ICOCAD I entwickelte das Forscherteam Reaktoren und Katalysatoren, die in der Lage sind, das im Biogas enthaltene Kohlendioxid mithilfe von grünem Wasserstoff zu methanisieren – und das in Gegenwart des bereits vorhandenen Methans. Herausforderung hierbei war unter anderem, erklärt Chemieingenieur Kolb, eine Pilotanlage aufzubauen, die auch über ein gutes Wärmemanagement verfügt: »Im Reaktor entsteht Wärme, die man aber auskoppeln und beispielsweise in einem lokalen Fernwärmenetz nutzen kann. So entwickelt sich ein Gesamtprozess, der wirtschaftlich attraktiv ist für Landwirte, die ja immer mehr zu Energiewirten werden.«

Im Folgeprojekt ICOCAD II wird nun eine Demonstrationsanlage neben einer Biogaseinspeisungsanlage installiert, um den Prozess zu skalieren und den praktischen Betrieb zu optimieren. Die ökologischen Chancen, die in dieser Technologie stecken, sind ►



Die Luft anhalten? Bioabfall riecht vielleicht nicht so gut, ist für Umweltwissenschaftlerin Sonja Ziehn vom Fraunhofer IPA aber ein wertvoller Ausgangsstoff für die Wasserstoff- und CO<sub>2</sub>-Produktion.



$\text{CO}_2$  als Basis für Plattform-chemikalien: Dr. Ulrike Junghans, Fraunhofer CBP, sieht darin Chancen für die chemische Industrie und den Transportsektor.

laut Kolb groß: »Wird das gesamte Biogas aus den deutschlandweit rund 9000 Anlagen komplett ins Erdgasnetz eingespeist, könnte man damit rund 13 Prozent des deutschen Erdgasbedarfs abdecken – und das aus rein biogenen Quellen und in besserer Qualität als Erdgas aus fossilen Quellen.«

Das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT nimmt bei der Speicherung von Kohlendioxid den Umweg über die Pflanzen. Denn die holen CO<sub>2</sub> aus der Luft und spalten es mittels Photosynthese auf. Während sie den entstehenden Sauerstoff an die Umgebung abgeben, verbleibt der Kohlenstoff in der Pflanze selbst sowie in ihren Wurzeln. Verbrennt man allerdings Biomasse, wird das CO<sub>2</sub> wieder freigesetzt. Im Projekt KARBO-SELF am Fraunhofer UMSICHT sollen mithilfe einer am Institut entwickelten Karbonisierungstechnologie biogene Reststoffe unter Sauerstoffausschluss verbrannt werden, sodass der in den Pflanzen steckende Kohlenstoff in Form von Pflanzenkohle stabil gebunden bleibt und so als Kohlenstoffsänke fungiert.

Fraunhofer selbst plant, diese Technologie an eigenen Standorten vorzubereiten und parallel eine Methodik zur Zertifizierung der Pflanzenkohleprodukte als Kohlenstoffsänke zu entwickeln. Außerdem soll untersucht werden, welche Rolle die Pflanzenkohle als Zusatz in Baumaterialien oder in der Landwirtschaft spielen könnte.

### Plattform-Chemikalien als CO<sub>2</sub>-Speicher

Kohlendioxid lässt sich aber auch chemisch speichern, schließlich ist Kohlenstoff ein unverzichtbarer Bestandteil vieler Alltagsprodukte. Im Projekt e-CO<sub>2</sub>Met, koordiniert vom Energieunternehmen TotalEnergies, arbeiten Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Zentrums für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP daran, grünen Wasserstoff und Kohlendioxid zu Methanol umzuwandeln. Geplant ist hierfür die Nutzung einer eigens an diesen Prozess angepassten Pilotanlage am Fraunhofer CBP. Das bedeutet zwar keine langfristige Lagerung von CO<sub>2</sub>, aber: »Methanol ist eine sehr gute Plattform-Chemi-

kalie und dient als Ausgangsstoff für eine Vielzahl von Produkten der chemischen Industrie sowie für den Transportsektor«, betont Dr. Ulrike Junghans. Die Chemikerin leitet am Fraunhofer CBP die Abteilung Regenerative Ressourcen.

Grün hergestelltes Methanol ist preislich noch nicht konkurrenzfähig, doch Junghans baut darauf, dass sich das bald ändert – etwa durch effizientere Prozesse oder auch neuartige Katalysatoren, die besser mit

CO<sub>2</sub> aus industriellen Punktquellen zurechtkommen. »Auf lange Sicht wird die Industrie nicht herkommen um den Einsatz nichtfossiler Kohlenstoffquellen«, zeigt sie sich überzeugt. »Carbon Capture, also das Auffangen von Kohlendioxid aus der Luft oder an Punktquellen, wird deshalb künftig eine immer größere Rolle spielen.« Momentan ist CO<sub>2</sub> reichlich vorhanden, doch das könnte sich mit wachsender Dekarbonisierung der Industrien ändern. Wird CO<sub>2</sub> also eines Tages eine heiß begehrte Ware sein? Junghans: »Das kann ich mir durchaus vorstellen.« Umso wichtiger sei es, diese Rohstoffquelle in eine zirkuläre Wirtschaft zu implementieren.

»Auf lange Sicht wird die Industrie nicht herkommen um den Einsatz nichtfossiler Kohlenstoffquellen«

Dr. Ulrike Junghans, Fraunhofer CBP



### Kohlendioxid auf die Sprünge helfen

Die Herausforderung bei Kohlendioxid ist, dass das Gas »ein ausgesprochen träges Molekül ist«, wie Dr. Thomas Schiestel, Abteilungsleiter Membranen am Fraunhofer IGB in Stuttgart, es ausdrückt: Die zwei Sauerstoffatome und das eine Kohlenstoffatom wollen sich nur ungern aus ihren Doppelbindungen lösen, um andere Verbindungen einzugehen. »Es bedarf viel Energie, um CO<sub>2</sub> sinnvoll verwenden zu können«, erklärt Schiestel. Und ebendas macht die Nutzung von Kohlendioxid teuer und – sofern nicht erneuerbare Energien eingesetzt werden – wenig nachhaltig. Schiestel fahndet deshalb nach Wegen, wie sich die CO<sub>2</sub>-Weiterverwendung ökonomisch sinnvoll gestalten lässt: zum einen durch Überführung in Chemikalien oder Produkte, zum anderen aber auch als Energiesänke für die volatil erneuerbaren Energien.

Im Projekt PiCK (»Plasmainduzierte CO<sub>2</sub>-Konversion zur Speicherung regenerativer Energien«) ►

CO<sub>2</sub>

Die Wälder weltweit speichern jährlich **7,6 Milliarden Tonnen** CO<sub>2</sub> in ihrer Biomasse.

# CO<sub>2</sub>

Von allen chemischen Elementen weist Kohlenstoff mit **20 Millionen** möglichen chemischen Verbindungen die größte Vielfalt auf.

kommt Überschussstrom aus regenerativen Energiequellen zum Einsatz. Hierfür wird das stabile Kohlendioxid energetisch in einem Plasma gespalten, also einem ionisierten Gas mit hochreaktiven Teilchen. Damit nicht sofort wieder eine Rückreaktion stattfindet und sich die Spaltprodukte Kohlenmonoxid und Sauerstoff erneut zu CO<sub>2</sub> verbinden, werden dem System die Sauerstoffteilchen über eine neuartige Keramikmembran entzogen. »Da die Membran den hohen Temperaturen im Plasma von bis zu 1000 Grad Celsius und zugleich der CO<sub>2</sub>-Konzentration standhalten muss, haben wir sogenannte Perowskite, also spezielle keramische Materialien, mit Polymeren zu einer dünnwandigen Kapillare versponnen«, erklärt Schiestel die Membran-Besonderheiten. Im Nachfolgeprojekt NexPlas soll auch Wasserstoff ins System eingebracht werden, um Folge-Reaktionen im Plasma durchführen zu können – eine weitere Herausforderung für die Perowskite-Membran.

Der Vorteil der Plasma-Membran-Kombination ist ihre Anpassungsfähigkeit. Sie lässt sich überall dort einsetzen, wo CO<sub>2</sub> entsteht: bei Verbrennungsprozessen etwa in Kraftwerken und der thermischen Müllverwertung, in der Zement- und Glasindustrie sowie in Brauereien, in denen Kohlendioxid als Nebenprodukt der alkoholischen Gärung gebildet wird. Thomas Schiestel: »Auf industrieller Seite besteht bereits Interesse an unserer Plasma-Membran-Kombination.«

## Bauen auf nachhaltige Material-Innovationen

Einen anderen Weg der nachhaltigen Speicherung von Kohlendioxid geht Dr. Michael Prokein: Der Gruppenleiter Funktionale Materialien am Fraunhofer UMSICHT hat im Projekt NuKoS (Nutzung von Kohlendioxid in Schlacken) mit seinem Team ein Verfahren entwickelt, bei dem Kohlendioxid eingesetzt wird, um aus Reststoffen der Stahlindustrie umweltfreundliche Mauerwerksteine zu gewinnen. Diese könnten dann Baustoffe mit hohem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck vollständig ersetzen.

»Wir fokussieren dabei auf den Teil der Stahlwerk-schlacken, der zu feinkörnig ist, um anderweitig weiterverwendet zu werden, und deshalb bislang teuer deponiert werden muss«, berichtet Prokein. Das Kohlendioxid wiederum stammt beispielsweise aus Prozessgasen der Stahl- und Eisenindustrie oder der Zementherstellung. NuKoS geht also gleich zwei ökologische Herausforderungen an: Zum einen zählt die Stahl- und Zementindustrie zu den größten CO<sub>2</sub>-Emittenten, zum anderen entstehen in Deutschland

bei der Stahlherstellung jährlich rund 14 Millionen Tonnen Eisenhüttenschlacken. »Die Feinfraktion der Stahlwerk-schlacke wird aufgemahlen und mit Sand und Wasser gemischt«, beschreibt Prokein den Prozess. »Der Mix wird dann zu beliebigen Formkörpern gepresst und anschließend zur Härtung einer CO<sub>2</sub>-Atmosphäre mit 15 bar und 50 Grad ausgesetzt.« Dabei verbindet sich das Kohlendioxid dauerhaft chemisch mit dem Stein: eine CO<sub>2</sub>-Senke in Ziegelform. »Die moderaten Produktionsbedingungen bergen ein hohes Energiesparpotenzial im Vergleich zu anderen Härteverfahren«, betont Michael Prokein. Weiterer Vorteil: Für diesen Prozess können die Autoklaven, die bislang für die Herstellung von Kalksandstein im Einsatz sind, einfach umgerüstet werden.

Die Testergebnisse für die schlackebasierten Baustoffe sind ermutigend: »Wir erreichen Druckfestigkeiten, die

denen von Beton entsprechen«, konstatiert Prokein. Und: Bei der Herstellung von einem Kubikmeter CO<sub>2</sub>-gehärtetem Stein entsteht eine CO<sub>2</sub>-Senke von 80 Kilogramm – während bei der Produktion von konventionellen Kalksandsteinen 250 Kilogramm Kohlendioxid pro Kubikmeter freigesetzt werden. Oder wie Prokein es ausdrückt: »Aus technologischer, ökonomischer und ökologischer Sicht ist der schlackebasierte Stein der absolute Wahnsinn!«

Das Interesse der Bauwirtschaft ist entsprechend groß, es hakt aber noch an der Bürokratie: »Ungeklärt ist momentan, ob Stahlwerk-schlacken für diesen Anwendungsfall als Baumaterial eingesetzt werden dürfen«, erklärt der Fraunhofer-Forscher. Sobald derlei Fragen beantwortet sind, könnte die Industrie ►

»Wir züchten eine Mikroalge, die CO<sub>2</sub> mithilfe von Licht verstoffwechselt und in der Lage ist, Fettsäuren herzustellen«

Dr. Grzegorz Kubik, Fraunhofer IGB





Mikroalgen mit CO<sub>2</sub> füttern:  
Dr. Grzegorz Kubik will so auf  
biotechnologischem Weg am  
Fraunhofer IGB Textilien für  
Turnschuhe herstellen.

CO<sub>2</sub>

Ohne Treibhausgase in der Atmosphäre betrüge die Temperatur auf der Erdoberfläche im Durchschnitt **-18 Grad Celsius.**

loslegen: Aus technologischer Sicht ist der Produktionsprozess des CO<sub>2</sub>-negativen Baumaterials fertig für den Transfer.

### Die Mikroalge macht den Sportschuh

Auch die Textilindustrie will sich transformieren von erdöl- hin zu biobasiert – und das möglicherweise mithilfe winziger Organismen: Im Teilprojekt AlgaeTex innerhalb des vom Bundesforschungsministerium geförderten Innovationsraums BioTexFuture arbeiten Forscherteams der Fraunhofer-Institute IGB und CBP sowie der Uni Bayreuth und dem Institut für Textiltechnik ITA an der RWTH Aachen gemeinsam mit dem Sportartikel-Hersteller Adidas an Lösungen, um Kohlendioxid in Funktionstextilien zu speichern. Wie das gehen soll? »Wir züchten eine spezielle Mikroalge, die CO<sub>2</sub> mithilfe von Licht verstoffwechselt und unter bestimmten Rahmenbedingungen in der Lage ist, Fettsäuren herzustellen«, erklärt Dr. Grzegorz Kubik. Diese Fettsäuren, so der Abteilungsleiter Industrielle Biotechnologie am Fraunhofer IGB, lassen sich chemisch umwandeln in Polymere, die dann von der Firma Adidas zu einer Art Nylon-Gewebe verstrickt und etwa als Obermaterial für Sportschuhe verwendet werden sollen: Schuhe, mit denen das Unternehmen seinen ökologischen Fußabdruck verkleinert.

Algen in Kellern kultivieren: Das Team am Fraunhofer IGB hat im Projekt AlgaeTex einen stapelbaren, indoor betreibbaren Photobioreaktor entwickelt. Der Vorteil: Wie bei allen Reaktoren wird keine fruchtbare Agrarfläche besetzt, außerdem entfällt die Abhängigkeit von Standorten mit guter Sonnenverfügbarkeit. Der Nachteil: Die Mikroalgen müssen mit künstlichem Licht statt Sonnenstrahlen versorgt werden – bis zu 100 Kilowattstunden pro Kilogramm Algenmasse. »Der Energieeinsatz ist deshalb eines der Kernthemen dieser Technologie«, erläutert Kubik. Je stärker sich aber der Anteil erneuerbarer Energien im Energiemix erhöht, desto umweltfreundlicher und auch günstiger wird es, Mikroalgen in Deutschland zu kultivieren. Kubik: »Die Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie ist derzeit das Nadelöhr für die Speicherung von CO<sub>2</sub> durch Mikroalgen.« Auch deshalb arbeitet das Forschungsteam aktuell an einer Optimierung der benötigten Lichtmenge und damit des Stromverbrauchs. Ein anderes Augenmerk liegt »auf der Weiterverwertung der Alge etwa als Düngemittel in der Landwirtschaft oder als Futtermittel in der Viehzucht. Wir wollen nicht nur die Effizienz der Algenproduktion erhöhen, sondern auch deren Weiterverwertung«.

erbareren Energien im Energiemix erhöht, desto umweltfreundlicher und auch günstiger wird es, Mikroalgen in Deutschland zu kultivieren. Kubik: »Die Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie ist derzeit das Nadelöhr für die Speicherung von CO<sub>2</sub> durch Mikroalgen.« Auch deshalb arbeitet das Forschungsteam aktuell an einer Optimierung der benötigten Lichtmenge und damit des Stromverbrauchs. Ein anderes Augenmerk liegt »auf der Weiterverwertung der Alge

etwa als Düngemittel in der Landwirtschaft oder als Futtermittel in der Viehzucht. Wir wollen nicht nur die Effizienz der Algenproduktion erhöhen, sondern auch deren Weiterverwertung«.

Die Optimierung des mikrobiologischen Ansatzes in der CO<sub>2</sub>-Nutzung könnte sich weit über die Textilindustrie hinaus lohnen. Denn Algen sind in der Lage, mit Lichtenergie und Kohlendioxid noch ganz andere Substanzen zu bilden und zu speichern, etwa Stärke: »Wir müssten Zucker dann nicht mehr aus pflanzlicher Biomasse herstellen, sondern könnten ihn aus Mikroalgen generieren und dadurch Agrarfläche einsparen«, erklärt Kubik. »Oder Algen nutzen, um CO<sub>2</sub> in Form von Kalk zu sedimentieren und dann zu lagern oder in der Bauindustrie zu nutzen.« Im Projekt SmartBioH2 am Fraunhofer IGB produzieren Purpurbakterien in einem geschlossenen Bioreaktor aus Reststoffströmen Wasserstoff und Produkte wie Carotinoide. Das dabei entstehende Kohlendioxid wird von Mikro-

»CO<sub>2</sub> ist ein bedeutender Rohstoff, den man besser in eine zirkuläre Wirtschaft überführen sollte, anstatt immer wieder neue kohlenstoffhaltige Ressourcen aus dem Boden zu holen.«

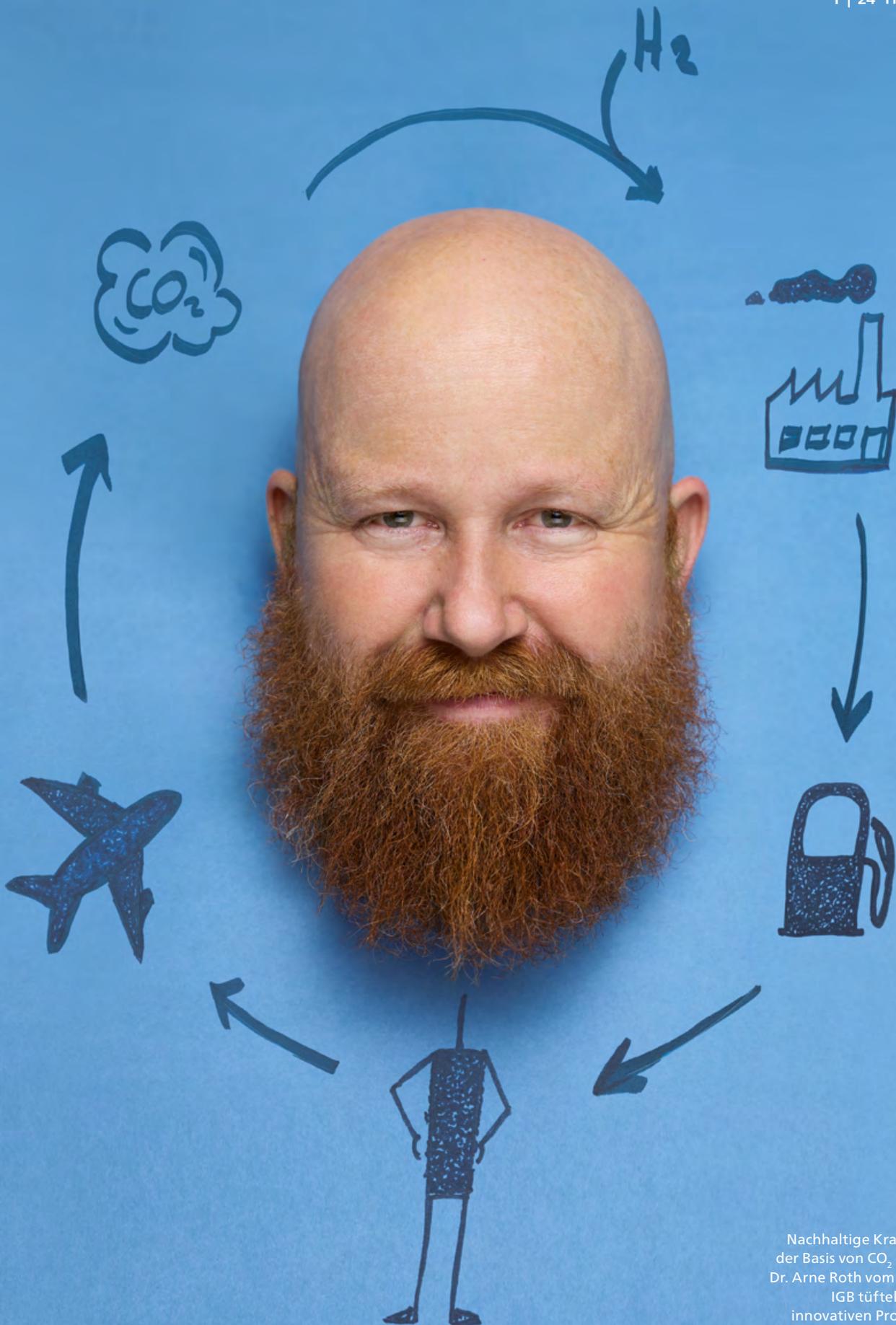
Dr. Arne Roth, Fraunhofer IGB



algen in Biomasse gebunden – unter Freisetzung von weiterem Wasserstoff oder aber Produkten wie Proteinen.

### Kohlenstoff klug im Kreislauf führen

Von Mikroorganismen zum Mega-Maßstab: Das Verbundprojekt Carbon2Chem® nimmt mit der Stahl-, Zement- und Kalkproduktion ebenfalls die größten industriellen CO<sub>2</sub>-Emittenten in den Fokus. »Wir suchen nach Wegen und Technologien, um ▶



Nachhaltige Kraftstoffe auf der Basis von  $\text{CO}_2$  entwickeln: Dr. Arne Roth vom Fraunhofer IGB tüftelt hierfür an innovativen Prozessketten.



**89,4%** des deutschen Treibhausgas-Ausstoßes von Deutschland basieren auf Kohlendioxid.

(Stand: 2022)

den Kohlenstoff bestmöglich im Kreislauf zu führen, sodass er nach Entstehung nicht freigesetzt, sondern vor Ort nachhaltig weiterverwertet wird«, fasst Prof. Dr.-Ing. Gorge Deerberg zusammen. Der Direktor für Transfer am Fraunhofer UMSICHT ist einer der Projektkoordinatoren des 2016 gestarteten Mammut-Projekts: Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, bringen sich hier Grundlagenforschung, angewandte Forschung und unterschiedliche Industriezweige gleichermaßen ein. »Dieses cross-industrielle Netzwerk ist essenziell für das Gelingen des Projekts Carbon2Chem<sup>®</sup>«, befindet Deerberg. Ihm geht es hier nicht allein um die Entwicklung einzelner Technologien, sondern um deren Integration zu einem branchenübergreifenden Gesamtwerk. In dem wird es ganz neue Konstellationen von Kooperationen geben: »Die Chancen und Risiken der CO<sub>2</sub>-Nutzung müssen fair verteilt werden. Das ist eine Voraussetzung für langfristigen Erfolg.«

Im Zentrum von Carbon2Chem<sup>®</sup> steht die Substitution: Der Kohlenstoff, der für die Produktion von vielen industriell relevanten Basischemikalien, Kunststoffen und synthetischen Kraftstoffen benötigt wird, soll künftig nicht mehr aus fossilen Quellen stammen, sondern aus Prozessgasen der Industrie sowie aus der thermischen Abfallverwertung. Phase 1 des Projekts beschäftigte sich unter anderem mit dem Thema Gasreinheit. »Hüttengase aus der Stahlindustrie entstehen am Hochofen, am Konverter und in der Kokerei. Entsprechend unterschiedlich ist auch deren Zusammensetzung«, erklärt Chemieingenieur Deerberg. Es wurden deshalb zunächst Technologien entwickelt, um die Gase zu analysieren und anschließend so weit zu reinigen, dass sie weiterverarbeitet werden können, ohne katalytische Prozesse zu stören. Eine andere Herausforderung war die der schwankenden Konzentrationen der Komponenten in den Prozessgasen: »Die Technologien in Chemieanlagen haben es gerne genau, sie können schlecht mit Bandbreiten umgehen«, erläutert Deerberg. »Es galt, einen Systemansatz zu formulieren, der anpassungsfähig ist für Rahmenbedingungen, die sich nicht nur minütlich ändern, sondern auch als Folge der industriellen Transformation über Jahre hinweg.«

In Phase 2, gestartet 2020, steht die Skalierung der Technologie an. Dafür wurde das 500 Quadratmeter große Labor auf dem Gelände des Fraunhofer UMSICHT erweitert um ein 3700 Quadratmeter großes Technikum direkt neben dem Werksgelände der thyssenkrupp Steel Europe AG in Duisburg. Die Demonstrationsanlagen sind angebunden an das Leitungsnetzwerk des Hüttenwerks. 2018 gelang erstmals die Herstellung von Methanol aus Hüttengasen, »gerade mal ein kleines Glas voll«, erinnert sich Prof. Deerberg. »Aber das war schon ein ganz besonderer Mo-

ment für uns alle.« Eine nächste Anlage soll bereits 12 Tonnen pro Tag produzieren.

Phase 3 schließlich wird sich mit dem Technologietransfer in andere emissionsstarke und energieintensive Betriebe befassen, etwa Zementwerke und Müllverbrennungsanlagen. »Carbon2Chem<sup>®</sup> will die große industrielle Transformation begleiten und vorantreiben«, betont Projektkoordinator Deerberg. Denn auch wenn die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter engagiert voranschreitet, wird es immer Sektoren geben, die unweigerlich Kohlendioxid produzieren. Deshalb plädiert Deerberg dafür, parallel zu der Entwicklung innovativer CCU-Technologien am Image von Kohlenstoff zu arbeiten: »Im Moment fokussieren viele auf die strikte Vermeidung von Kohlenstoff. Dabei ginge es auch anders: Kohlenstoff weiter nutzen – aber eben nicht mehr den aus fossilen Rohstoffen.«

### Lässt sich mit CO<sub>2</sub> bald Geld verdienen?

Im Kompetenzzentrum Biointelligenz wagt sich Dr. Jonathan Fabarius, Themenfeldleiter Mikrobielle Katalyse am Fraunhofer IGB, noch einen Schritt weiter: »Geld verdienen mit CO<sub>2</sub>?« betitelt er eine Blogserie und untersucht im Beitrag zum »Abschied vom fossilen Zeitalter«, wie aus Kohlendioxid wichtige chemische Wertstoffe generiert werden können. Kohlendioxid als sprudelnde Geldquelle? Auch sein Kollege Dr. Arne Roth, Abteilungsleiter Nachhaltige katalytische Prozesse am Fraunhofer IGB, betont die Bedeutung von CO<sub>2</sub> als »wichtigen Rohstoff, den man besser in eine zirkuläre Wirtschaft überführen sollte, anstatt immer wieder neue kohlenstoffhaltige Ressourcen aus dem Boden zu holen«. Für den kommerziellen Erfolg vieler CO<sub>2</sub>-basierter Wertschöpfungsketten müssten aber noch durch zielgerichtete und entschlossene Forschung und Entwicklung die technischen Voraussetzungen geschaffen werden.

Im EU-Projekt EcoFuel soll diese Idee in die elektrochemische Herstellung synthetischer Kraftstoffe aus Kohlendioxid und Wasser einfließen. »Wir haben hier mit verschiedenen europäischen Partnern eine innovative Prozesskette erarbeitet, die mit CO<sub>2</sub> startet, das mittels Direct Air Capture, also aus der Luft gewonnen wird«, berichtet Roth. In einem nächsten Schritt wird das Gas elektrokatalytisch umgesetzt zu Ethen, einem C<sub>2</sub>-Gas, das dann wiederum in Flüssigkraftstoffe umgesetzt wird. Power-to-X-to-Y lautet die Kurzformel für diesen Kaskadenansatz. Am bayerischen Zentrum für nachhaltige Kraftstoffe (ZENK) wollen Forschende der Fraunhofer-Institute IGB und UMSICHT neue Produktionswege für Kraftstoffe auf der Basis von CO<sub>2</sub>, Biomasse und erneuerbarem Strom eruiieren und sie bis in den Technikums-Pilotmaßstab skalieren.

»Wenn wir geeignete Prozesstechnologien entwickeln und diese klug miteinander kombinieren, können wir aus Kohlendioxid eine große Bandbreite an chemischen Produkten herstellen«, ist Fraunhofer-Experte Roth überzeugt. Am Herzen liegt ihm besonders die Kombination aus CO<sub>2</sub>-Konversion und Biotechnologie: Aus Kohlendioxid elektrokatalytisch generierte C1-Chemikalien wie Ameisensäure oder Methanol können als Futter für Mikroorganismen dienen, die daraus hochwertigere Chemikalien produzieren. Solche vielversprechenden hybriden Ansätze wurden bereits im Team von Jonathan Fabarius demonstriert: Im Projekt CELBICON gelang es den Forschenden am Fraunhofer IGB, mithilfe der Synthesekompetenz von Bakterien CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre in einen terpenoiden Farbstoff umzuwandeln – natürliche Pigmente, die auch in Pflanzen oder Algen vorkommen. »Mikroorganismen sind sensationelle Chemiker«, betont Roth: »Auch ohne hohe Temperaturen oder Drücke verstoffwechseln sie Kohlendioxid zu Produkten, die dann mitunter das Treibhausgas sogar langfristig speichern. Von der Natur sollten wir uns viel häufiger etwas abschauen.«

Ein Gedanke, der auch den Chemiker Ulf-Peter Apfel fasziniert: »Für die Natur ist CO<sub>2</sub> keine Problem-Chemikalie, sondern als C1-Quelle ein immens wichtiger Ausgangsstoff. Hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Nutzung können wir nur lernen von der Natur«, konstatiert der Leiter der Abteilung Elektrosynthese am Fraunhofer UMSICHT und Professor an der Ruhr-Universität Bochum. Deshalb redet er weniger von der »Dekarbonisierung« der Industrie und vielmehr von einer »Defossilierung«, also einer Verringerung von CO<sub>2</sub> aus fossilen Rohstoffen. Daran arbeitet er etwa in dem 2022 gestarteten Verbundprojekt CO<sub>2</sub>-Syn. Im Zentrum steht hier die Zementindustrie, die bis zu acht Prozent der globalen Kohlendioxid-Emissionen beisteuert. Und das wird sich so schnell nicht verhindern lassen, denn wenn Kalziumcarbonat – einer der Hauptausgangsstoffe der Zementherstel-

lung – zu Kalziumoxid verbrannt wird, entsteht unweigerlich Kohlendioxid. »Das ist eine riesige Punktquelle, die wir nutzen können«, findet Apfel. Ähnlich wie in dem Projekt Carbon2Chem® geht es auch hier um die Verwendung von CO<sub>2</sub> aus Abgasströmen – diesmal zur Herstellung von Synthesegasen (eine Mischung aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff), die dann als Basischemikalien für Olefine und höhere Alkohole dienen.

Das bei der Zementproduktion entstehende CO<sub>2</sub> ist allerdings verunreinigt mit Staub und anderen potenziellen Störfaktoren. Wie lässt sich das wirtschaftlich verträglich reinigen? Oder gibt es vielleicht sogar Wege, auf eine Aufreinigung zu verzichten? »Dafür benötigen wir Katalysatoren, die besonders resistent gegenüber Verunreinigungen sind«, erklärt Apfel. Im Moment stehen bei ihm sulfidbasierte Katalysatoren im Mittelpunkt, »die sind besonders robust, die kann man gar nicht so einfach vergiften«. Erste Tests möglicher Prozessrouten sind bereits abgeschlossen; nun steht die Inbetriebnahme einer Pilotanlage an: »Mit der kann man pro Tag 100 Kilogramm CO<sub>2</sub> umwandeln«, berichtet Apfel. »Das ist die weltweit erste Anlage in diesem Maßstab.«

Dass deutsche Unternehmen der Idee der CO<sub>2</sub>-Nutzung oft noch skeptisch gegenüberstehen, verwundert Ulf-Peter Apfel. »Schon bald wird in industriellen Prozessen immer weniger Kohlendioxid entstehen. Mit nachhaltigen C1-Punktquellen wird man dann viel Geld verdienen«, prognostiziert er. »Dafür muss man

aber schon jetzt in passende Prozesse und Systeme investieren.« Wenn er auf das blickt, was sich in den letzten fünf Jahren technologisch gerade im Bereich CCU getan hat, »denke ich, dass wir spätestens in zehn Jahren richtig große Anlagen überall stehen haben«. Ein CO<sub>2</sub>-neutrales Deutschland bis 2050 könne allein durch Vermeidung des Treibhausgases nicht erreicht werden, es sei eine deutlich vielfältigere Denk- und Herangehensweise gefordert: »Wir dürfen nicht nachlassen in der Suche nach immer neuen Königswegen.« ■

»Für die Natur ist CO<sub>2</sub> keine Problem-Chemikalie, sondern als C1-Quelle ein immens wichtiger Ausgangsstoff. Hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Nutzung können wir nur lernen von der Natur.«

Ulf-Peter Apfel, Fraunhofer UMSICHT



CO<sub>2</sub>

Weltweit erhöhte sich 2023 der Ausstoß von CO<sub>2</sub> um **1,1 % auf 36,8 Milliarden Tonnen.**



**Aufschwung – zumindest im Spiel**  
Ein Kind schaukelt vor zerstörten  
Wohnhäusern in der Kleinstadt  
Borodjanka nahe Kiew. Fraunhofer-  
Forschende arbeiten daran, den  
echten Aufschwung zu unterstützen.

# Aus Schutt und Asche

Beton ist das meistgenutzte Baumaterial – und die Produktion stößt so viel Kohlendioxid aus wie der gesamte Flugverkehr. Reis ist das meistverwendete Nahrungsmittel – und seine Schalen werden bisher kaum verwendet. Fraunhofer-Fachleuten ist es gelungen, eine Verknüpfung zu schaffen. Die Zukunft des Bauens gibt auch Hoffnung für den Aufbau der Ukraine.

Von Franziska Sell



**E**s sind Zahlen, mit denen der Bausektor nicht punktet: Er verursacht 30 Prozent des globalen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. 40 Prozent des Energiebedarfs. 50 Prozent des Ressourcenverbrauchs. 60 Prozent des weltweiten Abfallaufkommens. Dabei kann die Zukunft des Bauens ganz anders aussehen. Es ist keine Vision mehr, dass Gebäude aus Beton Ressourcen schonen, Abfälle minimieren und zugleich besser dämmen und haltbarer sind.

Prof. Libo Yan und sein Team vom Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI treten den Beweis an: Im Forschungsprojekt ReMatBuilt entwickeln die Fachleute gemeinsam mit Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft nachhaltige Betonbaustoffe und leistungsstarke Bauelemente auf Basis von Bau- und Abbruchabfällen sowie pflanzlichen Produktionsresten. Gefördert wird das Projekt durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Nationalen Bioökonomiestrategie.

Die Projektpartner aus Deutschland und China streben Praxisnähe an – und schnelle Umsetzbarkeit. »Die Idee, Baumaterialien zu recyceln und mit alternativen Werkstoffen aus der Natur zu experimentieren, ist nicht neu«, verdeutlicht Projektleiter Yan. »Was unser Vorhaben einzigartig macht, ist sein ganzheitlicher Ansatz.« Die praktische Anwendung im Blick, kombinieren die Forschenden ihr Wissen um die Verfahren und Eigenschaften der verschiedenen Materialien, um die chemische, physikalische und mechanische Leistung von der Mikro- bis zur Makroskala zu verstehen. Damit erreichen sie ein hohes Technology Readiness Level. Zudem gestalten sie ihre Produkte und alle vorgelagerten Verfahrensschritte so, dass sie den Regularien beider Länder entsprechen.

### Weniger Abfall, geringerer Ressourcenverbrauch

Die Fachleute verwenden sogenannten Bauschutt, also Altbeton und Mauerwerksabfälle, sowie landwirtschaftliche Reststoffe, um Recyclingbeton herzustellen. Diese Bestandteile verstärken sie mit pflanzlichen Naturfasern wie Flachs, ergänzt um forstwirtschaftliche Abfallprodukte, etwa Hackenschnitzel aus Altholz.



»We build Ukraine«  
So steht es hoffnungsfroh auf einem Bauzaun in Saporischschja, der sechstgrößten Stadt der Ukraine.

Handelsüblicher Beton enthält Zement und meist Kies als Zuschlagstoff – eine endliche Ressource, deren Abbau die Umwelt schädigt. Zudem muss er oft über weite Strecken transportiert werden. Bauschutt und Altholz fallen hingegen weltweit flächendeckend in hohen Mengen an und werden bislang kaum sinnvoll wiederverwertet. Ökologisch wie ökonomisch gesehen sind die Abfälle also ein hoch attraktiver Ersatz.

Ähnlich verhält es sich bei Zement. Das Bindemittel unter den Baustoffen entsteht aus natürlichen Rohstoffen wie Kalkstein, Ton und Quarzsand – und verursacht in seiner Herstellung hohe Kohlenstoffdioxid-Emissionen, die der Industrie zunehmend Kopfzerbrechen bereiten. Dem Team um Yan ist es gelungen, einen potenziellen Ersatz für die Reduzierung der Zementmenge beim Betonbau zu finden: »Reis ist das meistverwendete Nahrungsmittel der Welt. Seine Schalen werden bisher kaum genutzt. Wir haben herausgefunden, dass sich die Reisschalenasche, die in einem speziellen Verbrennungsvorgang entsteht, bestens als Zementersatz eignet.«

Die Testergebnisse sprechen für sich: Der recycelte Beton schont nicht nur endliche ökologische Ressourcen, die aus ihm gefertigten Bausteine sind leichter als das traditionelle Pendant und überzeugen mit einem Plus an Festigkeit, Haltbarkeit, Wärme- und Schalldämmung. Doch es geht um mehr. Die Expertinnen und Experten entwickeln in ihrem

Projekt zudem Dämmstoffe aus pflanzlichen Abfallprodukten wie Sägespänen, Reis- und Weizenstrohhalm als ressourcenschonende Alternative zu aktuell dominierenden Varianten, die aus erdölbasiertem Kunststoff, Mineral- und Glaswolle oder Holzfaser bestehen. Mit diesen nachhaltigen Dämmplatten lassen sich die

»Reisschalenasche eignet sich bestens als Zementersatz.«

Prof. Libo Yan, Fraunhofer WKI

fertigen Betonbausteine zu Wandsystemen aus gedämmten Blöcken verbinden. Die Fachleute haben darüber hinaus Systeme konzipiert, durch die sich der Recyclingbeton in Kombination mit Furnierschicht- und Brettsperholz als Geschossdecke nutzen lässt.

Die hybriden Bauelemente vereinen die Vorteile von herkömmlichem Beton und pflanzlichen Baustoffen. Sie sind langlebig und weisen überzeugende mechanische, Feuchte- und Wärmeschutz-Eigenschaften auf. Darüber hinaus lassen

sie sich leicht verarbeiten und erfüllen Brandschutzvorgaben. Auf diese Weise erweitern die Projektpartner mit ihren Lösungen die Möglichkeiten, unter zunehmend strengen Nachhaltigkeitsanforderungen kosteneffizient zu bauen – Einfamilienhäuser ebenso wie große Gebäudekomplexe.

## Meilen- statt Stolpersteine

Der Erfolg des Forschungsvorhabens war anfangs nicht absehbar. Zehn Tage nach dem offiziellen Projektstart am 1. März 2020 erklärte die WHO Corona offiziell zur weltweiten Pandemie – eine gewaltige Herausforderung für das international agierende Team um Libo Yan. Damit nicht genug: Nach einem Extremregen traten die Flüsse der Stadt Braunschweig im Frühsommer desselben Jahres über die Ufer. Das Versuchslabor war unmittelbar vom Hochwasser betroffen. Die Wassermassen beschädigten die Gebäude schwer, die dort durchgeführten Forschungsarbeiten der ReMat-Built-Projektgruppe wurden stark in Mitleidenschaft gezogen. Projektleiter Yan: »Wir arbeiten mit Materialien, die hochsensibel auf Feuchtigkeit reagieren – von natürlichen Pflanzenfasern bis Zement und Holz. Das Wasser zerstörte einen Großteil unserer Prüfmuster, unsere Versuchsanordnung – schlicht die gesamte materielle Arbeit vor Ort.«

Das Team ließ sich nicht entmutigen und geht dank der bereits erzielten Ergebnisse nun in die Verlängerung – immer das große Ganze im Blick: »Mit unserer Arbeit schaffen wir wirtschaftlich interessante Perspektiven – für die Dämmstoff- und Bauindustrie ebenso wie die Agrar- und Forstwirtschaft. Darüber hinaus entwickeln unsere Partner im Bereich Recycling und Maschinenbau neue Methoden, mit denen Pflanzenabfälle bestmöglich gewonnen und weiterverarbeitet werden können«, freut sich der Fraunhofer-Experte.

## Hoffnung für die Ukraine

Ein Gedanke ist Libo Yan besonders wichtig: »Wir können mit unserer Arbeit einen signifikanten Beitrag zum Wiederaufbau der Ukraine leisten«, ist der Projektleiter überzeugt. »Es ist schrecklich, aber Tag für Tag fallen hier riesige Mengen Schutt an. Zudem ist das Land reich an natürlichen Rohstoffen und einer der weltgrößten Exporteure von Agrarrohstoffen wie Getreide – Weizen, Mais oder Reis.« Vor diesem Hintergrund arbeitet das Team unter Hochdruck daran, seine Ergebnisse in die Anwendung zu bringen. Um die Menschen in der Ukraine maßgeblich dabei zu unterstützen, den Wiederaufbau schnell, kostengünstig und nachhaltig zu bewerkstelligen. ■

### Schutt als Rohstoff

Ein schneller, kostengünstiger und nachhaltiger Wiederaufbau ist das Ziel – Fraunhofer-Forschende helfen dabei.



## Interview



»Spitzenforschung  
ist der Treiber«



Nordrhein-Westfalens Ministerpräsident Hendrik Wüst gilt als möglicher Kanzlerkandidat der Union. Im Interview fordert der 48-Jährige verlässliche Perspektiven für Wissenschaft und Wirtschaft.

Interview: Josef Oskar Seitz

Hoffnungsträger  
Hendrik Wüst:  
Seit Oktober 2021  
regiert der Nachfolger  
Armin Laschets  
das bevölkerungs-  
reichste Bundesland.

\_\_\_\_\_ **Lassen Sie uns über die Zukunft reden, Herr Wüst: Welche Qualitäten braucht der nächste Bundeskanzler, um Deutschland aus den Krisen zu führen?**

Vernunft, Entschlossenheit und Führungsstärke. Zudem muss er auch das umsetzen, was er verspricht. Es gibt zu viele Beispiele, in denen der amtierende Kanzler durch mangelndes Tempo oder geringen politischen Willen aufgefallen ist – nehmen wir den Pakt für Planungs- und Genehmigungsbeschleunigung oder die Kraftwerkstrategie. Auch wird die größte politische Herausforderung dieser Tage, das Thema Migration, viel zu zögerlich angegangen. Aktuelle Studien zeigen allen politischen Verantwortlichen, dass viele Menschen in Deutschland kein Vertrauen mehr in den Staat und seine Handlungsfähigkeit haben. Ich bin mir sicher, dass auch die Streitereien innerhalb der Bundesregierung dazu beigetragen haben.

\_\_\_\_\_ **Sprechen wir über die Gegenwart. Lohnt sich die Frage, ob ein Hendrik Wüst als Kanzlerkandidat der Union für 2025 zur Verfügung steht?**  
Fragen darf man alles.

\_\_\_\_\_ **Ich sehe schon, es ist schwierig. Werden wir konkret. Frage an den Rechtsanwalt Wüst: Schaffen Sie ein Plädoyer für den Wirtschaftsstandort Deutschland in drei Sätzen?**

Deutschland zeichnet sich durch eine hochinnovative Wirtschaft, erstklassige Forschungslandschaften und eine starke industrielle Basis aus. Mit seiner zentralen Lage in Europa bietet es Unternehmen einen unvergleichlichen Zugang zu den Märkten der EU, verstärkt durch ein robustes Rechtssystem, das Investitionen und Innovationen schützt und fördert, und eine gut ausgebildete Bevölkerung. Um diese Stärken auch künftig ausspielen zu können, brauchen wir ein schnell wirksames Wachstumsprogramm, das steuerliche Verbesserungen, Entbürokratisierung, Bekämpfung des Fachkräftemangels und Senkung der Energiekosten umfasst.

\_\_\_\_\_ **Sind Wachstum und Klimaschutz Gegensätze?**

Wir müssen zeigen, dass beides geht: unser Klima schützen und Wirtschaftswachstum ermöglichen. Das bildet die Grundlage für gut bezahlte Arbeitsplätze, Wohlstand und eine stabile Gesellschaft. Nur so werden wir nachhaltig und wirksam unser Klima schützen. Ansonsten fehlt uns die Akzeptanz für den Klimaschutz – bei uns und weltweit. Wir werden andere Länder nicht vom Klimaschutz überzeugen können, wenn wir nicht gleichzeitig zeigen, dass wir wirtschaftlich und industriell stark bleiben. Was wir hierfür brauchen, sind politische Rahmenbedin-

»Es ist entscheidend, Forschung und Entwicklung gezielt zu fördern.«

Hendrik Wüst

gungen, die Innovationen im Klimaschutz vorantreiben und Investitionen in saubere Technologien anziehen.

\_\_\_\_\_ **In Ihrem Bundesland prallt beides aufeinander: Sie haben viel Chemie, viel Stahl, viel Kohle. Und Sie haben einen grünen Koalitionspartner. Was ist Ihr Weg?**

Wir haben uns in Nordrhein-Westfalen vorgenommen, das erste klimaneutrale Industrieland Europas zu werden – und wir sind bereits auf einem guten Weg. Ein Beispiel: In Duisburg soll zukünftig grüner Stahl mit Wasserstoff statt Koks erzeugt werden. Als Landesregierung haben wir diese Investition mit der größten Einzelförderung in der Geschichte des Landes unterstützt, um zu zeigen, wie Wachstum und Klimaschutz zukunftsorientiert versöhnt und lange Wertschöpfungsketten im Land gehalten werden können.

\_\_\_\_\_ **Wie kann die Forschung helfen?**

Sie spielt dabei eine ganz wichtige Rolle. Spitzenforschung ist der Treiber für Innovationen, die wir brauchen, um wichtige Herausforderungen zu bewältigen – sei es bei der Energiewende, der Digitalisierung oder dem medizinischen Kampf gegen Volkskrankheiten wie Krebs und Demenz.

\_\_\_\_\_ **Wie kann der Forschung geholfen werden?**

Wir sorgen für verlässliche Rahmenbedingungen und investieren in unsere Hochschulen und Forschungseinrichtungen, damit sich Forschung frei entfalten kann und wir als Standort für Spitzenforschung attraktiv bleiben. Und wir fördern Vernetzung, zum Beispiel mit EIN Quantum NRW oder mit KI.NRW (Red.: zentrale Anlaufstellen für Quantentechnologien und Künstliche Intelligenz). ▶



**Als Hendrik noch »Henne« war**

»Handball war immer mein Sport«, erinnert sich Hendrik Wüst. Bis zur A-Jugend spielte er beim TV Rhede. Spielernamen des jungen Hendrik: »Henne«.



**Diebstahl unter Partei-Größen**

Mit 1,91 groß auch neben Helmut Kohl: Einst hat der damalige Kanzler Hendrik Wüst den Braten vom Teller geklaut: »Er hatte Hunger, ich nicht mehr!«



**Tiefpunkt der Karriere**

2010 tritt Wüst als CDU-Generalsekretär zurück. Er hatte Sponsoren Einzelgespräche mit Ministerpräsident Jürgen Rüttgers für 20 000 Euro angeboten: »rent a Rüttgers«.



**Applaus, der ans Herz geht**

Am 27. Oktober 2021 wählt der Landtag von Nordrhein-Westfalen in einer Sondersitzung Hendrik Wüst zum neuen Ministerpräsidenten.

**Wasserstoff gilt als Energieträger der Zukunft gerade auch für die Stahlindustrie. Fraunhofer und die Salzgitter AG arbeiten in einem Projekt bereits an der Umsetzung. Was muss die Politik tun, um die Dekarbonisierung der Schwerindustrie voranzutreiben?**

Wasserstoff wird eine Schlüsselrolle spielen, um die Schwerindustrie auf einen nachhaltigen und klimafreundlichen Weg zu bringen. Hier gibt es drei wesentliche Maßnahmen, die ergriffen werden sollten: Erstens ist es entscheidend, Forschung und Entwicklung gezielt zu fördern. Das von Ihnen genannte Projekt ist sicherlich ein gutes Beispiel. In Nordrhein-Westfalen haben wir die bundesweit einzigartige Plattform IN4climate.NRW geschaffen, bei der Industrie, Wissenschaft und Politik zusammenarbeiten, um innovative Strategien für eine klimaneutrale Industrie zu erarbeiten. Zweitens muss ein klarer rechtlicher und regulatorischer Rahmen geschaffen werden, der den Einsatz von Wasserstofftechnologien erleichtert. Drittens ist es wichtig, wirtschaftliche Anreize zu setzen, die den Übergang zur Dekarbonisierung für Unternehmen attraktiv machen. Dazu gehören beispielsweise Steueranreize, aber auch die Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren für neue, klimafreundliche Investitionen.

**Die Bundesregierung hat die Mittel für die Batterieforschung um 75 Prozent gekürzt. Was bedeuten die Streichungen für die Batterieforschung in Deutschland?**

Die Erforschung und Entwicklung leistungsfähiger Batteriespeicher ist ein Schlüssel zum Erfolg der Energie- und Verkehrswende. Sie muss nachhaltig gestärkt werden und bedarf einer dauerhaften, verlässlichen Finanzierung. Der Bund ist aufgefordert, die ursprünglich über den Klima- und Transformationsfonds geplante Forschungsförderung neu aufzustellen. Wissenschaft und Wirtschaft brauchen eine verlässliche Perspektive.

**Was kann für die schnellere Hochskalierung alternativer Batterietechnologien getan werden?**

Eine Schlüsselrolle spielen auch hier Partnerschaften zwischen Forschung und Industrie, um den Technologietransfer zu beschleunigen und Innovationen schnell zur Marktreife zu bringen. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Fraunhofer-Forschungsfertigung Batteriezelle FFB in Münster. In der FFB PreFab, die in Kürze eröff-

net wird, wird eine Musterlinie für die komplette Batteriezellproduktion im kleinen Maßstab aufgebaut, die einen wichtigen Zwischenschritt auf dem Weg zum Industriemaßstab darstellt. Die FFB Fab wird dann die Anwendung von Anlagentechnologien im großindustriellen Maßstab zur Fertigung vollständiger Batteriezellen ermöglichen. Diese Projekte illustrieren, wie durch gezielte Investitionen in Forschung, Entwicklung und die Schaffung von Prototyp-Anlagen die Brücke zwischen Forschung und Massenproduktion geschlagen werden kann.

**Ihr Bundesland gilt als eines der Zentren für KI-Forschung in Deutschland. Wie kann Europa im Wettbewerb mit den USA, im Wettkampf mit China bestehen?**

Für die Landesregierung Nordrhein-Westfalen steht fest: »KI made in NRW« soll den Dreiklang aus Spitzenforschung, Innovationsgeist und Unternehmertum vereinen. Ein wichtiger Schlüssel hierfür ist es, bestehende Qualität noch besser zu vernetzen. Dabei hilft uns die Kompetenzplattform KI.NRW, die vom Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS in Sankt Augustin bei Bonn geleitet wird, einem der europaweit führenden Forschungsinstitute auf den Gebieten der Künstlichen Intelligenz und des Maschinellen Lernens.

**Sie haben auf Bundesebene eine »erdrückende Langsamkeit« ausgemacht, die Menschen an der Handlungsfähigkeit des Staates zweifeln lässt. Wo sind Sie in NRW schnell?**

Wir haben mit mehreren Entfesselungspaketen viel Bürokratie abgebaut. Aber wir sind immer wieder auf bundes- und europarechtliche Grenzen gestoßen. Daher bin ich froh, dass es gelungen ist, einen substantiellen Bund-Länder-Pakt zu Planungs-, Genehmigungs- und Umsetzungsbeschleunigung zu verhandeln. Dieser muss jetzt schnell umgesetzt werden. Aber wo wir als Land alleine handeln können, tun wir das natürlich: Wir sind bundesweit führend bei der Genehmigung von Windenergieanlagen. Für den Stromnetzausbau haben wir die Bezirksregierungen personell gestärkt. Und bei der Digitalisierung gilt unser Wirtschafts-Service-Portal.NRW als bundesweit vorbildlich. Ein ganz konkretes Beispiel, bei dem wir wirklich schnell waren: beim FFB PreFab in Münster. Nur neun Monate Bauzeit, Ende vergangenen Jahres die Übergabe an Fraunhofer, Ende März Inbetriebnahme. Und auch der zweite Bauabschnitt schreitet in großen Schritten voran.



»Sind echte Lösungsangebote das beste Mittel, um Populismus den Boden zu entziehen?« – »Ja.«

Hendrik Wüst

Aber klar ist: Auch in Nordrhein-Westfalen bleibt noch viel zu tun – und wir machen weiter Tempo.

\_\_\_\_\_ **Für welche Forschungsschwerpunkte würden Sie in einer CDU-geführten Bundesregierung kämpfen?**

Ob in Nordrhein-Westfalen oder im Bund: Innovation ist ein zentraler Pfeiler für eine zukunftsfähige Wirtschaft und Gesellschaft. Hieran sollte sich Forschungspolitik ausrichten, unabhängig von der politischen Ebene.

\_\_\_\_\_ **Sie haben die AfD als politischen Hauptgegner verortet. Sind echte Lösungsangebote für Zukunftsängste nicht vielleicht das beste Mittel, um Populismus den Boden zu entziehen?**

Ja. Nur in der demokratischen Mitte können wirklich tragfähige Lösungen für Probleme gefunden werden. Sie müssen aber auch angegangen werden. Wir haben in den letzten Wochen zudem enormes zivilgesellschaftliches Engagement gegen die AfD, gegen Rechtsextremismus und für den Zusammenhalt unserer Gesellschaft und die Demokratie erlebt. Das beweist: Die AfD spricht nicht für die schweigende Mehrheit, so wie sie das immer behauptet hat. Wir müssen die AfD inhaltlich stellen und dabei eine klare Haltung zeigen. Das heißt vor allem, dass wir den Menschen zeigen, welche Folgen und Auswirkungen AfD-Politik auf

ihr alltägliches Leben hätte – zum Beispiel für Arbeitnehmer oder den Sozialstaat. Wenn man das alles näher beleuchtet, sieht man, dass die AfD eine Gefahr für unseren Wohlstand und für unsere Demokratie bedeutet. Das sehen wir allein bei der Forderung nach einem Austritt Deutschlands aus der Europäischen Union.

\_\_\_\_\_ **Sie wurden, entschuldigen Sie die Wertung, mit 45 Jahren ein später Vater. Verändert Ihre Tochter Ihren Blick auf die Zukunft?**

Natürlich verändert das Vatersein den persönlichen Blick auf die Welt. Es hat ja auch neue Aufgaben mit sich gebracht, schöne Aufgaben. Meine Tochter führt mir jeden Tag vor Augen, was Entscheidungen für die Zukunft bedeuten. Dazu gehört auch die Frage, wie wir heute dazu beitragen können, noch bessere Lebenschancen für die Welt von morgen möglich zu machen. Die Lebenserwartung heutiger Kleinkinder ist höher, als die Bundesrepublik alt ist. Das macht einerseits demütig. Aber es spornt auch an, alle Möglichkeiten zu nutzen, für alle Kinder heute die Fundamente zu legen, in jeder Hinsicht ein gutes Leben führen zu können.

\_\_\_\_\_ **Sind Sie zuversichtlich für das Land, in dem Philippa aufwachsen wird?**

Was Nordrhein-Westfalen betrifft: Wir haben alle Chancen, die großen Herausforderungen unserer Zeit zu lösen. Was meine Person angeht: Ich gebe jeden Tag mein Bestes. ■



**Die Haare immer schön**

Dieter Schlebes aus Rhede ist der Friseur, der sich seit mehr als 30 Jahren um das Landesoberhaupt verdient macht – optisch: »Er legt viel Wert auf sein Äußeres.«



**Mehr als nur Landesvater**

Am 14. Mai 2022 auf dem Weg zum Wahllokal mit Ehefrau Katharina hat Wüst nicht nur Augen für den Stimmzettel – auch für Tochter Philippa.



**Fit als Fanzler?**

2023 tut sich Wüst (mit Schauspielerinnen Annette Frier) schwer beim Vorlesen. Das Buch »Der Fönig« fordert ihn mit ausgetauschten »K«. Doch lieber Kanzler?



**Ein Lob, punktgenau platziert**

Im März 2024 lobt Wüst seinen CDU-Vorsitzenden Friedrich Merz. Der sei »großartig als Oppositionsführer«. Das Rennen um die Kanzlerschaft ist eröffnet.



CHILE

## Grüner Wasserstoff aus Südamerika

Wie sich Wasserstoffderivate mit Sonnenenergie technisch, wirtschaftlich und ökologisch groß angelegt produzieren lassen, wollen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Deutschland und Chile erforschen. Dafür untersucht das Team vom Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE zusammen mit Fraunhofer Chile Research und weiteren Partnern die gesamte Prozesskette. Kern des Projekts »Power-to-MEDME-FuE« ist, kostengünstige und effiziente Methoden zur Herstellung der CO<sub>2</sub>-neutralen synthetischen Kraftstoffe Methanol und Dimethylether (DME) zu entwickeln, die als Kraftstoffalternativen im Schwerlasttransport eingesetzt werden können und ideale Exporteigenschaften aufweisen. Verschiedene industrielle Elektrolyse-Technologien sollen bewertet, Katalysatoren entwickelt und die Meerwasserentsalzung als Wärmequelle analysiert werden. Geplant ist der Bau einer Pilot-Produktionsstätte im Norden Chiles, die je nach Marktlage grünes Methanol oder erneuerbares DME im Megawattbereich produzieren kann.



An der neuen H<sub>2</sub>-Produktionsanlage sollen auch Fachkräfte für den Betrieb ausgebildet werden.

# Fraunhofer international



● Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft



Eine schonendere Therapie erhöht die Überlebenschancen.



EUROPA

## Hoffnung für Frühchen

Eine künstliche Plazenta zur Behandlung schwerer Lungen- und Nierenprobleme bei Frühgeborenen entwickelt ein internationales Forschungsteam unter der Leitung des Klinikums Nürnberg. Sie soll riskante invasive Therapien mit mechanischen Beatmungsgeräten und Dialysemaschinen ersetzen. Die neue »ArtPlac«-Technologie wird über eine speziell entwickelte Nabelschnur mit den Nabelgefäßen des Säuglings verbunden und übernimmt ähnlich wie eine Plazenta im Mutterleib lebenswichtige Organfunktionen: Sie versorgt das Baby mit Nährstoffen und Sauerstoff, reguliert den Blutkreislauf und unterstützt so

die Lungen- und Nierentätigkeit. Das Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT entwickelt für das Gerät mikrofluidische Komponenten für den Gas- und Elektrolytaustausch und integriert Sensoren zur Überwachung wichtiger Blutfluss- und Dialysatparameter. Die externe Plazenta wird ausschließlich durch den Herzschlag des Neugeborenen über die Nabelschnurgefäße mit Energie versorgt. Im Gegensatz zu bisherigen Therapieformen muss der Säugling nicht sediert werden, sondern kann atmen und interagieren, was den Erfolg der Behandlung wesentlich unterstützt.



Für den Anbau von Macauba-Palmen muss kein Regenwald abgeholzt werden.



## BRASILIEN

### Nachhaltiges Palmöl

Um die nachhaltige Gewinnung von Pflanzenöl, Proteinen und Ballaststoffen voranzubringen, arbeitet das Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV mit seiner brasilianischen Außenstelle in Campinas an der ganzheitlichen Nutzung von Früchten der Macauba-Palme. Eine Besonderheit der tropischen Pflanze: Sie benötigt wenig Wasser und liefert daher auch in trockenen Regionen hohe Ölerträge. Mit einer neuartigen Fraktionierungstechnologie, die das Fraunhofer IVV gemeinsam mit brasilianischen Partnern entwickelt hat, ist es nun gelungen, die Rohstoffe der Macauba-Frucht in hochwertige Öle, Fasern und Proteine

zu trennen und damit das bisher ungenutzte Potenzial der Press- und Extraktionsrückstände zu erschließen. Das Verwertungskonzept ermöglicht eine Vielzahl von Anwendungen, beispielsweise in der Lebensmittel- und Kosmetikindustrie sowie bei der Herstellung biologisch abbaubarer Verpackungen. Darüber hinaus erhöht die Palme die Bodenfruchtbarkeit erheblich, sodass zwischen den Palmen auch Weidegras für die Viehzucht oder Nutzpflanzen wie Soja oder Kaffee besser gedeihen. Für den Aufbau einer brasilianischen Produktionsanlage suchen die Gesellschafter der Fraunhofer-Ausgründung »Macauba Ingredients GmbH« derzeit Partner.



## ESTLAND

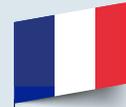
### Mit Biomasse Kohle und Erdgas ersetzen



Torrefiziertes Buchenholz (rechts) hat im Vergleich zu unbehandeltem (links) einen erhöhten Brennwert.

Pflanzliche Biomasse als klimafreundliche Alternative zu fossilen Brennstoffen nutzbar machen will das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB gemeinsam mit dem estnischen Start-up New Standard Oil. Dafür haben die Fraunhofer-Forscher ein energieeffizientes Verfahren entwickelt, mit dem sich biogene Rest-

stoffe wie Holz und Heu stofflich und energetisch verwerten lassen: Die Biomasse wird in einer Atmosphäre aus überhitztem Wasserdampf ohne Sauerstoff erst getrocknet und dann torrefiziert, also thermo-chemisch zersetzt. Bei dem Prozess werden die flüchtigen organischen Verbindungen als Kondensat zurückgewonnen, so bleiben die wertvollen »grünen Chemikalien« aus der Biomasse für die weitere Verarbeitung erhalten. Die torrefizierte Biomasse, eine Art Biokohle, kann in Form von Pellets oder zu Staub vermahlen als Ersatz für Kohle oder Erdgas zum klimaneutralen Betrieb von Kraftwerken eingesetzt werden. Die Anlage verarbeitet pro Stunde bis zu 150 Kilogramm Bioreststoffe. In Estland wird die Methode nun erstmals in einer großtechnischen Pilotanlage kommerziell umgesetzt.



## FRANKREICH

### Klimaforschung mit Diamanten

Ein wichtiges Puzzleteil bei der Erforschung der globalen Erwärmung ist die Wärmeabstrahlung der Erde ins All. Forschende des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF und des Instituts für Angewandte Physik der Universität Jena haben nun für ein Satellitenspektrometer der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) mit Sitz in Paris eine neuartige Diamantstruktur entwickelt, die erstmals präzise Messungen dieser Wärmeabstrahlung im extrem fernen Infrarotbereich ermöglicht. Die etwa kreditkartengroße Diamantoberfläche dient als Strahlteiler des Spektrometers, mit dem ab 2027 der Strahlungshaushalt der Erde exakt analysiert werden soll. Die Herausforderung bestand darin, eine Oberfläche des Diamanten breitbandig zu entspiegeln, ohne das Infrarotspektrum zu beeinträchtigen. Inspiriert von der kegelförmigen Oberflächenstruktur von Mottenaugen entwickelten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein spezielles Verfahren mittels reaktiver Ionen, bei dem mikroskopisch kleine Pyramiden in den Diamanten geätzt werden. Diamanten sind chemisch resistent und als eines der härtesten Materialien der Welt schwer zu strukturieren. Der Ferninfrarotbereich erfordert zudem Pyramiden mit extrem präzisen Formen.



Wie viel Wärme strahlt die Erde ins All ab? Ein neues Satellitenspektrometer gibt Auskunft.

# Der Traum vom guten Fliegen

Am Anfang war das Abheben. Dann flogen wir überallhin. Jetzt geht es um ein umweltschonenderes Reisen – hybridelektrisch könnte die Lösung für die Zukunft sein.

Von Dr. Janine van Ackeren



Vorbild Vogel: Luftfahrt-Pionier Otto Lilienthal (1848 – 1896) testete am Berliner Fliegeberg seine Fluggeräte.

**U**mweltverträglich fliegen? Für Passagiermaschinen setzt Airbus auf Wasserstoff-Antriebe – für 2035 plant der Konzern, das weltweit erste wasserstoffbetriebene Verkehrsflugzeug auf den Markt zu bringen. Rein batterieelektrisch lassen sich bisher nur kleinere Flugzeuge für kurze Strecken in der Luft halten. Hoffnung machen hybridelektrische Antriebe. Bei der Kombination von Elektroantrieb und Gasturbine sieht das so aus: Im Rumpf sitzt ein klassisches Triebwerk, wie es sonst unter den Flügeln hängt. Angetrieben mit dessen Kraft erzeugt ein Generator Strom, der in einer Batterie gespeichert wird – und dann genutzt wird, um via Elektromotoren die Rotoren unter den Flügeln anzutreiben.

Vom Rücken durch die Brust ins Auge? Keineswegs. Der Ansatz klingt kompliziert, doch hat er durchaus seine Berechtigung. Hauptvorteil ist der Verbrauch: Üblicherweise treibt der Pilot das Triebwerk beim Start deutlich über den Designpunkt, für den das Triebwerk ausgelegt ist und bei dem es optimal laufen würde. Bis die Räder eines A380 abheben, sind sechs Tonnen Kerosin verbraucht, also 6000 Liter Treibstoff. Erst in der Luft hat der Flieger den idealen Verbrauch. »Durch die zwischengeschaltete Batterie als Leistungspuffer ist man beim Start nicht darauf angewiesen, die Energie des Triebwerks komplett auszureizen. Stattdessen kann man das Triebwerk stets am Designpunkt laufen lassen«, erklärt Dr.-Ing. Christoph Hubig, der sich am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU um die Geschäftsfeldentwicklung Sustainable Aviation kümmert. »Das ist vergleichbar mit konstanten 130 Kilometern pro Stunde auf der Autobahn, was ebenfalls deutlich weniger Sprit zieht als das Stop-and-Go in der Stadt.«

## Premiere für Rolls-Royce

Zunächst muss der entsprechende Antrieb jedoch entwickelt, zertifiziert und auf den Markt gebracht werden. Daran arbeiten, unter der Federführung von Rolls-Royce Deutschland, neben dem Fraunhofer IWU die Fraunhofer-Institute für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM und für Angewandte Polymerforschung IAP sowie



Umweltfreundlich abheben: Modell eines hybridelektrischen Flugzeugs.

»Eines haben all diese Antriebe gemein: Sie sind leise, haben niedrige Temperaturen und pusten keinerlei Emissionen in die Luft.«

Dr.-Ing. Christoph Hubig,  
Fraunhofer IWU

die Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg BTU und das Center for Hybrid Electric Systems Cottbus (chesco) mit weiteren Partnern. Für Rolls-Royce, im Bereich der Luftfahrt bisher vor allem für Gasturbinen bekannt, sind es die ersten Versuche, den Antrieb von Flugzeugen zu elektrifizieren. Zeitgleich soll – quasi in einem Streich – auch der Strukturwandel in der Lausitz gefördert werden, schließlich stammen die Landesmittel aus dem Topf »Strukturmittel Kohleausstieg«. Der Grundgedanke: Wissenstransfer in die Lausitz, um dort hochqualifizierte Arbeitsplätze aufzubauen. Die Fraunhofer-Institute IWS, IFAM und IWU haben in diesem Zuge eine neue Betriebsstätte in Cottbus gegründet: Keimzelle sind gemeinsame Büros auf dem Campus der BTU, in unmittelbarer Nähe zu chesco.

## Elektroantrieb trifft Turbine

Hybridelektrisches Fliegen ist flexibel. »Wie die Antriebe genau beschaffen sind, hängt von den jeweiligen Anforderungen ab«, sagt Hubig. »Die Forschenden entwickeln einen modularen Baukasten aus elektrifizierten Antrieben, die sich auf verschiedene Weisen miteinander kombinieren lassen. Eines haben all diese Antriebe gemein: Sie sind leise, haben niedrige Temperaturen und pusten keinerlei Emissionen in die Luft.« Während beim innerstädtischen Flugverkehr eine Batterie als Energieversorgung genügt, ist bei Reichweiten jenseits von 80 bis 100 Kilometern die Kombination mit herkömmlichen Antrieben wie einer Radialverdichter-Gasturbine nötig, die mit Kerosin oder anderen Antriebsstoffen betrieben wird. Hubig: »Je nach Anforderung können wir Antrieb und Energiequelle frei konfigurieren.«

Punkten kann der Antrieb mit geringem Lärm. »Ein Elektromotor erzeugt ein sehr hohes Drehmoment: Damit kann man die Rotorblätter größer gestalten und somit langsamer rotieren lassen – was weniger Lärm erzeugt«, erläutert Dr. Uwe Frieß, Abteilungsleiter Karosseriebau, Montage und Demontage am Fraunhofer IWU in Chemnitz. »Da der Motor im Rumpf gekapselt ist, erzeugt er ebenfalls einen kleineren Lärmteppich.«

Nicht zu unterschätzen: Konventionelle Flugzeuge haben immer zwei Triebwerke. ►

Das einzelne Triebwerk muss deshalb kleiner sein und ist somit ineffizienter. Braucht man nur noch ein Triebwerk, kann dieses größer ausfallen, hat mehr Durchsatz und arbeitet damit thermodynamisch günstiger. Auch fallen die Wartungskosten für das zweite Triebwerk weg. Insgesamt, so schätzen die Forschenden, dürften die Einsparungen gegenüber einer klassischen Turboprop-Maschine mit 500 Kilometern Reichweite bei mindestens 20 bis 30 Prozent liegen. Werte, die für Fluggesellschaften wirtschaftlich relevant sind.

### Prototypen schnell fertigen

Aktuell geht es darum, Prototypen schnell zu bauen. »Während Rolls-Royce das Antriebssystem neu entwickelt, arbeiten wir bei Fraunhofer an den Produktionsverfahren«, beschreibt Frieß. Die Bauteile für die Antriebssysteme sind hochgradig strömungsoptimiert – hochkomplexe Geometrien mit dünnen Wandstärken aus Materialien wie Titan oder Nickelbasislegierungen, die auf klassischem Weg kaum zu bearbeiten sind. Und: Da es sich um die Fertigung von Prototypen handelt, werden eher einstellige statt drei- bis vierstellige Mengen jedes Bauteils benötigt. Weit weg also von einer Serienfertigung. Die Herausforderungen sind entsprechend groß.

Die Fraunhofer-Institute IWS und IFAM gehen dabei ebenso wie die BTU den Weg der additiven Verfahren, sie drucken die Bauteile. Eine mögliche Methode: Ein Metallpulver in einem Sinterbett wird lokal mit einem Laserstrahl aufgeschmolzen, das Granulat verbindet sich zu einem soliden Festkörper. An den Stellen, die vom Laserstrahl nicht getroffen werden, rieselt das Pulver weg. Schicht für Schicht wachsen die Bauteile auf diese Weise aus dem Metallpulverbett empor. Das Fraunhofer IWU arbeitet mit umformenden Verfahren, also der Herstellung einer Brennkammer aus Hochleistungsblech. »Bei der Serienfertigung etwa im Automotive-Bereich kommen dabei Tiefziehprozesse zum Einsatz – es dauert Monate, die entsprechenden Werkzeuge für die großen Pressen herzustellen«, erklärt Frieß. Für die Einzelfertigung von Prototypen, bei der schnell neue Geometrien in geringer Stückzahl erzeugt werden sollen, ist das kein gangbarer Weg. Die Forschenden setzen daher auf flexibel zusammensetzbare Werkzeuge, oder aber



Eine Gasturbine erzeugt elektrische Energie, mit der ein Zwischenbatteriespeicher gefüllt wird. Aus dem bedient sich das hybridelektrische Flugzeug.

»Während Rolls-Royce das Antriebssystem neu entwickelt, arbeiten wir bei Fraunhofer an den Produktionsverfahren.«

Dr. Uwe Frieß,  
Fraunhofer IWU

auf solche aus Holz, die innerhalb weniger Stunden gefräst sind. Auch den Tiefziehprozess selbst denkt das Team neu: Statt das ganze Bauteil in einem Rutsch zu formen, wird das Blech jeweils nur lokal an die Form gedrückt, etwa über Wasserdruck.

An den elektronischen Komponenten forscht das Fraunhofer IWU. So wird eine neuartige Maschine gebaut, um Spulen zu produzieren. Bei diesen Bauteilen wird Draht zahlreiche Male um ein festes Material gewickelt, die fertige Spule erzeugt ein Magnetfeld, wenn der Draht von Strom durchflossen wird. »Wir können den Durchmesser des Drahts während des Wickelns verändern, ebenso die Form des Drahts sowie den Wickelradius, und das von der Spule erzeugte Magnetfeld somit feinmaschig einstellen – das ist vollkommenes Neuland«, berichtet Frieß. Das Ergebnis: Der Wirkungsgrad des Motors steigt, der Motor kann bei selber Leistung kleiner ausfallen.

### Tempo, Tempo, Tempo ...!

Umfassende Kompetenzen für ganz verschiedene Spezialanforderungen sind also gefordert. Ein Hebel, um das geforderte Entwicklungstempo zu erreichen, ist die Digitalisierung. Das Fraunhofer IAP beschäftigt sich mit der Digitalisierung der Herstellungsprozesse für rotationssymmetrische Komponenten sowie der Produktionsmaschinen. Wurden diese Anlagen bislang über Erfahrungswerte sowie Trial-and-Error eingestellt, werden die Prozesse nun digital optimiert. Auf diese Weise liefert schon der erste Versuch ein deutlich besseres Ergebnis. Fraunhofer-Forschende haben die Produkte im Blick: genauer gesagt den Digitalen Zwilling der Bauteile über den gesamten Lebenszyklus. All diese Informationen werden auf einer Plattform zusammengeführt – Ziel ist es, bereits zu Beginn eine hohe Sicherheit über die Prozesse und die Maschinen zu erlangen.

Die Bauteile – produziert mit Fraunhofer Know-how – werden von chesco zu Prototypen montiert und umfassend getestet. Chesco übernimmt somit den Mittlerschritt zwischen Fraunhofer und Rolls-Royce. Sind erste Antriebe zertifiziert, kümmert sich Rolls-Royce um die Fertigung: Der Anfang des hybridelektrischen Fliegens ist gemacht. ■

# **Staffellauf des Wissens**

***Haltung***

***mit Blick auf***

***Krisen***

Das einzelne Triebwerk muss deshalb kleiner sein und ist somit ineffizienter. Braucht man nur noch ein Triebwerk, kann dieses größer ausfallen, hat mehr Durchsatz und arbeitet damit thermodynamisch günstiger. Auch fallen die Wartungskosten für das zweite Triebwerk weg. Insgesamt, so schätzen die Forschenden, dürften die Einsparungen gegenüber einer klassischen Turboprop-Maschine mit 500 Kilometern Reichweite bei mindestens 20 bis 30 Prozent liegen. Werte, die für Fluggesellschaften wirtschaftlich relevant sind.

### Prototypen schnell fertigen

Aktuell geht es darum, Prototypen schnell zu bauen. »Während Rolls-Royce das Antriebssystem neu entwickelt, arbeiten wir bei Fraunhofer an den Produktionsverfahren«, beschreibt Frieß. Die Bauteile für die Antriebssysteme sind hochgradig strömungsoptimiert – hochkomplexe Geometrien mit dünnen Wandstärken aus Materialien wie Titan oder Nickelbasislegierungen, die auf klassischem Weg kaum zu bearbeiten sind. Und: Da es sich um die Fertigung von Prototypen handelt, werden eher einstellige statt drei- bis vierstellige Mengen jedes Bauteils benötigt. Weit weg also von einer Serienfertigung. Die Herausforderungen sind entsprechend groß.

Die Fraunhofer-Institute IWS und IFAM gehen dabei ebenso wie die BTU den Weg der additiven Verfahren, sie drucken die Bauteile. Eine mögliche Methode: Ein Metallpulver in einem Sinterbett wird lokal mit einem Laserstrahl aufgeschmolzen, das Granulat verbindet sich zu einem soliden Festkörper. An den Stellen, die vom Laserstrahl nicht getroffen werden, rieselt das Pulver weg. Schicht für Schicht wachsen die Bauteile auf diese Weise aus dem Metallpulverbett empor. Das Fraunhofer IWU arbeitet mit umformenden Verfahren, also der Herstellung einer Brennkammer aus Hochleistungsblech. »Bei der Serienfertigung etwa im Automotive-Bereich kommen dabei Tiefziehprozesse zum Einsatz – es dauert Monate, die entsprechenden Werkzeuge für die großen Pressen herzustellen«, erklärt Frieß. Für die Einzelfertigung von Prototypen, bei der schnell neue Geometrien in geringer Stückzahl erzeugt werden sollen, ist das kein gangbarer Weg. Die Forschenden setzen daher auf flexibel zusammensetzbare Werkzeuge, oder aber



Eine Gasturbine erzeugt elektrische Energie, mit der ein Zwischenbatteriespeicher gefüllt wird. Aus dem bedient sich das hybridelektrische Flugzeug.

»Während Rolls-Royce das Antriebssystem neu entwickelt, arbeiten wir bei Fraunhofer an den Produktionsverfahren.«

Dr. Uwe Frieß,  
Fraunhofer IWU

auf solche aus Holz, die innerhalb weniger Stunden gefräst sind. Auch den Tiefziehprozess selbst denkt das Team neu: Statt das ganze Bauteil in einem Rutsch zu formen, wird das Blech jeweils nur lokal an die Form gedrückt, etwa über Wasserdruck.

An den elektronischen Komponenten forscht das Fraunhofer IWU. So wird eine neuartige Maschine gebaut, um Spulen zu produzieren. Bei diesen Bauteilen wird Draht zahlreiche Male um ein festes Material gewickelt, die fertige Spule erzeugt ein Magnetfeld, wenn der Draht von Strom durchflossen wird. »Wir können den Durchmesser des Drahts während des Wickelns verändern, ebenso die Form des Drahts sowie den Wickelradius, und das von der Spule erzeugte Magnetfeld somit feinmaschig einstellen – das ist vollkommenes Neuland«, berichtet Frieß. Das Ergebnis: Der Wirkungsgrad des Motors steigt, der Motor kann bei selber Leistung kleiner ausfallen.

### Tempo, Tempo, Tempo ...!

Umfassende Kompetenzen für ganz verschiedene Spezialanforderungen sind also gefordert. Ein Hebel, um das geforderte Entwicklungstempo zu erreichen, ist die Digitalisierung. Das Fraunhofer IAP beschäftigt sich mit der Digitalisierung der Herstellungsprozesse für rotationssymmetrische Komponenten sowie der Produktionsmaschinen. Wurden diese Anlagen bislang über Erfahrungswerte sowie Trial-and-Error eingestellt, werden die Prozesse nun digital optimiert. Auf diese Weise liefert schon der erste Versuch ein deutlich besseres Ergebnis. Fraunhofer-Forschende haben die Produkte im Blick: genauer gesagt den Digitalen Zwilling der Bauteile über den gesamten Lebenszyklus. All diese Informationen werden auf einer Plattform zusammengeführt – Ziel ist es, bereits zu Beginn eine hohe Sicherheit über die Prozesse und die Maschinen zu erlangen.

Die Bauteile – produziert mit Fraunhofer Know-how – werden von chesco zu Prototypen montiert und umfassend getestet. Chesco übernimmt somit den Mittlerschritt zwischen Fraunhofer und Rolls-Royce. Sind erste Antriebe zertifiziert, kümmert sich Rolls-Royce um die Fertigung: Der Anfang des hybridelektrischen Fliegens ist gemacht. ■

## Staffellauf des Wissens

*Herr Prof. Lauster,*  
wie erreichen wir  
*gemeinsam* eine  
neutrale **Haltung** für  
die *besten Lösungen*  
**mit Blick auf** aktuelle  
und mögliche **Krisen**?

## Staffellauf des Wissens, Folge 11

# Herr Prof. Lauster, wie erreichen wir gemeinsam eine neutrale Haltung für die besten Lösungen mit Blick auf aktuelle und mögliche Krisen?

### **Serie:**

### **Staffellauf des Wissens**

Unsere Zeit wirft **viele Fragen auf** – **Fraunhofer-Forschende bemühen sich um Antworten.** Eine Fachfrau oder ein Fachmann gibt **eine Antwort** und stellt **eine Frage**, die sie oder er an den nächsten **Experten weiterreicht** – ein **»Staffellauf des Wissens«**. In dieser Ausgabe antwortet **Prof. Michael Lauster**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT, auf eine Frage von **Prof. Andrea Büttner**, Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV.

**W**issenschaft ist eine Tätigkeit des Menschen, die Wissen schafft, und gemäß Platon ist Wissen wahre und gerechtfertigte Überzeugung. Damit müssen drei Bedingungen erfüllt sein, wenn wir Wissen schaffen wollen:

Wir müssen wahre Aussagen finden, die wir rechtfertigen können und von denen wir überzeugt sind. Wahrheit ist dabei ein komplexer philosophischer Begriff, der mehrere Facetten besitzt. Grob lassen sich drei Wahrheitskonzeptionen unterscheiden: Wahrheit durch Korrelation, Wahrheit durch Konsistenz und Wahrheit durch Konsens.

1. Als Naturwissenschaftler sind wir stark dem ersten Konzept verhaftet: Unsere gedanklichen Konstrukte sind wahr, wenn sie ein korrelierendes Element im ontologischen Hintergrund besitzen, sprich: der Realität. Wir rechtfertigen sie, indem wir Fragen an diese Realität stellen, also Experimente machen. Die richtige Frage ist dabei immer: Wie kann ich mein gedankliches Konstrukt zu Fall bringen? Kann ich Antworten der Realität erzeugen, die gegen meine Hypothesen sprechen? Je häufiger es uns nicht gelingt, unsere gedanklichen Konstrukte zu Fall zu bringen, umso überzeugter sind wir von ihnen.



Prof. Michael Lauster leitet seit September 2012 das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT in Euskirchen bei Bonn.

**Wissenschaft dient aber nicht nur dazu, Wissen zu schaffen, sondern sie zeigt uns auch, dass unser vermeintliches Wissen nur eine winzige Insel in einem Ozean von Nichtwissen ist.**

Foto: Fraunhofer INT

2. Weniger realitätsnah ist die Konzeption der Wahrheit durch Konsistenz: Eine Aussage ist wahr, wenn sie sich widerspruchsfrei in ein bereits existierendes System von Aussagen einfügen lässt. Wir kennen das aus den Geisteswissenschaften und besonders aus der Mathematik. Wir rechtfertigen diese Aussagen durch adäquate Argumentations- und Beweisverfahren und sind überzeugt, solange Gegenbeweise scheitern. Korrelate in der physischen Realität sind in dieser Konzeption keine Notwendigkeit, können jedoch häufig unschädlich durch Analogiebildung gefunden werden.
3. Die problematischste, wissenschaftsfernste und in meinen Augen stets zu bekämpfende Wahrheitskonzeption ist jene durch Konsens: Ist eine hinreichend große Zahl von Menschen von einer bestimmten Aussage überzeugt, so wird sie zur Wahrheit. Gerechtfertigt werden diese Aussagen dann häufig durch Ignorieren oder Leugnen von Fakten, Verschwörungstheorien und pseudowissenschaftliche Argumentationen. Ein Bezug zur phy-

sischen Realität ist eher schädlich für diese Form der Wahrheit und wird häufig auch gewaltsam unterbunden. Alle Religionen, Sekten, Ideologien und Dogmensysteme beruhen auf dieser Konzeption der Wahrheit.

Optimale Lösungen zu finden und sie objektiv und interpersonell unabhängig zu beurteilen ist deshalb eine Aufgabe, die der wissenschaftlichen Methode bedarf. Karl Poppers kritischer Rationalismus ist das bislang beste Mittel, das wir haben, um wahre Aussagen von Glaubenssätzen und Dogmen zu unterscheiden. Gemeinsam müssen wir unsere wissenschaftlichen Standards hochhalten und unseren Nachwuchs in diesem Geist erziehen.

Wissenschaft dient aber nicht nur dazu, Wissen zu schaffen, sondern sie zeigt uns auch, dass unser vermeintliches Wissen nur eine winzige Insel in einem Ozean von Nichtwissen ist. Sie lehrt uns Demut, weil sie uns zeigt, dass jede Antwort auf eine Frage ein Universum neuer Fragen erschließt. Und sie lehrt uns, dass unser Wissen nur vorläufig ist und jederzeit durch neue Erkenntnisse modifiziert oder sogar ad absurdum geführt werden kann. ■

**In der nächsten Ausgabe:**

**Aufbruch und Umbruch: Wie wird KI unsere Welt verändern?**

# Referenzfabrik.H2



# Turbo für den Wasserstoff

Der Klimawandel ist schneller als erwartet, die Energiewende langsamer als gewünscht. Die Referenzfabrik.H2 will Tempo in die Produktion von Wasserstoffsystemen bringen und etwa der Automobilindustrie neue Geschäftsfelder öffnen: Fraunhofer macht »Fit4H2«.

Von Beate Strobel, Fotografie: Sven Döring

Wie heben wir die Wasserstoff-Wirtschaft auf ein neues Level? Für Dr.-Ing. Ulrike Beyer, Leiterin Referenzfabrik.H2 am Fraunhofer IWU, ist das ein Herzenthema.





Damit es aufwärts geht: Stefan Lohberger, technischer Mitarbeiter am Fraunhofer IWU in Chemnitz, ist beteiligt an der Entwicklung eines Wasserstoff-Motorrads.





Wie lässt sich die Herstellung von Brennstoffzellen-Stacks beschleunigen? Daran arbeitet Dr. Andreas Willert im Technikum des Fraunhofer ENAS.



Wie tragen wir Wissen nach außen? Mary Esther Ascheri ist am Fraunhofer IWU verantwortlich für H<sub>2</sub>-Kooperationsprojekte in Namibia und Südafrika.

**S**echs Schräublein, sechs winzige Muttern sowie jede Menge durchsichtige, schwarze und farbige Rechtecke: Selbst als Demo-Version im Puppenstubenformat ist der Zusammenbau eines Elektrolyseur-Stacks kein Kinderspiel. Im Schulungsraum des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz beugen sich 20 Köpfe über die Mini-Teile und versuchen, sie in sinnvoller Reihenfolge zu stapeln und zu fixieren. Mit nicht immer optimalem Ergebnis: »Kann es sein, dass am Ende eine Membran übrig bleibt?«

Das kann – und sollte – natürlich nicht sein. Aber es ist auch kein Drama, schließlich geht es beim Workshop Fit4H2 am Fraunhofer IWU ums Lernen. Und darum, binnen zwei Tagen fitter in Sachen Wasserstofftechnologie zu werden. Die Mehrheit der Teilnehmenden aus Unternehmen

in Deutschland, Österreich und Tschechien erhofft sich Anregungen für neue Geschäftsfelder – etwa, weil das nahende Verbrenner-Aus eine Ausweitung des Produktportfolios oder gar eine unternehmerische Neuausrichtung erfordert. Andere sind bereits eingestiegen in die Wasserstoffwirtschaft und suchen nach Wegen der Prozessoptimierung. Mit fünf Fahrzeug- und Motorenwerken sowie 780 Zulieferern, Ausrüstern und Dienstleistern in der Mobilitätsbranche gilt Sachsen traditionell als »Autoland«; gut 95 000 Arbeitsplätze entfallen auf diese Branche, mehr als 80 Prozent davon in der Zulieferindustrie.

»Wir wollen Einblicke in die Technologie sowie die Anforderungen und Herausforderungen bekommen«, hatte Ulrike Michel-Schneider in der Vorstellungsrunde erklärt. Sie nimmt gemeinsam mit Dušan Poliaček an Fit4H2 teil. Dessen Unternehmen Ito1 design in Prag entwickelt in einem deutsch-tschechischen Forschungskonsortium mit dem Fraunhofer IWU derzeit ein Motorrad mit Wasserstoff-Antrieb. Der Part von Ito1 design im Projekt »Hydrocycle« liegt in der Konstruktion einer schlanken und leichten Karosserie, in der dennoch ein komplettes Brennstoffzellensystem Platz finden muss. Ulrike Michel-Schneider und Dušan Poliaček möchten deshalb nicht nur wissen, wie eine Brennstoffzelle aufgebaut ist, sondern auch, wie stark man sie schrumpfen kann, ohne an Leistung zu verlieren. Die Idee eines H<sub>2</sub>-Motorrads fasziniert Designer Poliaček: »Rein elektrische Motorräder gibt es bereits, hier ist wenig Innovation möglich.« Außerdem verspricht er sich mehr Fahrspaß für längere Strecken. »Wasserstoff kann eine wichtige Alternative werden – auch für Kleinfahrzeuge.«

### Der »Käse« der erneuerbaren Energie

Wasserstoffwirtschaft als Zukunftstechnologie: Für Dr.-Ing. Ulrike Beyer, Leiterin der Referenzfabrik.H2 am Fraunhofer IWU, ist das ein Herzenthema. Damit Deutschland, Europa und weitere Länder weltweit ihre Dekarbonisierungsversprechen erfüllen können, muss die Produktion von erneuerbarer Energie massiv nach oben gefahren werden. »Doch erneuerbare Energie ist wie Frischmilch: Sie muss so-

fort verbraucht oder aber umgewandelt werden in ein haltbares Produkt – wie Käse«, erklärt Beyer. »Wasserstoff hat das Potenzial, zum Käse der erneuerbaren Energie zu werden und so die Energie-wende zu unterstützen.«

Dafür allerdings muss die Produktion von grünem Wasserstoff – also hergestellt durch Elektrolyse mithilfe erneuerbarer Energien oder aus Biomasse – extrem nach oben skaliert werden. »Für die industrielle Massenproduktion sind die H<sub>2</sub>-Technologien aber noch nicht ausgelegt und momentan zu teuer«, konstatiert Ulrike Beyer gleich zu Beginn des Workshops. Damit sich das ändert und das Gas auch preislich mit fossilen Energien mithalten kann, hat das Fraunhofer IWU in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT im Jahr 2022 die Referenzfabrik.H2 ins Leben gerufen und um die Forschungsinhalte des Fraunhofer-Institutes für Elektronische Nanosysteme ENAS in Chemnitz erweitert.

Was Ulrike Beyer als Leiterin der Referenzfabrik.H2 umtreibt, ist die Tatsache, dass sowohl Elektrolyseure als auch Brennstoffzellen – die beiden essenziellen Systeme zur Erzeugung und Rückverstromung von Wasserstoff – in Deutschland noch immer in viel zu kleinen Stückzahlen hergestellt werden. »Parallel zum Ausbau der erneuerbaren Energien wird die Nachfrage nach diesen Technologien bis 2050 sprunghaft ansteigen«, zeigt sie sich überzeugt. Die Industrie benötigt Wasserstoff etwa als Ersatz für Erdgas und als Speichermedium für die erneuerbaren Energien zur Dekarbonisierung der Fertigungsverfahren. In der Mobilität wird der H<sub>2</sub>-Hunger voraussichtlich ab 2030 zuerst im Schwerlastverkehr und ab 2040 auch in der Luft- und Schifffahrt massiv wachsen. Eine aktuelle Meta-Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISE prognostiziert eine globale Wasserstoff-Nachfrage bis 2050 von vier bis elf Prozent am Endenergiebedarf. In ihrer überarbeiteten Wasserstoffstrategie postuliert die Bundesregierung, dass rund 50 bis 70 Prozent des für 2030 erwarteten H<sub>2</sub>-Bedarfs durch Importe gedeckt werden müssen. Es sei denn, die Inlands-Produktion kann noch deutlich an Fahrt zulegen.

Vorhersagen wie diese seien ein klares »Aufbruchsignal, in diesen Markt einzusteigen«, erklärt Beyer den Schulungsteilnehmenden, die sich fleißig Notizen machen. Denn es gebe schon bald »einen riesigen Mangel an Produktionstechnologien«, also an Elektrolyseuren und Brennstoffzellen für den künftigen Bedarf. Auch die hohe Gründungsfrequenz von Start-ups im Bereich H<sub>2</sub>-Technologien ist laut Beyer ein Indikator für die Zukunftsfähigkeit des Marktes: »Wir stehen erst am Anfang der Produktionsentwicklung.« Das Fraun-

hofer-Wasserstoff-Netzwerk hält eine jährliche Wertschöpfung von 10 Milliarden Euro im Jahr 2030 und 32 Milliarden Euro im Jahr 2050 für deutsche Hersteller von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen für möglich.

»Anschub für Ihre Wertschöpfung« steht entsprechend auf den Traubenzuckerpäckchen, die jeder Schulungsteilnehmer von Fit4H2 als Nervennahrung auf seinem Platz gefunden hat. »Auf 20 in 27« lautet das Leistungsversprechen der Referenzfabrik.H2: Bis 2027 sollen die Produktionskosten für Hydrogen-Systeme auf 20 Prozent der heutigen Ausgaben gesenkt und Wasserstofftechnologie aus Deutschland dadurch konkurrenzfähig werden. »Hier könnten wir eine Möglichkeit der Wertschöpfung zurückholen, die uns durch Batterieelektrik verloren gegangen ist«, urteilt Beyer.

## »Auf 20 in 27« lautet das Leistungsversprechen der Referenzfabrik.H2

»Auf 20 in 27« ist ein ambitioniertes Vorhaben, doch angesichts der globalen Konkurrenz ist eine ehrgeizige Vision auch angesagt. Das US Department of Energy etwa hat für die Vereinigten Staaten den sogenannten »Hydrogen Shot« gestartet: Binnen einer Dekade sollen die Kosten für sauberen Wasserstoff um 80 Prozent auf einen US-Dollar pro Kilogramm reduziert werden. ►



Wie lassen sich Bipolarplatten (BPP) maschinell anfertigen? Diese Frage beschäftigt Sebastian Melzer im Technikum des Fraunhofer IWU.

Um hier mithalten zu können, ist ein enger Schulterschluss zwischen Forschung und Industrie vonnöten. Die Referenzfabrik.H2 hat bereits 25 Unternehmen als feste Partner in die Wertschöpfungsgemeinschaft integriert und treibt das Wachstum weiter voran. Unter den Mitstreitern ist beispielsweise die Schaeffler Gruppe: ein international aufgestellter Automobil-Zulieferer, der bereits eine Vielzahl von Wasserstofftechnologie-Anwendungen im Blick hat. Aber ebenso die Spreckelmeyer GmbH, ein mittelständischer Handwerksbetrieb aus dem nordrhein-westfälischen Lengerich, dessen Kerngeschäft im Maschinenbau, in der Automation und Robotik liegt. Beyer betont: »Wir brauchen auch diese bodenständige Tüftlermentalität, um das Thema Wasserstoff voranzutreiben.«

### Hy-Ventus soll den industriellen Aufwind bringen

Den Marktlauf von Wasserstofftechnologien »made in Germany« forciert die Referenzfabrik.H2 aus zwei Richtungen: Innerhalb des vom BMBF geförderten Leitprojekts H2Giga fokussiert sie sich im Vorhaben FRHY unter Beteiligung der Fraunhofer-Institute IWU, IPT, IPA und ENAS sowie des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS auf die Entwicklung flexibler Lösungen für die Großserienfertigung von Elektrolyseuren. In ihnen wird Wasser mithilfe von Energie in Wasser- und Sauerstoff gespalten. Doch mit den vorhandenen Technologien ist eine Massenproduktion von Elektrolyseuren bislang nicht konkurrenzfähig.

In der Referenzfabrik.H2 wurde deshalb Hy-Ventus entwickelt, der Wind in die Sache bringen soll: ein neuartiger Elektrolyseur-Stack, der sich für die hochrattenfähige industrielle Fertigung eignet. Sebastian Melzer vom Fraunhofer IWU führt gleich an Tag 1 der Schulung durch die Einzelteile des Stacks wie etwa Bipolarplatten (BPP) aus Halbplatten, die in einem inhouse entwickelten Verfahren maschinell mit großem Tempo prägend gewalzt und anschließend mittels Elektronenstrahl verschweißt werden. Die Protonen-Austausch-Membranen, eingebettet in einen stabilen Folienrahmen, werden zwischen

den BPP jeweils umschlossen von porösen Transportschichten (»Porous Transport Layer«, PTL bzw. »Gas Diffusion Layer«, GDL). Zwei vergoldete Kontaktplatten an den beiden Enden des Stacks dienen der Versorgung mit Energie. Klingt einfach – doch bei der Aufgabe, den Stack im Miniatur-Format selbst zusammenzuschrauben, merken manche der Teilnehmenden, dass das Prinzip noch nicht ganz durchdrungen wurde: »Wohin kommen die goldenen Dinger noch einmal?«

## Wie lässt sich die MEA günstig und in großen Mengen herstellen?



Dr. Andreas Willert, Fraunhofer ENAS, setzt große Hoffnungen in das Inkjet-Druckverfahren.

Im großen Maßstab wird Hy-Ventus derzeit fertigungstechnisch ausgelegt und soll ab 2025 industriell hergestellt werden. Zeit wird's, denn: Um 70 Millionen Tonnen Wasserstoff bis 2030 global herzustellen, müssten 190 Millionen solcher Stacks angefertigt werden, betont Melzer. Die Fläche der dafür benötigten BPP würde 16 000 Fußballfelder ausmachen, die Schweißnähte (rund ein Meter pro BPP) würden fünf Mal von der Erde bis zum Mond reichen.

Der zweite Forschungsschwerpunkt der Referenzfabrik.H2 ist die Brennstoffzelle – gefördert vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) im Nationalen Aktionsplan Brennstoffzellen-Produktion H2GO, einem Gemeinschafts-

projekt von 19 Fraunhofer-Instituten unter der Koordination des Fraunhofer IWU. Geforscht wird in Chemnitz beispielsweise daran, wie sich die sogenannte MEA (Membran-Elektroden-Einheit) als Herzstück eines Brennstoffzellen-Stacks bestmöglich in großer Menge und dadurch kostengünstig herstellen lässt. Man setze hier große Hoffnungen in das Inkjet-Druckverfahren, erläutert Dr. Andreas Willert. Der stellvertretende Leiter der Abteilung »Printed Functionalities« am Fraunhofer ENAS präsentiert die dafür speziell entwickelten Maschinenkonzepte im Technikum. Herausforderung dabei ist unter anderem, die Viskosität und Zusammensetzung des Beschichtungsmaterials so einzustellen, dass der Druckkopf nicht verstopft und die Membran gleichmäßig beschichtet wird – so schnell, dass sie keine Zeit bekommt, aufzuquellen.

Auch die Frage nach den Fehlertoleranzen bei Elektrolyse- und Brennstoffzellenmembranen sowie bei der Bipolarplatten-Produktion beschäftigt die Fraunhofer-Forschenden. »In die Aktivierung, also Prüfung eines Stacks fließen derzeit rund fünf Prozent der Gesamtherstellungskosten«, erklärt Sören Scheffler vom Fraunhofer IWU. »Das nehmen wir der Industrie mit unserem H<sub>2</sub>-Prüflabor ab.« Es gehe zudem darum, Parameter für effiziente Produktionsbedingungen zu dektieren. Momentan setzt die Industrie auf eine Null-Toleranz-Strategie, denn schon eine kaputte MEA senkt die Lebensdauer des gesamten Stacks massiv. Das bedeutet viel Ausschuss, der sich reduzieren ließe, wenn die relevanten Fehlertoleranzen der Stack-Bestandteile bekannt wären. Auch zur digitalen Simulation des Alterungsverhaltens fehlen derzeit noch Daten. Scheffler über den Blindflug ohne Richtwerte: »Momentan muss ein Stack 1000 Stunden betrieben werden, um mit Sicherheit sagen zu können, dass er 1000 Stunden betrieben werden kann.«

### Ein Technologie-Baukasten für die Industrie

In der Referenzfabrik.H2 setzt man auf Schwarmintelligenz: Wissenschaft und Wirtschaft sollen sich ergänzen zu einer Wertschöpfungsgemeinschaft, die den

Hochlauf der Wasserstofftechnologien in Deutschland und Europa gemeinsam stemmt. In einer Art Technologie-Baukasten will man dafür Bausteine für die Produktion von Elektrolyseur und Brennstoffzelle vereinen und zum Wissenstransfer anbieten. Eine sogenannte Technologie-Mall stellt die wesentlichen Stack-Komponenten modular zur Verfügung. Und Technologie-Services seitens der Fraunhofer-Forschung helfen den Partnerunternehmen bei der Integration vorhandener Kompetenzen und Infrastrukturen in eine Wasserstoffsystem-Produktion.

Selbst an die H<sub>2</sub>-Fachkräfte von morgen ist bereits gedacht: Die Referenzfabrik.H2 ist deutscher Schirmherr des H<sub>2</sub> Grand Prix, ins Leben gerufen von dem tschechischen Unternehmen Horizon Educational. In Teams entwickeln hier Schülerinnen und Schüler kleine Wasserstoff-Flitzer und treten zunächst in einem nationalen und später auch internationalen Rennen gegeneinander an. Im vergangenen Jahr konnten nur Jugendliche aus Sachsen berücksichtigt werden, doch »unser erklärtes Ziel ist, den Grand Prix deutschlandweit auszurollen«, betont Katrin Zieger, zuständig für die strategische Kommunikation der Referenzfabrik.H2. Schließlich kann man gar nicht früh genug anfangen, die Fachkräfte von morgen »fit4H2« zu machen. ■

Wirtschaft und Wissenschaft ergänzen sich, um den Hochlauf der **Wasserstofftechnologien** gemeinsam zu stemmen.



**Fraunhofer-Wasserstoff-Netzwerk**  
Mehr Informationen zu  
Wasserstoff-Technologien unter  
[www.wasserstoff.fraunhofer.de](http://www.wasserstoff.fraunhofer.de)



Was braucht die Wirtschaft für den Sprung in die Wasserstoff-Ära? Die Referenzfabrik.H2 bietet dafür ein Baukasten-System.

# Grüner Wasserstoff für sauberen Stahl

Die Stahlproduktion setzt Jahr für Jahr Millionen Tonnen Kohlendioxid frei. Der Einsatz von Wasserstoff in der Prozesskette hingegen könnte den Traum von der klimaneutralen Stahlherstellung wahr werden lassen.

Von Mehmet Toprak

**W**enn Eisenerz im Hochofen bei Temperaturen von bis zu 2000 Grad geschmolzen und mithilfe von Koks zu Roheisen reduziert wird, entstehen enorme Mengen CO<sub>2</sub>.

Nach Angaben des Kompetenzzentrums Klimaschutz in energieintensiven Industrien (KEI) verursacht die Stahlindustrie allein in Deutschland rund 55 Millionen Tonnen Kohlendioxid pro Jahr. Das entspricht etwa 28 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrie hierzulande. Seit Jahren sucht die Stahlindustrie deshalb nach praxisnahen Technologien, um ihre Produktion zu dekarbonisieren.

Dass es tatsächlich sehr viel sauberer geht, zeigen Forschende der Fraunhofer-Institute für Keramische Technologien und Systeme IKTS, für System- und Innovationsforschung ISI und für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in einem Gemeinschaftsprojekt mit der Salzgitter AG. Dabei setzen sie auf Wasserstoff statt auf Koks. Denn Wasserstoff entzieht – ebenso wie Koks – dem Eisenerz durch Direktreduktion den Sauerstoff. Zurück bleibt der wertvolle Rohstoff Eisen. Dabei entsteht deutlich weniger Kohlendioxid. »Wird bei der Herstellung des Wasserstoffs über Elektrolyse Strom aus erneuerbaren Energien genutzt, können bei der Rohstahlproduktion bis zu 97 Prozent des klimaschädlichen Kohlendioxids eingespart werden«, erklärt Dr.-Ing. Matthias Jahn, Abteilungsleiter Energie- und Verfahrenstechnik am Fraunhofer IKTS in Dresden.

## Versuchsanlage auf dem Werksgelände

Bei der Elektrolyse wird Wasser durch Anlegen einer elektrischen Spannung in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Dieses Verfahren wurde von den Forscherinnen und Forschern am Fraunhofer IKTS nun weiterentwickelt: Sie setzen auf eine Hochtemperatur-Elektrolyse auf der Basis von Festoxid-Zellen (solid oxide electrolysis cell, SOEC). Im Gegensatz zu anderen Elektrolyseverfahren nutzt diese Technologie Wasserdampf, der mithilfe der Abwärme aus den Hochtemperaturprozessen der Stahlindustrie erzeugt werden kann. Damit lässt sich der Wirkungsgrad gegenüber anderen Verfahren erhöhen. Einfach gesagt:

Man erzeugt mehr Wasserstoff mit der gleichen Menge an elektrischer Energie.

## Voraussetzung für den sauberen Stahl: viel Wasser

Die Forschenden am Fraunhofer IKTS haben eigene Elektrolysezellen und -stacks entwickelt und arbeiten an der Skalierung der Technologie, um größere Leistungen und Produktionskapazitäten zu erreichen. Dafür wird sie nun unter realen Betriebsbedingungen getestet: Auf dem Werksgelände der Salzgitter AG hat das Unternehmen eine gut 30 Meter hohe Versuchs- und Demonstrationsanlage installiert, an die die Forschenden des Fraunhofer IKTS die Hochtemperatur-Elektrolyse koppeln werden, um diese in Verbindung mit der Direktreduktion von Eisenerz mit Erdgas und Wasserstoff zu untersuchen. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt ist der effizientere Einsatz von Wasser. Denn in der zukünftigen Stahlproduktion werden für die Elektrolyse große Wassermengen benötigt. Die Forschenden untersuchen deshalb, wie das bei der Eisenerzreduktion mit Wasserstoff entstehende Wasser aufbereitet und in der Elektrolyse genutzt werden kann.

In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Vorhaben BeWiSer arbeiten die Forschenden mit ihren Partnern inzwischen daran, die gesamte Prozesskette im Hinblick auf Ressourcen- und Energieeffizienz zu verbessern: von der Hochtemperatur-Elektrolyse über Membranverfahren zur Gastrennung und Wasseraufbereitung bis hin zur Prozesssimulation und Modellierung der Anlagen mithilfe eines Digitalen Zwillings. Dr. Alexander Redenius, Leiter Ressourceneffizienz und Technologieentwicklung bei der Salzgitter Mannesmann Forschung: »Die Direktreduktions-Demonstrationsanlage ermöglicht uns, den Reduktionsprozess und das Zusammenspiel mit den weiteren Prozessschritten zu optimieren. Damit schaffen wir die Basis für eine saubere und nachhaltige Stahlproduktion.« Bis 2026 will das Unternehmen bereits ein Drittel der Stahlproduktion auf das klimafreundliche Verfahren mit Wasserstoff umstellen. ■



Foto: Julian Stratenschulte/dpa



55 Millionen Tonnen  
CO<sub>2</sub> pro Jahr  
verursacht die  
Stahlindustrie allein  
in Deutschland,  
das sind in etwa  
**28%**  
der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
unserer Industrie.

Klimafreundliches  
Stahlkochen:  
Wasserstoff  
macht's möglich.

## Stimme aus der Wirtschaft



Dr. Roland Busch, 59, Vorstandsvorsitzender der Siemens AG

# Ein Hebel für das Gute

KI wird mehr Produktivität ermöglichen, mehr Innovationen und mehr Nachhaltigkeit. KI ist die große Chance unserer Zeit. Um sie zu nutzen, braucht Deutschland eine kluge Einwanderungspolitik – und mehr noch: eine Kultur der Offenheit.

Ein Standpunkt von Dr. Roland Busch, Vorstandsvorsitzender der Siemens AG

**A**uf der Hauptversammlung von Siemens habe ich dieses Jahr Danny vorgestellt. Obwohl Danny künstlich ist, verhält sie sich außergewöhnlich intelligent. Ich kann mit der KI wie mit einem Menschen sprechen, und sie kann genauso antworten. Danny ist noch im Training, aber bald wird die KI tiefgreifende Kenntnisse industrieller Technologien haben. Und wenn es um die Programmierung von Robotern geht, verfügt Danny über Fähigkeiten, die denen unserer Top-Experten ebenbürtig sind. Sie ist der lebende Beweis – oder besser gesagt: der von Menschen geschaffene Beweis –, wie generative KI die Welt verändern wird.

KI ermöglicht es uns, produktiver zu arbeiten, Innovationen zu beschleunigen und uns auch bei der Nachhaltigkeit zu unterstützen. Sie hilft dabei, den Fachkräftemangel anzugehen. Und sie ist ein enormer Hebel für nachhaltiges wirtschaftliches Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit, indem sie Branchen revolutioniert und Volkswirtschaften wiederbelebt. KI ist die große Chance unserer Zeit. Und Deutschland kann der Nukleus für generative KI in der Industrie sein – der sogenannten industriellen KI. Wie wir das machen? Drei Antworten.

**Erstens:** Wir haben starke Ökosysteme in Deutschland, Automobilindustrie, Chemie, Pharma, Produktion und, für alle relevant, den Maschinenbau, alle vernetzt mit der Wissenschaft. Erfolgreiche Ökosysteme brauchen vor allem kreative und engagierte Menschen. Weil dazu auch Menschen gehören, die nach Deutschland kommen und sich und ihre Fähigkeiten einbringen wollen, brauchen wir eine kluge Einwanderungspolitik sowie eine Kultur der Inklusion und Offenheit. Mit der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und dem Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS haben wir ein starkes Ökosystem, um die Digitalisierung von Zugsystemen zu beschleunigen. Gemeinsam nutzen wir KI, um fahrerlose Züge zu entwickeln (siehe S. 56/57). Für Unternehmen wie Heineken oder Northvolt setzen wir KI ein, um Energie beim Bierbrauen zu sparen und die Fertigung in Batterie-Gigafabriken zu optimieren.

Und wo manche Wettbewerber sehen, sehen wir Partner. Wir arbeiten mit NVIDIA zusammen, um fotorealistische Visualisierungen für das industrielle Metaverse zu schaffen. Gemeinsam mit Amazon Web Services erleichtern wir die Integration von KI in Apps. Und

»KI wird es uns ermöglichen, produktiver zu arbeiten und Innovationen zu beschleunigen.«

## Dr. Roland Busch

- ▶ leitet seit 2021 als Vorstandsvorsitzender die Siemens AG mit rund 320 000 Mitarbeitenden in 190 Staaten und 77,8 Milliarden Euro Umsatz 2023.
- ▶ arbeitete während seiner drei Jahrzehnte bei Siemens in vielen Bereichen von Automobiltechnik bis zum Internet der Dinge. 2011 rückte er in den Vorstand auf, wurde 2019 Stellvertretender Vorstandsvorsitzender und Arbeitsdirektor der Siemens AG.
- ▶ kam 1994 als Projektleiter in der Zentralabteilung für Forschung und Entwicklung zu Siemens. Nach eigener Aussage aus der Überzeugung heraus, »dass Technologie die größten Herausforderungen der Welt lösen kann«.
- ▶ wurde 1964 in Erlangen geboren. Er studierte Physik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der Universität Grenoble. 1993 promovierte er an der Friedrich-Alexander-Universität.

wir haben mit Microsoft zusammengearbeitet, um den Siemens Industrial Copilot zu entwickeln, der mensch-maschinelle Interaktionen schneller und intuitiver macht als je zuvor. Diesen Industrial Copilot haben wir Danny genannt. Schaeffler ist der erste Kunde, der ihn in der realen Welt einsetzt.

**Zweitens:** Bei Siemens verfügen wir über langjährige Expertise bei der Anwendung von KI für unsere Kunden. Und seit der Veröffentlichung von ChatGPT haben wir eine Welle von Ideen und Projekten in unserer Forschungs- und Entwicklungsabteilung gestartet – wie Danny. Unsere gesamte Erfahrung zeigt: Menschen werden nicht durch KI ersetzt. Menschen werden durch jemanden ersetzt, der KI verwendet. Deshalb ist Weiterbildung so wichtig. Heute schon haben wir bei Siemens rund 1500 ausgewiesene KI-Experten. Und 2023 haben 40 000 Kolleginnen und Kollegen an KI-Trainings teilgenommen.

**Drittens:** Die geplante KI-Verordnung der Europäischen Union verfolgt zweifellos gute Absichten, aber sie kann KI-basierte Geschäftsmodelle behindern. Ähnliche Risiken bestehen bei der EU-Datenverordnung und der Taxonomie-Verordnung. Keine dieser Verordnungen ist grundsätzlich falsch, aber in Summe und im Kleingedruckten könnten sie Innovation gefährden, zu einer Zeit, in der Innovation wichtiger ist denn je. Sie nehmen Geschwindigkeit raus, obwohl diese eine Voraussetzung für unsere Wettbewerbsfähigkeit ist.

Aber ich glaube fest an die Innovationskraft unseres Landes. Das ist einer der Gründe, warum Siemens trotz langsamen Wachstums und zunehmenden Investitionsentscheidungen für das Ausland eine Milliarde Euro in die Zukunft Deutschlands investiert.

Damit schaffen wir einen Hightech-Campus in Erlangen, eine Blaupause für das industrielle Metaverse. Wir kombinieren die reale und digitale Welt, um einen immersiven Raum entstehen zu lassen – eine virtuelle Welt, die fast nicht von der realen zu unterscheiden ist. Dort können KI-Ingenieure und ihre menschlichen Kollegen in Echtzeit zusammenarbeiten, um die größten Herausforderungen unserer Zeit zu lösen.

KI ist für mich ein Hebel für Wachstum. Und bietet die Chance, Gutes zu schaffen. Wenn wir offene Ökosysteme und eine positive Grundhaltung fördern sowie einen vernünftigen Ansatz für Regulierung finden, können wir mit diesem Hebel Großes bewegen. ■



Der geborene Killer:  
Die Illustration zeigt  
den Angriff von  
T-Zellen auf eine  
Krebszelle.

# Hammer gegen Krebs

Individualisierte Arzneimittel haben gute Erfolgsquoten – mit 250 000 Euro pro Behandlung aber einen hohen Preis. Fraunhofer-Institute arbeiten daran, die Therapie bezahlbar zu machen. Auch für mRNA-Impfungen eignen sich die Verfahren.

Von Dr. Janine van Ackeren

**F**rüher musste Krebs wie mit der Gießkanne behandelt werden. Inzwischen haben individualisierte Arzneimittel das Zeug dazu, die Krankheit einzudämmen. Doch sind die über 250 000 Euro teuren Behandlungen bisher nur für Patienten zugelassen, bei denen Chemotherapie und Bestrahlung nichts bewirken konnten – aktuell bei bestimmten Formen von Blut- und Lymphdrüsenkrebs. Das Prinzip: Per Blutabnahme werden dem Krebspatienten Immunzellen entnommen, genetisch verändert und wieder zurück in den Körper gegeben, wo sie fortan dazu in der Lage sind, die Krebszellen anzugreifen. Die Erfolgsquote ist hoch: Bei jedem zweiten Betroffenen – bei dem die herkömmlichen Behandlungen wohlgernekt ohne Erfolg blieben – spricht die Therapie an.

»Ein drastisch niedrigerer Preis würde dazu beitragen, dass auch Patientinnen und Patienten in frühen Krebsstadien damit behandelt werden«, ist sich Dr. Ulrich Blache sicher. Der Gruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI: »Wichtig ist auch, die Verfügbarkeit zu erhöhen – es müssen schlichtweg genügend Arzneimittel produziert werden können, um einer großen Anzahl von Patientinnen und Patienten helfen zu können.« Hoher Preis und geringe Verfügbarkeit: Das sind bislang die beiden Probleme. Für jeden Patienten und jede Patientin müssen die individuellen Zellen wochenlang unter Reinraumbedingungen in kleinsten Mengen gepäpelt werden – für andere Betroffene ist das Medikament nutzlos, da das Immunsystem die fremden Zellen nicht akzeptieren würde.

Im Fraunhofer-Leitprojekt RNAuto gehen Fraunhofer-Forschende beide Herausforderungen an. Daran beteiligen sich – koordiniert vom Fraunhofer IZI – die Fraunhofer-Institute für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM, für Experimentelles Software Engineering IESE, für Produktionstechnologie IPT, für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM und für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS. »Die Vision ist, die Kosten auf einen fünfstelligen Betrag zu drücken – eventuell gar auf ein Zehntel«, sagt Blache. Zum Vergleich: Auch

ein konventionelles Krebstherapeutikum verursacht im Laufe der Monate und Jahre Kosten im fünf- bis sechsstelligen Bereich. Auf lange Sicht könnte die neue Behandlung also nicht nur erfolgreicher sein, sondern zugleich kostengünstiger.

»Ein wesentlicher Aspekt hierbei wird die Automatisierung des Herstellungsprozesses und die vollständige Digitalisierung der Qualitätskontrolle sein«, ergänzt Rolf Hendrik van Lengen, Leiter des Forschungsprogramms »Digital Healthcare« am Fraunhofer IESE.

### Krebstherapie: mRNA statt viraler Vektoren

Diese Vision im Blick, krepeln die Forschenden die Herstellung auf links. Das bisherige Verfahren: Dem Patienten werden T-Zellen – also bestimmte Immunzellen – entnommen, diese werden in der Zellkultur vermehrt und genetisch modifiziert. Diese Modifikation führt dazu, dass die Immunzellen mit einem Rezeptor ausgestattet werden. »Diesen Rezeptor kann man sich wie einen Schlüssel vorstellen, der spezifisch zu Molekülen auf der Oberfläche der Krebszellen – dem Schloss – passt. Sobald Schlüssel und Schloss

zusammenfinden, wird dabei die Zerstörung der Krebszelle ausgelöst«, erklärt Blache. Um die molekulare Waffe über die schützende Zellmembran hinweg in die entnommenen Körperzellen einzuschleusen, nutzen pharmazeutische Hersteller virale Vektoren.

Das Fraunhofer-Team geht einen anderen Weg: Es verwendet stattdessen mRNA, kurz für Messenger-RNA – einzelsträngige, kurze Botenmoleküle. »Die mRNA trägt den Bauplan, um die Rezeptoren

für die jeweilige Krebsart in den T-Zellen zu produzieren. Für Brustkrebs muss sie daher anders aussehen als für Blut- und Lymphdrüsenkrebs«, sagt Blache. Die Zellen über mRNA statt über virale Vektoren zu »bewaffnen«, hat verschiedene Vorteile. Zum einen ist die mRNA als Ausgangsstoff günstiger als virale Vektoren – der erhoffte große Preissprung ist auf diesem Weg jedoch nicht zu erwarten. Weitaus wichtiger ist die größere Sicherheit für die Patientinnen und Patienten. ►

»Die Vision ist, die Kosten auf einen fünfstelligen Betrag zu drücken – eventuell gar auf ein Zehntel.«

Dr. Ulrich Blache,  
Fraunhofer IZI



Für jeden Patienten  
und jede Patientin  
müssen die  
**individuellen Zellen**  
wochenlang unter  
Reinraum-  
bedingungen in  
kleinsten Mengen  
gepäpelt werden.

»Die Verpackung der mRNA ist ein zentrales Moment.«

Rolf Hendrik van Lengen,  
Fraunhofer IESE



Denn die viralen Vektoren, die aktuell genutzt werden, integrieren sich stabil in das Genom der entnommenen Patientenzellen. Zwar lässt dies die CAR-T-Zellen über Jahre hinweg therapeutisch aktiv sein, die Langzeitfolgen dieser stabilen genetischen Modifikation sind bisher jedoch nicht bekannt. Nicht so bei der mRNA: Sie wird nicht in das menschliche Genom ein- und im Körper innerhalb weniger Tage abgebaut. »Bei der mRNA sind unvorhersehbare Langzeitfolgen daher sehr unwahrscheinlich«, bestätigt Blache.

### Patientenweit statt individuell

mRNA statt viraler Vektoren zu verwenden ist ein wichtiger Schritt. Allein damit werden die großen Herausforderungen jedoch nicht zu bewerkstelligen sein, schließlich bliebe es wie bisher bei wochenlanger Handarbeit für ein einziges patientenindividuelles Medikament. Die Forschenden wollen das wirkungsvolle Arzneimittel daher so gestalten, dass es sich für alle Patientinnen und Patienten eignet – man spricht dabei von »allogenen« Therapien. Auf diese Weise ließe sich nicht nur der Preis stark senken, sondern auch die Verfügbarkeit erhöhen. Schließlich könnten hundertfach größere Mengen produziert und die Herstellung in großen Teilen automatisiert werden. Auch die wochenlange Wartezeit der Betroffenen auf das Medikament fiele weg – allogene Arzneimittel lassen sich auf Vorrat produzieren.

Die Herausforderung ist groß. »Für allogene Therapeutika können wir keine T-Zellen verwenden, denn fremde T-Zellen würden vom Immunsystem des Patienten abgestoßen. Anders dagegen bei natürlichen Killerzellen, den NK-Zellen: Sie können patientenfremd über die immunologische Barriere hinweg gegeben werden«, sagt Blache. Erste Studienergebnisse hierzu sind vielversprechend. Was die endgültige Wirkung angeht, kann der Zellbiologe derzeit noch keine genaue Auskunft geben: »Wir sind hier an der vordersten Front der Forschung.« Was sich bereits abzeichnet: Für bestimmte Indikationen funktioniert der patientenweite

Ansatz gut. Künftig könnten sich nicht nur verschiedenste Formen von Krebs über die neuen allogenen Arzneimittel behandeln lassen, sondern – und das ist erwähnenswert – auch Autoimmunerkrankungen. Blache zeigt sich überzeugt: »Es gibt also einen Sprung dieser Behandlungsform in die Nicht-Krebs-Therapien. Das Thema wird immer größer, was den Druck auf neue Entwicklungen verstärkt.«

Nicht nur Krebstherapeutika haben die Forschenden im Projekt RNAuto im Blick, sondern auch mRNA-Impfstoffe, wie sie bei der COVID-19-Impfung weltweit erstmalig zugelassen und eingesetzt wurden. »Für die Herstellung von Impfstoffen können wir die gleichen Techniken nutzen wie für die mRNA-Therapeutika«, sagt Dr. Jasmin Fertey, Gruppenleiterin Impfstoff-Technologien am Fraunhofer IZI. Das Wirkprinzip: Via Injektion gelangt mRNA – also genetische Baupläne – in den Körper. Die mRNA ist hier bereits der Wirkstoff. Körperzellen lesen den Bauplan aus und stellen spezielle Proteine her, die auch das Virus besitzt: Das Immunsystem wird auf den Erreger »trainiert« und schützt den Körper, indem es entsprechende Antikörper produziert. Dringt tatsächlich

eines der Viren ein, wird dieses schnell erkannt und gezielt bekämpft. Die mRNA selbst ist – wie bei den Krebstherapeutika – nach einigen Tagen wieder abgebaut; zurück bleiben lediglich die Antikörper und ein immunologisches Gedächtnis.

### Gegen das West-Nil-Virus

Als Anwendungsbeispiel nutzen die Forschenden einen Impfstoffkandidaten gegen das West-Nil-Virus, das sich aufgrund des Klimawandels mehr und mehr Richtung Nordeuropa ausbreitet. Bislang

gibt es noch keinen zugelassenen Impfstoff. Einen Wirkstoffkandidaten jedoch haben die Forschenden am Fraunhofer IZI patentiert. An diesem mRNA-Impfstoff entwickelt das Forschungsteam beispielhaft die nötigen Produktionstechnologien und -anlagen – die sich ebenso auf die Herstellung von Krebstherapeutika übertragen lassen.

Die Forschenden wollen das wirkungsvolle Arzneimittel so gestalten, dass es sich für **alle Patientinnen und Patienten** eignet – man spricht dabei von **»allogenen« Therapien.**

Die Produktion entsprechender Mengen an mRNA-Wirkstoffen gelingt über eine Pilotanlage am Fraunhofer ITEM. Hier tüfteln die Forschenden gemeinsam mit ihren Kolleginnen und Kollegen vom Fraunhofer IZI an der guten Herstellungspraxis, der Good Manufacturing Practice GMP. »Insbesondere geht es darum, die Produktion der mRNA auf Mengen zu skalieren, wie sie für einen sicheren pharmazeutischen Prozess nötig sind«, sagt Blache.

Dazu gehört auch die Verpackung der mRNA. Gäbe man den mRNA-Impfstoff direkt in den Körper, würde er dort umgehend zersetzt. »Die Verpackung der mRNA ist ein zentrales Moment«, bestätigt van Lengen. Diese Aufgabe wird von einer Screening-Anlage der Fraunhofer-Institute IESE, IPT und IMM übernommen. Als Verpackungsmaterial dienen winzige Kügelchen aus Fettsäuren, sogenannte Lipide. Sie transportieren die genetische Fracht in ihrem Inneren an den Zielort. Allerdings braucht es für eine COVID-Impfung eine andere Lipidzusammensetzung als bei einer Impfung gegen das West-Nil-Virus; bei einem Krebstherapeutikum ändert sich die Zusammensetzung abermals. Wie gut die Verpackung gelingt, hängt nicht nur von Länge und Struktur der mRNA ab, sondern auch von der Größe, Viskosität und Ladung der Lipide, dazu von Maschineneinstellungen wie Druck, Fließgeschwindigkeiten und Temperatur.

## Mengen bis zum Industriemaßstab

Wie die optimale Verpackung für eine bestimmte mRNA aussieht und welche Verpackungsparameter nötig sind, wird eine Screening-Anlage künftig beantworten – und zwar für Mengen bis zum Industriemaßstab. »Sie verpackt die mRNA nicht nur automatisiert in die Lipidkügelchen, sondern übernimmt auch gleich die Qualitätskontrolle und speichert alle Informationen im Digitalen Zwilling ab«, sagt van Lengen. Das »Verpacken« an sich ist ein selbstorganisierter Prozess: Die mRNA verkapselt sich aufgrund biochemischer Reaktionen quasi automatisch im Inneren der Kügelchen. Dazu werden zwei Flüssigkeiten – eine mit mRNA, die andere mit Lipiden – über zwei Pumpen und einen Mikro-Mischer miteinander gemixt. Einfach ist der Prozess trotz der Selbstorganisation nicht. Schon Design und Bau des Mikro-Mischers werfen zahlreiche Fragen auf: Wie lassen sich die winzigen Lipid-Strukturen

so aufbauen, dass sie möglichst glatt sind und die Lipidkügelchen nicht wieder aufreißen? Wie können sie gereinigt werden?

## Qualitätskontrolle ohne Verlust

Eine Besonderheit der Anlage liegt in der Qualitätskontrolle. Musste bei der Produktion des COVID-19-Impfstoffes stets eine Probe gezogen und diese im Labor ausgewertet werden – was bei kleinen Produktionsmengen problematisch ist –, wird das Produkt nun etwa über die Lichtstreuung während der Produktion vermessen, ohne es zu dezimieren. Perspektivisch sollen zu kleine oder zu große Kügelchen über verschiedene Filtrationsverfahren direkt aussortiert werden können, ebenso solche, die zu wenig mRNA enthalten. Automatisiert geht auch die Dokumentation vonstatten, dank einer digitalen Prozesssteuerung. »Basierend auf den Messwerten, die wir über Sensoren etwa aus dem Fraunhofer IMM in Echtzeit erheben, versorgen wir mithilfe der am Fraunhofer IESE entwickelten Open-Source-Softwarelösung Eclipse BaSyx einen Digitalen Zwilling mit Daten«, sagt van Lengen. »Wir wissen also stets, welche Herstellungsparameter zu welcher Zeit vorlagen, und können den Prozess über den Vergleich von Qualität und Parametern optimieren. Damit übertragen wir das Thema Industrie 4.0 in die pharmazeutische Fertigung – im Sinne von Pharma 4.0 –, was komplettes Neuland ist.« Sobald die Anlage fertiggestellt ist, wird die mRNA gegen die Viruserkrankung West-Nil-Fieber automatisiert verpackt und am Fraunhofer IZI auf ihre Wirksamkeit getestet. Ende 2025 wird die Anlage, so der Plan, dann auch Industriepartnern zur Verfügung stehen. ■

Automatisierung im Herstellungsprozess und Digitalisierung in der Qualitätskontrolle können die neuen Therapien massenfähig machen.



# Besser unterwegs mit Bus und Bahn

Schnell, zuverlässig, unkompliziert – so sollte der ÖPNV sein, um die Verkehrswende voranzutreiben. Die Realität sieht oft anders aus. Wie Künstliche Intelligenz helfen kann.

Von Dr. Sonja Endres



**D**ie U-Bahn-Linie 3 flitzt bereits seit fast 16 Jahren in Nürnberg fahrerlos durch den Untergrund – sicher, verlässlich und mit einer Pünktlichkeitsrate von 98 Prozent. Die automatische Steuerung erlaubt eine doppelt so hohe Taktung, die optimierte Fahrweise führt zu geringeren Energie- und Instandhaltungskosten, der flexible Einsatz zusätzlicher Bahnen zu Spitzenzeiten ist leicht möglich, Personalmangel kein Problem. Kurzum: ein Erfolgsmodell, durch das die Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg nur zwei Jahre nach Einführung eine zweite U-Bahn-Linie auf fahrerlosen Betrieb umstellen konnte.

Etwa hundert vollautomatisierte Bahn-Systeme gibt es weltweit unterirdisch, doch im oberirdischen Schienenverkehr bleiben Lokführerinnen und Lokführer bisher unverzichtbar – die offen zugänglichen Strecken sind nur schwierig abzusichern. »Um-

gefallene Bäume, liegen gebliebene Züge, Personen auf den Gleisen – alles kann passieren«, verdeutlicht Dr. Gereon Weiß, Abteilungsleiter Automation Systems am Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS in München. Ein Zug ist daher mit U-Bahnen nicht vergleichbar, die sich exklusiv auf ihren Gleiskörpern in abgeschlossenen Tunnelsystemen bewegen. Im Projekt safe.trAIIn arbeitet Weiß gemeinsam mit 15 Partnern aus Industrie und Wissenschaft, Verbänden, Behörden, Prüf- und Standardisierungsorganisationen an einem fahrerlosen Regionalzug. Mithilfe Künstlicher Intelligenz (KI) soll der autonome Zug in Zukunft alle Gefahren zuverlässig erkennen und Pendler-Träume von einer höheren Zuverlässigkeit, mehr Verbindungen und kürzeren Wartezeiten wahr werden lassen.

Für dieses Ziel will Weiß zusammen mit seinem Team die KI bei der kamerabasierten Umfeldwahrnehmung verlässlicher machen. Eine Vielzahl von Hindernissen

muss sicher erkannt und unterschieden werden können. Zunächst legt das Projektteam daher die Rahmenbedingungen fest, unter denen die KI funktioniert und getestet worden ist, die sogenannte Operational Design Domain. Dann trainiert es die KI sowohl mit realen Daten von Teststrecken des Projektpartners Siemens Mobility als auch mit synthetischen, also per Computer erzeugten Bildern. So können die Forscherinnen und Forscher sichergehen, dass sie genügend variable Beispiele berücksichtigt haben, beispielsweise im Falle der Personenerkennung: Frauen, Männer, Kinder, halb verdeckt, von hinten, von vorn, von der Seite, bei Nebel, Regen, Schnee, nachts und tagsüber, vor Lärmschutzwänden, Laubbäumen, auf freiem Feld etc. Weiß erklärt: »Die eine Hälfte der Daten nutzen wir, um die KI zu trainieren. Mit der anderen testen wir sie.« Um sicherzustellen, dass die KI wirklich zuverlässig funktioniert, arbeiten er und



Kommen ganz ohne Fahrer aus: die U2 und U3 in Nürnberg. Sie verkehren im 100-Sekunden-Takt – und damit doppelt so häufig wie bei manueller Steuerung.

Auch Nicole Wagner-Hanl will den ÖPNV mithilfe von KI attraktiver machen. Die Betriebswirtin mit dem Schwerpunkt Wirtschaftsinformatik ist Projektleiterin für Personenmobilität und Digitalisierung am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML am Standort Prien/Chiemsee. Im Pilotprojekt KI4autoBUS, das im Dezember 2023 endete, gelang es ihr und ihrem Team, den autonomen Shuttleverkehr der DB Regio Bus im niederbayerischen Bad Birnbach wesentlich effizienter zu steuern. Seit acht Jahren sind die Fahrzeuge in dem kleinen Kurort im Testbetrieb unterwegs. Sie verkehren sowohl als Linienfahrzeug im ÖPNV als auch auf telefonische Anfrage und per App im sogenannten »On-Demand-Verkehr«. Mit den Buchungsdaten fütterten Wagner-Hanl und ihr Team eine selbstlernende KI: »So haben wir es geschafft, die Bedarfe der Reisenden vorauszusehen, die Routen zu optimieren, Wartezeiten zu reduzieren und die Fahrzeugauslastung zu verbessern.« Die KI wusste nach einiger Zeit sogar, wo Bedarf entsteht – noch bevor die Anfrage einging, stand das Shuttle an der Haltestelle.

Wagner-Hanl ist überzeugt: Der On-Demand-Verkehr ist eine große Chance, auch ländliche Regionen mit abgelegenen Orten wieder besser an den ÖPNV anzubinden. Statt große Linienbusse zweimal am Tag nahezu leer durch die Gegend zu schicken, könnten bedarfsorientiert Kleinbusse oder Sammeltaxis fahren. »Rottal-Inn ist einer der streusiedlungsreichsten Landkreise in Deutschland. Ein klassisches Linienangebot ist hier sehr teuer. On-Demand-Verkehrssysteme bieten eine kostengünstige, effiziente Alternative«, erklärt sie. Nicht nur die Fahrzeuggrößen wären flexibel anpassbar, sondern auch die Fahrzeugausstattung. Wird eine intelligente Rollstuhlrampe benötigt, die sich selbstständig ausfahren kann, oder eine sehbehindertengerechte Ausstattung mit Audio-Informationen? All das könnte im Vorfeld abgefragt und berücksichtigt werden. »Und wenn man zukünftig autonome Shuttles hätte, die im Unterschied zu heute ohne Begleitpersonal fahren, fallen auch weniger Personalkosten an.« Bei den Bad Birnbachern und Touristen ist das Fahren mit KI beliebt. »Manche kommen«, freut sich Wagner-Hanl, »sogar extra wegen der autonomen Shuttles dorthin.« ■

sein Team an weiteren Testverfahren und -methoden. Projektziel ist es, ein virtuelles Testfeld zu schaffen. Weiß: »Hier kann dann beispielsweise eine Bahnstrecke mit verschiedenen Herausforderungen abgefahren werden. Und wir überprüfen, ob das System alles korrekt erkennt.«

### Das Potenzial bei Zügen ist hoch

Resilienz gegen Streiks? Trotz aller Entwicklungsfortschritte wird sich der Lokführer so schnell nicht ersetzen lassen. Er ist nicht nur für das Fahren des Zugs verantwortlich, sondern überprüft beispielsweise auch die Oberleitungen auf Defekte oder erkennt und beseitigt Störungen am Fahrzeug. Außerdem fehlt bisher die nötige Infrastruktur. Grundlegende Voraussetzung für vollautomatisches Fahren ist die Ausrüstung der Strecken mit dem »European Train Control System« (ETCS). Das Zugsicherungssystem überwacht mit

hilfe von Sensoren beispielsweise die Geschwindigkeit und die Position des Zuges, überprüft, ob das Gleis frei ist, und erteilt automatisch Fahrtfreigaben. Stand 2023 waren laut Deutscher Bahn AG rund 500 Streckenkilometer mit ETCS ausgestattet, darunter die Sprinterstrecke München – Berlin. Das entspricht 1,6 Prozent des Gesamtnetzes. Weiß ist jedoch zuversichtlich, dass der Ausbau jetzt schnell Fahrt aufnehmen wird: »Wenn man CO<sub>2</sub> sparen will, muss man zwingend mehr auf die Schiene gehen.« Es sei zudem problemlos möglich, zunächst nur einzelne Streckenabschnitte umzustellen, die bereits mit ETCS ausgerüstet sind und über günstige Voraussetzungen verfügen. »Das Potenzial ist bei Zügen, die sich auf vorgegebenen Strecken bewegen müssen, wesentlich höher als bei autonom fahrenden Fahrzeugen in der Stadt. Der Zug hat nur leider bisher nicht so viel Aufmerksamkeit bekommen.«

# Bissig gegen Bakterien

Europäische Schlangen sind selten tödlich. Doch ihr komplexer Giftcocktail birgt wertvolles Potenzial, um Krankheiten zu bekämpfen. Biochemiker Dr. Tim Lüddecke analysiert das Gift der griechischen Milosviper – und findet vielversprechende Eigenschaften.

Von Mandy Bartel



Die Milosviper (auch Kykladenviper oder Milosotter) ist durchschnittlich 70 Zentimeter lang. Sie zählt zu den giftigsten Schlangen Europas, frisst vor allem Zugvögel – und jagt diese auch an ihren Schlafplätzen in den Ästen von Büschen und Bäumen.

**W**as anderen einen Schauer über den Rücken jagt, ist für Dr. Tim Lüddecke ein Grund, genauer nachzuforschen – vor allem, wenn es krabbelt oder sich schlängelt. Am Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME am Standort Gießen befasst sich der Wissenschaftler mit der Biochemie von Tiergiften und deren möglichen Verwendung. Aus den Giften von Spinnen, Ameisen oder Bienen konnte er bereits neue Biomoleküle isolieren, die gegen multiresistente Krankheitserreger helfen oder auch als Pflanzenschutzmittel dienen könnten.

Sein neuestes Forschungsobjekt ist noch weitgehend unbekannt. Es lebt nur auf einigen Inseln der griechischen Kykladen, vor allem auf Milos: Die Milosviper ist eine der wenigen europäischen Giftschlangen. Weil deren Gifte wesentlich ungefährlicher sind als die ihrer tropischen Artgenossen, sind sie auch viel weniger erforscht. Während Schätzungen zufolge weltweit über 100 000 Schlangenbisse pro Jahr tödlich enden, gibt es in Europa nur sehr vereinzelte Todesfälle, durchaus nicht selten aber Komplikationen.

Das Gift der Milosviper bekamen Tim Lüddecke und sein Team von einer Schlangenfarm. »Das Besondere an diesen Tieren ist, dass sie sich an ein recht enges Ökosystem angepasst haben und im Zuge dessen ihr Beutespektrum sehr auf Vögel eingengt ist«, erklärt der Leiter der Nachwuchsgruppe »Animal Venomics« am Fraunhofer IME. »Man weiß mittlerweile, dass Änderungen im Beutespektrum häufig mit Änderungen der Giftzusammensetzung einhergehen. Deswegen hat uns interessiert, ob ein solcher Effekt bei der Milosviper zu beobachten ist.« Da die Schlange eine nahe Verwandte der Levanteviper ist, der vermutlich gefährlichsten Giftschlange Europas, untersuchte das Team auch, ob ihr Gift einen ähnlichen Schaden anrichten kann.

### Giftküche der Natur

Schlangengift besteht aus um die hundert Komponenten – eine hochkomplexe Mischung aus Enzymen, Proteinen und Toxinen, die auf verschiedene Weisen wirken, um Beute zu lähmen

oder zu töten und die Verdauung zu erleichtern. Die meisten Bestandteile kommen nur in geringen Mengen vor, die wesentlichen lassen sich vier bis fünf Toxin-Familien zuordnen. Jede Schlangenart hat eine einzigartige Giftwirkung. Mit modernster Massenspektrometrie konnten die Forschenden am Fraunhofer IME erstmals die Zusammensetzung des Gifts der Milosviper identifizieren. »Die Herausforderung dabei ist zum einen, dass aufgrund der Giftigkeit große Vorsicht geboten ist, und zum anderen, dass sich Schlangengifte in gelöstem Zustand schnell abbauen«, gibt Lüddecke einen Einblick in seine Arbeit. »Sie werden daher als Feststoff gelagert und für Analysen in gewünschter Konzentration in Wasser gelöst. Die Experimente muss man jedoch zeitlich eng takten, da sonst die Ergebnisse verfälscht werden könnten.«

### Wirkstoffe gegen Infektionen



Jede  
Schlangenart  
hat eine  
einzigartige  
Giftwirkung.

In Untersuchungen im Rahmen eines Forschungsprojekts im LOEWE-Zentrum für Translationale Biodiversitätsgenomik konnte das Fraunhofer-Team zeigen, dass der Giftcocktail der Milosviper fast identisch mit denen verschiedener Unterarten der Levanteviper ist. Daher besitzt er auch eine vergleichbare Potenz. Neben der Identifikation der Bestandteile konzentrierte sich die Forschungsgruppe darauf, sie funktionell zu charakterisieren: »Wir haben mehrere Toxine identifiziert, die zu Proteinklassen mit bekannter Wirksamkeit gegen bakterielle Krankheitserreger gehören. Sie lassen sich also eventuell einsetzen, um neue Leitmoleküle für Wirkstoffe gegen Infektionskrankheiten zu entwickeln«, erklärt Lüddecke. Erste Aktivitätsstudien mit dem Gift belegten tatsächlich eine starke Wirksamkeit gegen einige medizinisch relevante Bakterien. Die Forschenden wollen diese Komponenten nun isolieren und weiterentwickeln. Doch auch darüber hinaus gibt es noch ungeahntes Potenzial in der Giftküche der Natur – und das direkt vor unserer Haustür: Im nächsten Schritt will Tim Lüddecke mit seinem Team auch in Deutschland lebende, weitgehend unerforschte Arten wie die Kreuzotter oder die Aspiviper ins Visier nehmen. ■



»Wir haben mehrere Toxine identifiziert, die zu Proteinklassen mit bekannter Wirksamkeit gegen bakterielle Krankheitserreger gehören.«

Dr. Tim Lüddecke,  
Fraunhofer IME



# Vom Klima bedroht

Starkregen, Stürme und Dürren zwingen selbst jahrhundertealte Bauten in die Knie. Wie kann es gelingen, unser kulturelles Erbe zu bewahren?

Von Dr. Sonja Endres

**H**agelkörner so groß wie Billiardkugeln prasselten am 26. August 2023 auf das Fraunhofer-Zentrum für Energetische Altbausanierung und Denkmalpflege im oberbayerischen Kloster Benediktbeuern. Sie beschädigten jedes Dach und jedes Fenster im Klosterdorf, in den Außenfassaden klafften zahllose Löcher. Auch in den angrenzenden Ortschaften wütete das Unwetter mit verheerenden Folgen. Die Versicherungskammer Bayern spricht vom drittgrößten Schadensereignis ihrer Geschichte. »So was habe ich in meinem ganzen Leben noch nie gesehen«, erzählt Prof. Ralf Kilian, Leiter der Kulturerbeforschung am Fraunhofer-Institut für

Bauphysik IBP. Er ist überzeugt: »Wir müssen unser kulturelles Erbe für solche Extremwetterereignisse in Zukunft besser wappnen.« Dafür erstellen er und sein Team individuelle Risikobewertungen von historischen Gebäuden und Baudenkmalern. Sie messen unter anderem hygrothermische Eigenschaften der alten Materialien, Feuchtigkeitsdurchlässigkeiten, die Luftwechselrate in den Räumen, Schadstoffbelastungen oder den mikrobiellen Bewuchs. So können sie Schwachstellen identifizieren, ein Konzept für den dauerhaften Erhalt entwickeln und gezielt präventive Maßnahmen einleiten.

Seit vierzehn Jahren arbeitet Kilian in und an der »Alten Schäfllerei« im ehema-

ligen Handwerksbezirk des Klosters Benediktbeuern. Früher wurden hier Fässer und andere Holzbehälter hergestellt, heute erforschen er und sein Team, wie sich historische Bausubstanz erhalten und schützen lässt – insbesondere vor den Auswirkungen des Klimawandels. Dabei dient das Gebäude aus dem Jahr 1760 nicht nur als Büro und Experimentier-Werkstatt, sondern auch als Sanierungsobjekt, an dem neue Methoden, Technologien und Materialien direkt ausprobiert werden können. Die »gläserne Baustelle« ist zugleich Forschungs- und Lernort: In Fortbildungen werden Bauschaffenden aus der Denkmalpflege die Forschungsergebnisse vermittelt und die innovativen Techniken gezeigt.



KI-generiert, aber trotzdem realistisch: Riesige Hagelkörner prasseln immer häufiger vom Himmel.

Vermutlich hätte eine Unterdachkonstruktion geholfen, die schlimmsten Hagelschäden in der »Alten Schäfllerei« abzuwenden, glaubt Kilian. Bei der Sanierung des Baudenkmals von 2010 bis 2016 war die ursprüngliche Konstruktion des Daches beibehalten worden. »Wir werden das jetzt bei der Reparatur korrigieren«, versichert er. »Wenn die Dachziegel noch mal brechen sollten, haben wir darunter eine zweite Dachhaut, sodass das Wasser einfach ablaufen kann, statt in die oberste Geschossdecke zu fließen.«

### Das Risiko für Fachwerkhäuser ist besonders hoch

Die verstärkten Niederschläge im Winter sind eine der größten Bedrohungen für historische Bauten in Deutschland. Allein für Bayern zeigen die Simulationen der Euro-Cordex-Initiative, die vom World Climate Research Programme gefördert wird, eine mittlere Zunahme von etwa 15 Prozent im Winterhalbjahr bis 2098. Vor allem für Fachwerkhäuser ist das Risiko einer Beschädigung hoch, ihre Baukonstruktion besonders anfällig. Eine der besterhaltenen Fachwerkstädte ist das mittelalterliche

»Wir müssen unser kulturelles Erbe für Extremwetterereignisse in Zukunft besser wappnen.«

Prof. Ralf Kilian,  
Fraunhofer IBP



Quedlinburg am Rande des Harzes. 1994 wurde es zum UNESCO-Weltkulturerbe ernannt. Allein 1300 Fachwerkhäuser gibt es hier, rund zwei Millionen sind es in Deutschland insgesamt.

Kilian hat in dem vom Bundesforschungsministerium geförderten Projekt KERES die Häuser mit dem typischen Skelettbau aus Holz detailliert untersucht und Maßnahmen zur präventiven Konservierung entwickelt, die auch vor Extremwetter besser schützen sollen. »Das Holz ist ständig in Bewegung, dehnt sich aus oder zieht sich zusammen. Besonders an den Fugen zwischen Holz und Ausfachung, also der Füllung zwischen den Balken, entstehen daher leicht Risse und es tritt gerade bei Starkregen Wasser ein«, erklärt er. Zusammen mit seinem Team arbeitet Kilian an einem innovativen Fassadenschutzsystem mit einem Putzträger aus Typha, einem Rohrkolbengewächs, das sich vor allem in Feuchtgebieten wohlfühlt. Kilian: »Wir wollen Platten aus Typha herstellen und damit die Fugen überdecken. So können wir die Wand vom Putz entkoppeln und schaffen ein flexibles System, das Feuchtigkeit aufnehmen kann.« Der innovative, nachwachsende Baustoff ►

ist auch zur Innendämmung geeignet. Der Anbau von Typha in sogenannten Paludikulturen auf wiedervernässten Moorflächen reduziert zudem CO<sub>2</sub>-Emissionen. Intakte Moore sind ein wesentlicher Klimafaktor: In der Torfschicht sind riesige Mengen an Kohlenstoff gespeichert. Typha ist also gleich doppelt wirksam: als Klimaschutz und als Feuchteschutz.

Sollte dennoch Wasser in die Gebäudewände eindringen, beispielsweise aufgrund von Hochwasser, hilft eine andere innovative Technologie aus dem Fraunhofer IBP: FastDry. Das Forschungsteam installierte das System im fränkischen Freilichtmuseum Bad Windsheim, wo zahlreiche Fachwerkhäuser infolge der Flutkatastrophe im Juli 2021 unter Wasser gestanden hatten. FastDry braucht nur 20 Prozent der Energie, die herkömmliche Geräte benötigen, trocknet wesentlich leiser und doppelt so schnell. »Die Geschwindigkeit ist entscheidend«, betont Kilian. Je schneller die Trocknung, desto geringer seien die Folgeschäden und Sanierungskosten.

Die FastDry-Trocknungsmodule werden direkt an den betroffenen Wänden angebracht. Die Paneele beinhalten ein Heizgewebe, ähnlich einer Heizdecke, dahinter

befindet sich eine feuchtigkeitsdurchlässige Dämmung, die die Wärmeenergie in der Wand hält. Das ist stromsparend und der Raum wird nicht unnötig aufgeheizt. Die Arbeitstemperatur liegt bei etwa 55 Grad Celsius – eine Erwärmung, die auch empfindliche Baumaterialien nicht schädigt. Die Feuchtigkeit entweicht durch das Panel in den Raum, wo sie einfach weg- gelüftet werden kann.

### Auch Dürren gefährden das kulturelle Erbe

Obwohl Nässe historischen Gebäuden und Baudenkmälern am meisten zusetzt, ist auch die zunehmende Trockenheit im Sommer ein großes Problem. Die ausgetrockneten Böden können dazu führen, dass sich die Fundamente der Häuser senken und an den Wänden Risse entstehen, die ihre Stabilität gefährden. In der antiken Stadt Petra im heutigen Jordanien peitschen wegen der Dürren vermehrt Sandstürme gegen die mehr als 2000 Jahre alten Fassaden. Sie schleifen den Stein ab und zerstören so das einzigartige, aus Felsen geschlagene Weltkulturerbe. Auch hier ist Kilian zusammen mit einem jor-

danischen Forschungsteam und britischen Kolleginnen und Kollegen von der Universität Oxford in Sachen Kulturerbeschutz im Einsatz. Mithilfe von Computer-Simulationen wollen sie verstehen, wie sich das Stadtklima der einstigen Metropole der Nabatäer verändert hat, und Maßnahmen identifizieren, die ihren Erhalt sichern. Ein Weg könnte sein, mehr Grün nach Petra zu bringen, wie man es heute auch in modernen Städten versucht, um den Folgen des Klimawandels zu trotzen. Kilian: »Pflanzen könnten die Fassaden vor Stürmen schützen und helfen, das Regenwasser über längere Zeiträume zu speichern. Die Verdunstungskälte senkt die hohen Temperaturen.« In Sommerschulen wollen er und sein Team in Petra Studentinnen und Studenten aus aller Welt verschiedene Risikoanalysemethoden vermitteln und mit ihnen an einer Klima-Anpassungsstrategie arbeiten, damit diese und andere antike Stätten auch für nachfolgende Generationen erhalten bleiben. ■

Das Hagelunwetter beschädigte die Klosteranlage Benediktbeuern schwer. Allein an der »Alten Schäferei« entstand ein Schaden von einer halben Million Euro.



Fotos: Birk/SDB (3)

# 75 Jahre Fraunhofer – ein Grund zum Feiern, ...



... weil Technik Zukunft bedeutet! Fraunhofer verbindet seit 75 Jahren Spitzenforschung mit der Praxis und ist dabei internationale Spitze. Happy Birthday und Gratulation zu diesem Erfolg! Der Freistaat ist

von Beginn an als Impulsgeber und enger Partner dabei. Fraunhofer und Bayern bilden eine tolle Allianz, die wir auch in Zukunft intensiv fortsetzen. Mit der Hightech Agenda investiert Bayern aktuell über 5,5 Milliarden Euro in Wissenschaft und Forschung im ganzen Land. Neben 13 000 neuen Studienplätzen und 1000 Professuren für die klügsten Köpfe fördern wir dabei bewusst den Wissenstransfer von der Forschung in die Praxis. »Live long and prosper!«

**Dr. Markus Söder, Ministerpräsident des Freistaates Bayern**



... weil die Fraunhofer Gesellschaft seit 75 Jahren mit enormer Innovationskraft und kreativen Ideen in der Wissenschaft und Forschung neue Impulse setzt. Gerade das Saarland braucht diesen Erfindungsreich-

tum, herausragende Forschungsergebnisse und den Mut, neue Wege zu gehen, um den Transformationsprozess erfolgreich voranzubringen. Ich gratuliere der Fraunhofer-Gesellschaft zu ihrem langjährigen erfolgreichen Arbeiten in der anwendungsorientierten Forschung, die wichtige Fortschritte für die Menschen und die Unternehmen vor Ort mit sich bringt.

**Anke Rehlinger, Ministerpräsidentin des Saarlandes**

FRAUNHOFER  
**75** JAHRE  
INNOVATION



... weil die Fraunhofer-Gesellschaft wie kaum eine andere Institution für Europas Spitzenposition in der angewandten Forschung steht. Unsere einzigartige europäische Forschungslandschaft, in Kombination mit dem Binnenmarkt und

der Fülle an innovationsfreudigen Mittelständlern ist der Treiber schlechthin für Wachstum und zukunftsfähige Arbeitsplätze in Europa. Vielen Dank und weiter so!

**Ursula von der Leyen,  
Präsidentin der Europäischen Kommission**



... weil die angewandte Spitzenforschung der Fraunhofer-Gesellschaft seit 75 Jahren ein Wachstumstreiber der deutschen Wirtschaft ist. Auch die aktuellen Herausforderungen unserer Zeit können wir nur mit Innovationskraft und Technologie-

offenheit meistern. Die Fraunhofer-Gesellschaft geht dabei mit leuchtendem Beispiel voran. Sie ist ein wichtiger Standortfaktor für unser Land.

**Christian Lindner, Bundesminister der Finanzen**



... weil Fraunhofer für Aufbruch, Innovationskraft und exzellente Forschung steht. Und weil die Fraunhofer-Institute mit ihren engagierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern immer wieder aufs Neue auch in Sachsen wichtige

Impulsgeber sind. Zudem hat die Forschungsgesellschaft ganz entscheidend mit dazu beigetragen, dass der Freistaat Sachsen sich nach der deutschen Wiedervereinigung so erfolgreich entwickeln konnte.

**Michael Kretschmer, Ministerpräsident des Freistaates Sachsen**

# Fraunhofer- Forschungshighlights



Machen Smartphones leistungsstärker und verbrauchen rund 30 Prozent weniger Energie: lithografisch hergestellte Mikrochips.

## 2019 Chip-Quantensprung

EUV-Lithographie ermöglicht, Mikrochips kleiner und leistungsfähiger zu machen, energiesparender und günstiger in der Herstellung – Voraussetzung für Fortschritte in Künstlicher Intelligenz, autonomem Fahren oder 5G. Die ersten Smartphones mit EUV-lithographisch hergestellten Mikrochips sind seit 2019 auf dem Markt. Entwickelt wurde die Technologie am Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena in Kooperation mit den Unternehmen Zeiss und Trumpf.

Seit 30 Jahren arbeitet Fraunhofer-Forscher Dr. Sergiy Yulin bereits an komplexen Schichtsystemen für EUV-Optiken, die das extrem kurzwellige EUV-Licht für die Fertigung von Mikrochips nutzbar machen sollen. Doch erst mit dem weltstärksten gepulsten Industrielaser der Trumpf AG und einem hochpräzisen Kollektorspiegel sowie Projektionsoptiken der Firma Zeiss gelang der Durchbruch. Das Verfahren ermöglicht, winzigste dreidimensionale Strukturen von sieben Nanometern auf Wafer zu übertragen – zum Vergleich: Ein menschliches Haar ist im Durchschnitt 70 000 Nanometer dick. Die innovative Technologie wurde im Jahr 2020 vom Bundespräsidenten mit dem Deutschen Zukunftspreis ausgezeichnet. Damit ist Fraunhofer zum neunten Mal unter den Preisträgern. ■

» Seit 75 Jahren Spitzenforschung und -technologie: Darauf darf man stolz sein, herzlichen Glückwunsch zum Jubiläum! Auch mein eigener Werdegang wurde durch meine Zeit als Doktorandin und Post-Doc am Fraunhofer IFU in vielerlei Hinsicht beeinflusst. So legte die Fähigkeit zum wissenschaftlichen Arbeiten den Grundstein für meine Karriere und ist bis heute entscheidend in meiner beruflichen Praxis.«



**Dr. Edeltraud Leibrock,**  
Partner & Managing  
Director, Connected  
Innovations; früher:  
Fraunhofer IFU



Fraunhofer-Industrieerträge 2023: Das größte Stück unseres selbst gebackenen Geburtstagskuchens in Spektralfarben gebührt der Elektroindustrie, dicht gefolgt vom Maschinen- und Fahrzeugbau.



Tests im S3-Sicherheitslabor zeigen: Die mithilfe von Elektronenstrahlen hergestellten Impfstoffe haben eine vergleichbare Schutzwirkung wie herkömmliche.

## 2021 Schutz vor Krankheiten

Impfstoffe schneller, umweltfreundlicher, effizienter und kostengünstiger herstellen – das ist mit einer neuen Technologie möglich, die an den Fraunhofer-Instituten für Zelltherapie und Immunologie IZI, für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP und für Produktionstechnik und Automatisierung IPA entwickelt wurde. Sie ermöglicht, Krankheitserreger mithilfe von Elektronenstrahlen innerhalb weniger Millisekunden zu inaktivieren.

Bei der Herstellung von Totimpfstoffen kommen bisher toxische Chemikalien wie Formaldehyd zum Einsatz, um Viren unwirksam zu machen. Das hat jedoch erhebliche Nachteile: So zerstören die giftigen Substanzen einen Teil der Virus-Außenstrukturen, belasten die Umwelt selbst bei fachgerechter Entsorgung und machen eine aufwendige Reinigung des Impfstoffs notwendig. Hinzu kommt: Je nach Virus kann die Inaktivierung Wochen oder gar Monate in Anspruch nehmen.

Für das innovative Verfahren wurde das Forschungsteam 2021 mit dem Fraunhofer-Preis »Technik für den Menschen und seine Umwelt« ausgezeichnet. Er wird alle zwei Jahre von der Fraunhofer-Gesellschaft, der Fraunhofer-Zukunftsstiftung, ehemaligen Vorständen, Institutsleitungen und anderen Förderern vergeben und ist mit 50 000 Euro dotiert. Verliehen wird er für Forschungs- und Entwicklungsleistungen, die die Lebensqualität von Menschen verbessern oder für eine nachhaltigere Umwelt sorgen. ■

Fotos: Sittiphong/istockphoto, privat, Vierthaler und Braun, Fraunhofer IZI

## FRAUNHOFER 75 JAHRE INNOVATION

### 2023

Am 25. Mai 2023 wird Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka zum 11. Präsidenten der Fraunhofer-Gesellschaft gewählt. Der Maschinenbauingenieur ist vertraut mit Fraunhofer: Von 2001 bis 2013 leitete er das Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt. Er tritt mit dem erklärten Willen an, Strukturen und Prozesse innerhalb der Gesellschaft zu modernisieren, zu konsolidieren und sich wieder verstärkt auf die marktorientierte Vertragsforschung zu konzentrieren.

### 2019

Das »Nationale Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheit ATHENE« nimmt als Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft die Arbeit auf. Beteiligt sind auch die Technische Universität und die Hochschule Darmstadt. ATHENE ist das europaweit größte Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheitsforschung und ein wesentlicher Bestandteil der Cybersicherheitsstrategie des Bundes.

### 2015

Die Fraunhofer-Gesellschaft gründet erstmals sogenannte regionale Leistungszentren. Hier arbeiten Fraunhofer-Institute eng mit der Wirtschaft und anderen Partnern vor Ort in thematisch verwandten Projekten zusammen, um Stärken zu bündeln und die Potenziale der Region zu nutzen. Den Anfang macht Freiburg, das als Standort für Spitzenforschung im Bereich Nachhaltigkeit ausgebaut werden soll. Die Pilotprojekte werden vom Land Baden-Württemberg, Unternehmen und der Fraunhofer-Gesellschaft finanziert. Kurze Zeit danach entstehen Leistungszentren in Erlangen und Dresden. Heute führen mehr als 20 Zentren passende Partner zusammen.

### 2024

Heute ist die Fraunhofer-Gesellschaft die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Sie betreibt 76 Institute und Forschungseinrichtungen und hat 32 000 Mitarbeitende, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, die an Lösungen für aktuelle gesellschaftliche Herausforderungen arbeiten – sei es im Bereich Klimawandel, Gesundheit oder Künstliche Intelligenz.

### 2020

Mit dem Aktionsprogramm »Fraunhofer vs. Corona« unterstützt Fraunhofer Wirtschaft und Gesellschaft im Kampf gegen die Pandemie. Sie forciert unter anderem die Forschung in der innovativen Diagnostik, der Impfstoff- und Medikamentenentwicklung, stellt IT-Kapazitäten bereit oder hilft schnell und unbürokratisch bei der Produktion von Komponenten für Schutz-ausrüstungen.

### 2017

Der Fraunhofer-Verbund Innovationsforschung ergänzt seit 2017 die bereits sieben bestehenden Institutszusammenschlüsse. Damit entsteht erstmals ein Verbund mit sozioökonomischer Ausrichtung, dem fünf Institute angehören. Sie sollen die Veränderung von Branchen, Märkten und Technologien frühzeitig erkennen und sich verstärkt in der Politikberatung engagieren.

### 2007

Um auf den Weltmärkten konkurrenzfähig zu bleiben, braucht es dringend technologische Innovationen. Die Bundesregierung beruft die »Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft« ein, ein Gremium aus führenden Wissenschaftlern und Unternehmern, das der Fraunhofer-Präsident Prof. Hans-Jörg Bullinger gemeinsam mit dem Präsidenten des Stifterverbandes für die deutsche Wissenschaft leitet. Die Mitglieder formulieren Forschungsaufgaben und geben der Politik konkrete Handlungsempfehlungen. Auf Initiative der Forschungsunion bilden sich insgesamt neun Innovationsallianzen mit einem Finanzvolumen von 3,8 Milliarden Euro. Die Fraunhofer-Gesellschaft verstärkt ihre Präsenz in Berlin durch das Fraunhofer-Forum, ein Kongress- und Tagungszentrum im SpreePalais, in das auch ein eigenes Hauptstadtbüro einzieht.

## Fraunhofer-Forschungshighlights

Die proteinreichen Lupinen gehören zur Pflanzenfamilie der Hülsenfrüchtler – genau wie Erbsen, Kichererbsen oder Erdnüsse.



## 2014 Nachhaltige Ernährung

Die Weltbevölkerung wächst, das Ackerland wird knapp – was sichert die Ernährung der Zukunft? Zum Beispiel proteinreiche Lupinen, sind Forschende des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV überzeugt. Das von ihnen gewonnene Protein-Isolat aus der heimischen Wildblume bildet heute die Grundlage für verschiedene Neuentwicklungen auf dem Lebensmittelmarkt und wurde 2014 mit dem Deutschen Zukunftspreis ausgezeichnet. Dem Forschungsteam gelang es, den bitteren, grasig-bohnigen Geschmack der proteinreichen Samen der Blauen Süßlupine zu neutralisieren – und damit den Einsatz im Lebensmittelbereich zu ermöglichen. Das Lupinenprotein ist je nach Herstellungsverfahren vielseitig verwendbar – beispielsweise als Milchersatz in Speiseeis, als Joghurt oder als Erfrischungsgetränk. Lupinen sind anspruchslos, für ihren Anbau müssen keine Regenwälder abgeholzt werden wie für Soja, sie gedeihen auch in Deutschland hervorragend. Durch den Verzehr pflanzlicher Lebensmittel können Anbauflächen deutlich effizienter genutzt werden. Zum Vergleich: Will man die gleiche Menge Protein aus Schweinefleisch gewinnen wie aus Getreide oder Hülsenfrüchten, wird eine etwa fünfmal so große Anbaufläche benötigt. ■

## 2009 Solarzellen-Weltrekord

Nach den Ölpreiskrisen 1973 und 1979 forciert die Fraunhofer-Gesellschaft die Forschung im Bereich regenerative Energien. 1981 wird in Freiburg das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE gegründet, das den Wirkungsgrad von Solarzellen immer weiter steigern kann.

Während 90 Prozent aller Kristalle für Solarzellen aus Silizium gewonnen werden, experimentieren die Freiburger Spezialisten bereits früh mit alternativen Elementen wie Gallium, Indium, Arsen und Phosphor und kreieren daraus vielversprechende innovative Halbleiterverbindungen. Je nach Zusammensetzung der Halbleiterschichten entstehen Kristalle, die das Sonnenlicht in verschiedenen Wellenlängenbereichen absorbieren. Stapelt man Einzelsolarzellen aus Halbleitern mit unterschiedlicher Zusammensetzung übereinander, so lässt sich das breitbandige Sonnenlicht optimal ausschöpfen und in elektrischen Strom umwandeln. Mehr als zehn Jahre lang tüfteln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an den Mehrfachsolarzellen, bis ihnen Anfang 2009 ein Weltrekord gelingt: Sie können mit ihren speziell aufgebauten Solarzellen einen Wirkungsgrad von 41,1 Prozent erreichen. Auch heute stammt die effizienteste Solarzelle der Welt von Fraunhofer. Sie hat einen Wirkungsgrad von 47,6 Prozent – rund zehnmal mehr als die erste Solarzelle, die 1953 in den USA erfunden wurde. ■

Mithilfe eines Sonnensimulators lässt sich der Wirkungsgrad von Solarzellen präzise bestimmen. Hier im Test: das weltweit effizienteste Silizium-Photovoltaik-Modul aus dem Fraunhofer ISE.



## 2005

Die verstärkte interne Vernetzung und die Bündelung von Kompetenzen zeigt Erfolg: Die Fraunhofer-Gesellschaft kann ihre Wirtschaftserträge 2005 im Vergleich zum Vorjahr um 36 Prozent steigern. Der »Pakt für Forschung und Innovation«, eine Forschungsförderinitiative des Bundes und der Länder, garantiert Fraunhofer eine Steigerung der Grundfinanzierung um jährlich drei Prozent und verschafft ihr so Planungssicherheit.

## 1997

Nachdem bereits 1984 der Verbund Mikroelektronik entstanden war, schließen sich seit 1997 verstärkt weitere Fraunhofer-Institute zu thematisch orientierten Verbänden zusammen, entwickeln gemeinsame Marketingkonzepte und Forschungsstrategien. Die Zentrale unterstützt die institutsübergreifende Zusammenarbeit mit internen Förderprogrammen.

## 1993

Während die Wirtschaftserträge der Institute deutlich wachsen, werden die staatlichen Zuschüsse bedingt durch die Kosten für die Wiedervereinigung und einen rigorosen Sparkurs nur zögerlich aufgestockt. Die Institute rücken näher zusammen und einigen sich mit dem »Leitbild 2000« auf eine gemeinsame Strategie, die unter anderem auf eine engere Vernetzung und klarere Schwerpunkte abzielt.

## 1983

Als Informationstechniker erkennt der neue Fraunhofer-Präsident Prof. Max Syrbe schnell das Potenzial der Computerisierung. Er lässt alle Arbeitsplätze auf den neuesten informationstechnischen Stand bringen. Um die Effizienz zu steigern, ruft er eine Fortbildungsinitiative für Führungskräfte ins Leben. Professionelles Projektmanagement soll zukünftig helfen, Kosten zu sparen. Die Maßnahmen sind erfolgreich: Von 1984 bis 1989 wächst die Vertragsforschung um 107 Prozent, die Wirtschaftserträge steigen sogar um 136 Prozent.

FRAUNHOFER  
**75** JAHRE  
INNOVATION

## 2002

Die Verbundstruktur der Fraunhofer-Gesellschaft wird ausgebaut. Mehr als 50 Institute arbeiten jetzt in sieben Verbänden: Produktion, Life Sciences, Light & Surfaces, Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS, IUK-Technologie, Mikroelektronik, Verteidigungs- und Sicherheitsforschung (VVS). Eine Satzungsänderung gewährt den Verbundvorsitzenden mehr Mitsprache. Von nun an müssen sie in die Entscheidungsfindung des Vorstands miteinbezogen werden.

## 1994

Die Fraunhofer-Gesellschaft gründet 1994 mit Fraunhofer USA ihre erste selbstständige Auslandsgesellschaft. Sie fungiert als Dachgesellschaft für Außenstellen, sogenannte Resource Center, die eng mit einzelnen Fraunhofer-Instituten in Deutschland kooperieren. Zwei Jahre später entstehen Vertretungen in Malaysia, Singapur und Peking. Sie sollen helfen, Kontakte in den wichtigen Wirtschaftsräumen der Welt zu knüpfen. In den folgenden Jahren wird die Internationalisierung mit weiteren Auslandsgesellschaften und Repräsentanzen kontinuierlich vorangetrieben.

## 1990

Mit der deutschen Wiedervereinigung eröffnet sich die Chance auf neue Expansion. Die Fraunhofer-Gesellschaft ergreift schneller und konsequenter als andere Forschungsorganisationen die Gelegenheit und gründet in den neuen Bundesländern 21 Institute und Einrichtungen. Sie starten 1991 mit ersten Arbeiten – zunächst oft in provisorischen Notquartieren.

## 1978

Die Fraunhofer-Gesellschaft feilt an einem einheitlichen Erscheinungsbild und baut eine professionelle Pressearbeit auf, um sich einer breiten Öffentlichkeit bekannt zu machen. Alle Institute werden in »Fraunhofer-Institut für ...« umbenannt.

» Häufig wechseln Fraunhofer-Wissenschaftler und -Wissenschaftlerinnen in die Wirtschaft, Industrie oder zu anderen Innovationsorganisationen. So stehe auch ich nach meinem Wechsel von Fraunhofer FOKUS zur Initiative D21 mit »meinem« Institut nach wie vor in engem Austausch, u. a. als strategische Beraterin im Kuratorium. Auch über den Fraunhofer-Alumni e.V. kann man in Kontakt mit den Instituten bleiben, über den Tellerrand blicken, voneinander lernen und gemeinsam wachsen. Es ist eine Brücke zwischen Vergangenheit und Zukunft, die den Austausch von Erfahrungen und Ideen fördert.«



**Lena-Sophie Müller,**  
Geschäftsführerin der  
Initiative D21 und  
Mitglied im Digitalrat des  
Bundesministeriums für  
Verteidigung; früher:  
Fraunhofer FOKUS

» Mein gesamtes bisheriges Berufsleben hat mich die Fraunhofer-Gesellschaft begleitet. Hier habe ich erste Führungserfahrung gesammelt und auch später habe ich noch engen Kontakt gehabt durch verschiedene Kooperationen und Gremientätigkeiten. Hierfür bin ich meinen alten und neuen Weggefährten aus der »Fraunhofer-Welt« sehr dankbar. Ich wünsche der Fraunhofer-Gesellschaft für die Zukunft, dass sie – wissenschaftlich unabhängig und eng verbunden mit ihren Industriepartnern – weiterhin ein erfolgreicher Wegbereiter für unsere gesamte Volkswirtschaft ist.«



**Dr.-Ing. Michael Mertin,**  
ehemaliger Vorstandsvorsitzender  
Jenoptik AG;  
früher: Fraunhofer ILT

## Fraunhofer-Forschungshighlights



### 1995 Durchbruch bei LEDs

LEDs werden aufgrund ihrer geringen Leuchtkraft zunächst vor allem für Display-Anzeigen in Geräten verwendet. Das ändert sich 1993: Der Japaner Shuji Nakamura entwickelt die erste hellstrahlende blaue LED, kurze Zeit später auch eine weiße. 2014 erhielt er für seine Forschungsleistung den Nobelpreis. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörper-

physik IAF verhelfen der Innovation 1995 zum Durchbruch: Ihnen gelingt es, das weiße Licht kostengünstig und schnell mit nur einem Leuchtdiodenchip herzustellen. Weltweit wird das Prinzip in der Industrie mit Begeisterung aufgenommen, umgesetzt und die Energieeffizienz der LED immer weiter gesteigert – auch von Forscherinnen und Forschern des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena. Gemeinsam mit der Firma OSRAM erhalten sie für ihre Hochleistungs-LED-Module den Deutschen Zukunftspreis des Bundespräsidenten 2007. ■

Heller – schneller – stärker: LEDs made by Fraunhofer. Das war der Deutschen Post 1999 sogar eine Sondermarke wert.



»Meine Erfahrungen bei der Fraunhofer-Gesellschaft haben meinen beruflichen Werdegang entscheidend geprägt: die Möglichkeit, frühzeitig Erfahrungen in verschiedenen, sehr aktuellen digitalen Themen zu sammeln, mit herausragenden Forscherinnen und Forschern in Kontakt zu treten und Digitalisierung zum Wohle der Gesellschaft voranzutreiben. Das hat mein Verständnis und meine Fähigkeiten in diesem Bereich deutlich erweitert und mir ein breites Netzwerk ermöglicht. Die weltweite Bekanntheit und der exzellente Ruf der Fraunhofer-Gesellschaft, mit der wir als Fujitsu an vielen Stellen zusammenarbeiten, unterstreichen den hohen Stellenwert, den ich dieser Forschungseinrichtung beimesse.«



**Isabel Netzband, Head of Public Policy & Governmental Affairs Central Europe, Fujitsu; früher: Fraunhofer-Verband Informations- und Kommunikationstechnologie**



Mehr Infos zu Fraunhofer-Alumni



Der erste iPod wird am 23. Oktober 2001 vorgestellt. Er wiegt nur 185 Gramm und bietet Platz für etwa 1000 Songs.

### 1995 Musik-Revolution

Ein neues Dateiformat revolutioniert Ende der 1990er-Jahre die Musikindustrie: mp3. Entwickelt wurde es am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS. Das Verfahren reduziert die Größe von Musikdateien um 90 Prozent – ohne wahrnehmbare Verluste bei der Klangqualität. Der Trick: Nur die für das menschliche Ohr gut hörbaren Frequenzen werden genau dargestellt, andere werden weggelassen oder ungenau abgebildet, sodass sie keinen unnötigen Speicherplatz beanspruchen. 1995 bekommt die revolutionäre Methode mit dem sperrigen Namen »MPEG-1 Audio Layer III« die Dateierdung .mp3 zugeteilt – mp3 ist geboren und tritt im Internet seinen Siegeszug an. Erstmals wird es möglich, Audiodateien schnell und problemlos zu versenden. Musiktäuschbörsen wie Napster entstehen und mp3-Abspielgeräte wie der



iPod von Apple erlauben es plötzlich, Tausende Songs mitzuführen statt nur eine CD mit wenigen Titeln. All das verändert den Kauf und Konsum von Musik nachhaltig. Die Fraunhofer-Gesellschaft gründet mit den mp3-Lizenzern im dreistelligen Millionenbereich im November 2007 die Fraunhofer-Zukunftsstiftung, die seitdem finanzstark den Aufbau neuer Patente fördert. ■

» Meine Promotion mit Fraunhofer war der erhoffte Ausbildungsplatz, um Uni-Theorie mit Inhalt zu füllen, mit dem »Industrie-Filter« auf Relevanz und dem Anspruch, Neues zu erschaffen. In meinem Start-up habe ich nun die Seiten gewechselt und bin jetzt König (alias Kunde). Fraunhofer ist für mich eine State-of-the-Art-Forschungsabteilung und maßgeblich am Gelingen meiner Ziele beteiligt. 75 Jahre Fraunhofer – Glückwunsch, auf gute Zusammenarbeit und vielen Dank für alles!«



**Dr. Miro Taphanel, Gründer und Geschäftsführer Gixel; früher: Fraunhofer IOSB**

» Meine Zeit am Fraunhofer ISE hat mir ein äußerst solides Handwerkszeug für meinen Berufsweg mitgegeben. Mithilfe der hervorragenden technischen Ausstattung, unglaublich kompetenter Kolleginnen und Kollegen und vor allem der äußerst hohen Motivation am Institut konnte ich einen reichen Erfahrungsschatz aufbauen, den ich auch nach vielen Jahren immer wieder nutzbringend einsetzen kann.«



**Dr. Stefan Reber, Geschäftsführer/Managing Director TPRC GmbH, Gründer sowie ehemaliger Managing Director NexWafe GmbH; früher: Fraunhofer ISE**

» An meinem Institut habe ich einzigartige Gedankenfreiheit erlebt und bekam Unterstützung für meine Idee. Damit sind wir nicht nur bei Kunden erfolgreich, sondern gewannen zudem einen Transferpreis. Auch heute noch stehe ich für die Weiterentwicklung des selbstlernenden Assistenzsystems von Peerox im engen Austausch mit Fraunhofer. Für interessierte Gründerinnen und Gründer ist Fraunhofer ein ideales Ökosystem, um mit großer Nähe zur Industrie neue Technologien zu entwickeln und Märkte zu verstehen.«



**Andre Schult, Gründer und CEO Peerox GmbH; früher: Fraunhofer IVV Dresden**

## 1972

Das sogenannte »Fraunhofer-Modell« entsteht, das zukünftig die Finanzierung der Institute regelt: Wachsen die durch Vertragsforschung erwirtschafteten Mittel, so erhöhen sich auch die staatlichen Zuschüsse. Diese völlig neue erfolgsabhängige Grundfinanzierung löst eine immense Dynamik aus und führt zu einem für nicht möglich gehaltenen Wachstum. Zeitgleich erhält die Fraunhofer-Gesellschaft eine neue Satzung und erstmalig einen hauptamtlichen, dreiköpfigen Vorstand mit klar definierten Geschäftsbereichen, mehr Kompetenzen und deutlich hervorgehobener Führungsrolle des Präsidenten.

## 1959

Zehn Jahre nach ihrer Gründung umfasst die Fraunhofer-Gesellschaft neun Institute, beschäftigt 135 Mitarbeitende und hat ein Finanzvolumen von 3,6 Millionen D-Mark erreicht. Sie hält an ihrem Expansionskurs fest. Zahlreiche Forschergruppen finden bei ihr eine sichere Existenz und eine wissenschaftliche Heimat. Der politisch einflussreiche Wissenschaftsrat empfiehlt 1964, Fraunhofer institutionell zu fördern.

## 1951

In den ersten Jahren sieht die Fraunhofer-Gesellschaft ihren Auftrag vor allem darin, Fördergelder einzutreiben und an einzelne Forscherinnen und Forscher weiterzureichen. 1951 wird der nordrhein-westfälische Industrielle Wilhelm Roelen zum neuen Präsidenten gewählt, der ehemalige Weimarer Reichskanzler Hans Luther übernimmt den Senatsvorsitz. Im selben Jahr erhält die Gesellschaft finanzielle Mittel aus dem European-Recovery-Programm der USA, dem sogenannten »Marshallplan« – ein Erfolg der ehrenamtlich tätigen Geschäftsführung, der die zunehmende Anerkennung in der Politik zeigt.

## 1976

Mit dem »Fraunhofer-Programm zur Förderung der Vertragsforschung mit kleinen und mittleren Unternehmen« erschließt die Gesellschaft einen wichtigen neuen Kundenkreis. Die Institute können mittelständischen Unternehmen attraktive Angebote machen, denn der Staat fördert 40 bis 60 Prozent der Projektkosten. Die Aufträge bringen innerhalb eines halben Jahres eine Vielzahl von Prozess- und Produktinnovationen.

## 1968

Die Wirtschaftswunderjahre sind vorbei. Um die Konjunktur wieder anzukurbeln, setzt die Politik verstärkt auf die Entwicklung innovativer Technologien: Die Ära der angewandten Forschung hat begonnen. Das Bundesforschungsministerium bezuschusst die Fraunhofer-Gesellschaft erstmals mit zwei Millionen D-Mark und installiert 1968 eine »Kommission zur Förderung des Ausbaus der Fraunhofer-Gesellschaft«, die eine neue Struktur und Satzung ausarbeitet.

## 1954

Der neu gewählte Präsident Hermann von Siemens, ein Enkel des Erfinders und Konzerngründers Werner von Siemens, erkennt die Notwendigkeit, eigene Forschungskapazitäten aufzubauen, um sich gegen die Konkurrenz behaupten zu können. Gleichzeitig wird der Tätigkeitsbereich von Bayern auf das gesamte Bundesgebiet ausgeweitet. Am 1. Juni 1954 gründet die Fraunhofer-Gesellschaft ihr erstes Institut mit sieben Mitarbeitern, das Institut für Angewandte Mikroskopie, Photographie und Kinematographie IMPK in Mannheim. Wenige Monate später übernimmt sie die Betreuung von vier Instituten des Bundesverteidigungsministeriums. Als Gegenleistung erhält sie regelmäßige Zahlungen, die es ihr erlauben, weitere zivile Institute ins Leben zu rufen.

## 1949

Am 26. März 1949 wird die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. in München gegründet. Die Initiatoren hoffen, auf diese Weise die wirtschaftliche Entwicklung zu beleben und die Industrialisierung im landwirtschaftlich geprägten Bayern voranzubringen. Schirmherr und erster Senatsvorsitzender ist Hugo Geiger, Staatssekretär im Bayerischen Wirtschaftsministerium, erster Präsident der Kernphysiker und Münchner Universitätsrektor Prof. Walther Gerlach.

FRAUNHOFER  
**75** JAHRE  
INNOVATION

2024

# Wissenschaftsjahr Freiheit

Was bedeutet Freiheit in einer Hightech-Gesellschaft? Wie beeinflussen KI & Co unsere Freiheit? Wie vertrauenswürdig sind diese Technologien und die Entscheidungen, die sie treffen? Diesen Fragen geht Fraunhofer im Wissenschaftsjahr 2024 nach.

## Fraunhofer-Termine

22.–26.04. Hannover Messe  
14.05.–27.09. MS Wissenschaft  
16. + 17.05. Bonner Wissenschaftsnacht  
22.06. Berlin: Lange Nacht der Wissenschaft  
27.–30.06. München: Festival der Zukunft  
01.11. Berlin Science Week

# Jeder Tropfen zählt

Lack bringt Glanz in den Alltag. Doch beim Lackieren geht viel vom Sprühnebel verloren. Das kostet Geld, verschwendet Ressourcen und ist nicht nachhaltig. Das Fraunhofer IPA tritt an, Schluss zu machen mit dem »Overspray«.

Von Manuel Montefalcone

**J**eder Tropfen Lack ist für sich einzigartig, keiner gleicht dem anderen. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA haben es dennoch geschafft, die Lackeigenschaften zur Tropfenbildung zu untersuchen und Vorgaben für Lacke und Düsen zu erarbeiten. Hintergrund ist das sogenannte »Overspray«, ein Umstand, »der die gesamte Branche bereits seit Jahren bewegt«, erklärt Projektleiter Thomas Hess. Overspray bezeichnet den Teil des Sprühnebels, der beim Lackieren überschüssig anfällt und nicht auf dem Werkstück landet. Die Folge sind ein unnötiger Lackverbrauch, aufwendige Reinigungsarbeiten in der Lackier-Kabine und eine komplexe Anlagentechnik. »Das ist weder nachhaltig noch ressourcenschonend«, sagt Hess, »und schon gar nicht kosteneffizient.«

## Um Overspray zu vermeiden

und so die Effizienz beim Lackieren zu erhöhen, könnte der Lack mit Einzeltropfen aus den Düsen punktuell aufgetragen werden. Hierfür haben Thomas Hess und Franz Balluff vom Fraunhofer IPA die Physik und Chemie hinter den Beschichtungsstoffen untersucht. Im Rahmen des Projekts DigitalPainting forschten die Wissenschaftler an der Applikation, Schichtbildung und der Zusammensetzung der Lacke. Nach zahlreichen Versuchen und Simulationen entwickelten

sie Modell-Lacke und untersuchten deren Einflüsse auf die Tropfenbildung. So erarbeiteten sie ein wissenschaftliches Fundament, bestehend aus Kennlinien, Lackeigenschaftenprofilen, Düsengeometrien und Prozessparametern.

## Die Überführung der wissenschaftlichen Erkenntnisse

in ein Simulationsmodell resultierte schließlich in der Entwicklung einer umfassenden Toolbox. Diese bietet Herstellern von Lacken und Applikationstechnik sowie Lackierbetrieben eine neue Lösung zur oversprayfreien, hoch individualisierten und kostensparenden Lackierung. »Die unterschiedlichsten Branchen, in denen ›oversprayfrei‹ beschichtet werden soll, können von unserer Toolbox profitieren: vom Holzbeschichter bis hin zum Fahrzeughersteller«, so Hess, »denn eine selektive Beschichtung und Zweifarbigkeit wird ohne aufwendiges Masking ermöglicht«. Nun besteht ein branchenweites Interesse – insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen wollen oversprayfrei, effizient und kostensparend lackieren.

Auch die Jury des Otto-von-Guericke Preises, verliehen von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), konnten Thomas Hess und Franz Balluff überzeugen: Das Forscherteam erhielt die Auszeichnung im Jahr 2023, als Würdigung seiner herausragenden Leistung auf dem Gebiet der industriellen Gemeinschaftsforschung. ■



# (Umwelt-)Bewusster bummeln

Online-Shoppen boomt. Es ist einfach, es ist bequem – und hat Auswirkungen auf die Umwelt. Wie sich CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Kauf im Netz senken lassen, haben Fraunhofer-Forschende herausgefunden.

Von Yvonne Weiß

**V**om Klick bis zum Klingeln dauert es im Schnitt 48 Stunden. Dann liegt es auch schon vor der Tür, das bestellte Paket: Schnell. Praktisch. Unkompliziert. Auf ihrer Reise vom Lagerregal ins Wohnzimmer hinterlassen die rund 2,1 Milliarden Päckchen, die Kundinnen und Kunden jährlich in Deutschland empfangen, allerdings Spuren – nicht nur im Netz, sondern auch in der Umwelt.

Im Auftrag des Bundesverbands E-Commerce und Versandhandel haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI in der »Studie zur ökologischen Nachhaltigkeit des Onlinehandels in Deutschland« erstmals den gesamten Bestellprozess und dessen klimatische Folgen analysiert: von der Suche nach dem Produkt über dessen Bestellung, Weiterverarbeitung, Verpackung und Versand bis hin zur potenziellen Rücksendung. Die Berechnungen zeigen: Die Ökobilanz eines Onlinekaufs schwankt je nach Einzelfall stark – aber sie lässt sich steuern.

**Ab der Bestellung im Shop, über Verpackung und Transport** bis hin zur möglichen Retoure verur-

sacht ein Onlinekauf durchschnittlich etwa so viel Treibhausgasemissionen wie ein Verbrenner-Pkw auf einer Neun-Kilometer-Fahrt. Das entspricht bei 2,1 Milliarden Päckchen im Jahr etwa 18,9 Milliarden Kilometern – 126-mal dem Weg von der Erde bis zur Sonne.

Auf ihrer Reise vom Lagerregal ins Wohnzimmer hinterlassen die rund **2,1 Mrd.** Päckchen Spuren – nicht nur im Netz, sondern auch in der Umwelt.

Im schlechtesten Fall verursacht eine Bestellung laut Studie 4426 Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Das entspricht beinahe 27 Kilometern, die mit einem Durchschnitts-Pkw zurückgelegt werden. Die gute Nachricht: »Im besten Fall fällt gerade einmal ein Zehntel der Emissionen an«, betont Prof. Matthias Gotsch, Projekt- und Studienleiter am Fraunhofer ISI.

Die tatsächliche Umweltbelastung einer Bestellung hängt von vielen Faktoren ab: Wie lange und über welches Endgerät wird die Ware gesucht und geordert? Wie gut sind die Fahrzeuge beim Transport ausgelastet? Werden die Pakete – wichtig besonders im ländlichen Raum – gebündelt zugestellt?

Entscheidend für die CO<sub>2</sub>-Bilanz eines Päckchens sind die letzten Kilometer, die es auf seiner Reise zurücklegt. »Wird das Paket durch ein Elektrofahrzeug zugestellt, spart das ein Viertel der

Emissionen, die pro Bestellung anfallen«, erklärt Clemens Brauer, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ISI. »Das ist ein enormer Hebel für mehr Umweltschutz beim Onlinekauf.«

**Auch die Verpackung sei ein Schlüssel** für mehr ökologische Nachhaltigkeit, ist sich Matthias Gotsch sicher. Viele Waren könnten etwa direkt im Produktkarton versandt werden; das Verpackungsaufkommen würde so beinahe um ein Viertel schrumpfen. Auch Mehrwegversandtaschen seien denkbar. Laut Berechnungen könnten sie bis zu 98 Prozent der Treibhausgas-Emissionen im Bereich der Verpackungen einsparen. Voraussetzung dafür seien ausreichend Umläufe der robusten Versandtaschen, ihre spätere Recy-

clingfähigkeit sowie die Bereitschaft der Konsumentinnen und Konsumenten, das Pfand zurückzugeben.

Die Studie zeigt außerdem: Wird die Ware an eine Packstation in fußläufiger Nähe oder einen Paketshop geliefert statt vor die Haustür, spart das die Hälfte der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Lieferverkehrs. Der Kauf gebrauchter Ware über sogenannte Re-Commerce Plattformen schont die Umwelt zusätzlich. Auch Rücksendungen sollten Verbraucherinnen und Verbraucher wenn möglich vermeiden – sie verantworten 13 Prozent der Treibhausgasemissionen des Transports im Onlinehandel. So können Kundinnen und Kunden mit wenigen Klicks selbst steuern, wie ökologisch sie mit ihrer Bestellung handeln. ■

Landet die Ware an einer Packstation anstatt vor der Haustür, spart das die Hälfte der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich Lieferverkehr.

Mehr Freude beim Auspacken:  
Ein paar Klicks machen den  
Onlinekauf ökologischer.



# Speichern unter: DNA

Daten in DNA lagern? Das geht! Ein Fraunhofer-Konsortium will mithilfe biologisierter Technik leistungsfähige Datenträger schaffen, die kaum Platz brauchen.

Von **Stefanie Smuda**

**T**raditionelle Speicherlösungen kommen zunehmend an ihre Grenzen: Bis 2027 soll das weltweite Datenvolumen auf unvorstellbare 284 Zettabyte anwachsen. Ein Zettabyte entspricht einer Trilliarde Bytes – das ist eine 1 mit 21 Nullen. Was nicht im gleichen Maße wächst, ist der zur Verfügung stehende Speicherplatz. Trotzdem müssen immer größere Datenmengen langfristig archiviert werden. Im interdisziplinären Projekt BIOSYNTH forschen deshalb drei Fraunhofer-Institute gemeinsam an einem alternativen Datenspeicher: Er soll viel Volumen be-

reitstellen und besonders klein sein. Möglich machen soll das die Biologisierung der Technik: Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wollen Desoxyribonukleinsäure (DNS; englisch: DNA) als Basis für ein Speichermedium verwenden.

»Noch ist diese Zukunftstechnologie in Europa wenig erforscht«, sagt Dr. Uwe Vogel, Abteilungsleiter Mikrodisplays und Sensorik am Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS und Koordinator des Projekts. Das soll sich jetzt ändern.

Die Fraunhofer-Institute für Photonische Mikrosysteme IPMS, für Zelltherapie und Immunologie IZI-BB und für Toxiko-

logie und Experimentelle Medizin ITEM entwickeln gemeinsam eine modulare, hochdurchsatzfähige Mikrochip-Plattform für künftige Massendatenspeicher aus synthetischer DNA. Das Projekt startete im Juni 2022 und bedeutete für das Konsortium zunächst Grundlagenforschung – allerdings mit vielversprechenden Aussichten: Synthetische DNA hat das Potenzial, ein nachhaltiges, ressourcenschonendes, langlebiges und platzsparendes Speichermedium zu werden. Um einen biologischen Massendatenspeicher mit hoher Speicherdichte und Beständigkeit zu entwickeln, muss sich die DNA-Synthese allerdings deutlich ver-

DNA statt Disketten:  
Fraunhofer-Forschende  
arbeiten am Datenspeicher  
der Zukunft.



Bis 2027 soll  
das weltweite  
Datenvolumen auf

**284**  
**Zettabyte**  
anwachsen.

bessern. Eine Hochdurchsatz-Technologie gibt es bislang dafür noch nicht.

### Der Trick mit den Basen

Wie aber lässt sich DNA als Speichermedium nutzen? Unsere DNA setzt sich aus den Basen Adenin (A), Thymin (T), Cytosin (C) und Guanin (G) zusammen, ihre unterschiedliche Anordnung definiert unseren DNA-Bauplan. Ähnlich funktioniert der Binärcode zur Verarbeitung digitaler Informationen. Um DNA als Massenspeicher einzusetzen, werden daher zunächst digitale Informationen in DNA-Sequenzen umgewandelt: Dafür wird ein binärer Code aus Nullen und Einsen in eine Sequenz der Nukleotide A, C, G und T übersetzt. So entsteht ein künstlicher DNA-Strang. Ziel von BIOSYNTH ist es, fehlerfreie Sequenzen mit bis zu 250 Nukleotiden zu erzeugen.

Dieser Vorgang, die Codierung, findet ebenso wie die Decodierung digital statt. Für die Synthese und die Sequenzierung der DNA sind zusätzlich maschinelle Prozesse nötig. Die Mikrochip-Plattform, die das Fraunhofer-Konsortium entwickelt, ermöglicht u. a. eine thermische Synthese. Dafür sind auf dem Chip tausende winzige Heizelemente integriert: Sie unter-

stützen die Synthese mikrobiologischer Moleküle, wie zum Beispiel DNA, RNA oder Peptide. Organische Leuchtdioden (OLEDs) und Photodioden überwachen diesen Vorgang. Künftig sei auch denkbar, dass OLEDs den mikrobiologischen Syntheseprozess aktivieren, erklärt Vogel. Auf diese Weise lassen sich Moleküle nach einem vorgesehenen Bauplan künstlich zusammensetzen und als Datenspeicher nutzen. Erste Technologiedemonstratoren haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bereits entwickelt.

### Viel Platz, keine Fehler

Im Projekt verfolgen sie vor allem drei Ziele: Sie wollen die Speicherdichte drastisch erhöhen ebenso wie die Geschwindigkeit, mit der die Daten geschrieben, also Bits und Bytes in DNA übertragen werden können. Zudem steht die Fehlerfreiheit im Fokus: Da es beim Schreiben und Lesen der Daten zwangsläufig zu einzelnen Fehlern kommt, müssen diese erkennen- und korrigierbar sein. Zu allen Punkten hat das Konsortium bereits Lösungsansätze gefunden: Die Speicherdichte lässt sich mithilfe der synthetischen Mikrobiologie erhöhen. »Neun Terabyte (TB) codierte

DNA-Bits können in einem Kubikmillimeter gespeichert werden. Eine einzelne DNA-Base passt in einen Kubiknanometer«, sagt Vogel. Die heute raumfüllenden Synthese-Geräte sollen durch portable, energiearme und kostengünstige Systeme ersetzt werden. Dadurch wird kommerzielle, biologisch basierte Datenspeicherung möglich, die zudem nahezu unendliche Haltbarkeit verspricht. Das verdeutlichen etwa Forschungsergebnisse zur DNA in Neandertalerknochen.

Mit moderner Mikroelektronik lässt sich die Schreibgeschwindigkeit drastisch erhöhen, indem Schreibvorgänge parallel durchgeführt werden. Zudem arbeiten die Fraunhofer-Experten und -Expertinnen an einem On-Chip-Monitoring. Es erkennt Fehler schon während des Schreibvorgangs und veranlasst, dass die Daten sofort korrigiert werden.

Von einer solchen Mikrochip-Plattform profitieren nicht nur Anwender, die große Datenmengen archivieren müssen – wie etwa das Bundesarchiv oder Krankenkassen. Vogel ist überzeugt: »Die Potenziale dieser Technologie sind enorm, auch in der Chip-Industrie oder beispielsweise in der Molekülsynthese zur Wirkstoffentwicklung.« ■



Bei der Erforschung kleinster Mikrostrukturen stört jedes Haar: Dr. Maximilian Lederer leistete einen entscheidenden Beitrag, um ferroelektrisches Hafniumoxid besser zu verstehen und für vielfältige Anwendungen nutzbar zu machen.

## 1. Preis: Dr. Maximilian Lederer

# Material mit Superkraft auf der Spur

Eine neue Eigenschaft eines altbekannten Materials ermöglicht künftig schnellere, energiesparendere, umweltfreundlichere und sicherere Speicher, aber auch neuronale Netze für Künstliche Intelligenz (KI). Dr. Maximilian Lederer hat mit seiner Dissertation wesentlich dazu beigetragen, Hafniumoxid besser zu verstehen und zu verarbeiten – und wurde dafür jetzt mit dem 1. Platz der Hugo-Geiger-Preise ausgezeichnet.

Von Mandy Bartel

In der Materialwissenschaft passiert es nicht alle Tage, dass etwas Bekanntes noch mal neu entdeckt wird. Genauer gesagt: eine neue Eigenschaft, die zu völlig neuen Anwendungen führen kann. So geschehen 2011 in Dresden. Der Stoff, aus dem diese Geschichte ist, heißt Hafniumoxid, kurz  $\text{HfO}_2$ . Das weiße, kristalline Material zählt zu den funktionalen Keramiken und ist kein Unbekannter in der Halbleiterbranche. Seit Langem kommt es wegen seiner elektrisch isolierenden Eigenschaften bei der Herstellung von Transistoren zum Einsatz – dann wurde seine neue Superkraft bekannt: Ferroelektrizität.

Ferroelektrische Materialien können ihre Atome nach oben oder unten hüpfen lassen – wie ein Lichtschalter – und sich dadurch spontan elektrisch polarisieren. Die Richtung dieser Polarisation lässt sich durch ein äußeres elektrisches Feld umschalten. Damit wurden  $\text{HfO}_2$ -Schichten plötzlich für ganz andere Einsatzfelder interessant: etwa für sogenannte FeRAM-Chips (Ferroelektrische Random-Access-Memory), die Daten auch ohne Stromversorgung speichern können und deshalb für Raumfahrtanwendungen, autonomes Fahren oder Quantencomputer geeignet sind. Aber auch für Sensoren oder für neuromorphe Bauelemente, wie sie in KI-Systemen eingesetzt wer-

## Hugo-Geiger-Preis

# Ehrenpreis für Nachwuchs- wissenschaftler

Mit dem Hugo-Geiger-Preis ehrt der Freistaat Bayern gemeinsam mit der Fraunhofer-Gesellschaft jedes Jahr drei junge Wissenschaftlerinnen oder Wissenschaftler für herausragende Promotionsleistungen im Bereich der angewandten Forschung.

den. Gegenüber anderen Ferroelektrika, die bislang dort zur Anwendung kamen, hat Hafniumoxid erhebliche Vorteile: Es ist bleifrei und damit wesentlich umweltfreundlicher als seine bleihaltigen Alternativen. Technologisch erlaubt es viel dünnere Schichten von 10 statt 500 nm in den Speicherchips und damit am Ende wesentlich kleinere Bauteile und Endgeräte.

### Ferroelektrizität besser verstehen

Als Dr. Maximilian Lederer einige Jahre nach dieser Neuentdeckung als Student in einer Vorlesung der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg davon hörte, war auch er elektrisiert. Zwar war der Effekt bekannt, doch noch waren die Struktur und Verhaltensweise von Hafniumoxid nur unzureichend verstanden. Deshalb konnte es noch nicht zuverlässig in neuen Anwendungen eingesetzt werden. Der Erlanger wollte das ändern und ging in seiner Dissertation an der Technischen Universität Dresden zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS der nanostrukturellen Beschaffenheit des Materials auf den Grund. Dazu vereinte er Wissen aus Festkörperphysik, Materialwissenschaft, Informatik sowie Elektrotechnik. Zu Tage förderte er gleich mehrere bedeutende Erkenntnisse: Durch eine neue

Analysemethode konnte er so tief wie niemand zuvor in die Mikrostruktur und -prozesse von  $\text{HfO}_2$  blicken und sie visualisieren. So konnte er das Kristallisationsverhalten des Materials erstmals genau nachvollziehen – und damit zum Beispiel hinsichtlich des Kornwachstums weiterentwickeln und optimieren.

Neben der Ferroelektrizität belegte Lederer so auch die damit verbundene Ferroelastizität des Materials. »Bisher dachte man, man könne die Polarisation der Atome nur durch Anlegen einer elektrischen Spannung umschalten«, erklärt der Forscher. »Ich konnte zeigen, dass dies auch durch eine mechanische Spannung möglich war, also beispielsweise durch Drücken oder Ziehen.« Das ist von enormer Bedeutung für die Verarbeitung von  $\text{HfO}_2$ : Produktionsschritte müssen so angepasst werden, dass mechanische Einwirkungen keine Veränderungen in den dünnen Schichten bewirken und damit die Zuverlässigkeit verringern.

Schließlich fand er eine Lösung für ein weiteres Problem: Das Material von der amorphen in die kristalline und damit ferroelektrische Phase zu bringen, war in der Fertigung bisher auf thermische Methoden begrenzt, die hohe Temperaturen erforderten. Lederer entwickelte mit der FINK-Methode – das steht für feldinduzierte Kristallisation – einen besseren Ansatz: »Mit der feldinduzierten Kristallisation reicht es aus, eine elektrische Wechsellspannung anzulegen, um die Ferroelektrizität herbeizuführen. Diese hält auch dann noch an, wenn die Spannung nicht mehr anliegt. Damit erhält man sogar bessere und robustere Eigenschaften als über das thermische Verfahren«, so Lederer. Die Methode hat einen weiteren Vorteil: Die Schaltkreise mit  $\text{HfO}_2$ -Speichern sind durch die feldinduzierte Kristallisation auch sicherer, denn die Hardware erlaubt eine Datenverschlüsselung in drei Dimensionen und ist gleichzeitig von außen nicht mehr auslesbar.

Die Arbeit von Dr. Maximilian Lederer hat nicht nur die Wissenschaftswelt, wo er bislang über 800 Mal zitiert wurde, sondern auch die Industrie aufhorchen lassen. Momentan arbeiten mehrere Hersteller wie Sony oder X-FAB daran, Speicherchips mit ferroelektrischem Hafniumoxid in ihre Produkte zu integrieren und sie so schneller, energie- und platzsparender zu machen. Auch der Dresdner Chiphersteller GlobalFoundries testet derzeit in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IPMS ferroelektrische Speicherbauelemente in einer Forschungs- und Entwicklungslinie. Die größtmögliche Zuverlässigkeit der Bauteile ist für alle ein wichtiger Erfolgsfaktor. Und daran hat Maximilian Lederer entscheidend mitgewirkt. Als Lead Scientist arbeitet er bei Fraunhofer weiter daran, die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Hafniumoxid weiter zu erforschen. ■

**Zum zweiten und dritten Preis** ►

## 2. Preis: Dr. Sascha Dick

# Wie das Kino ins Wohnzimmer passt

Wie lassen sich Filme effizienter und zudem barrierefrei streamen? Wie können realistische Klangszene in Virtual-Reality-Anwendungen in Echtzeit wiedergegeben werden? Und: Wie hören wir überhaupt im dreidimensionalen Raum? Antworten hat Dr. Sascha Dick in seiner Dissertation gefunden – und dafür den 2. Platz der Hugo-Geiger-Preise bekommen.

**E**in gemütlicher Heimkinoabend, ein spannender Blockbuster, eine Schüssel Popcorn. Und jetzt eintauchen ins Abenteuer. Wichtig dabei: das Hörerlebnis. Realistisch und einhüllend soll es sein, als wäre man mitten im Geschehen. Doch, Moment, was hat der Hauptdarsteller gerade gesagt? Manchmal ist es schwierig, zwischen üppiger Geräuschkulisse und Dialogen zu unterscheiden. »Um dieses Problem zu lösen, muss man verstehen, wie genau Menschen räumlich hören«, weiß Dr. Sascha Dick. Seit mehr als 16 Jahren arbeitet er am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen. Hier wurde Ende der 90er-Jahre mp3 erdacht. Das Prinzip der Audio-komprimierung ermöglichte es, die Größe von Musikdateien deutlich zu reduzieren, ohne den Hörgenuss zu schmälern. Der Unterschied: »Was unsere Ohren wahrnehmen und was nicht, ist in Stereo leicht zu berechnen«, sagt der Forscher, »in 3D-Audio wird es wesentlich komplexer, denn in Kinoproduktionen kommen bis zu 128 verschiedene Klangquellen zusammen.«

Wie bei mp3 geht es um intelligentes Vereinfachen ohne wahrnehmbare Einbußen, um den 3D-Klang effizient ins Wohnzimmer zu holen. Dafür hat Sascha Dick in seiner Dissertation eine Methode entwickelt, die die Schallquellen zu wenigen Audioobjekten zusammenfasst und damit reduziert. Um herauszufinden, welche Schallquellen das menschliche Gehör in 3D wie wahrnimmt, führte er zunächst zahlreiche Hörtest-Experimente durch. Im Schalllabor hörten seine Probanden Piepen, Brummen, Rauschen und andere Töne aus verschiedenen Richtungen und sollten ihre Wahrnehmung beschreiben. Bei der Auswertung stellte der Forscher fest: »Die Lokalisierungs-genauigkeit von räumlich verteilten Schallquellen lässt sich auch analytisch durch eine hochauflösende physikalische Schallmessung an den Ohren bestimm-

Schafft den perfekten 3D-Klang für zu Hause: Dr. Sascha Dick vom Fraunhofer IIS.



men und vorhersagen. Damit kann man den Aufwand wesentlich reduzieren und die Messung ist genauer.«

### Eine Landkarte fürs räumliche Hören

Basierend auf diesen Erkenntnissen entwickelte der Forscher psychoakustische Modelle, welche die Wahrnehmung der Lautstärkeverteilung in einer Klangszene, die Lokalisierungs-genauigkeit und Maskie-

»Ein wichtiger Befund war die Richtungsabhängigkeit unserer Fähigkeit, Klänge zu orten.«

Dr. Sascha Dick



Foto: Paul Pulkert / Fraunhofer IIS

rungeffekte in 3D-Audio-Szenen beschreiben und modellieren. Diese Modelle kalibrierte er auf die Ergebnisse seiner Hörexperimente: »Ein wichtiger Befund war zum Beispiel die Richtungsabhängigkeit unserer Fähigkeit, Klänge zu orten«, so Dick. »Weil wir in der horizontalen Ebene genauer hören als oben und unten, ist der wahrgenommene Abstand zwischen rechts und links größer als zwischen oben und unten. Dies stelle ich in einem perzeptuellen Koordinaten-

system dar, das es erlaubt, die Lokalisierungsgenauigkeit von Schallquellen besser zu berücksichtigen und damit Audioinformationen effizienter zu verarbeiten.«

Basierend auf diesen psychoakustischen Modellen entwickelte der Forscher Algorithmen, um die 3D-Audio-Szenen wahrnehmungsbasiert zu vereinfachen und zu kodieren. Nach dem Motto »Was man nicht genau unterscheiden kann, muss auch nicht getrennt übertragen werden« können also Klangquellen zusammengefasst werden, die das menschliche Gehör nicht auseinanderhalten kann. Auf diese Weise gelingt es, die Komplexität von 3D-Audio um den Faktor 10 zu verringern. Statt Tonspuren von 60 Schallquellen zu übertragen, genügen 6 konsolidierte Audioobjekte für ein realistisches Hörvergnügen – ohne qualitative Abstriche. Damit reduziert sich nicht nur der Rechenaufwand bei der Audiocodierung, sondern auch die benötigten Übertragungsraten beim Streaming drastisch. Die Erkenntnisse und Algorithmen von Sascha Dick fließen parallel in den neuen, von Fraunhofer maßgeblich vorangetriebenen Audio-Standard MPEG-H ein, dem Urenkel von mp3.

### Bessere Sprachverständlichkeit

In der Praxis ist das Verfahren neben dem Heimkino auch interessant für mobile VR-/AR- oder Gaming-Anwendungen, weil damit qualitativ hochwertige 3D-Audioszenen in Echtzeit zur Verfügung stehen. Und es bietet einen weiteren entscheidenden Vorteil: Je voller und vielfältiger die Klangszene in einem Film sind, umso schwerer wird es mitunter, die Sprecher zu verstehen. Menschen mit eingeschränktem Hörvermögen erlaubt dieses Verfahren, die Audioszenen personalisiert aufzubereiten.

»Durch die intelligente Zusammenfassung zu räumlichen Audioobjekten kann ich die Dialog-Schallquellen und die Geräusch-Schallquellen separat halten«, so der Audioexperte. »So lässt sich die Sprachverständlichkeit bei Hintergrundgeräuschen und Musik verbessern, indem man die Dialoge anhebt oder den Rest dimmt. Dann wäre auch ein Sprecher, der sich im Raum bewegt, in jeder Position gut zu hören.« In Zukunft könnte es also einen Knopf für klare Sprache auch für 3D-Audioinhalte geben – und dem Kinoklangerlebnis im eigenen Wohnzimmer stünde wirklich nichts mehr im Wege. Außer vielleicht das Knacken des Popcorns. ■

In Kino-  
produktionen  
kommen bis zu

# 128

verschiedene  
Klangquellen  
zusammen.

### 3. Preis: Dr. Susann Allelein

## Post von der Zelle

Zellen kommunizieren über winzige Informationspakete. Lange Zeit hielt man sie für den Mülleimer der Zelle. Heute weiß man: Sie bieten großes Potenzial, um etwa Krebs mit nur einem Tropfen Blut oder Urin zu erkennen. Dr. Susann Allelein hat in ihrer Dissertation Lösungen gefunden, die Zellpost zu isolieren und zu charakterisieren. Dafür erhält sie den 3. Platz der Hugo-Geiger-Preise.

**J**ahr für Jahr erkranken in Deutschland 500 000 Menschen an Krebs. Jede und jeder Zweite erhält im Laufe seines Lebens diese Diagnose. Dann beginnt ein Wettlauf mit der Zeit. Werden die Tumore früh genug aufgespürt, stehen die Heilungschancen oft gut. Deshalb arbeiten Forschende seit langer Zeit daran, nicht nur die Therapien, sondern vor allem die Früherkennung zu optimieren. Gängige Verfahren wie invasive Gewebebiopsien sind jedoch häufig zeitaufwendig, ungenau und setzen eine gewisse Tumorgroße voraus. Zudem bergen sie immer ein Infektionsrisiko und sind nicht beliebig oft wiederholbar. Weitaus schneller und weniger riskant sind Untersuchungen von Flüssigproben wie Blut oder Urin, um Tumormarker zu bestimmen.

In diesen Körperflüssigkeiten finden sich Millionen sogenannter extrazellulärer Vesikel, die bislang weitgehend unerforscht waren. »Man kann sich die Vesikel wie kleine Pakete vorstellen, die jede Zelle zu Kommunikationszwecken über Körperflüssigkeiten verschickt, mit Absender, Adresse und Basisinformationen«, erklärt Dr. Susann Allelein vom Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI in Leipzig. »Sie sind quasi der Spiegel der Zelle. Auch Krebszellen bilden und sekretieren Vesikel, die etwa von organspezifischen Zielzellen aufgenommen werden, um prä-metastatische Nischen zu formen. Das können wir nutzen.« Die Ökotrophologin ist für ihre Dissertation zur Isolierung und Charakterisierung von Prostatakrebs-spezifischen extrazellulären Vesikeln aus Flüssigbiopsie-Proben mit dem dritten Platz der Hugo-Geiger-Preise 2023 ausgezeichnet worden.

#### Vom Zellmülleimer zum Hoffnungsträger

Lange Zeit hatte man extrazelluläre Vesikel für Zellmüll gehalten. Erst in den vergangenen Jahren hat das wissenschaftliche Interesse daran stark zugenommen, denn ihr Potenzial ist groß: Zum einen enthalten sie mit Proteinen, RNA oder Lipiden krankheitsspezifische Informationen über die genaue Zusammensetzung von Zellen, zum Beispiel von Tumorzellen, was sich für die Diagnostik nutzen lässt. Zum anderen können sie auch als Transportmittel für therapeutische Wirkstoffe infrage. Die Crux: Alle, also auch gesunde Zellen, bilden und verschicken verschiedene Arten von extrazellulären Vesikeln. Damit gleicht es der Suche nach der Nadel im Heuhaufen, aus der Fülle an Zellbriefen diejenigen

»Die Vesikel sind quasi der Spiegel der Zelle.«

Dr. Susann Allelein

zu finden, die von etwaigen Tumorzellen stammen. Dazu kommt: Die Teilchen sind mit nur wenigen Nanometern bis Mikrometern so winzig wie Viren und damit mit konventionellen Methoden der zellulären Forschung schwer zu fassen. Um sie für die medizinische Diagnostik und Therapie zugänglich zu machen, musste also ein Weg gefunden werden, sie zu isolieren und in der Vielzahl die relevanten Vesikel zu erkennen.

In ihrer Dissertation wollte Susann Allelein herausfinden, ob sich extrazelluläre Vesikel für die Früherkennung von Prostatakrebs nutzen lassen. Sie konzentrierte sich auf Prostatakrebs, weil deren spezifische Proteine gut erforscht sind. »Diese Krebszellen – und damit auch die davon stammenden Vesikel – tragen zum Beispiel das Prostata-spezifische Membranantigen (PSMA) auf ihren Oberflächen. Um





Wird Krebs früh erkannt, steigen die Therapiechancen. Dr. Susann Allein legte mit ihrer Forschung wichtige Grundsteine dafür.

dieses Oberflächenprotein auf den Vesikeln direkt aus Körperflüssigkeiten zu analysieren, entwickelten wir ein Antikörper-Mikroarray zur klinischen Diagnostik, mit dem sich erstmals bis zu 33 Oberflächenproteine aus einer Probe und eine Vielzahl von Patientenproben parallel untersuchen lassen«, so die Forscherin. Zudem erdachte sie eine spezifische Anreicherungsmethode, mit der sich die Vesikel mit PSMA magnetisch mithilfe sogenannter Fängermoleküle von der Masse der irrelevanten Vesikel aus den Urin- oder Blutproben isolieren lassen.

### **Manchmal kommt es anders, als man denkt**

Dann gab es einen überraschenden Schlüsselmoment während ihrer Doktorarbeit: »Die Ergebnisse waren vielversprechend, aber PSMA stellte sich am Ende leider als nicht geeigneter Marker heraus. Vesikel

spiegeln zwar die Zellen wider, aber es gibt Ausnahmen. Und eine solche Ausnahme war PSMA«, erklärt Allein. Doch davon ließ sich die Wissenschaftlerin nicht entmutigen – denn mit ihrer Arbeit hatte sie wichtige Grundlagen geschaffen für die noch sehr junge, aber vielversprechende Forschung an extrazellulären Vesikeln.

Nun will Allein weitere Marker untersuchen und ihre Methoden auf andere Erkrankungen anwenden, etwa Alzheimer. »Ein weiterer Vorteil der extrazellulären Vesikel ist, dass sie die Blut-Hirn-Schranke passieren können. Deshalb lassen sich damit neuronale Informationen im Blut finden und analysieren«, schaut die Hugo-Geiger-Preisträgerin in die Zukunft. »Auch therapeutisch lassen sie sich nutzen. Dazu beginnen wir gerade zu erforschen, ob die Vesikel der CAR-T-Zellen Potenzial für eine unterstützende Krebsbehandlung haben.« ■

Foto & Fraunhofer

## WowWow für den Hund

Wer seinen Hund liebt, der streichelt ihn nicht nur ausgiebig, sondern pflegt sein Fell auch sorgfältig. Denn der beste Freund des Menschen ist hautsächlich ein Sensibelchen: Hunde neigen zu dermatologischen Erkrankungen. Unter der atopischen Dermatitis etwa, einer Form der Neurodermitis, leiden 10 bis 15 Prozent der Hunde: Die Haut ist trocken und juckt das Tier. Das ständige Kratzen wiederum begünstigt Entzündungen.

Pflegende Shampoos und Cremes können helfen. Doch seit 2013 gilt ein EU-weites Tierversuchs-Verbot für Kosmetika. Damit veterinärmedizinische Pflegeprodukte und Therapeutika dennoch auf Wirksamkeit und Verträglichkeit getestet werden können, haben die Molekularbiologin Dr. Anke Burger-Kentischer und ihr Team am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart nun ein Vollhaut-Äquivalent gezüchtet, das nahezu identisch ist mit echter Hundehaut.

Projekt WowWowSkin: Die Originalhaut als Ausgangsgewebe für das Hautäquivalent stammt von Tierarztpraxen, in denen für medizinisch notwendige Operationen immer wieder mal Hundehaut entfernt werden muss. »Die Suche nach der richtigen Zusammensetzung der Enzyme und Nährmedien benötigte eine ganze Reihe von Versuchen«, erinnert sich Dr. Burger-Kentischer. Doch die Geduld hat sich gelohnt: Neben therapeutischen Prozessen lassen sich auch Fellpflegeshampoos und -seifen mit den Hautäquivalenten testen. Burger-Kentischer: »Wenn man dann eine Substanz aufbringt, zeigt sich schnell, ob das Medikament wirkt, wirkungslos bleibt oder sich das Krankheitsbild sogar verschlimmert, beziehungsweise ob ein Pflegeprodukt die Haut belastet oder gar schädigt.«

Erste Hersteller haben bereits Interesse an dem Vollhaut-Äquivalent angemeldet. Das Fraunhofer-Team will nun In-vitro-Hundevollhaut für unterschiedliche Rassen entwickeln sowie Hautäquivalente für Pferde und Katzen: »WowWow« für alle.



So wie die Augen als Spiegel der Hundeseele gelten, reflektiert das Fell seine Gesundheit. Umso wichtiger ist es, bei der Haut- und Fellpflege nur auf nachweislich wirksame Substanzen zu setzen.

# Weniger Stress für Pflanzen

Artensterben und Klimawandel verlangen nach einer ökologischen Transformation unserer Landwirtschaft. Mit neuen Sensortechnologien suchen fünf Fraunhofer-Institute gemeinsam nach effizienten, nachhaltigen – und vor allem schnellen Lösungen.

Von Dr. Monika Offenberger

**D**ie Proteste der Landwirte sind lautstark, die Anforderungsliste an ihre Arbeit ist lang: Sie sollen Boden, Wasser und Klima schonen, mehr Lebensraum für Wildbienen & Co. bieten, mit weniger Chemikalien auskommen – und zugleich hochwertige Nahrungsmittel für immer mehr Menschen bereitstellen. Das alles in Zeiten der Erderwärmung, die neben extremer Hitze und Trockenheit oft auch Starkregen und Frost zur Unzeit mit sich bringt. Wo anfangen? »Wir brauchen dringend robustere Pflanzen, die mit den Umwelt- und Witterungsbedingungen am jeweiligen Standort zurechtkommen«, betont Dr. Stefan Gerth vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Fürth. In der Initiative für Biogene Wertschöpfung und Smart Farming, kurz BWSF, sucht das Fraunhofer IIS zusammen mit den Fraunhofer-Instituten für Graphische Datenverarbeitung IGD, für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP, für Verfahrenstechnik und

Verpackung IVV und für Elektronische Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT nach Lösungen für eine zukunftsfähige Landwirtschaft.

Am Entwicklungszentrum für Röntgentechnik EZRT des Fraunhofer IIS nutzt Stefan Gerth die unsichtbaren Strahlen, um verborgene Eigenschaften von Kulturpflanzen sichtbar zu machen: »Mittels Röntgenmethoden können wir ausgewählten Pflanzen erstmals auch unterirdisch beim Wachsen zusehen, ohne sie zu zerstören. Dabei interessiert uns, wie schnell und unter welchem Winkel einzelne Setzlinge bei Trockenstress Wurzeln ausbilden. Denn das entscheidet darüber, ob sie besser oberflächennahes Wasser aufnehmen können oder eher an tiefer liegende Wasserspeicher herankommen«, erklärt der Physiker. Die Wurzelarchitektur ist für die Zucht neuer, klimaresilienter Pflanzensorten ebenso entscheidend wie etwa die Keimfähigkeit der Samen, die Photosyntheseleistung der Blätter oder Zahl und Größe der Knollen, Körner und Früchte. Zusammen mit vielen

weiteren erblichen Eigenschaften formen diese Merkmale das Erscheinungsbild einer Pflanze, den sogenannten Phänotyp; seine Beschreibung bezeichnet man als Phänotypisierung.

»Seit Jahrtausenden hat die Phänotypisierung von Kulturpflanzen nur oberirdisch stattgefunden. Und die Bonitur von Zuchtbeständen, also die Bewertung der gewünschten Merkmale, geschieht bis heute meist noch durch Expertinnen und Experten, die übers Feld laufen und nach dem Augenschein Noten vergeben. Unser Ziel ist es, den Phänotyp vom Saatkorn bis zur fertigen Pflanze viel detaillierter und vor allem objektiv zu erfassen«, so Gerth. Dazu hat sein Team eine Computertomographie-Anlage entwickelt, um Pflanzen vollautomatisiert ober- und unterirdisch zu vermessen – und mit passenden Algorithmen daraus jene Daten zu generieren, die für die Zucht neuer Sorten relevant sind. Neben Röntgenstrahlen kommen 3D-Laserlichtschnittsysteme und weitere bildgebende Verfahren zum Einsatz, erklärt

»Wir brauchen dringend robustere Pflanzen, die mit den Umwelt- und Witterungsbedingungen am jeweiligen Standort zurechtkommen.«

Dr. Stefan Gerth, Fraunhofer IIS



Gerth: »Je nach Fragestellung messen wir auch Nahinfrarot oder multispektrale Anteile, um daraus bestimmte Verhaltensweisen der Pflanzen abzuleiten.«

Vollautomatisierte Phänotypisierungsanlagen mit integrierter CT-Technik hat das Fraunhofer IIS bereits an große Saatgutproduzenten und Forschungseinrichtungen in Europa, Australien, den USA und China geliefert. Eine mietbare Anlage soll bis Ende 2024 im fränkischen Triesdorf in Betrieb gehen, berichtet Stefan Gerth: »Wir wollen diese kostspielige Infrastruktur auch hiesigen Start-ups und KMU zur Verfügung stellen und so die biogene Wertschöpfung in Deutschland vorantreiben. Interessenten können damit die Qualität von Saatgut oder Keimlingen prüfen oder das Wachstum von Weizenwurzeln oder Kartoffelknollen analysieren.« Dabei ist Eile geboten. Denn derzeit vergehen von einer Zuchtidee bis zur fertigen neuen Sorte 10 bis 15 Jahre. »Da müssen wir deutlich schneller werden«, mahnt der Physiker, »und noch mehr von der Natur lernen. Denn trotz aller Zuchterfahrung verstehen wir noch längst nicht gut genug, wie bestimmte Pflanzen eigentlich funktionieren, zumal in Stresssituationen.«

»Man weiß, dass Pflanzen als Reaktion auf Stress oder Schädlingsbefall spe-

zifische Gase verströmen. Diese Gasmoleküle, die in kleinsten Konzentrationen auftreten, wollen wir über neue Sensortechnologien abbilden«, sagt Christian Wald vom Fraunhofer EMFT in München. Mittels »On-Plant-Sensorik« will sein Team den Pflanzen gleichsam beim Atmen zusehen – mithilfe organischer Polymere, die als 2D- oder 3D-Strukturen direkt aufs Blatt gedruckt werden und auf kleinste Veränderungen der Feuchtigkeit reagieren. So gelingt es, den Gasaustausch durch die Atemöffnungen im Zeitverlauf zu erfassen und daraus Rückschlüsse auf die Vitalität der Pflanze zu ziehen. Einen anderen Ansatz verfolgt Prof. Joachim Wegener an der Fraunhofer EMFT-Außenstelle in Regensburg: Er nutzt in Nährlösungen kultivierte Insektenzellen, um damit Schadstoffe in Umweltproben aufzuspüren. Denn gesunde Zellen verhalten sich auf Oberflächen anders als solche, die diversen Giftstoffen ausgesetzt sind – und diese Unterschiede lassen sich sensorisch erfassen.

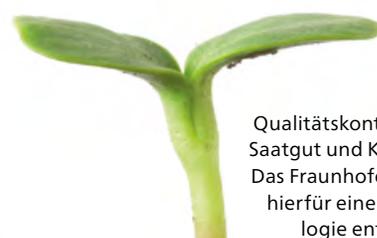
### Der Boden kommuniziert drahtlos

Mit einem weiteren smarten Tool wollen die BWSF-Forschenden physikalische Umweltbedingungen präziser als bisher

messen und analysieren – sowohl in den Phänotypisierungsanlagen des Fraunhofer IIS als auch draußen auf dem Acker. »Wir arbeiten an einem neuen Gerät zur Extraktion von Bodenwasser, das sensorische Elemente mit einer Saugsonde, einer piezoelektrischen Mikromembranpumpe und einer Antenne für die drahtlose Datenübertragung kombiniert«, erklärt Christian Wald. Das Instrument soll wichtige Bodendaten wie Feuchtigkeit und pH-Wert sowie den Gehalt an Ammonium, Nitrat und gelöstem Sauerstoff zuverlässig und in Echtzeit direkt im Boden messen und drahtlos an eine zentrale ▶

»Man weiß, dass Pflanzen als Reaktion auf Stress oder Schädlingsbefall spezifische Gase verströmen.«

Christian Wald, Fraunhofer EMFT



Qualitätskontrolle für Saatgut und Keimling: Das Fraunhofer IIS hat hierfür eine Technologie entwickelt.

Messstation übertragen. Die autark arbeitenden Sonden könnten künftig die zeit- und kostenintensive Extraktion von Bodenwasserproben und deren Analyse im Labor ersetzen. An dem Forschungsprojekt sind neben dem Fraunhofer EMFT weitere sechs Forschungseinrichtungen und Universitäten beteiligt; es wird unter dem Namen FAMOSOS (FARM MONitoring via Real-time SOil Sensing) im Rahmen des European Joint Programme EJP Soil gefördert. Die Projektpartner wollen ihr Messsystem auf verschiedenen Anbau- und Grünlandsystemen sowohl in der konventionellen als auch in der ökologischen Bewirtschaftung erproben. Anhand der gesammelten Daten, so die Vision, lassen sich künftig Aussaat und Ernte optimieren.

Am Fraunhofer IGD in Rostock nutzt man die vom Fraunhofer EMFT entwickelten Gassensoren ebenfalls für neue Anwendungen in der Landwirtschaft. Kombiniert mitameratechnik im RGB, Multi- oder Hyperspektralbereich sowie mit Drohnen und Robotik, sollen sie den Landwirtinnen und Landwirten auch jenseits von Äckern und Feldern wertvolle Daten liefern: von ehemaligen Moorflächen. Denn obwohl Moore hierzulande nur

etwa fünf Prozent der Landfläche umfassen, haben sie einen gewaltigen Einfluss auf das globale Klima. Die noch intakten, nassen Moore binden allein in Deutschland 1,3 Milliarden Tonnen Kohlenstoff; trockengelegte und kultivierte Moore geben große Mengen an Treibhausgasen wie CO<sub>2</sub> und Lachgas frei. Daher hat sich die Bundesrepublik im Klimaabkommen verpflichtet, bis 2050 ganze 1,8 Millionen Hektar Moorflächen wieder zu vernässen. Das Fraunhofer IGD will diesen Prozess wissenschaftlich begleiten.

## Die noch intakten, nassen Moore binden allein in Deutschland **1,3 Milliarden Tonnen Kohlenstoff.**

»Wir arbeiten eng mit der Uni Greifswald zusammen, um die Ökosystemleistung von Mooren zu quantifizieren«, sagt Dr. Philipp Wree, Abteilungsleiter Smart Farming am Fraunhofer IGD: »Dabei ver-

knüpfen wir unterschiedliche Schichten von Informationen. Mit an Drohnen montierten Kameras erkennen wir die Vegetation, und zwar hochauflösend bis zu einzelnen Pflanzenarten. Mit den Gassensoren messen wir den Kohlenstoff im Boden. Außerdem bestimmen wir den Wasserspiegel. Aus dem Zusammenspiel dieser Parameter lässt sich belegen, dass ehemals trockengelegte Moore nach der Wiedervernässung ihre wertvollen Ökosystemleistungen wieder aufnehmen. Die Artenvielfalt und die Speicherung von Kohlenstoff nimmt zu, die Emission von Treibhausgasen wird weniger.« Zwar seien diese Zusammenhänge grundsätzlich bekannt, doch ließen sie sich bislang nicht quantifizieren: »Genau das wollen wir jetzt machen. Denn mit jedem Stück wiedervernässtem Moor verliert der betreffende Eigentümer Weide- oder Ackerfläche und folglich auch Einnahmen. Gleichzeitig fördert er die notwendige Transformation unserer Gesellschaft. Diese ökologisch sinnvolle Umnutzung wird für die Landwirtinnen und Landwirte also nur dann interessant, wenn sie sich rechnet. Mit unseren smarten Tools wollen wir diese Inwertsetzung von Ökosystemen dokumentieren und in Zahlen fassen.« ■

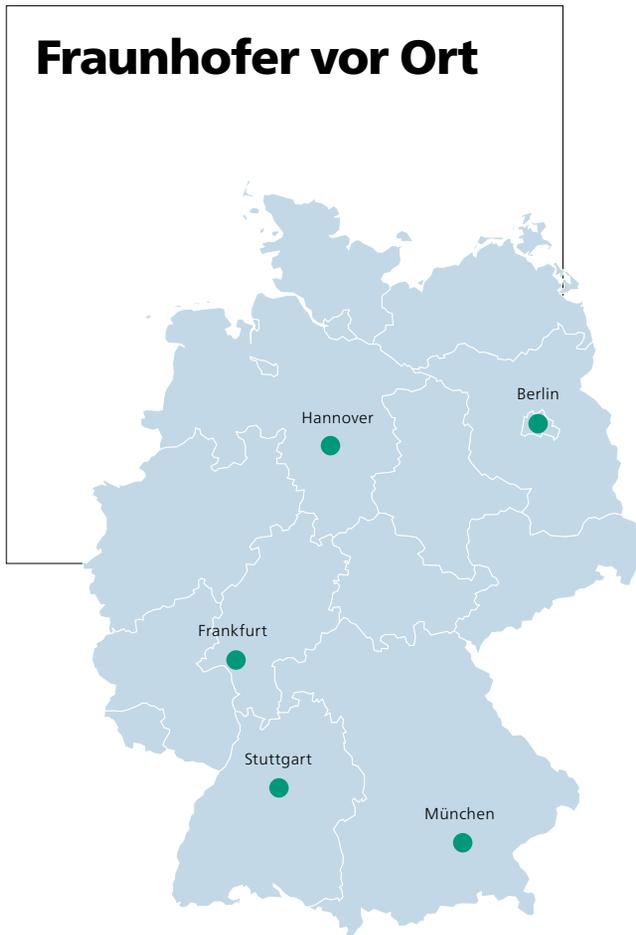
Hightech-Selektionshilfe bei der Suche nach klimaresistenten Pflanzen.



Feldroboter DeBiFix untersucht ganze Weizenfelder auf den Wachstumsverlauf der Körner in den Ähren.



## Fraunhofer vor Ort



- 
**Hannover**  
**22.–26. April 2024**  
**Hannover Messe**  
 Weltleitmesse der Industrie. Hochtechnologie und innovative Lösungen zur Bewältigung der globalen industriellen Herausforderungen
- 
**Stuttgart**  
**23.–26. April 2024**  
**Control**  
 Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung
- 
**München**  
**13.–17. Mai 2024**  
**IFAT**  
 Weltleitmesse für Wasser-, Abwasser-, Abfall- und Rohstoffwirtschaft
- 
**Berlin**  
**05.–09. Juni 2024**  
**ILA**  
 Internationale Luft- und Raumfahrt ausstellung
- 
**Frankfurt am Main**  
**10.–14. Juni 2024**  
**Achema**  
 Weltleitmesse der Prozessindustrie für chemische Technik, Verfahrenstechnik und Biotechnologie
- 
**München**  
**12.–13. Juni 2024**  
**Fraunhofer-Jahrestagung**

## Fraunhofer-Magazin

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

Wollen Sie das Fraunhofer-Magazin sofort bei Erscheinen in Ihrem Briefkasten – kostenlos? Bestellen Sie direkt online unter <http://s.fhg.de/bestellen>



## Nichts für Klaustrophobiker

Eine Sorge hatte Fotografin Maya Claussen bei der Produktion der Titelgeschichte: eine Angststörung bei einem der Forschenden. Schließlich mussten die ihre Köpfe durch ein kleines Loch im Hintergrundmaterial stecken, dann wurde mit Tape um den Hals abgeklebt – Scheinwerfer an! Die Angst – der Fotografin – schwand schnell: »Alle waren furchtbar nett!«

