



# Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

Die Corona-  
Erklärerin  
Im Porträt:  
Sandra Ciesek

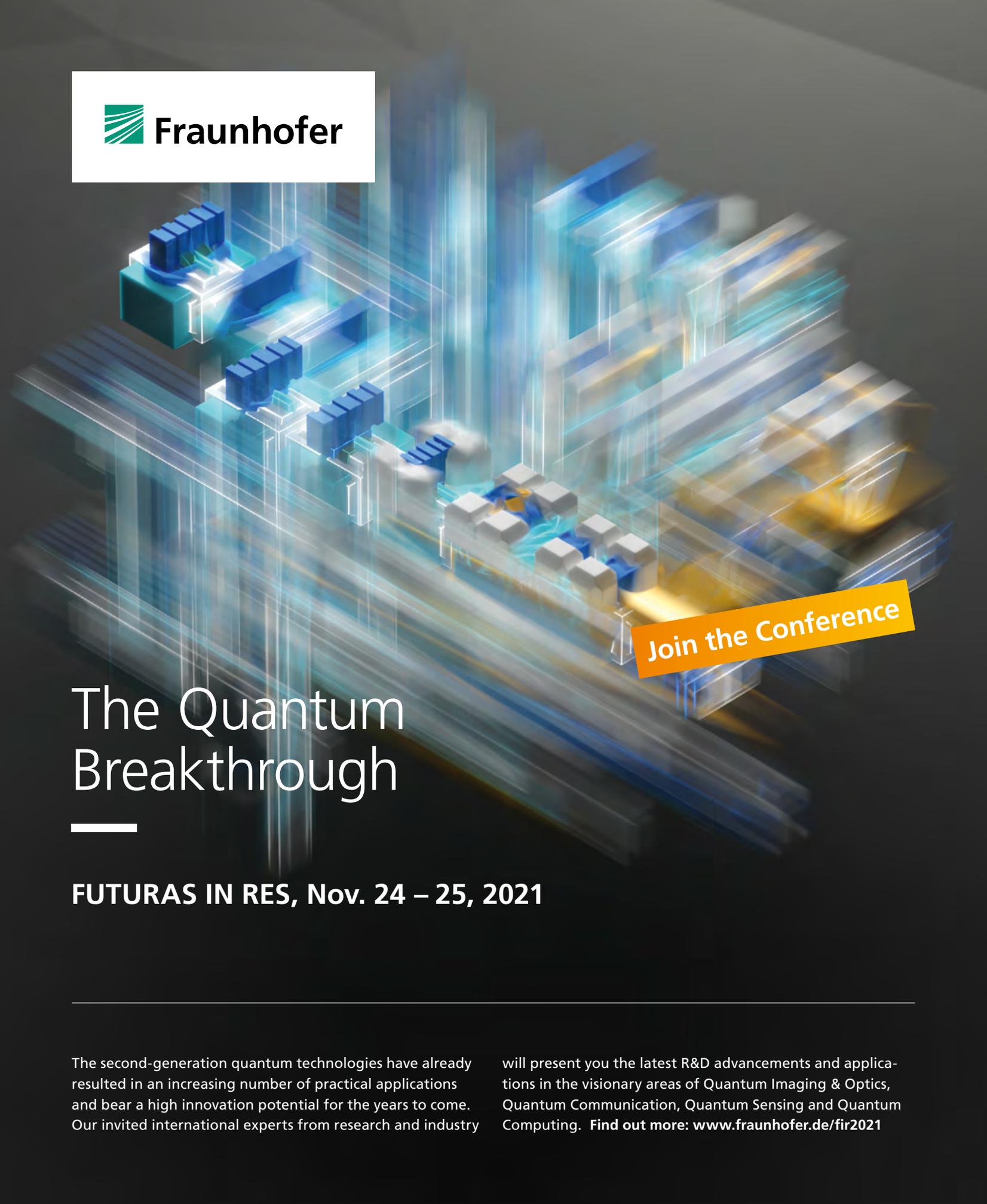


## Was uns wirklich fehlt

Rohstoffe, Lieferwege, Digitale Souveränität

**Staffellauf des Wissens**  
Fraunhofer-Forschende  
geben Antworten

**Feind im Trinkwasser**  
Wie Arzneirückstände  
abgebaut werden

An abstract 3D visualization of quantum technology components, featuring blue and white geometric shapes, glowing lines, and a central yellow glow, set against a dark background with motion blur effects.

Join the Conference

# The Quantum Breakthrough

---

**FUTURAS IN RES, Nov. 24 – 25, 2021**

The second-generation quantum technologies have already resulted in an increasing number of practical applications and bear a high innovation potential for the years to come. Our invited international experts from research and industry

will present you the latest R&D advancements and applications in the visionary areas of Quantum Imaging & Optics, Quantum Communication, Quantum Sensing and Quantum Computing. Find out more: [www.fraunhofer.de/fir2021](http://www.fraunhofer.de/fir2021)

## Editorial

# Bezahlbare Gesundheit braucht Innovationen

Die Corona-Pandemie hat uns den Stellenwert einer hochqualitativen medizinischen Versorgung sowie einer exzellenten biomedizinischen Forschung nachdrücklich vor Augen geführt: Innerhalb kürzester Zeit wurden von deutschen Forschungsorganisationen und Unternehmen Impf- und Wirkstoffe, praxistaugliche diagnostische Tests, lebensrettende medizinische Geräte sowie innovative digitale Gesundheitsanwendungen zur Pandemiebekämpfung entwickelt und bereitgestellt.

Bedingt durch die aktuelle Innovationsdynamik und die rasante Entwicklung der Medizin zu einer Hightech-Disziplin bieten technologiegetriebene Innovationen für die Gesundheitsversorgung in den kommenden Jahrzehnten eine herausragende Chance, neue Arbeitsplätze zu schaffen, nachhaltige Wertschöpfungspotenziale zu erschließen und damit den Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken. Gleichzeitig stellen technologische Souveränität und Resilienz in der Pharmaproduktion eine wichtige Voraussetzung für die Bewältigung künftiger medizinischer Krisen dar.

Der Bereich der personalisierten Medizin mit der Entwicklung, Herstellung und Anwendung von Arzneimitteln für neuartige Therapien bietet nie gekannte Möglichkeiten. Jedoch ist ihr breiter Einsatz im Gesundheitssystem aus Kosten- und Logistikgründen noch nicht gegeben. Um diese neuen Therapieansätze allen Patienten zur Verfügung zu stellen, beispielsweise für die Behandlung von Krebs oder Erkrankungen des Immunsystems, bedarf es sowohl neuer Entwicklungs- und Herstellungstechnologien auf Basis von Robotik, Automatisierung und Künstlicher Intelligenz als auch einer interdisziplinären Zusammenarbeit von Medizin, Naturwissenschaften, Informatik und Ingenieurwesen.



Prof. Reimund  
Neugebauer

Mit einem Netzwerk aus 23 Instituten verfügt die Fraunhofer-Gesellschaft sowohl über die biologisch-medizinische Expertise zur Herstellung von Zell- und Gentherapeutika als auch über die notwendigen Technologien zur Automatisierung und flexiblen Steuerung. Ziel ist der Aufbau einer Pilotanlage für modulare, automatisierte Produktionsprozesse zur Gesundheit 4.0, in der innovative Technologien für die Entwicklung und Herstellung von Zell- und Gentherapeutika sowie Impfstoffe entwickelt werden.

Die intelligente Vernetzung innovativer Therapieformen mit technologischen Herstellungsverfahren ist eine entscheidende Voraussetzung für eine individuelle, effiziente und bezahlbare Prävention, Diagnostik, Therapie und Pflege. Für den Hightech-Standort Deutschland bietet sie eine enorme gesellschaftliche und ökonomische Chance, die es entschlossen zu nutzen gilt.

Ihr

Reimund Neugebauer  
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

Mehr zu den großen Forschungsthemen  
der Fraunhofer-Gesellschaft:  
**Prof. Reimund Neugebauer auf LinkedIn**



## Inhalt



### 10 Kreislaufwirtschaft Bausteine für die Zukunft

Wie wertvoll Wertstoffe sind, bekommen Unternehmen in Zeiten von Lieferengpässen zu spüren. Fraunhofer-Forschende wie Jana Rückschloss entwickeln Lösungen, um Rohstoffe wiederzuverwerten.



### 22 »Wir haben gezeigt, dass wir digital können.«

Im Interview: Dr. Bernd Althusmann, Wirtschaftsminister in Niedersachsen.

#### 03 Editorial

#### 06 Kurz gemeldet, Impressum

**10 Bausteine für die Zukunft**  
Hoffnungsträger Kreislaufwirtschaft: So arbeiten Fraunhofer-Institute daran, Wertstoffe für die Wirtschaft wiederzugewinnen

**22 »Digitale Grundversorgung ist wie Strom und warmes Wasser!«**  
Im Interview: Dr. Bernd Althusmann, Wirtschaftsminister in Niedersachsen und Verfechter der Digitalisierung



### 40 Technologische Souveränität Wie die Wirtschaft wehrhafter wird

#### 40 Corona, Cyberangriffe, Chipmangel – die Verwundbarkeiten sind sichtbar geworden

- ▶ Welchen Elektronik-Komponenten können wir vertrauen?
- ▶ Wie können Sicherheitslücken geschlossen werden?
- ▶ Wie kann 3D-Druck helfen, Engpässe in der Produktion zu bekämpfen?
- ▶ Fraunhofer-Forschende geben Antworten aus ihren Fachbereichen.

#### 48 Mathematik für alle Notfälle

- ▶ Bauchgefühl und Excel reichen nicht mehr aus: Fraunhofer-Fachleute bieten Lösungen, um das fein gewebte Netzwerk der globalen Lieferketten für die Wirtschaft wieder verlässlicher zu machen.
- ▶ Wie sich Engpässe früh erkennen lassen – und wie sie rechtzeitig behoben werden.

**26 Ganz schön schmerzhaft**

So lassen sich Nierensteine rückstandslos entfernen

**28 Schleichweg ins Gehirn**

Neue Hoffnung im Kampf gegen die Volkskrankheiten Alzheimer, Multiple Sklerose und Parkinson

**30 Stimme aus der Wirtschaft**

Dr. Torsten Jeworrek, Munich Re, über die Folgen des Klimawandels

**32 Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser**

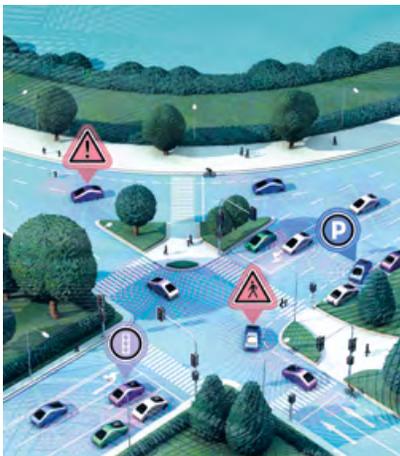
Wie Künstliche Intelligenz zu einem verlässlichen Hilfsmittel wird

**35 Neue Serie:****Staffellauf des Wissens**

Unsere Zeit stellt viele Fragen – Fraunhofer-Forschende bemühen sich um Antworten

## 32 Wie können wir KI vertrauen?

In immer mehr Bereichen ist Künstliche Intelligenz eine Chance – und schafft neue Risiken. Das Fraunhofer IAIS arbeitet an der Zertifizierung.



## 55 Der Feind im Trinkwasser

30 000 Tonnen Arzneien verbrauchen die Deutschen. Kläranlagen filtern die Rückstände nicht. Elektrololyse plus Ultraschall ist die neue Hoffnung.

**50 Fraunhofer international****52 »Plastikverschmutzung ist eine existenzielle Bedrohung!«**

Das Fraunhofer IKTS und die Komplexität der Verwitterung von Plastikmüll

**55 Arznei im Trinkwasser**

30 000 Tonnen Medikamente verbrauchen die Deutschen jährlich. Die Rückstände bleiben ungefiltert – bisher

**58 Die Pandemie-Erklärerin**

Im Porträt: Sandra Ciesek, »Hochschullehrerin des Jahres 2021«

**62 Serie: Gründen mit Fraunhofer**

Wie Photovoltaik-Anlagen günstiger, effektiver und umweltfreundlicher werden

**64 Der Chipsdosen-Hack**

Gefährliche Bequemlichkeit: Bluetooth macht das Leben einfacher – und schafft Sicherheitslücken



58

## Die Pandemie-Erklärerin

Sandra Ciesek ist »Hochschullehrerin des Jahres 2021«. Mit dem Fraunhofer ITMP hat sie sich auf die Suche nach einem Corona-Medikament gemacht.

**66 Tickende Zeitbomben am Meeresgrund**

1,6 Millionen Tonnen Weltkriegsmunition rosten auf dem Grund von Nord- und Ostsee. Von Jahr zu Jahr wächst die Gefahr

**68 Foto & Fraunhofer**

Fußball wird immer dynamischer – Fraunhofer-Hochfrequenztechnik hilft mit intelligenter Sensorik beim Training

**71 Fraunhofer vor Ort**

**#bauen** Die Baubranche soll für 38 Prozent der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich sein. Entsprechend groß sind die Einsparpotenziale. Allein bei der öffentlichen Vergabe von Aufträgen könnte, so das Institut der deutschen Wirtschaft, so viel Treibhausgas eingespart werden, wie der gesamte innerdeutsche Flugverkehr produziert. Neue Ansätze für den Bau bietet auch die Kreislaufwirtschaft (S. 10).

38%

## Kurz gemeldet



## Kontaktlinse fürs Ohr

Eine neuartige Hörhilfe übertrifft die Klangqualität bisheriger Hörsysteme deutlich – ohne implantiert werden zu müssen. Die sogenannte Hörkontaktlinse fungiert als Lautsprecher und wird direkt auf dem Trommelfell getragen, wie eine Kontaktlinse auf dem Auge. Entwickelt wurde sie von der Fraunhofer-Ausgründung Vibrosonic. Zum kompletten System gehören zudem ein Gehörgangsmodul und ein Klangprozessor, der hinter dem Ohr getragen wird und flexibel abgenommen werden kann. Er enthält die Signalverarbeitungselektronik und die Batterie.

Die Hörkontaktlinse überträgt Schwingungen ohne Luftschall direkt auf die Gehörknöchelchen. Die Klangübertragung erfolgt durch eine direkte mechanische Stimulation des Gehörs.

So lässt sich das natürliche Hören weitgehend nachempfinden. Sehr tiefe Töne werden ebenso gut verstärkt wie hohe, störende Geräusche durch Rückkopplungen nahezu vermieden. Im Gegensatz dazu sitzt bei gängigen Hörgeräten der Lautsprecher im Gehörgang des Trägers. Daraus resultieren akustische Verzerrungen, die die Klangqualität beeinträchtigen.

Aufgrund der Unterschiede in der Trommelfellform wird die Hörkontaktlinse für jede Patientin und jeden Patienten individuell hergestellt. Geplant ist, alle Komponenten des innovativen Hörsystems so zu miniaturisieren, dass sie im Gehörgang verschwinden können und unsichtbar sind. ■

## Papier statt Plastik

Beschichtetes Papier kann Lebensmittelverpackungen aus Kunststoff ersetzen – und die Haltbarkeit von Wurst, Käse und Obst auch noch verlängern. Entwickelt wurde die nachhaltige Beschichtung aus pflanzenbasierten Proteinen und Wachsen im Projekt BioActiveMaterials von Forschenden der Fraunhofer-Institute für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV und für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB. Die Proteine dienen als Sauerstoffsperrschicht, die Wachse als Wasserdampfbarriere – so trocknet beispielsweise Obst nicht so schnell aus. Zusätzlich enthält die Formulierung biobasierte Additive – Zusatzstoffe, die die Eigenschaften des Trägermaterials beeinflussen. In diesem Fall sind die Additive antibakteriell und schützen so die Lebensmittel vor Verderb. Die Beschichtung kann problemlos mit industriellen Standardverfahren auf Papier oder Karton aufgetragen werden. Auch für Lebensmittel, die gekühlt werden müssen, und Tiefkühlkost ist die beschichtete Verpackung geeignet. Nach Gebrauch kann sie einfach in der Altpapiertonne entsorgt werden. ■



Frisches Obst und Gemüse wird in Deutschland zu 60 Prozent verpackt verkauft – meistens in Kunststoff.



Unbeschwert genießen – Fraunhofer-Forschende untersuchten, welche Milchverpackung die Umwelt am wenigsten belastet.

## Milchverpackungen im Öko-Test

Welche Milchverpackung ist am nachhaltigsten: Verbundkartons, Kunststoff-Standbeutel oder Mehrweg-Glasflaschen? Dieser Frage ging jetzt das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in einer Studie nach. Dabei berücksichtigten die Forscherinnen und Forscher die Produktion, den Transport und die Entsorgung der unterschiedlichen Verpackungsmöglichkeiten. Das Ergebnis: Mehrweg-Glasflaschen sind am umweltfreundlichsten – allerdings nur, wenn die Transportwege kurz sind oder der Umlauf größer ist als 20. Denn die Mehrweg-Glasflasche beeinflusst pro Umlauf im Vergleich zum Getränkeverbundkarton das Klima zunächst stärker – bedingt durch ein höheres Gewicht beim Transport, die Retouren und die Reinigung zur Wiederbefüllung. Die Nachteile der Glasflasche kehren sich jedoch um, wenn sie häufig verwendet oder innerhalb des identifizierten ökologischen Radius transportiert wird. Je höher die Rückläufe und je kürzer die Distanzen, desto nachhaltiger ist Glas. ■

Fotos: Vibrosonic GmbH, istockphoto (3)

## Unter Wasser mit mehr Energie unterwegs

Ein besseres Batteriemangement für Unterwasserroboter, sogenannte Unmanned Underwater Vehicles (UUV), entwickeln Forschende des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS und die Forschungsgruppe Smart Ocean Technologies SOT. Es soll die Einsatzkosten senken und dafür sorgen, dass die UUV länger tauchen können.

Tauchroboter sind immer häufiger und länger im Einsatz: Sie inspizieren Bohrinnseln, warten Unterwasser-Gasleitungen oder suchen nach Rissen an Offshore-Windkraftanlagen. Die Energiespeicher der Roboter müssen unter weitaus schwierigeren Bedingungen funktionieren als beispielsweise Batterien für Elektroautos: Einige UUV können bis zu einem Kilometer tief tauchen, wo das Temperaturgefälle die Technik stark beansprucht und den Entladevorgang beschleunigt.

Mithilfe von piezokeramischen Sensoren sammeln die Forschenden neue Erkenntnisse über die Entladevorgänge in der Batterie auf Zellebene. Die Sensoren auf den Zellen schwingen, wenn man eine Spannung von außen anlegt, und wandeln mechanische Bewegungen in messbare elektrische Signale um. Je elastischer, desto besser aufgeladen ist die Zelle.

Nach erfolgreichen Trockentests im Labor wird die neue Sensortechnik in einem mobilen Minilab voraussichtlich zum Jahresende auch unter Wasser erprobt. Die Erkenntnisse sollen in ein exakteres Batteriemangement einfließen. ■



Unterwasserroboter sollen in Zukunft länger durchhalten können.



Solarmodule schützen die Äpfel und erzeugen gleichzeitig Strom für den Hof.

## Obst und Energie gewinnen

Klimaresilienz und Nachhaltigkeit im Obstbau steigern wollen Forschende des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE im Projekt »Agri-PV Obstbau«. Dafür haben sie mit weiteren Forschungspartnern auf einem Bio-Obsthof in Rheinland-Pfalz eine Agri-PV-Anlage für Äpfel und Spalierobst errichtet. Ein Drittel der Anbaufläche soll zugleich für die Solarstromerzeugung genutzt werden, der Strom unter anderem das Bewässerungssystem und das Kühllager betreiben.

In dem Projekt vergleichen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedene Kulturschutzsysteme und

zwei Solarmodultypen mit unterschiedlich angeordneten Photovoltaikzellen. Die Forschenden wollen wissen, inwiefern Agri-PV-Anlagen die Pflanzen und Früchte vor Hagel, Starkregen, Sonnenbrand, Frost oder extremen Temperaturen bewahren können. Darüber hinaus testen sie, in welchem Maß sich unterschiedliches Lichtmanagement durch verschiedene PV-Modulkonfigurationen auf das Pflanzenwachstum und die Agrarerträge auswirkt. Auch soll die Anlage im Hinblick auf Landschaftsästhetik, Wirtschaftlichkeit, Sozialverträglichkeit sowie pflanzenbauliche Parameter untersucht werden. ■

## Im Brandfall sicher

Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) werden im Fahrzeug-, Flugzeug- oder Schiffsbau verwendet, um Gewicht zu sparen. Sie sind besonders leicht – aber auch leicht entflammbar. Forscherinnen und Forschern des Fraunhofer-Instituts für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF ist es jetzt gelungen, ein neuartiges Flammenschutzmittel für CFK zu entwickeln. Es verhindert, dass sich im Brandfall lungengängige Faserbruchstücke bilden, die in Verdacht stehen, krebserregend zu sein.

In Kooperation mit dem Wehrwissenschaftlichen Institut für Werk- und Betriebsstoffe WIWeB synthetisierten die Forschenden maßgeschneiderte Flammenschutzmittel auf Basis phosphorhaltiger Polyacrylamide. Im Vergleich zu herkömmlichen Mitteln haben sie weniger negative Einflüsse auf die thermische Stabilität oder mechanischen Eigenschaften der CFK. Phosphorhaltige Flammenschutzmittel gelten zudem als gesundheitlich unbedenklich und setzen bei der Verbrennung weniger toxische Gase frei als beispielsweise halogenhaltige. Dank des Baukastenprinzips, in dem Ausgangsmaterialien und Prozessführung bei der Synthese wählbar sind, lassen sich der Flammenschutzmechanismus und die Materialeigenschaften maßschneidern. ■



Wenn Komponenten aus CFK brennen, kann das gefährliche Folgen haben.

**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:**

Janis Eitner (V.i.S.d.P.),  
Josef Oskar Seitz (Chefredaktion),  
Dr. Sonja Endres, Roman Möhlmann

**Redaktionelle Mitarbeit:**

Dr. Janine van Ackeren, Marina Babl,  
Mandy Bartel, Christine Broll, Meike  
Grewe, Sirka Henning, Dr. Monika  
Offenberger, Sibylle Schmitt, Tim  
Schröder, Eric Schütz, Franziska Sell,  
Beate Strobel, Mehmet Toprak

**Layout + Litho:**

Vierthaler & Braun

**Titelbild und Fotografie****der Titelstrecke:**

Sonja Och

**Fotograf Artikel Technologische****Souveränität:**

Stefan-Thomas Kröger

**Druck:**

hofmann infocom GmbH, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.  
München 2021

**Fraunhofer in Social Media:**

@Fraunhofer



www.facebook.com/  
fraunhoferde



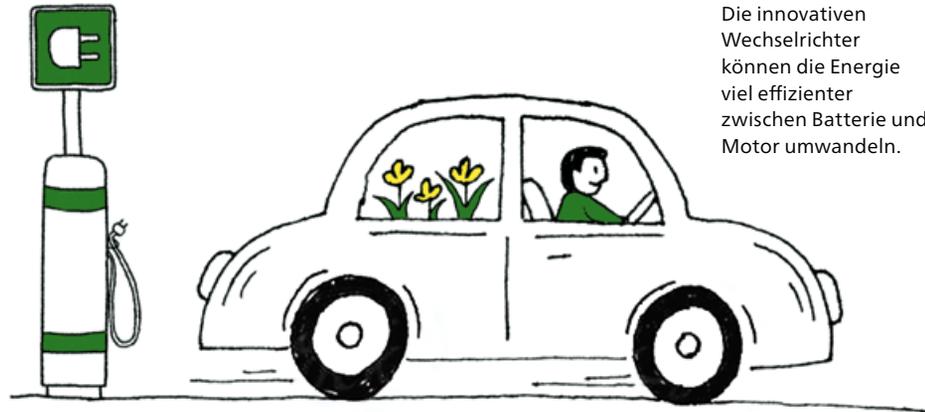
www.instagram.com/  
fraunhofergesellschaft



www.linkedin.com/company/  
fraunhofer-gesellschaft



https://www.youtube.com/  
fraunhofer



Die innovativen Wechselrichter können die Energie viel effizienter zwischen Batterie und Motor umwandeln.

## Mehr Reichweite für Elektroautos

Damit E-Fahrzeuge größere Strecken bewältigen können, reicht es nicht, nur die Batterien zu optimieren – der ganze Antriebsstrang muss verbessert werden.

**H**ocheffizient arbeitende Halbleiter aus Silizium-Carbid (SiC) sollen die Verluste verringern, die vor allem beim Beschleunigen, Abbremsen und beim schnellen Fahren in Wechselrichtern und ihren Transistoren auftreten, die den Stromfluss steuern. Die optimierten Wechselrichter wandeln den Gleichstrom der Batterie viel effizienter in Wechselstrom für den Motor um. Entwickelt wurden sie von einem Team am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM in Berlin im Projekt SiCeffizient zusammen mit Industriepartnern.

»Wir gehen davon aus, dass Elektroautos durch diese Verbesserung des Antriebsstrangs am Ende eine um bis zu sechs Prozent größere Reichweite haben«, sagt Eugen Erhardt, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IZM. Was nach wenig klingt, ist im Bereich der Elektromobilität ein erheblicher Leistungssprung, der sich normalerweise nur durch den Einsatz von mehr Akkus erreichen lässt. Die neuen Halbleiter haben allerdings auch

einen Nachteil: Sie sind relativ teuer. Daher reduzierte das Fraunhofer IZM-Team ihre Anzahl. Um zu verhindern, dass die wertvollen SiC-Transistoren aufgrund der dann verhältnismäßig höheren Belastung überhitzen, entwickelten sie völlig neue, leistungsfähigere Kühlelemente.

Die Wärme, die in den Transistoren entsteht, wird für gewöhnlich über einen massiven Kühlkörper abgeleitet. Dieser besitzt Kühlstäbe, sogenannte Finnen, über die die Wärme in Wasser abgegeben wird. Den neuartigen Kühlkörper mit vergleichsweise dünnen Wänden haben die Forschenden per 3D-Druck erzeugt. Die Transistoren sitzen auf einer nur wenige Millimeter dünnen Metallplatte. So rücken sie dichter an das Kühlmedium Wasser heran – die Kühlwirkung wird verstärkt.

In den kommenden Monaten wird der neue Wechselrichter beim Projektpartner Robert Bosch getestet. Die Firma Porsche wird das Gerät anschließend in einen neu konzipierten Antriebsstrang einbauen, der ganz auf den SiC-Aufbau abgestimmt ist. ■

**Titel**

# Bausteine für die Zukunft

Rohstoffe sind knapp. Immer wieder zwingt der Mangel Unternehmen, ihre Produktion zu drosseln. Kreislaufwirtschaft findet Auswege – und ist viel mehr als Klimapolitik.

Von Dr. Janine van Ackeren  
Fotografie: Sonja Och

Justus von Freeden, Wissenschaftler am Fraunhofer IWU, entwickelt wiederverwendbare Strukturen – »Faserkunststoffverbunde mit Kohlenstofffasern eignen sich dafür sehr gut!«

**E**in Mittelklasse-Auto mit Verbrennungsmotor braucht um die 25 Kilogramm Kupfer. In einem Elektrofahrzeug können auch mehr als 80 Kilogramm verbaut sein. Mit dem Bedarf steigen die Preise. Kupfer kostete in diesem Sommer 44 Prozent mehr als noch Anfang 2020. Lithium ist sogar um 77 Prozent teurer geworden. Die Nachfrage wächst – und mit ihr nehmen die Probleme zu. Zwei Drittel der deutschen Industrieunternehmen leiden aktuell unter Liefer-schwierigkeiten. Einer Umfrage des IFO-Instituts zufolge stieg der Anteil der betroffenen Unternehmen von April bis Juli 2021 von 45 Prozent auf 63,8 Prozent – besonders stark trifft der Materialmangel die Elektrobranche und die Autoindustrie. Wertstoffe werden immer wertvoller.

Die Deutsche Rohstoffagentur DERA hat beim Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI und beim Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM bereits zum dritten Mal die Studie »Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021« in Auftrag gegeben. »Deutschland ist als Hochtechnologiestandort wegen seiner großen Importabhängigkeit von Rohstoffen besonders anfällig«, erklärt Jana Rückschloss, Wissenschaftlerin am Fraunhofer IZM.

»In der Studie gehen wir der Frage nach, wie sich die Rohstoffnachfrage durch den Einsatz neuer Technologien verändern könnte. Welche Rohstoffe könnten zum einen besonders bedeutsam, zum anderen besonders knapp werden?«

Rückschloss widmete sich den Rechenzentren und damit einer der ausgewählten 33 Technologien, die den Markt breit abdecken. Im Fokus standen vor allem die Speichermedien: Festkörperspeicher SSDs, Festplattenlaufwerke HDDs und Magnetbänder. »Vor allem die Versorgung mit Platin und Ruthenium könnte künftig kritisch werden: Im Jahr 2018 lag die Weltproduktion von Ruthenium bei 33 Tonnen. Im schlimmsten Szenario würden wir 2040 allerdings 592 Tonnen verbrauchen, und zwar nur für die Festplattenlaufwerke – der Bedarf anderer Technologien ist darin noch nicht enthalten. Selbst im nachhaltigsten Szenario wären es immerhin noch 33 Tonnen«, fasst die Forscherin ihre Ergebnisse zusammen. Berücksichtigt man auch die restlichen 32 Technologien, die in der Studie untersucht wurden, so ergibt sich ein hoher Bedarf bei Ruthenium, Scandium, Dysprosium, Terbium, Lithium, Iridium, Platin und Kobalt.

»Deutschland ist als Hochtechnologiestandort wegen seiner großen Importabhängigkeit von Rohstoffen besonders anfällig.«

Jana Rückschloss, Wissenschaftlerin am Fraunhofer IZM

Der Mangel an Selten-Erd-Metallen trifft besonders die Elektronikbranche und die Autoindustrie. In der Elektronik stecken sie in LEDs, Lasern oder Displays, bei E-Autos vorwiegend in Akkus und Magneten. Zwar sind die Seltenen Erden nicht gar so selten, wie der Name vermuten lässt. Das Problem liegt vor allem in der Abhängigkeit von den fördernden Ländern: Die Selten-Erd-Metalle stammen zu etwa 80 Prozent aus China. Zu welchen Komplikationen das führen kann, zeigt der drastische Preisanstieg, der vor etwa zehn Jahren stattfand, als Peking einen Exportstopp verhängte. Es gilt also, die Abhängigkeit zu reduzieren und mögliche Engpässe zu minimieren.

### Hoffnung Kreislaufwirtschaft

Bisher wird Kreislaufwirtschaft oft vorwiegend unter dem Aspekt Klimapolitik betrachtet. Durch den weltweiten Rohstoffmangel wird sie zunehmend wirtschaftlich interessant. Der Frage nach Potenzialen sind das Fraunhofer-Center for Responsible Research and Innovation CeRRI, das Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW und das Fraunhofer-

Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT gemeinsam mit der Stiftung 2 Grad und der Stiftung Familienunternehmen nachgegangen: in der Studie »Circular Economy in Familienunternehmen – Herausforderungen, Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen«. Mit dem Ziel, die Kreislaufwirtschaft in Schwung zu bringen, macht die Studie konkrete Empfehlungen für die deutsche Politik – etwa handhabbare Standards und Normen für Rezyklate schaffen. Die Ergebnisse sind vielversprechend: So spart eines der befragten 21 Unternehmen bei der Produktion von Kfz-Teilen 85 Prozent des Rohmaterials und 55 Prozent des Energiebedarfs im Vergleich

zu Neuteilen ein. Ein anderer Hersteller erhöht die Kapazität seiner Aluminiumproduktion durch Recycling und die Erweiterung der Produktionsanlagen um 20 000 Tonnen pro Jahr. Ein weiteres Fallbeispiel zeigt auf, wie bei der Feuerverzinkung 80 Prozent an Zink gegenüber herkömmlichen Prozessen eingespart werden.

»Wenn Europa unabhängig werden will, brauchen wir die Kreislaufwirtschaft – schließlich gibt es hier weder Kobalt und Nickel noch Mangan«, ist Privatdozent ▶



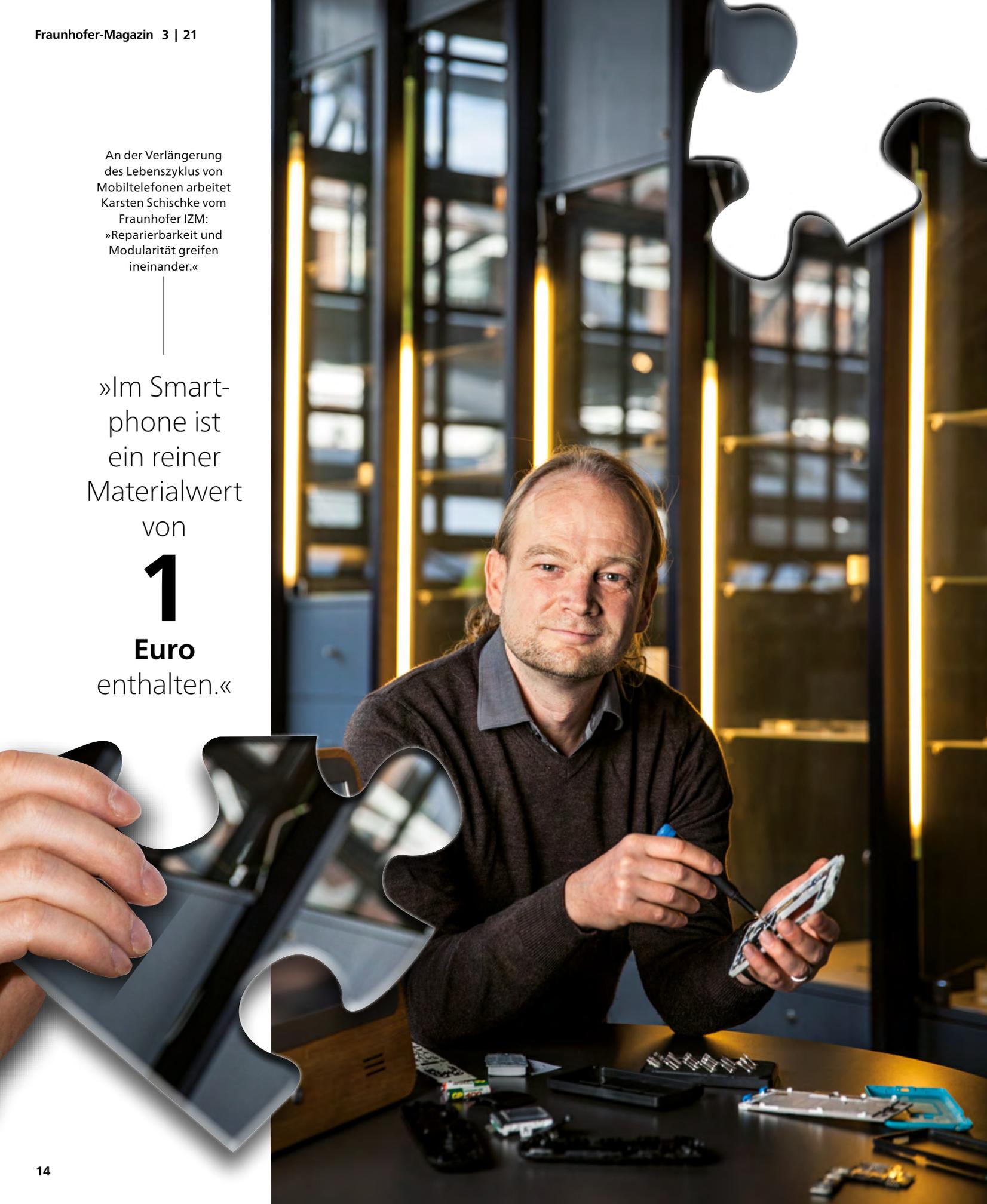
Die Selten-  
Erd-Metalle  
stammen  
zu etwa

**80%**  
aus China.

»Vor allem die Versorgung  
mit Platin und Ruthenium  
könnte kritisch werden«,  
fürchtet Jana Rück Schloss,  
Wissenschaftlerin  
am Fraunhofer IZM.

An der Verlängerung  
des Lebenszyklus von  
Mobiltelefonen arbeitet  
Karsten Schischke vom  
Fraunhofer IZM:  
»Reparierbarkeit und  
Modularität greifen  
ineinander.«

»Im Smart-  
phone ist  
ein reiner  
Materialwert  
von  
**1**  
**Euro**  
enthalten.«



Dr. Benjamin Balke überzeugt. Der Abteilungsleiter an der Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS widmet sich im Projekt HydroLIBRec dem Recycling elementarer Bauteile rund um die E-Mobilität, die kritische Rohstoffe wie Kobalt und Seltene Erden enthalten. Genauer gesagt den Lithium-Ionen-Batterien, die in Elektrofahrzeugen verbaut werden.

Die Frage, die sich den Forscherinnen und Forschern des Fraunhofer IWKS als erste stellt: Wie weit soll das Material aufgetrennt werden? Schließlich sind die komplexen intermetallischen Verbindungen schwer zu lösen – es wäre also viel Energie nötig, um die Verbindungen bis hin zu den Elementen sortenrein zu trennen. »Wir bevorzugen daher das funktionale Recycling«, sagt Balke. Im Fall der Batterien heißt das: Das Kathodenmaterial wird nicht in die einzelnen Metalle zerlegt, sondern als komplexe Verbindung recycelt. Elementar für ein wirtschaftliches Recycling ist die Demontage. Ein Schreddern der Batterien ist wenig zielführend, denn die einzelnen Fraktionen bleiben dabei durchmischt und lassen sich nur äußerst schwer wieder herauslösen. Ein Demontieren per Hand ist zu kostspielig und aufwendig.

Das Forscherteam entwickelt daher eine automatisierte Demontage. »Die gesamte Batterie wird elektrohydraulisch zerkleinert: Dazu wird sie in Wasser gelegt, in dem kurze Hochspannungspulse von 40 000 Volt angelegt werden. Dies induziert eine Stoßwelle im Wasser, die auf die Sollbruchstellen zwischen den Materialien einwirkt und sie voneinander trennt«, erläutert Dr. Balke. Über weitere Sortierschritte lassen sich die einzelnen Bestandteile – Kupfer, Alu, Plastik – abtrennen. Zurück bleibt die Schwarzmasse, eine Mischung aus Anoden-, Kathoden- und Elektrolytmaterial. Die kritischen Elemente Nickel, Mangan und Kobalt sind in der Kathodenmasse enthalten. »Um die Aufbereitung dieser Masse ökologisch und ökonomisch zu bewerten, durchlaufen wir verschiedene Prozesse und ermitteln den besten Weg«, erläutert Balke. So viel ist bereits klar: Was die Qualität angeht, ist das recycelte Kathodenmaterial bereits gut brauchbar. Nun gilt es, das Recycling in Richtung Industrialisierung zu bringen.

Lohnenswert kann ein Recycling auch bei Neodym-Eisen-Bor-Magneten sein: Diese stecken unter anderem in

Elektromotoren, Festplatten, Handys und Lautsprechern. Denn: 90 Prozent der Energie, die zur Herstellung solcher Magnete benötigt wird, fließen in Abbau, Trennung und Aufbereitung der enthaltenen Selten-Erd-Oxide – Material- und Energiekosten, die beim Recycling eingespart

werden können. Der Recyclingprozess an sich ist bereit, in Europa mangelt es jedoch noch an Rücknahmesystemen und an Abnehmern. »Der Markt dafür entsteht derzeit«, sagt Konrad Opelt, Wissenschaftler am Fraunhofer IWKS.

Im Projekt FUNMAG arbeitet er daran, alte Magnete wieder nutzbar zu machen und vor allem zu demonstrieren, dass sie ohne Leistungseinbußen funktionieren. »Wir wollen zeigen, dass Anwendungen mit unseren wiederaufbereiteten Magneten die gleichen Eigenschaften aufweisen wie neue«, sagt Opelt. »Zwar kann es beim Recyclingverfahren Qualitätsverluste geben, jedoch kann man diese zum Beispiel über Änderungen in der Mikrostruktur ausgleichen.«

Da sich die Magnete je nach Anwendung anders zusammensetzen

– insbesondere die Arten und Anteile der enthaltenen Seltenen Erden unterscheiden sich –, sortieren die Forscherinnen und Forscher diese zunächst nach Einsatzgebieten und verspröden sie mit Wasserstoff zu einem groben Pulver. Dieses kann direkt wieder zur Produktion neuer Magnete eingesetzt werden. Selbst inhomogene Gemenge lassen sich nutzen: Hier steht dann allerdings meist ein Downcycling auf dem Programm, also ein minderwertiger Einsatz.

Während FUNMAG vor allem Hochleistungs-Anwendungen für Neodym-Eisen-Bor-Magnete im Blick hat, widmen sich Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IWKS im Projekt RecyPer auch anderen Verwendungen. »Ziel ist es, möglichst viele Altmagnetströme zu betrachten – auch Material, welches man für einen Traktionsmotor nicht mehr verwenden kann – und dafür neue Anwendungsfelder zu identifizieren, etwa Haftmagnete am Whiteboard«, sagt Mario Schönfeldt, Projektleiter am Fraunhofer IWKS.

Ebenso wie bei den Magneten ist es auch in elektronischen Kleingeräten schwierig und somit unökonomisch, Metalle sortenrein zurückzugewinnen. »Im Smartphone ist ein reiner Materialwert von einem Euro enthalten«, weiß Karsten Schischke, Gruppenleiter am Fraunhofer IZM. ►

»Wenn Europa unabhängig werden will, brauchen wir die Kreislaufwirtschaft – schließlich gibt es hier weder Kobalt und Nickel noch Mangan.«

Dr. Benjamin Balke, Abteilungsleiter am Fraunhofer IWKS

»Mit metallurgischen Prozessen lässt sich Material im Wert von 90 Cent wieder recyceln. Gallium, Tantal und Seltene Erden machen die restlichen zehn Cent aus. Deren Rückgewinnung dürfte in den nächsten zehn bis zwanzig Jahren noch nicht ökonomisch sein.« Er koordinierte das Projekt »sustainablySMART«, in dem das Fraunhofer IZM mit 17 weiteren Partnern aus acht Mitgliedsstaaten der Europäischen Union kooperierte und das mit dem Ralf-Dahrendorf-Preis für den Europäischen Forschungsraum ausgezeichnet wurde. Das Ziel: den Lebenszyklus mobiler Informations- und Kommunikationsgeräte durch die Entwicklung neuer Produktdesign-Ansätze zu verlängern – und somit ebenfalls Seltene Erden einzusparen. Dazu gehört auch die Reparierbarkeit der Geräte. »Bereits vor Urzeiten waren PCs modulare Geräte. Jetzt stellt sich die spannende Frage: Wie kann man ein solches Konzept auf Kleingeräte übertragen?«, erläutert Schischke.

Ein wichtiger Punkt dazu ist die weitere Miniaturisierung, mit der das Forscherteam Platz für Stecker schafft. So lassen sich defekte Komponenten nicht nur schnell und einfach austauschen, sondern auch einzelne Halbleiterkomponenten aus Smartphone und Co. wieder zurückgewinnen und beispielsweise für weniger komplizierte Anwendungen im Internet der Dinge nutzen. Das Forscherteam aus dem Fraunhofer IZM hat den strategischen Teil übernommen und analysiert, für welche Teile eine solche Rückgewinnung sinnvoll sein könnte.

Die Verlängerung des Lebenszyklus von Kleinstgeräten steht auch im Projekt MoDeSt des Fraunhofer IZM und der Firma Shift auf dem Programm. »Reparierbarkeit und Modularität greifen ineinander«, erläutert Schischke. »Baut man die Geräte modular auf, muss man zunächst mehr an bestimmten Rohstoffen investieren – man braucht beispielsweise Gold, um die Stecker zu realisieren.« Bezahlte macht sich dieser Ansatz dann, wenn der Verbraucher die Geräte statt drei Jahre fünf Jahre nutzt, wie sich schon in früheren Projekten gezeigt hat: Die Einsparungen liegen dann bei etwa 30 Prozent. »Das Spannende ist, dass wir diese Erkenntnisse gerade im Auftrag der Europäischen Kommission zweitverwerten können: Wie kann man bessere Reparierbarkeit, bessere Haltbarkeit und Lebensdauerverlängerung in der Gesetzgebung realisieren? Im nächsten oder übernächsten Jahr sollte mit Verord-

nungen für Smartphones zu rechnen sein, die erstmals Anforderungen an das Produktdesign, die Ersatzteilverfügbarkeit, die Batterielaufzeit, den Schutz vor Sturzschäden und andere lebensdauerverlängernde Maßnahmen umfassen«, gibt Schischke einen Ausblick.

Werthaltige Metalle und Seltene Erden befinden sich auch im Elektroschrott, etwa in LCD-Panels. Allerdings sind die kunststoffhaltigen Schredderreste mit zahlreichen Verunreinigungen wie Flammschutzmitteln behaftet – sie landen deshalb in der Müllverbrennung. Metalle wie Indium, Gallium, Palladium, Silber und Co. gehen dabei verloren.

Forscherinnen und Forscher des »Fraunhofer Clusters of Excellence Circular Plastics Economy CCPE« – in dem sechs Fraunhofer-Institute ihre Kompetenzen zum gesamten Lebenszyklus von Kunststoffprodukten zusammenführen – wollen das ändern: Am Fraunhofer UMSICHT haben sie ein Recyclingverfahren für kunststoffhaltige Verbundmaterialien entwickelt.

»Wir erhitzen die Schredderreste ohne Sauerstoff auf 500 bis 600 Grad Celsius und überführen den Kunststoff somit in die Dampfphase«, erklärt Dr. Alexander Hofmann, Abteilungsleiter Kreislaufwirtschaft am Fraunhofer-UMSICHT-Institutsteil in Sulzbach-Rosenberg. »Diesen Dampf kühlen wir wieder ab und kondensieren ihn zu Pyrolyse-Öl. Im Prozess wird das Pyrolyseöl vom

Koks abgetrennt. Zurück bleibt der Pyrolyse-Koks mit den darin enthaltenen Metallen.« Der Pyrolyse-Koks wiederum kann in den Kupferhütten über bereits etablierte Verhüttungsprozesse wirtschaftlich weiterverarbeitet werden, die Metalle werden zurückgewonnen. Eine Pilotanlage mit einem Durchsatz von 70 Kilogramm pro Stunde existiert bereits. Das Fraunhofer-Spin-off »Recycling Solutions Lippetal RSL« skaliert diese derzeit hoch – auf einen Durchsatz von 250 Kilogramm pro Stunde. 2022 soll die Anlage fertiggestellt sein.

### Mangel an Kunststoff-Granulaten begegnen

Unter Rohstoffmangel und hohen Rohstoffpreisen leiden nicht nur Hersteller, die auf Seltene Erden angewiesen sind, sondern auch Produzenten von Gummi- und Kunststoffwaren: 79 Prozent werden durch die hohen Preise von Kunststoff-Granulaten ausgebremst. Ein weiteres Argument für Kreislaufwirtschaft bei Kunststoffen ist die

»Wir erhitzen die Schredderreste ohne Sauerstoff auf **500 bis 600 Grad Celsius** und überführen den Kunststoff somit in die Dampfphase.«

Dr. Alexander Hofmann, Abteilungsleiter am Fraunhofer UMSICHT, Institutsteil Sulzbach-Rosenberg



»Unser Ziel ist eine Technologieplattform, mit der wir aus Altkunststoffen einen Rohstoff erzeugen können, der Neuware-Qualität hat.«

Dr. Alexander Hofmann

Rohstoffe, die vom Himmel regnen? Noch braucht das Hilfestellung. Dr. Alexander Hofmann vom Fraunhofer-UMSICHT arbeitet an skalierbaren Lösungen.

Abhängigkeit der Unternehmen von den erdölfördernden Ländern und deren Preispolitik. Außerdem wird der Export von Kunststoffmüll schwieriger. Verschiedene Abnehmerländer wie China lehnen die Entsorgung unserer Kunststoffe inzwischen ab.

Der Recyclingansatz für Kunststoffe vom Fraunhofer UMSICHT und vom Fraunhofer Cluster CCPE bietet großes Potenzial. »Unser Ziel ist eine Technologieplattform, mit der wir aus Altkunststoffen einen Rohstoff erzeugen können, der Neuware-Qualität hat«, fasst Hofmann zusammen. Gelungen ist das zum Beispiel bereits bei Rotorblättern von Windkraftanlagen – einem Abfallstrom, der einen großen Kunststoffanteil enthält. Die Schwierigkeit: Es handelt sich um Faserverbundstoffe. Die Experten zerschneiden das Rotorblatt in Flakes von wenigen Zentimetern Größe, die sie dann ebenso wie bei der Rückgewinnung der seltenen Metalle behandeln. Die Glasfasern werden aus der Kunststoff-Matrix herausgelöst, sie werden verwendet, um daraus Schaumglas zu erzeugen. Das Pyrolyse-Öl wiederum enthält die Kunststoff-Grundbausteine, die je nach Ausgangsmaterial entweder als Moleküle oder als Monomere im Öl vorliegen. Durch entsprechende Aufreinigungsverfahren gewinnen die Forscherinnen und Forscher daraus reines Styrol oder Phenol. Diese sind von ihrer chemischen Struktur von Neuware nicht zu unterscheiden und können der Kunststoffindustrie somit als Rohstoff dienen.

Mit der Frage, wie man Faserverbundstoffe im Kreislauf führen kann, befasst sich auch das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU gemeinsam mit 21 Partnern aus sieben EU-Ländern im bereits 2017 gestarteten EU-Projekt FiberEUse. Drei verschiedenen Grundprinzipien widmet sich das Team: dem thermischen Recycling, dem mechanischen Recycling ▶

und der Wiederverwendung von Bauteilen. »Wir vom Fraunhofer IWU haben gemeinsam mit den Firmen EDAG und INVENT wiederverwendbare Strukturen entwickelt«, erläutert Justus von Freedon, Wissenschaftler am Fraunhofer IWU. »Faserkunststoffverbunde mit Kohlenstofffasern eignen sich dafür sehr gut: Sie sind langlebig, haben eine sehr hohe Ermüdungsfestigkeit und korrodieren nicht.« Umgesetzt wurde das Vorhaben beispielhaft an zwei designunabhängigen Fahrzeugstrukturen: einer Sitzunterstruktur, die sich neu bepolstern lässt, und einem Grundrahmen für die Plattform eines Elektroautos. Um die Qualität der Verbundwerkstoffe zu überprüfen, nutzen die Forscher als Übergangstechnologie zerstörungsfreie Prüfung wie Ultraschall und Thermografie.

Das Ziel, Kohlenstoff aus Kunststoffen zu hundert Prozent im Kreislauf zu führen, verfolgen sieben Einrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft im Leitprojekt Waste4Future. Aktuell werden knapp 50 Prozent der Kunststoffe verwertet, etwa PET-Flaschen, der Rest wird verbrannt. »Wir betrachten die Stoffströme, unterteilen sie in Teilströme und ermitteln die passende, günstigste Aufbereitungsrouten«, sagt Dr. Sylvia Schattauer, stellvertretende Institutsleiterin des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS und Leiterin des Projekts Waste4Future. »Die einzelnen Technologien, die dafür nötig sind, müssen nicht neu entwickelt, sondern nur hochskaliert und geschickt miteinander kombiniert werden.«

Dafür hat das Forscherteam eine Technologiehierarchie aufgebaut – die jeweiligen Kompetenzen sind an den Instituten vorhanden. Das heißt: Alles, was mechanisch getrennt werden kann, wird aufbereitet. Was sich mechanisch nicht separieren lässt, kommt in die nächste Stufe, das physikalisch-chemische Trennen – hier lassen sich Re-Granulate und Primärketten herstellen. Der letzte Rest geht in die chemisch-thermische Verwertung, heraus kommen Pyrolyse-Öl und Synthesegas, die sich mit grünem Wasserstoff zu neuen Kunststoffen verarbeiten lassen.

»Das gesamte Material in das chemische Recycling zu schieben, macht keinen Sinn, da der Energieaufwand dafür sehr hoch ist. Das lohnt sich nur bei Stoffströmen, die

anders nicht verwertet werden können«, sagt Schattauer. Idealerweise entsteht somit ein Bewertungsmodell, mit dem Firmen ihre Stoffströme beurteilen können. Wichtig und neu dabei: Die Plattform berücksichtigt auch kostenwirtschaftliche Bewertungen. So fließen die Knappheit von Ausgangsstoffen, der Preis des Erdöls oder der Kunststoffgranulate als Neuprodukt in die Berechnungen ein, ebenso die Auslastungen der Produktionswege.

Ganz neuer Bedarf entsteht auch in anderen Bereichen. Für den Laien scheint Gips alles andere als rar zu sein – schließlich begegnet man diesem Baustoff allorten. Allein die deutsche Industrie benötigt jährlich zehn Millionen Tonnen. Doch: 60 Prozent des Gipses stammen aus Kohlekraftwerken, die 2040 geschlossen werden. Stand heute werden dann jährlich also rund sechs Millionen Tonnen Gips fehlen.

»Über Recycling von Gips aus Bauschutt lässt sich diese Lücke stoppen«, sagt Dr. Volker Thome, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Daran arbeitet das Forscherteam im Discover-Projekt ENSUBA, kurz für »Entsulfatisierung von Bauschutt«. Bisher landet die Feinfraktion des Bauschutts, also alles kleiner als zwei Millimeter, auf der Deponie. Die Mengen sind durchaus lohnenswert: Fünf Millionen Tonnen, vom Volumen her entspricht das 160 Mal dem Fernsehturm in Berlin. Diese Feinfraktion enthält etwa zehn Prozent Gips, der chemisch gebunden vorliegt.

Mit einem nasschemischen Verfahren können die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IBP den Gips wirtschaftlich aus der Feinfraktion herauslösen. »Zunächst vermischen wir den Bauschutt mit Ammoniumcarbonat,

besser bekannt als Hirschhornsalz, einem Backpulver für Lebkuchen«, erläutert Thome. So erhält man sulfatfreien, kalkhaltigen Bauschutt, der direkt im Zementwerk weiterverarbeitet werden kann, und Ammoniumsulfat. Gibt man Kalk zum Ammoniumsulfat, fällt der Gips aus. Zementwerke kämen als Abnehmer für beide Fraktionen in Betracht. In einem großen Pilotprojekt des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand wollen die Forscher das Verfahren nun hochskalieren und Kinderkrankheiten ausmerzen. »Die Methode ist relativ einfach – und das Interesse dementsprechend groß«, sagt Thome.

Jährlich werden  
weltweit  
**50 Milliarden**  
Tonnen Bausand  
verbaut –  
**40 Milliarden**  
entsprechen einer  
Mauer mit 27 m  
Breite und 27 m  
Höhe um den  
Äquator.

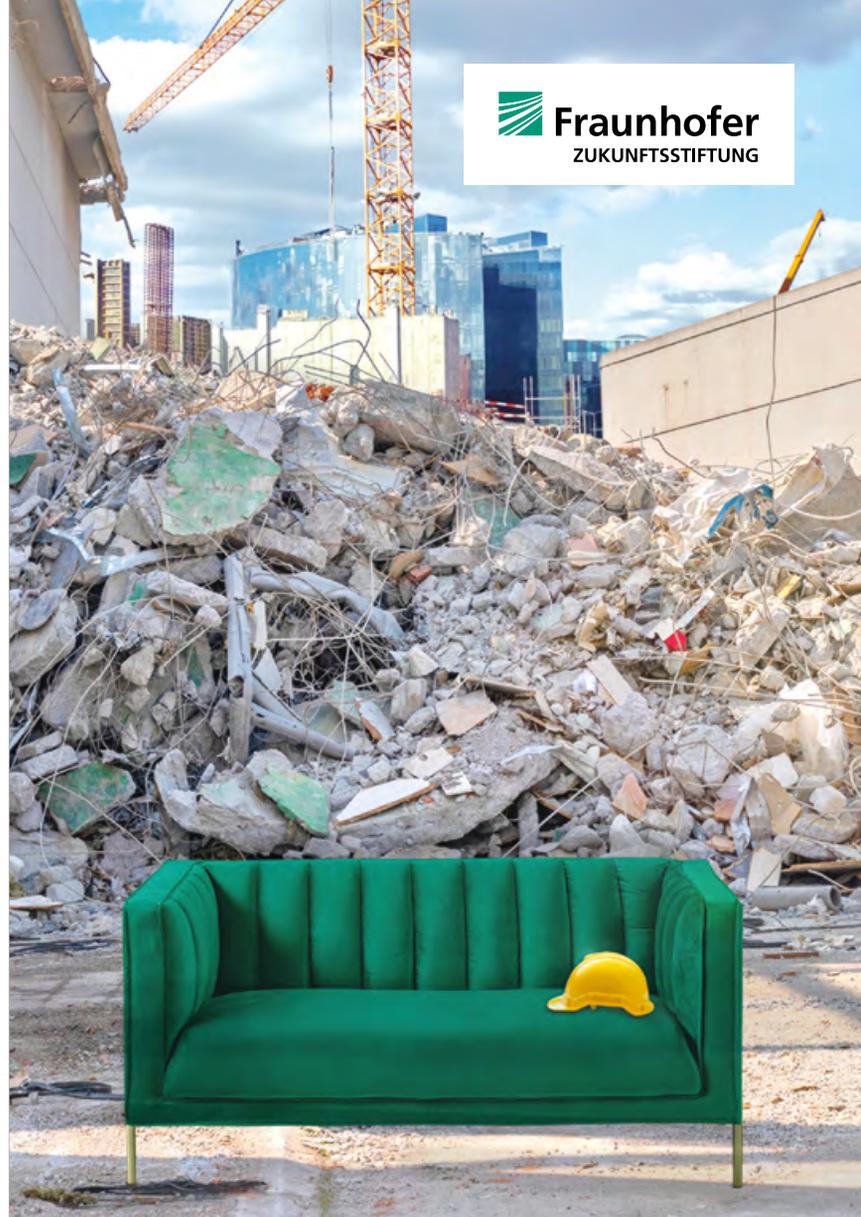
»Die Methode ist relativ einfach – und das Interesse dementsprechend groß.«

Dr. Volker Thome, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

500 000 Tonnen Gips ließen sich auf diese Weise jährlich gewinnen. Viel, aber nicht ausreichend. Daher entwickeln und optimieren die Forscher am Fraunhofer IBP im Verbundprojekt »Baucycle« gemeinsam mit dem Fraunhofer IML, dem Fraunhofer UMSICHT und dem Fraunhofer IOSB ein Verfahren, mit dem sich größere Bauschuttstücke elektrooptisch erkennen und über Druckluft aussortieren lassen. Auf diese Weise können Bruchstücke zwischen zwei Millimetern und acht Zentimetern nahezu sortenrein wiedergewonnen werden.

### Selbst in Dubai ist Sand Mangelware

Selbst Bausand gibt es längst nicht mehr wie Sand am Meer. So herrscht in Dubai bereits ein großer Bausandmangel, denn der Wüstensand eignet sich nicht – der gesamte Bausand wird aus Australien importiert. Auch andernorts ist Bausand heiß begehrt: Sandpiraten bauen vor Afrika illegal Sand ab und richten irreparable ökologische Schäden an. Auch sind 20 indonesische Inseln durch Sandraubbau gänzlich von der Landkarte verschwunden. Könnte man den Bausand aus altem Beton dagegen wieder zurückgewinnen, würde sich eine gigantische Quelle eröffnen: Denn Beton ist neben Wasser die meistgenutzte Substanz der Welt. Leicht ist das Unterfangen allerdings nicht: Noch lässt sich der Sand nicht von der umgebenden Matrix trennen. »Bisher wird der Beton einfach mechanisch zerkleinert. Mit der elektrodynamischen Fragmentierung haben wir jedoch erstmals eine Trennmethode entwickelt, mit der sich Sand, Kies und Stahlfasern aus dem Beton zurückgewinnen lassen«, berichtet Thome vom Fraunhofer IBP. Dabei werden unter Wasser ultrakurze Blitze erzeugt, die sich in den Festkörpern bevorzugt entlang von Phasengrenzen entladen und den Beton in seine Komponenten zerlegen. »Bereits bei der ersten Vorentladung, die die Gegenelektrode erreicht, entstehen Drücke im Bereich einer TNT-Explosion«, berichtet Thome. Während sich der Kies auf diese Weise sortenrein abtrennen und gleichwertig wiederverwenden lässt ▶



## Das Wissenschaftssofa der Fraunhofer-Zukunftsstiftung

### Beton-Recycling: Unsere Lösung für Klima- und Ressourcenschutz in der Baubranche

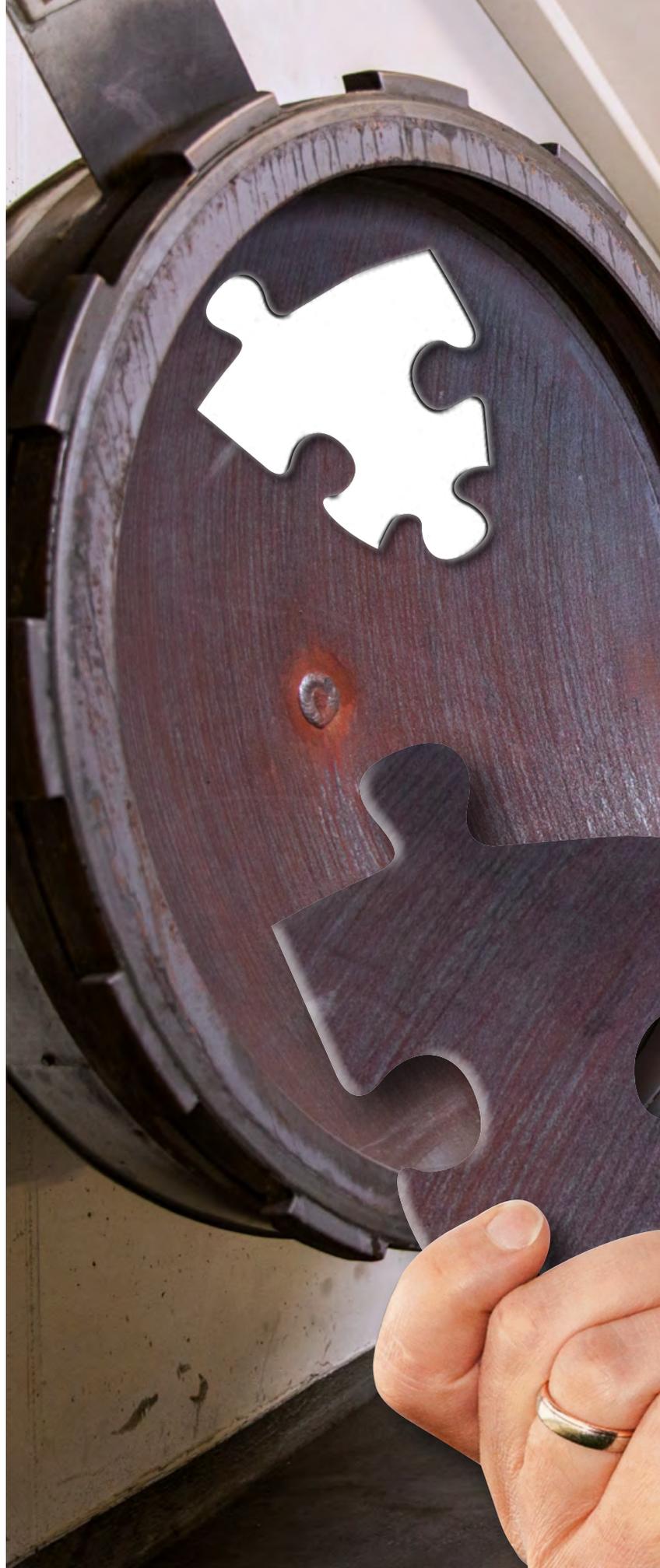
Fraunhofer-Forscher Dr. Volker Thome sprengt mit Blitzen die härtesten Brocken. Das Wissenschaftssofa ist zu Gast in seinem Labor am 10.11.2021, 16–17:30 Uhr. Anmeldung zur kostenfreien Online-Veranstaltung per Mail an [stiftung@fraunhofer.de](mailto:stiftung@fraunhofer.de)

Neues Veranstaltungsformat

und auch Stahlfasern sauber isoliert werden können, ist beim Sand noch etwas Forschungsarbeit nötig. Der liegt derzeit noch als Mischung aus Sand und Zementstein vor. Die Forscherinnen und Forscher arbeiten momentan an der sortenreinen Trennung. Bis dahin lässt sich jedoch auch die Mischung weiterverwenden – etwa für die Herstellung von Dämmstoffen. Bedeutende Hürden beim Recyclingprozess haben die Forscherinnen und Forscher bereits genommen. »In einem Kooperationsprojekt mit einem Generatorenhersteller konnten wir den Energieverbrauch für die elektrodynamische Fragmentierung auf ein Zehntel senken, dieser liegt jetzt im Bereich einer mechanischen Aufbereitung«, freut sich Thome. Auch das Problem des bislang geringen Durchsatzes löste das Team erfolgreich: Ende des Jahres soll eine Anlage mit einer Kapazität von drei Tonnen pro Stunde laufen – bisherige Anlagen schaffen nur eine.

Interessant ist das Verfahren auch beim Recycling von Müllverbrennungs-Aschen: Eisen, Nichteisen-Metalle wie Alufolie, Kronkorken, Glas, Steine und Keramik mit Größen über zwei Millimeter lassen sich komplett sortieren und verwerten. Das Aschevolumen lässt sich somit auf 50 bis 60 Prozent reduzieren. Ein weiteres Anwendungsfeld der elektrodynamischen Fragmentierung sind Feuerfestkeramiken, die unter anderem bei der Eisen- und Stahlherstellung oder in Müllverbrennungsanlagen eingesetzt werden. Einmal jährlich müssen diese ausgetauscht werden, die alten Keramiken werden deponiert. Da China jedoch einen hohen Eigenbedarf an diesen Keramiken hat, explodieren derzeit die Preise für Zuschläge – so etwa der für hochreines Bauxit: Es kostet mittlerweile 800 bis 1200 Euro pro Tonne. Zum Vergleich: Für Beton muss man lediglich 6 bis 14 Euro pro Tonne bezahlen. »Über die elektrodynamische Fragmentierung können wir diese Zuschläge in Originalqualität abtrennen, wir haben das Verfahren daher bereits 2017 zum Patent angemeldet«, erzählt Thome. Im aktuellen Fraunhofer-Projekt FAVRE, kurz für »Fragmentierungsanlage für Verbundwerkstoff-Recycling«, gefördert von der Fraunhofer-Zukunftsstiftung, skalieren die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IBP die Technologie nun hoch. Und erschließen damit eine neue Quelle für Bauxit und Co., die die Preise hoffentlich wieder purzeln lässt und die Verfügbarkeit der Rohstoffe langfristig sicherstellt. Auch in diesem Bereich zeigt sich: Wertstoffe werden immer wertvoller. ■

Eine runde Sache: Dr. Volker Thome vom Fraunhofer IBP im Sattdampfautoklaven zur Herstellung von Porenbeton.





## Interview

»Wir haben  
gezeigt, dass  
wir digital  
können.«

Dr. Bernd Althusmann ist Wirtschaftsminister in Niedersachsen – und energischer Verfechter der Digitalisierung. Im Interview sieht er auch die Gefahren: »Cyberspionage bei den Parteien ist ein wichtiges Thema, das wir sehr ernst nehmen.«

Interview: Josef Oskar Seitz

Bernd Althusmann, 54, ist seit 2017 Minister für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung – und stellvertretender Ministerpräsident in Niedersachsen.

\_\_\_\_\_ **Herr Althusmann, was fällt Ihnen zu einem Deutschland der Dichter ein?**

**Bernd Althusmann:** In erster Linie das, was wir wohl alle mit diesem Begriff verbinden: Wir haben das Glück, dass es in Deutschland immer Köpfe mit weltweiter Strahlkraft gab, die ihre Zeiten geprägt haben. Das ist bis heute so.

\_\_\_\_\_ **Ist es heute noch gerechtfertigt, von einem Deutschland der Denker zu sprechen?**

Eindeutig ja, denn unser größtes Pfund – neben der Industrie – war immer und ist weiterhin Bildung, Wissenschaft und Forschung. Das lässt sich vor allem am Erfindergeist in unserem Land ablesen. Im Jahr 2020 wurden über 42 000 Patente in Deutschland angemeldet. Über 3300 Anmeldungen kamen aus Niedersachsen. Mit 40 Patenten pro 100 000 Einwohnern liegen wir im Bundesvergleich auf Rang drei – hinter Bayern und Baden-Württemberg. Sie sehen, das Fortschrittsdenken ist nicht erst seit Corona ein wichtiges Thema für uns.

\_\_\_\_\_ **Womit wir beim dritten »D« sind, das Sie wiederholt angemahnt haben: Warum fordern Sie, dass sich Deutschland Digitalisierung als Staatsziel setzen muss?**

Die Beantwortung dieser Frage ist mehrschichtig. Ich versuche, es kurz und knapp zu sagen. Die Frage ist, wie eine zeitgemäße Staatlichkeit aussehen soll. In den kommenden Jahren soll der Online-Zugang zu Vorgängen der öffentlichen Verwaltung die »Zettelwirtschaft« bei Behördengängen ersetzen. Wir wollen eine bürgerfreundliche Dateninfrastruktur schaffen, Bürgerkonten und elektronische Identitäten sollen etabliert werden. Die Zukunft einer modernen Verwaltung ist digital. Der Begriff »Staatsziel« ist ja nicht neu. Die digitale Grundversorgung ist Teil der allgemeinen Daseinsvorsorge. Im Klartext: Diese Leistung muss zur Verfügung stehen – wie Strom und warmes Wasser, weil sie unser Leben auch in anderen Lebensbereichen maßgeblich prägen wird. Wie wichtig die Digitalisierung ist, wurde uns in den vergangenen anderthalb Jahren vor Augen geführt: Je digitaler eine Volkswirtschaft aufgestellt war, desto besser hat sie die Krise gemeistert.

\_\_\_\_\_ **Es war doch für manchen verstörend, dass Gesundheitsämter in den Kampf gegen Corona-Infektionsketten mit Kugelschreiber, Papier und Fax-Gerät ziehen mussten.**

Die Pandemie hat uns gezeigt, wie lang die Wege der Umsetzung mitunter sind. Das Thema Digi-

## Digitale Grundversorgung: »Diese Leistung ist wie Strom und warmes Wasser!«

talisierung habe ich umgehend nach Amtsantritt auf die Agenda gesetzt. Im Niedersächsischen Wirtschaftsministerium gibt es seit 2018 einen eigenen verantwortlichen Staatssekretär und eine Stabsstelle für Digitalisierung. Hier wird sehr gute Arbeit geleistet. Seit Mitte 2018 setzen wir Schritt für Schritt unseren Masterplan Digitalisierung um. Er umfasst über 90 Maßnahmen, der Großteil ist erfreulicherweise bereits abgearbeitet. Und: Wir erhöhen den Digitalisierungsgrad. Dabei spreche ich nicht nur von Schulen und Amtsgebäuden. Über das Programm »Digitalbonus Niedersachsen« fördern wir kleine und mittlere Unternehmen, die Investitionen in ihre Strukturen planen, mit bis zu 10 000 Euro. Dieses Programm ist eine Erfolgsgeschichte. Und zu Kugelschreiber, Papier und Fax würde ich gerne anmerken: Das sind Begriffe, die gerne verwendet werden, weil sie so schön plakativ sind. Allerdings bitte ich darum, dass jeder sich hinterfragt: Benutze ich selbst noch Stift und Zettel?

\_\_\_\_\_ **Manchmal steht ein viertes »D« gegen Digitalisierung: Datenschutz. Können Sie nachvollziehen, dass auch der Corona-Warn-App der Start so schwergemacht wurde?**

Ich bezweifle, dass Datenschutz gegen Digitalisierung steht. Denn gerade, wenn wir über ein Staatsziel sprechen, müssen Daten so gut wie möglich geschützt werden. Auch den Datenschutz gilt es zu modernisieren. Die Corona-App ist ein gutes Beispiel, wie digitale Prozesse funktionieren können und ständig angepasst werden. Zuerst ging es darum, eine geschützte Risikoeermittlung zu etablieren. Nun wissen wir, dass Eincheck- und Impfzertifikatsfunktionen die Relevanz der App ausmachen. Allerdings sollten wir solche Weiterentwicklungen der App auch den Nutzerinnen und Nutzern kontinuierlich besser vermitteln. Nicht nur in Deutschland gab und gibt es Dichtende und Denkende, aus dem alten Griechenland stammt der Spruch: »Steter Tropfen höhlt den Stein.« Was können wir also aus der Einführung der Corona-App lernen? Wir brauchen eine breite Öffentlichkeitsarbeit, und zwar nicht erst kurz vor der Ziellinie, sondern bereits beim Startschuss. Entscheidend für den Erfolg ist, dass die Bürgerinnen und Bürger einen konkreten Mehrwert erkennen und akzeptieren. ►



## 60er

Bernd Althusmann wurde am 3. Dezember 1966 geboren – als Sohn einer Krankenschwester und eines evangelischen Pastors.



## 2001

Neben dem damaligen niedersächsischen CDU-Vorsitzenden Christian Wulff protestiert der sicherheitspolitische Sprecher und Offizier gegen Standortschließungen der Bundeswehr.



## 2010

Bernd Althusmann bei der Vereidigung zum Kultusminister Niedersachsens.



## 2010

Seifenblasen-Experiment mit Kindern. Als Kultusminister zeichnet Althusmann eine Kita als »Haus der kleinen Forscher« aus.

\_\_\_\_\_ **Vertrauen ist die Währung, wenn sich Menschen die Digitalisierung zunutze machen sollen. Im Deutschland-Index der Digitalisierung gaben 73 Prozent der Befragten an, dem Umgang der öffentlichen Verwaltung mit ihren privaten Daten zu vertrauen. Zu viel der Vorschuss-Lorbeeren?**

Der Wert erinnert mich ein wenig an die Impfquote. 73 Prozent sind schon sehr gut, 100 Prozent wären besser. Im Ernst: Vorschuss-Lorbeeren sollten ein Antrieb und kein Ruhekitzen sein.

\_\_\_\_\_ **Im Land der Dichter, Denker und Digitalisierer gibt es immer wieder schöne neue Worte. Bringt uns das »Registermodernisierungsgesetz« in diesem Jahr einen großen Schritt voran?**

Die Politik hat in der letzten Zeit versucht, Ziel und Sinn von Gesetzen schon im Namen zu verdeutlichen. Das war ein sicherlich gut gemeinter Versuch einer besseren Kommunikation zwischen Politikerinnen und Politikern und Bürgerinnen und Bürgern – aber heraus kamen blumige Wortgebilde oder verschwurbelte Schachtel-Ungetüme. Im Fall des »Registermodernisierungsgesetzes« aber wissen zumindest alle Fachleute, dass hier für die Betriebe in Deutschland ein deutlicher Vorteil entsteht: Beim Kontakt mit einer Verwaltung muss das Unternehmen nicht immer wieder die gleichen Daten angeben, wenn sie an anderer Stelle bereits bekannt sind. Entscheidend ist, dass die Unternehmens-ID ausreicht, um sich zu identifizieren. Für den Bürger ist die Steuer-ID entscheidend. Meldebescheinigung oder Geburtsurkunde müssen nicht jedes Mal erneut vorgelegt werden. Dadurch werden die Bearbeitungszeiten kürzer. Also: Ja. Dieses Gesetz wird – trotz des sperrigen Namens – eine der Grundlagen für digitalisiertes Handeln des Staates sein und uns alle damit einen großen Schritt voranbringen.

\_\_\_\_\_ **Auch »Verwaltungsverfahrensgesetz« ist ein schönes deutsch gedichtetes Wort. Sollen digitale Nachweise und Papiernachweise gleichgestellt werden?**

Ein gutes Beispiel für eine »Ja, aber«-Antwort. Wir müssen zunächst einige Voraussetzungen klären beziehungsweise schaffen – in diesem Fall unter anderem die Frage der Authentifizierung. Die technischen Mittel sind vorhanden. Wenn eine digitale Signatur fälschungssicher und eindeutig zuzuordnen ist sowie die langfristige Archivierung gewährleistet werden kann, können wir auch mit digitalen Dokumenten so

umgehen, wie wir es aktuell mit analogen Unterlagen tun. Klar ist aber auch: Es wird immer Abstufungen und unterschiedliche Sicherheitsklassen geben – ein Personalausweis ist nun mal in seinen Sicherheitserfordernissen anders einzustufen als ein Bewohnerparkausweis.

\_\_\_\_\_ **Glauben Sie an digitale Souveränität – und: Wie ist sie zu erreichen?**

Digitale Souveränität meint in erster Linie die Möglichkeit, auch in der digitalisierten Welt nach eigenen Werten und Normen zu leben. Wenn zum Beispiel die US-amerikanische Überwachungspraxis jeglicher Telekommunikation gegen europäisches Recht verstößt, kann die Antwort darauf nicht sein, auf die eigene Grundrechte-Charta zu verzichten. Vielmehr muss Europa dann in der Lage sein, nötigenfalls auf Dienste auszuweichen, die dem europäischen Recht entsprechen. Das scheint zurzeit nicht der Fall zu sein. Die Förderung von offenen Standards, wie es gerade bei GAIA-X passiert – ein Projekt mit einem futuristischen Namen, bei dem gemeinsame Anforderungen an eine europäische Dateninfrastruktur entwickelt werden –, ist ein Schritt in die richtige Richtung. Denn auf der nächsten Stufe geht es auch um die digitale Souveränität von Privatleuten und Unternehmen, die die Möglichkeit haben sollten, Dienste zu wechseln. Zudem handelt es sich bei »digitaler Souveränität« auch um ein Bildungsziel. Hier sehe ich alle – Eltern, Schulen, Universitäten, Medien – darin gefordert, digitale Mechanismen zu erklären, zu hinterfragen und dadurch eine fortschrittliche Medien- und Digitalkompetenz zu etablieren. Und auch der Staat hat bei diesem Thema eine Bringschuld: Gesetze und Regeln aus der analogen Lebenswirklichkeit müssen auch in die digitale Welt passen.

\_\_\_\_\_ **Sie sind Landesvorsitzender der CDU in Niedersachsen. Die »Wirtschaftswoche« hat im Juli öffentlich gemacht, dass die Fraunhofer-Gesellschaft die IT-Sicherheit in der Parteienlandschaft getestet und die Parteispitzen vor gravierenden Sicherheitslücken gewarnt hatte. Mails könnten abgefangen, Daten gestohlen oder gelöscht werden – dabei sei die IT-Sicherheit der Parteien von besonderer Bedeutung »für die Stabilität unserer Demokratie«. Sehen Sie Handlungsbedarf?**

Cyberangriffe und Online-Kriminalität stellen eine zunehmende Herausforderung für die Wirtschaft, für staatliche Behörden und leider auch für die Politik dar. Bundeswahlleiter



Georg Thiel hat erst kürzlich erklärt, er halte die Gefahr von Cyberangriffen auf die kommende Bundestagswahl für hoch. Die Behörden treffen dafür bereits koordinierte Vorbereitungen. Auch Cyber-Spionage bei den Parteien ist ein wichtiges Thema, das wir sehr ernst nehmen. Im Januar gab es bekanntermaßen Cyber-Angriffe beim ersten digitalen CDU-Bundesparteitag auf die Server der Union. Die Partei war jedoch auf diesen Fall vorbereitet und konnte die Angriffe abwehren. Wir sind also als Partei durchaus mit diesem Thema befasst und werden weiterhin wachsam bleiben und unsere Strukturen stetig weiter verbessern.

**Über Wochen und Monate hat eine Internet-Attacke den sachsen-anhaltinischen Landkreis Anhalt-Bitterfeld in der Verwaltung lahmgelegt. Wir haben ein IT-Sicherheitsgesetz, das Betreiber kritischer Infrastrukturen verpflichtet, Cyberangriffe sofort ans Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik BSI zu melden. Brauchen wir nach der Attacke auf eine Landkreis-Verwaltung auch eine Informationspflicht für die 294 Landkreise und 11 000 Kommunen in Deutschland?**

Leider findet man Beispiele für Cyberangriffe inzwischen auch in Niedersachsen. Und sobald kritische Infrastrukturen – ich spreche beispielsweise von Krankenhäusern, Wasserwerken und Verkehrsunternehmen – betroffen sind, trifft diese Meldepflicht auch jetzt schon

## Cyberangriffe und Online-Kriminalität stellen eine zunehmende Herausforderung dar.

Der studierte Pädagoge Bernd Althusmann will Schülerinnen und Schüler spielerisch für künstliche Intelligenz und Startup-Kultur begeistern – unter anderem mit dem Wettbewerb »DigitalSTARTer«.

die Kommunen, soweit sich die Betreiberinnen und Betreiber in kommunaler Trägerschaft befinden. Aber generell: Jede Meldung an das BSI ist ein Baustein zu mehr Sicherheit für uns alle. Sollte sich also zukünftig abzeichnen, dass Kommunen gezielt und gehäuft angegriffen werden, könnte es sinnvoll sein, sie in den Kreis der Meldepflichtigen aufzunehmen. Immerhin bedeutet ein mehrwöchiger Ausfall einer kommunalen IT eine massive Einschränkung der Versorgungslage.

**Herr Althusmann, wir haben begonnen mit dem Land der Dichter und Denker. Haben Sie eine Lektüre-Empfehlung zu einem Werk, das Ihnen durch die Corona-Krise geholfen hat?**

Da orientiere ich mich am niedersächsischen Dichter Wilhelm Raabe, der befand: »Es gehört zur Weisheit, gelegentlich ein bisschen töricht zu sein.« Damit will ich sagen, dass man über den eigenen Horizont schauen sollte und auch Expertisen »von außen« einholen darf. Deshalb empfehle ich das Buch »Schwacher Staat im Netz« von Martin Schallbruch. Der Titel klingt auf den ersten Blick staatskritisch, doch Martin Schallbruch ist ein angesehener Informatiker, der 18 Jahre lang in verschiedenen Abteilungen des Bundesinnenministeriums tätig war. Sein Buch ist dabei so geschrieben, dass es auch Nichtinformatikerinnen und Nichtinformatiker wie ich gut lesen können. ■



### 2017

Kanzlerin Angela Merkel unterstützt den Spitzenkandidaten für die Landtagswahl – und das nicht nur mit Körpereinsatz.



### 2017

Bernd Althusmann mit Familie bei der Trauung von Ernst August Prinz von Hannover. Er ist in zweiter Ehe verheiratet.



### 2019

Ein Prosit auf die Zukunft: Wirtschaftsminister Bernd Althusmann beim Sommerfest der niedersächsischen Landesregierung.

# Ganz schön schmerzhaft

Nierensteine tun weh. Sie zu zertrümmern und die Bruchstücke endoskopisch zu entfernen, ist Routine. Doch was geschieht mit den kleinen Splittern, die der Greifer nicht fassen kann? Ein Hydrogel ist die Lösung – und die soll schon bald auf den Markt kommen.

Von Mehmet Toprak



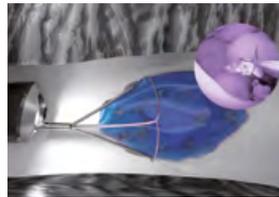
So schön kann ein Nierenstein sein – unter dem Mikroskop betrachtet.

**E**twa 50 000 Nierensteine werden in Deutschland endoskopisch entfernt, und das Jahr für Jahr. Mithilfe eines speziellen Lasers lassen sich die Steine zuverlässig zertrümmern und die größeren Bruchstücke durch einen Greifer abtransportieren. Ungelöst blieb das Problem der vielen winzigen Trümmerteile, häufig kleiner als ein Millimeter. Eine wirksame Methode, diesen Steingries zu entfernen, gab es bisher nicht. Eine Lösung präsentiert jetzt das Medizintechnikunternehmen Purenum GmbH. Das Spin-off aus dem Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Bremen dosiert über einen durch das Endoskop geführten Katheter eine transparente Flüssigkeit ins Innere der Niere. Diese umfließt die winzigen Steinsplitter, die der Greifer nach der Zertrümmerung nicht entfernen konnte. Anschließend wird eine zweite Flüssigkeit aufgebracht, die innerhalb weniger Sekunden eine Gelbildung auslöst. Nun fasst der Greifer das Gel und transportiert es samt den Splittern ab.

**Entwickelt wurde die Technik** von einer Projektgruppe am Fraunhofer IFAM unter Leitung von Dr. Ingo Grunwald. Gleichzeitig arbeitete sein Kollege Manfred Peschka am Unternehmenskonzept. »Ursprünglich war es der Anruf eines Urologen gewesen, der uns auf die Idee gebracht hat«, erzählt Grunwald. »Er hatte uns von seinem Einfall erzählt, eine Art klebriger Flüssigkeit könnte den Steingries in der Niere einsammeln. Dann haben wir uns an die Arbeit gemacht.« Das Institut konnte hier seine langjährige Kompetenz bei Werkstoffen und insbesondere im Bereich Kleben einbringen. Unterstützt wurde das Projekt von Prof. Bernd Mayer, Institutsleiter des Fraunhofer IFAM. Auch er war schnell überzeugt: »Die Idee ist einfach gut. Deshalb haben wir das Vorhaben von Anfang an mitgetragen.«

Nachdem die Untersuchungen und Labortests ergeben hatten, dass das Konzept funktionieren würde, gründeten Grunwald und Peschka im Dezember 2017 das Spin-off Purenum GmbH. Erste Mission des Unternehmens war die Entwicklung des Hydrogel-Systems mediNiK zum Entfernen von Nierensteinfragmenten. Das Hydrogel-System besteht aus zwei dünnflüssigen Komponenten. »Der Katheter, der durch das Endoskop geführt wird und die Flüssigkeit in das Innere der Niere bringt, hat einen Innendurchmesser zwischen 0,6 und 0,7 Millimeter. Die Flüssigkeit muss daher

Von mediNiK umhüllte Steinreste werden mit einem Greifer gefasst und angehoben.



»Die Idee ist einfach gut.«

Prof. Bernd Mayer,  
Fraunhofer IFAM

wirklich dünn wie Wasser sein«, erklärt Peschka. Erst dann wird die zweite Flüssigkeit appliziert und beide zusammen bilden ein elastisches Gel. Stabil genug, um den Steingries festzuhalten, flexibel genug, um vom Greifer an der Spitze gepackt und durch die Harnröhre nach außen gezogen zu werden. Die Niere wird von den restlichen Fragmenten befreit und kann vollständig und schmerzfrei ausheilen.

»Um eine wirklich praxisgerechte Lösung zu finden, hat das Purenum-Team mit 40 Ärztinnen und Ärzten zusammengearbeitet, jeden ihrer Handgriffe beobachtet, wenn sie Nierensteine entfernten, und sie nach ihren praktischen Anforderungen befragt«, erzählt Purenum-Geschäftsführer Peschka.

So müssen die Komponenten eingefärbt sein, damit die Ärztin oder der Arzt während der Operation auf dem Videobildschirm sieht, wo genau die Flüssigkeiten in der Niere sind und ob sie die winzigen Trümmer auch erfasst haben. Die erste Komponente ist blau, die zweite gelb eingefärbt. »Die Entwicklung des Farbstoffs hat uns einige Kopfschmerzen bereitet«, erzählt Peschka. Dieser muss gleich mehrere Anforderungen erfüllen. Er darf das Innere des Organs nicht einfärben, die Materialeigenschaften der Flüssigkeiten nicht verändern und muss gleichzeitig transparent sein.

Doch auch diese Hürde wurde genommen. Die Behörden sind von der Qualität des Hydrogels und insbesondere seiner biologischen Verträglichkeit für den Menschen überzeugt. Gerade hat mediNiK die Zertifizierung als Medizinprodukt erhalten. Ab Anfang 2022 kann es für alle Nierenstein-Patienten zum Einsatz kommen.

**Es wird nicht das einzige Produkt** des Fraunhofer-Spin-offs bleiben. Purenum arbeitet an sogenannten biomimetischen Klebstoffen. Diese könnten eines Tages beispielsweise zur Behandlung von Knochenbrüchen eingesetzt werden. Gerade bei den kleinen Handgelenkknöcheln ist es oft nicht möglich, die Splitter via Draht so zu befestigen, dass der Knochen perfekt zusammenwächst. Durch einen medizinischen Klebstoff könnten auch Knochensplitter und komplizierte Brüche präzise zusammengefügt werden und damit perfekt ausheilen. ■



**Video zum Thema:**

<https://purenum.com/produkte.html>

# Schleichweg ins Gehirn

Die Blut-Hirn-Schranke schützt das Gehirn und das zentrale Nervensystem vor Schadstoffen und macht es zugleich unerreichbar für viele Medikamente. Aber es gibt eine kleine Lücke in dem Verteidigungswall – ein neuer Pfad für den Kampf gegen Alzheimer, Parkinson, MS?

Von Christine Broll

Im Gehirn heißt es für die meisten Arzneimittel: »Stop – geschlossene Gesellschaft!« Denn die Blutgefäße, die das Gehirn in einem feinen Netz durchziehen, sind mit einer speziellen, dichten Gefäßwand ausgekleidet. Passieren können nur Substanzen, die das Gehirn für seine Arbeit benötigt. Für manche Nährstoffe, wie zum Beispiel Glucose oder Eisen, gibt es in den Gefäßwänden sogar extra Pforten, in denen genau geprüft wird, wer eintreten darf. Alle anderen müssen draußen bleiben.

Mit dieser Barriere, die als Blut-Hirn-Schranke bezeichnet wird, schützt sich das Gehirn vor unerwünschten Eindringlingen wie Bakterien, Viren oder Schadstoffen. Nur wenige Wirkstoffe, die aus kleinen Molekülen bestehen, sind in der Lage, die Blut-Hirn-Schranke zu überwinden. Dazu zählen unter anderem Alkohol, Kokain und das Schmerzmittel Diclofenac. Große Moleküle, wie therapeutische Antikörper, schaffen das nicht. Aber es sind gerade die therapeutischen Antikörper, die für die Behandlung neuronaler Erkrankungen wie Alzheimer, Parkinson oder Multiple Sklerose den Durchbruch bringen könnten.

Seit Jahrzehnten suchen Forschungsteams auf der ganzen Welt nach Strategien, mit denen man die Blut-Hirn-Schranke überwinden kann. Ein vielversprechender Weg führt über die Nase. Denn die Riechschleimhaut ist direkt mit dem Bulbus olfactorius verbunden, dem Riechkolben des Gehirns. Im EU-Projekt N2B-patch entwickelten elf Partner aus acht Ländern eine Technologie, mit der man therapeutische Antikörper so in der Nase applizieren kann, dass sie vom Riechepithel auf-

genommen und ins Gehirn transportiert werden.

»Für die Entwicklung dieser Plattformtechnologie haben wir einen Antikörper ausgewählt, der für die Behandlung der Multiplen Sklerose zugelassen ist«, erklärt Projektkoordinatorin und Projektleiterin Dr. Carmen Gruber-Traub vom Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart. Bei der Multiplen Sklerose, kurz MS, zerstören Immunzellen das Myelin, das die Nervenfasern umhüllt. Ohne diese Isolierschicht ist die Nervenleitung beeinträchtigt. Die Betroffenen leiden unter Seh- und Gefühlsstörungen, Schmerzen und Lähmungen. Die meisten der heute zur Therapie eingesetzten Antikörper werden intravenös verabreicht und bremsen die Autoimmunreaktion. »Wenn die Antikörper über das Riechepithel direkt in das zentrale Nervensystem gelangen könnten, wäre ihre Wirkung wesentlich effektiver«, verdeutlicht Carmen Gruber-Traub.

**Die erste Herausforderung war die richtige Verpackung der Antikörper.** Diesen Part übernahm das Fraunhofer IGB. »Es ist uns gelungen, Mikropartikel herzustellen, in denen die Antikörper bei Raumtemperatur über Wochen stabil sind«, berichtet Teilprojektleiterin Lena Marie Spindler. Appliziert werden die Partikel gemeinsam mit einem Hydrogel, das wie ein Pflaster auf der Riechschleimhaut haftet. Um zu testen, ob die Antikörper vom Riechepithel aufgenommen werden, ging das Projektteam einen ungewöhnlichen Weg. »Wir bekamen von einer Landmetzgerei in der Nähe von Stuttgart Schweineschnauzen, die normalerweise als Schlachtab-

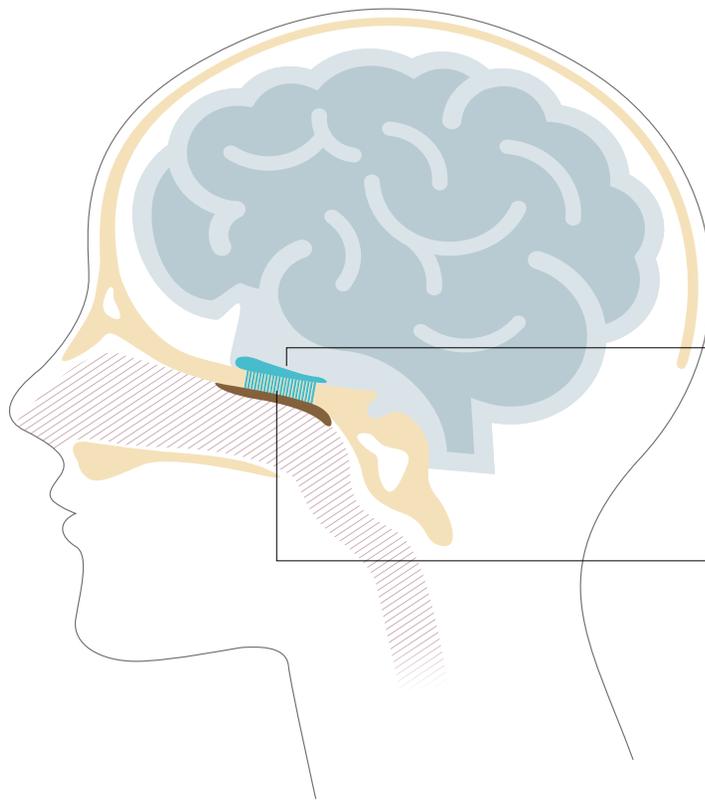
fall entsorgt werden«, berichtet Gruber-Traub. »Aus diesen Schnauzen haben wir das Riechepithel gewonnen und unsere Formulierung getestet.« Die Ergebnisse zeigten, dass ein wichtiger Meilenstein erreicht ist: Die Antikörper werden aus den Partikeln freigesetzt und von der Riechschleimhaut aufgenommen.

**Das nächste Problem: Wie platziert man die Partikel und das Hydrogel in der Nase?** Eine schwierige Aufgabe, denn die Riechschleimhaut hat beim Menschen nur eine Fläche von rund fünf Quadratzentimetern und befindet sich links und rechts im Dach der oberen Nasenhöhle. Hier fand die Beiter GmbH die passende Lösung. Das Team um Rolf Pfäffle konstruierte einen Applikator, den man auf ein Endoskop aufsetzt. Damit kann geschultes medizinisches Personal die Partikel und das Hydrogel unter Sichtkontrolle an der richtigen Stelle auftragen.

Das neue Verabreichungssystem wird in Kürze zum Patent angemeldet. »Wir konnten zeigen, dass der Antikörper in den Riechkolben des Gehirns gelangt. Von dort verteilt er sich in weitere Regionen des Gehirns. Der Geruchssinn wird durch das Hydrogelpflaster nicht beeinträchtigt«, resümiert Gruber-Traub. »Mit unserer Technologie könnte es möglich sein, Wirkstoffe in einem Zeitraum von ein bis zwei Wochen kontinuierlich und zuverlässig an das Gehirn zu verabreichen. Danach muss eine neue Anwendung erfolgen.« Um das System weiter zu optimieren, laufen zusätzliche Forschungen im EU-weiten Projekt Bio2Brain. Damit der Schleichweg ins Gehirn möglichst bald für Patientinnen und Patienten zur Verfügung steht. ■

# Nose2Brain – durch die Nase direkt ins Gehirn

Über die Riechschleimhaut lässt sich die Blut-Hirn-Schranke umgehen



## Neuer Pfad für Medikamente

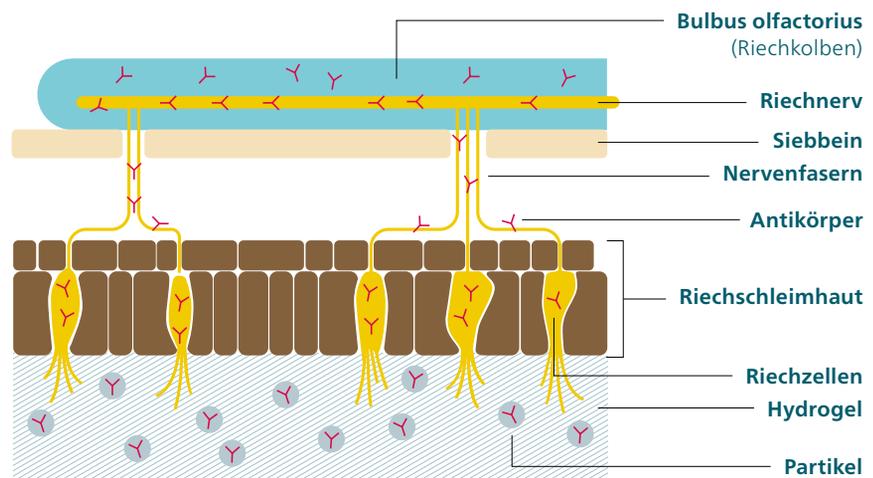
Die Riechschleimhaut ist so groß wie eine Briefmarke und liegt im Dach der oberen Nasenhöhle. Sie hat eine direkte Verbindung zum Bulbus olfactorius, dem Riechkolben des Gehirns. Im Projekt N2B-patch nutzt das Forschungsteam den Weg über die Riechschleimhaut, um Medikamente ins Gehirn zu schleusen.

**Bulbus olfactorius**  
(Riechkolben)

**Riechschleimhaut**

## Löchriger Schädelknochen als Schlupfloch

Um therapeutische Antikörper ins Gehirn zu schleusen, werden sie in Partikel verpackt. Die Partikel werden gemeinsam mit einem Hydrogel auf die Riechschleimhaut appliziert. Die Antikörper lösen sich aus den Partikeln und wandern in die Riechschleimhaut ein. Von dort nutzen sie den Weg entlang der Nervenfasern und durchdringen so das Siebbein, einen Schädelknochen, der von vielen Löchern durchzogenen ist. Weiter geht es in den Riechnerv und damit in den Riechkolben des Gehirns.



**Bulbus olfactorius**  
(Riechkolben)

**Riechnerv**

**Siebbein**

**Nervenfasern**

**Antikörper**

**Riechschleimhaut**

**Riechzellen**

**Hydrogel**

**Partikel**

## Stimme aus der Wirtschaft



Dr. Torsten Jeworrek ist der Meister der Wahrscheinlichkeiten. Zu seinem Verantwortungsbereich gehört unter anderem die Georisikoforschung.

# Klimaschutz braucht Technologie

Dringender kann der Appell kaum ausfallen: Im Juli warnte der Weltklimarat, dass die Welt die Begrenzung der Erderwärmung auf möglichst 1,5, höchstens 2 Grad zu verfehlen droht. Jedenfalls, wenn nicht bald mit sehr striktem Klimaschutz begonnen wird.

Ein Standpunkt von Dr. Torsten Jeworrek, Vorstandsmitglied der Munich Re

**D**ie jüngsten Wetterkatastrophen wirken wie Vorboten dessen, was kommen kann. Die Wissenschaft ist sich einig: Durch den Klimawandel werden Naturgefahren wie Hitzewellen, verheerende Sturzfluten und Waldbrände häufiger. Drei Felder stehen für mich im Mittelpunkt, um den Klimawandel und dessen Folgen zu begrenzen:

**1. Ein globaler, zunächst aber mindestens EU-weiter Markt für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate.** Richtig ausgestaltet ist es der effizienteste Weg, Emissionen zu reduzieren und dabei klare Preissignale zu senden. Zudem ist die ungefähre Preisentwicklung für die Unternehmen aller Branchen antizipierbar. Sie müssen so keine Adhoc-Anpassungen befürchten. Für die Handelsperiode bis 2030 sind die Emissionsmengen im Handelssystem der EU zwar festgelegt, nun muss diese Mengensteuerung jedoch zügig und stimmig mit den politisch gesetzten Zeitzielen bis hin zu »Net-Zero« angepasst werden.

**2. Die Entwicklung neuer Technologien für eine klimafreundliche Wirtschaft.** Die Transformation in eine kohlenstoffarme Wirtschaft bedarf einer Stimulierung von Technologien und Innovationen in exponentiellem Ausmaß. Deutschland benötigt dringend eine Innovations- und Aufbruchmentalität, denn das Know-how für die Technologien der Zukunft ist vorhanden.

**3. Prävention, um die jetzt schon unvermeidbaren Folgen der globalen Erwärmung abzumildern.** Ein umfassendes Katastrophenmanagement mit Fokus auf Schadensvorbeugung und Stärkung der Resilienz wird nicht nur menschliches Leid reduzieren, sondern auch ein zunehmend relevanter Faktor im internationalen Wettbewerb um Standortvorteile sein.

Was man damit nicht sinnvoll verhindern kann, lässt sich meist mit Versicherung abdecken. Egal ob rein privatwirtschaftlich oder gemeinsam mit dem Staat, ein Risikotransfer muss dabei mit Preisen verbunden sein, die das Risiko möglichst genau widerspiegeln. Nur so verstehen Verbraucher, Unternehmen und Gesellschaft die Risiken und haben den Anreiz, diese zu reduzieren. Aufgabe der Versicherer ist es, mit Wissen und Daten die Basis dafür zu liefern.

»Wir kooperieren vielfach mit Fraunhofer, zum Beispiel beim Betrieb von Testfeldern für Photovoltaik-Systeme oder dem Aufbau eines Windenergie-Datenpools.«

## Dr. Torsten Jeworrek

- ▶ Ist seit 2002 Mitglied des Vorstands der Münchner Rück AG, die heute Munich Re heißt.
- ▶ Begann seine Laufbahn bei der Münchner Rück 1990 als Underwriter in der Abteilung Vertrag Feuer. 1997 übernahm er die Referatsleitung im Geschäftsbereich Sach/Feuer, anschließend die Abteilungsleitung Re-insurance und Retrozession, 2001 die Leitung des Geschäftsbereichs Niederlande, Nordische Länder, UK und Irland.
- ▶ Wurde 1961 in Oschersleben (Sachsen-Anhalt) geboren und studierte Mathematik an der Universität Magdeburg. Nach seiner Promotion arbeitete er dort vier Jahre lang als wissenschaftlicher Mitarbeiter.

**Als Risikoträger nehmen wir den Klimawandel sehr ernst.** Wir befassen uns seit fast fünf Jahrzehnten mit dessen Folgen. Auf beiden Seiten der Bilanz – bei Kapitalanlagen und dem Versicherungsgeschäft – kümmern wir uns um geringere Emissionen. Wir sehen uns bei der Markteinführung und Skalierung erneuerbarer Energien und anderer Klimatechnologien in einer wichtigen Rolle, durch spezifische Risikolösungen diese Technologien leichter finanzierbar und investierbar zu machen.

Ein paar Beispiele: Seit vielen Jahren decken wir Leistungsgarantien für Photovoltaikmodule, Ähnliches folgt nun für große Stromspeicher. Wir versichern die Folgen von zu wenig oder zu viel Wind für die Ausbeute von Offshore-Windanlagen. Wir arbeiten intensiv an Versicherungslösungen für Wasserstoff-Technologien. Wir befassen uns also ausgiebig mit den Technologietrends und den spezifischen Anforderungen einer klimafreundlichen Wirtschaft, um Know-how, Experten und dann letztlich auch passende Risikomanagement-Lösungen zu haben.

Eigenes Wissen und Daten sind für Versicherer dabei eine wichtige Grundlage – aber nicht ausreichend. Es bedarf auch enger Verbindungen zur Forschung, insbesondere zur angewandten Forschung, wie sie von der Fraunhofer-Gesellschaft betrieben wird. Ihre Forschungsprojekte zur besseren Wasserspeicherung in Städten bei Starkniederschlägen durch „Urbanes Grün“ oder zu Speichersystemen in Straßen sind für uns als Versicherer besonders relevant. Vielfach kooperieren wir daher mit Fraunhofer, zum Beispiel beim Betrieb von Testfeldern für Photovoltaik-Systeme oder dem Aufbau eines Windenergie-Datenpools. Alles sehr umsetzungsnahe Projekte und wichtig für Investoren in künftige Technologien.

Solche Technologien braucht es für den Kampf gegen den Klimawandel, sonst wäre Klimaschutz nur mit großem Wohlstandsverzicht möglich. Der Weg über neue Technologien hat zudem einen unschätzbaren Vorteil, der weit über die Erfüllung von Klimazielen hinausgeht: Wir würden damit in Deutschland und Europa sprunghaft die Wettbewerbsfähigkeit in zentralen Zukunftstechnologien erhöhen. Und wir würden unser Schicksal wieder beherzt in die Hand nehmen – etwas, das diesem Land sehr guttun würde. ■

# Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser

Die Menschen wollen Künstliche Intelligenz, haben aber auch Angst vor ihr. Forschende am Fraunhofer IAIS machen autonomes Fahren, virtuelle Assistenten und Co. vertrauenswürdig.

Von Dr. Sonja Endres

»Es gibt eine Vielzahl von Risiken, die es zu bedenken gilt – aber auch Möglichkeiten, damit umzugehen.«

Dr. Michael Mock,  
Fraunhofer IAIS

Die KI wird mit vom Computer erzeugten Bildern trainiert.



**E**infach am Zielort aussteigen und dem Auto die Parkplatzsuche überlassen? Noch fünf Jahre, schätzt Dr. Michael Mock, Privatdozent und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS, dann könnte der Traum in Erfüllung gehen. Künstliche Intelligenz (KI) soll es möglich machen. Allerdings: Wer würde sein Fahrzeug einer KI überlassen, der er nicht vertrauen kann? Schließlich möchte man sichergehen, dass das autonom durch das Stadtviertel kurvende Auto auf der Suche nach einem Parkplatz keinen Schaden nimmt – und keinen Schaden verursacht.

**Noch ist die Skepsis groß.** Laut einer Umfrage des deutschen Digitalverbandes Bitkom vom September 2020 verlangen neun von zehn Befragten, dass KI-Systeme vor einer Zulassung »besonders gründlich« geprüft sein müssen. Das zeigt die Sorge. Die Hoffnung: Gleichzeitig bewerteten zwei Drittel die Chancen, die mit der Technologie einhergehen, als enorm.

Vertrauen in KI: Genau daran arbeitet Michael Mock mit seinen Kolleginnen und Kollegen am Fraunhofer IAIS. »Künstliche Intelligenz ist die Schlüsseltechnologie, mit der wir die Digitalisierung entscheidend voranbringen können – vorausgesetzt, uns gelingt es, das Vertrauen in sie zu fördern«, ist Mock überzeugt. Während herkömmliche Software auf Grundlage von Algorithmen funktioniert, die vom Entwickler vorgegeben werden, werden KI-Systeme mit einer großen Menge an Beispieldaten gefüttert, aus denen sie selbstständig lernen und Regeln ableiten (»Maschinelles Lernen«). Welche das sind, bleibt im Verborgenen. Selbst im Nachhinein lassen sie sich oft nur zum Teil oder gar nicht ermitteln – der Nutzer muss darauf vertrauen, dass die KI zu den richtigen Schlüssen kommt.

In dem Projekt »Zertifizierte KI« entwickeln Mock und das Fraunhofer IAIS-Team Methoden und Maßnahmen, mit denen sich KI-Systeme absichern lassen. Im Juni haben die Forschenden einen »Leitfaden zur Gestaltung vertrauenswürdiger Künstlicher Intelligenz« veröffentlicht, der kostenlos im Internet zur Verfügung steht.

**Auch die EU sieht Handlungsbedarf.** Im April legte sie den weltweit ersten rechtlichen Rahmen für KI vor. »Bei Künstlicher Intelligenz ist Vertrauen ein Muss und kein Beiwerk«, betonte Kommissionsvizepräsidentin für Digitales Margrethe Vestager. KI, die die Sicherheit, die Lebensgrundlagen und die Rechte von Menschen bedroht, soll verboten werden, Systeme mit hohem Risiko müssen strenge Vorgaben erfüllen, bevor sie auf den Markt kommen. »Der EU-Vorschlag für die Regulierung von KI ist sehr gut«, urteilt Mock.

»Bei Künstlicher Intelligenz ist Vertrauen ein Muss und kein Beiwerk.«

Margrethe Vestager, EU-Kommissionsvizepräsidentin für Digitales

»Es werden sinnvolle Anforderungen gestellt – allerdings kaum Maßnahmen genannt, wie sie erfüllt werden können. Da ist unser Leitfaden schon deutlich konkreter.« Das 160 Seiten umfassende Werk soll Entwicklern helfen, von Anfang an alle relevanten Kriterien zu berücksichtigen. »Es gibt eine Vielzahl von Risiken, die es zu bedenken gilt – aber auch Möglichkeiten, damit umzugehen«, sagt Mock.

Jedes Prüfverfahren beginnt mit der Risikoanalyse. Sie erfolgt systematisch nach grundlegenden Anforderungsbereichen, den sechs »Dimensionen der Vertrauenswürdigkeit«: Fairness, Zuverlässigkeit, Autonomie und Kontrolle, Transparenz, Sicherheit, Datenschutz. »Nicht jede Dimension ist für jeden Anwendungsfall relevant«, betont Mock. So spiele beispielsweise für eine KI-gesteuerte Farbmischmaschine in der industriellen Produktion die Dimension Fairness, also die Frage danach, ob die KI alle Betroffenen fair behandelt, keine Rolle – im Unterschied zu einer automatisierten Bewerberauswahl. Hier ist es entscheidend, der KI in der Trainingsphase die richtigen Beispiele zur Verfügung zu stellen, um eine Benachteiligung auf-

grund von Geschlecht, Alter, Religionszugehörigkeit, Hautfarbe oder Ethnie zu vermeiden. Beispiel Amazon: 2018 machte der Digitalkonzern publik, dass sein KI-System männliche Bewerber bevorzugt hatte, weil in den zugrundeliegenden Beispieldaten Frauen unterrepräsentiert waren. Beispiel Twitter: Hier begünstigte die Bildbeschneidungsautomatik weiße Frauen, die bestimmten Schönheitsidealen entsprachen. Als Konsequenz schaltete der Konzern die Software vor Kurzem ab. »Das zeigt, wie wichtig es ist, die Trainingsdaten für die KI sorgfältig auszuwählen. Oft transportieren sie menschliche Vorurteile«, warnt Mock. Darüber hinaus gebe es mathematische Methoden, mit denen man sicherstellen könne, dass alle betroffenen Gruppen fair berücksichtigt werden. Sie sind im kürzlich entwickelten Leitfaden beschrieben, ebenso wie Überprüfungsmöglichkeiten.

Für das autonome Fahren spielen alle sechs Dimensionen der Vertrauenswürdigkeit eine Rolle. Zusammen mit Volkswagen leitet Mock stellvertretend das Projekt »KI-Absicherung« für automatisierte Mobilität und übernimmt auch die wissenschaftliche Koordination. Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie haben sich hier große deutsche Automobilhersteller, Zulieferer, Technologie-Unternehmen und Forschungsinstitutionen zusammengeschlossen. Das Gesamtbudget beträgt 41 Millionen Euro.

**Von zentraler Bedeutung für die Vertrauenswürdigkeit** der KI im Auto und zugleich das Spezialgebiet Mocks: die Zuverlässigkeit. Auch hier ist die Auswahl der Beispiele entscheidend, mit denen die KI trainiert wird. Dafür legt das Fraunhofer IAIS-Team zunächst die Rahmenbedingungen fest, unter denen die Wahrnehmungsmodule, beispielsweise die Fußgängererkennung, funktionieren sollen. Wie jedes andere Softwaresystem benötigt KI einen genau definierten Betriebsbereich, der im Kontext des autonomen Fahrens als Operational Design Domain, kurz ODD, bezeichnet wird. »Man spezifiziert also, für welche Anwendungsfälle die KI getestet worden ist und wo sie zuverlässig funktioniert«, erklärt Mock. Dann werden die Beispieldaten künstlich per ►

Computer erzeugt. »Mit diesen synthetischen Daten können wir sichergehen, dass wir innerhalb unserer ODD ausreichend viele und genügend variable Beispiele berücksichtigt haben.« Also Kinder, Alte oder Rollstuhlfahrer, teilweise verdeckt oder frei stehend, vor diversen Hintergründen wie Werbeplakaten, Hauswänden, Glasscheiben, bei Nebel oder Regen, verschiedenen Sonnenständen oder in der Dämmerung. Mithilfe der synthetischen Daten wird das Funktionsmodul später auch getestet. Die KI bekommt künstlich erzeugte Bilder gezeigt und muss dann entscheiden: Ist darauf ein Fußgänger zu sehen oder nicht? Dabei muss sie die gelernten Regeln auf unbekannte Beispielbilder übertragen können und geringfügige Abweichungen tolerieren (»Robustheit«).

**Trotzdem wird die KI manchmal keine eindeutige Entscheidung treffen können.** Mock gibt zu bedenken: »Auch für einen

Menschen ist es ja oft gar nicht so leicht zu erkennen, ob in einiger Entfernung im Nebel oder in der Dunkelheit ein Fußgänger unterwegs ist.« In diesem Fall soll die KI ihre Unentschiedenheit offenlegen und den Fahrer warnen, damit er das Steuer übernehmen kann. Solche Eingriffsmöglichkeiten sichern zusammen mit anderen Maßnahmen, beispielsweise zur Überwachung der Anwendung, die Autonomie und Kontrolle des Menschen – ein weiteres Qualitätskriterium für vertrauenswürdige KI. Menschliches Handeln, so die Prämisse, hat immer Vorrang.

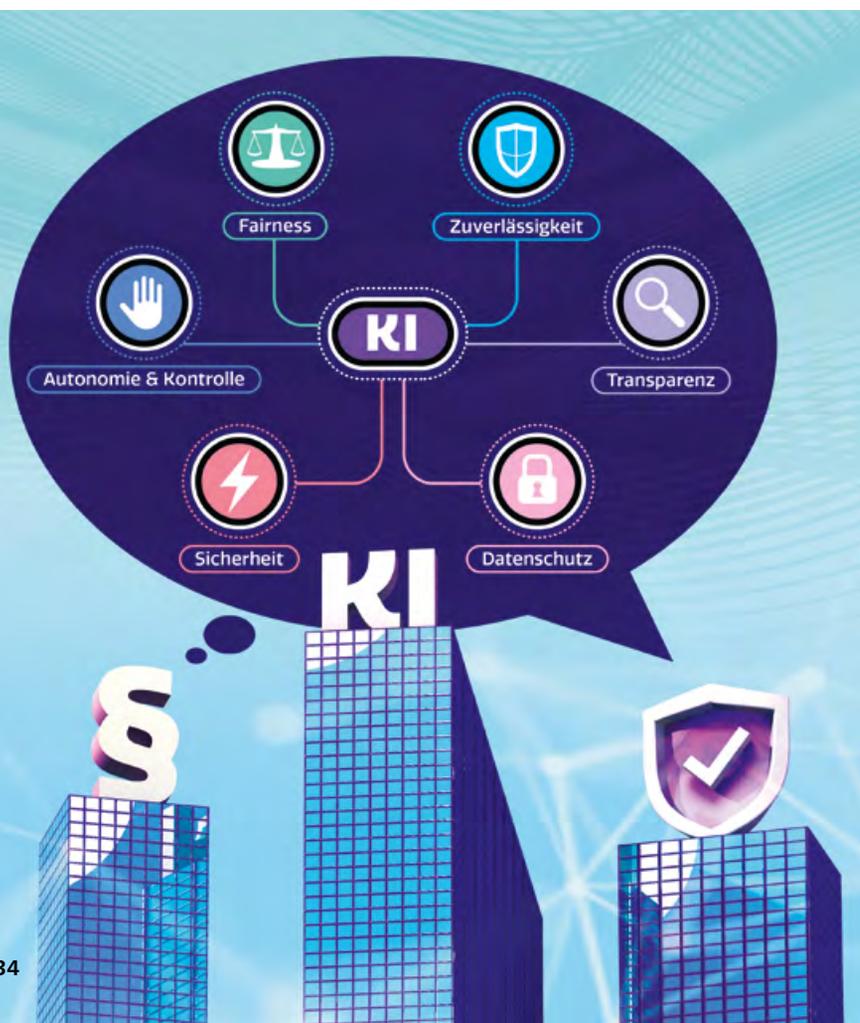
Auch Transparenz schafft Vertrauen. In dieser Dimension versuchen die Forschenden, die Entscheidungsprozesse innerhalb der KI nachvollziehbar zu machen und einen Blick in die »Black Box« zu werfen – wichtig unter anderem für die Fehlersuche, aber auch zur Absicherung von rechtlichen Ansprüchen. So muss beispielsweise die automatisierte Beurteilung der Kreditwürdigkeit überprüfbar sein, wenn

Kunden gegen eine schlechte Bewertung Klage erheben.

**Die Dimension Sicherheit** zielt vor allem auf Risiken durch Fehlfunktionen, externe Angriffe oder Unfälle. Um solche Gefahren zu minimieren, sieht der Leitfaden des Fraunhofer IAIS unter anderem Schutzmaßnahmen vor Schadprogrammen und umfangreiche Tests vor, die einen Ausfall der KI-Anwendung provozieren. Von besonders großer Bedeutung für die Vertrauenswürdigkeit von KI-Systemen ist zudem der Datenschutz: »KI-Systeme operieren auf der Grundlage von extrem großen Datenmengen. Durch ihre Verknüpfung, wir nennen es Linkage, können leicht Rückschlüsse auf personenbezogene oder vertrauliche Trainingsdaten gezogen werden«, warnt Mock. Dem lässt sich jedoch durch verschiedene Verfahren, zum Beispiel zur Anonymisierung oder absichtlichen Verzerrung von Daten, entgegenwirken.

Wie wichtig die Absicherung von KI ist, hat das Amazon Logistikzentrum in New York City im Frühjahr 2020 erlebt, zu Beginn der Corona-Pandemie. Das automatisierte Personalmanagementsystem teilte an Covid-19 schwer erkrankte Mitarbeiter in die Nachtschicht ein, versandte Kündigungen bei Fernbleiben von der Arbeit, setzte Leistungszahlungen aus. »Natürlich konnte man die Pandemie nicht vorhersehen«, findet Mock. Trotzdem sei es möglich, so ein Chaos zu verhindern – zum Beispiel indem man im Vorfeld klar festlegt, unter welchen Rahmenbedingungen die KI funktioniert. »Wenn ich normalerweise einen Krankenstand von drei Prozent habe, und meine Selbstüberwachung meldet einen Krankenstand von zehn Prozent, könnte ich dafür sorgen, dass automatisch eine Warnung versandt und das System abgeschaltet wird.«

Mock und seine Kolleginnen und Kollegen arbeiten jetzt zusammen mit dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik BSI und weiteren Partnern daran, die Schutzmaßnahmen und -methoden weiterzuentwickeln, Anforderungen zu verfeinern und zu standardisieren. Ziel ist ein Gütesiegel für vertrauenswürdige KI, das Anfang kommenden Jahres einsatzbereit sein soll. ■



## **Staffellauf des Wissens**

***Herr  
Prof. Neugebauer,  
was macht Ihnen  
Hoffnung***

***?***

Computer erzeugt. »Mit diesen synthetischen Daten können wir sichergehen, dass wir innerhalb unserer ODD ausreichend viele und genügend variable Beispiele berücksichtigt haben.« Also Kinder, Alte oder Rollstuhlfahrer, teilweise verdeckt oder frei stehend, vor diversen Hintergründen wie Werbeplakaten, Hauswänden, Glasscheiben, bei Nebel oder Regen, verschiedenen Sonnenständen oder in der Dämmerung. Mithilfe der synthetischen Daten wird das Funktionsmodul später auch getestet. Die KI bekommt künstlich erzeugte Bilder gezeigt und muss dann entscheiden: Ist darauf ein Fußgänger zu sehen oder nicht? Dabei muss sie die gelernten Regeln auf unbekannte Beispielbilder übertragen können und geringfügige Abweichungen tolerieren (»Robustheit«).

**Trotzdem wird die KI manchmal keine eindeutige Entscheidung treffen können.** Mock gibt zu bedenken: »Auch für einen

Menschen ist es ja oft gar nicht so leicht zu erkennen, ob in einiger Entfernung im Nebel oder in der Dunkelheit ein Fußgänger unterwegs ist.« In diesem Fall soll die KI ihre Unentschiedenheit offenlegen und den Fahrer warnen, damit er das Steuer übernehmen kann. Solche Eingriffsmöglichkeiten sichern zusammen mit anderen Maßnahmen, beispielsweise zur Überwachung der Anwendung, die Autonomie und Kontrolle des Menschen – ein weiteres Qualitätskriterium für vertrauenswürdige KI. Menschliches Handeln, so die Prämisse, hat immer Vorrang.

Auch Transparenz schafft Vertrauen. In dieser Dimension versuchen die Forschenden, die Entscheidungsprozesse innerhalb der KI nachvollziehbar zu machen und einen Blick in die »Black Box« zu werfen – wichtig unter anderem für die Fehlersuche, aber auch zur Absicherung von rechtlichen Ansprüchen. So muss beispielsweise die automatisierte Beurteilung der Kreditwürdigkeit überprüfbar sein, wenn

Kunden gegen eine schlechte Bewertung Klage erheben.

**Die Dimension Sicherheit** zielt vor allem auf Risiken durch Fehlfunktionen, externe Angriffe oder Unfälle. Um solche Gefahren zu minimieren, sieht der Leitfaden des Fraunhofer IAIS unter anderem Schutzmaßnahmen vor Schadprogrammen und umfangreiche Tests vor, die einen Ausfall der KI-Anwendung provozieren. Von besonders großer Bedeutung für die Vertrauenswürdigkeit von KI-Systemen ist zudem der Datenschutz: »KI-Systeme operieren auf der Grundlage von extrem großen Datenmengen. Durch ihre Verknüpfung, wir nennen es Linkage, können leicht Rückschlüsse auf personenbezogene oder vertrauliche Trainingsdaten gezogen werden«, warnt Mock. Dem lässt sich jedoch durch verschiedene Verfahren, zum Beispiel zur Anonymisierung oder absichtlichen Verzerrung von Daten, entgegenwirken.

Wie wichtig die Absicherung von KI ist, hat das Amazon Logistikzentrum in New York City im Frühjahr 2020 erlebt, zu Beginn der Corona-Pandemie. Das automatisierte Personalmanagementsystem teilte an Covid-19 schwer erkrankte Mitarbeiter in die Nachtschicht ein, versandte Kündigungen bei Fernbleiben von der Arbeit, setzte Leistungszahlungen aus. »Natürlich konnte man die Pandemie nicht vorhersehen«, findet Mock. Trotzdem sei es möglich, so ein Chaos zu verhindern – zum Beispiel indem man im Vorfeld klar festlegt, unter welchen Rahmenbedingungen die KI funktioniert. »Wenn ich normalerweise einen Krankenstand von drei Prozent habe, und meine Selbstüberwachung meldet einen Krankenstand von zehn Prozent, könnte ich dafür sorgen, dass automatisch eine Warnung versandt und das System abgeschaltet wird.«

Mock und seine Kolleginnen und Kollegen arbeiten jetzt zusammen mit dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik BSI und weiteren Partnern daran, die Schutzmaßnahmen und -methoden weiterzuentwickeln, Anforderungen zu verfeinern und zu standardisieren. Ziel ist ein Gütesiegel für vertrauenswürdige KI, das Anfang kommenden Jahres einsatzbereit sein soll. ■



## Staffellauf des Wissens

***Klimawandel,  
erneuerbare  
Energien,  
Industrieland: Herr  
Prof. Neugebauer,  
was macht Ihnen  
Hoffnung, dass der  
Strukturwandel  
gelingt?***

# Klimawandel, erneuerbare Energien, Industrieland: Herr Prof. Neugebauer, was macht Ihnen Hoffnung, dass der Strukturwandel gelingt?

## **Neue Serie:** **Staffellauf des Wissens**

Unsere Zeit wirft **viele Fragen auf – Fraunhofer-Forschende bemühen sich um Antworten.** In dieser Ausgabe beginnt das »Fraunhofer-Magazin« eine neue Reihe. 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**«. Den Anfang macht **Prof. Reimund Neugebauer**, der Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft.

**K** eine Frage, die Transformation zu einer nachhaltigen Wertschöpfung ist mit enormen Herausforderungen verbunden, die ein Umdenken erfordern und denen wir uns als Gesamtgesellschaft stellen müssen. Dennoch bin ich überzeugt, dass der Strukturwandel erfolgreich umgesetzt wird. Dem effizienten und nachhaltigen Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse und Entwicklungen in innovative Anwendungen kommt hier eine Schlüsselrolle zu. Er ist das Rückgrat unseres Innovationssystems, mit dem wir die nächste technologische Revolution aktiv mitgestalten und einen entscheidenden Beitrag zu einer nachhaltigen Wertschöpfung, resilienten Gesellschaft und zu technologischer Souveränität leisten können. Entscheidend ist: Wir müssen begreifen, dass Ökonomie und Ökologie keine Gegensätze sind.

### **Die Erfolge sind messbar**

Als Partner von Wirtschaft und Politik unterstützt Fraunhofer Unternehmen, sich den strukturellen Veränderungen mit neuen Technologien und Geschäftsmodellen zu stellen und strategisch auf dem Markt zu positionieren. Die Erfolge sind messbar. Nach einer Untersuchung des Fraser of Allander Insti-

tute der University of Strathclyde (GB) führen Fraunhofer-Aktivitäten zu Investitionseffekten in der Wirtschaft von mehr als 15,2 Milliarden Euro – und zu einer maßgeblichen Steigerung der Vollzeit Arbeitsplätze. Erst dieses Jahr hat Fraunhofer in Leuna, Görlitz und Bremerhaven in Form der Hydrogen Labs drei international einzigartige Kooperationsplattformen für Forschung und Industrie geschaffen. Sie decken den gesamten Prozess von der CO<sub>2</sub>-neutralen Stromerzeugung durch Offshore- und Onshore-Energiegewinnung über die Optimierung der Elektrolyse und die Produktion der dabei eingesetzten Anlagen bis zur Nutzung – beispielsweise in der Chemischen Industrie –, Speicherung und dem Transport von Grünem Wasserstoff ab.



Prof. Reimund Neugebauer,  
Präsident der Fraunhofer-  
Gesellschaft

Entwicklung werden unter anderem die Schaffung von Arbeitsplätzen (87 Prozent) und die Ansiedlung von Bildungs- und Forschungseinrichtungen (68 Prozent) genannt.

Mit einer engen lokalen Zusammenarbeit stellen wir zum einen sicher, dass die Technologien stets an den aktuellen Bedarfen der Wirtschaft ausgerichtet sind, zum anderen können wir den Transfer von Beginn an in die Entwicklung einbeziehen. Damit meine ich sowohl, Schlüsseltechnologien in die industrielle Nutzung zu bringen, als auch Akzeptanz in der Bevölkerung für deren Nutzung zu schaffen. Beides sind wichtige Erfolgsfaktoren für das Gelingen des Strukturwandels. ▶

### Wegbereiter für die Wasserstoffwirtschaft

Die digital vernetzte Infrastruktur bietet Test- und Qualifizierungskapazitäten für die notwendigen Elektrolyse- und Brennstoffzellensysteme von über 25 Megawatt, um den benötigten Markthochlauf von grünen Wasserstofftechnologien zu beschleunigen. Damit stellen die Hydrogen Labs einen wichtigen Wegbereiter für eine zukunftsfähige und nachhaltige Wasserstoffwirtschaft dar. Neben der Entwicklung von neuen Technologien hat sich Fraunhofer aber auch selbst ambitionierte Ziele zum Klimaschutz gesetzt. Bis 2030 wollen wir klimaneutral sein. Zum einen durch eine emissionsarme Bewirtschaftung unserer Gebäude und eine klimafreundliche Beschaffung, zum anderen aber auch durch CO<sub>2</sub>-neutrale Mobilität und Technologieprojekte zur Kompensation verbleibender Emissionen.

Entscheidend für die Technologieentwicklung und damit auch die erfolgreiche Gestaltung des Strukturwandels, ist die enge Zusammenarbeit mit der Industrie und kommunalen Akteuren vor Ort, wie es auch bei den Hydrogen Labs der Fall ist. Eine repräsentative Meinungsumfrage in Bautzen und Görlitz zeigt: Die Mehrheit der Bevölkerung hält es für wichtig, die Menschen vor Ort in die aktive Gestaltung des Strukturwandels einzubeziehen, um die Zukunft als Energiestandort zu sichern. Als wichtige Faktoren für die wirtschaftliche

**Als Partner von  
Wirtschaft und Politik  
unterstützt Fraunhofer  
Unternehmen, sich  
den strukturellen  
Veränderungen mit  
neuen Technologien  
und Geschäfts-  
modellen zu stellen  
und strategisch auf dem  
Markt zu positionieren.  
Die Erfolge sind  
messbar.**

Ein Beispiel ist hier die zunehmende Digitalisierung in der Gesundheitswirtschaft oder Bioökonomie, die mit einer zielgruppengerechten Aus- und Weiterbildung von Fachkräften einhergehen muss.

Für eine erfolgreiche Verknüpfung von Systemen im Rahmen der Sektorkopplung und zirkulären Wirtschaft werden sowohl Normung und Standardisierung als auch Transparenz und Partizipation ausschlaggebend sein. Bei alldem spielt im Übrigen auch der Einbezug regionaler Gegebenheiten eine wichtige Rolle. Historisch gewachsene wirtschaftliche und gesellschaftliche Strukturen beeinflussen den Bedarf an neuen Technologien und das Tempo ihres Transfers. Deshalb ist es wichtig, diese regionalspezifischen Besonderheiten zu berücksichtigen und innovative Lösungsansätze für die und gemeinsam mit den Regionen zu entwickeln und zu etablieren.

Insbesondere Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten spielen in diesem Kontext eine wichtige Rolle. Laut dem Stifterverband für Deutsche Wissenschaft erwirtschaften diese zwar rund 30 Prozent des Umsatzvolumens in Deutschland, verausgaben jedoch bislang nur 8 bis 12,5 Prozent des gesamten Forschungs- und Entwicklungsbudgets deutscher Unternehmen.

#### **Das Zusammenspiel aller Faktoren ist entscheidend**

Im zweiten Schritt gilt es, die Regionen und Akteure revier- und branchenübergreifend zu vernetzen und aktuelle Entwicklungen in der Politik, auf dem Markt und in der Gesellschaft miteinzubeziehen. Beispielsweise die Zielsetzungen im Rahmen des Klimaschutzgesetzes, aktuelle Rohstoffpreise oder das Prinzip von Angebot und Nachfrage. Insbesondere, wenn es um Lösungen für eine breite Anwendung geht, die – um beim Beispiel Wasserstoff zu bleiben – Infrastruktur und Logistik erfordern.

Das Zusammenspiel aller Faktoren – die beschleunigte und effiziente Einführung neuer Technologien in den Markt, eine breite Akzeptanz in der Nutzung und eine schnelle Anpassung an regionalspezifische und überregionale neue Entwicklungen in Gesellschaft, Politik und Markt – ist entscheidend für das Gelingen des Strukturwandels. ■

**Staffellauf des Wissens 2**  
**Herr Prof.**  
**Welf-Guntram**  
**Drossel, wann**  
**werden wir**  
**mit Elektro-**  
**oder Wasser-**  
**stoffantrieben**  
**genauso weit**  
**reisen können**  
**wie mit**  
**Verbrennungs-**  
**motoren?**

**F**lexibilität und Unabhängigkeit sind heute gefragt, wenn es ums Reisen geht. Eine hohe Reichweite suggeriert ein hohes Maß an Unabhängigkeit. Eine Zwangsunterbrechung der Fahrt für ein notwendiges Auftanken oder Laden wird als Begrenzung der Flexibilität empfunden.

Während die Reichweite moderner Dieselfahrzeuge um die 1000 km beträgt, liegt sie bei Wasserstoff-Pkw bei ca. 500 km und bei Batteriefahrzeugen noch etwas darunter. Die Hauptursachen dafür: die Energiedichte und der technische Aufwand für die Integration der Energiespeicher in das Fahrzeug. Damit erklärt sich das Paradox, dass die batterieelektrischen Fahrzeuge mit dem höchsten Antriebswirkungsgrad heute häufig die geringste Reichweite haben. Vergleicht man den Energiebedarf des Antriebes für eine Strecke von 500 km, stecken in den notwendigen 35 Litern Diesel 245 kWh, in den benötigten 6 Norm-kg Wasserstoff 200 kWh und die batterieelektrischen Fahrzeuge kommen mit ca. 90 kWh Batterieladung aus.

### Die große Herausforderung bleibt, die Energiedichte zu erhöhen

Dabei ist die Betankung bei Benzin, Diesel und Wasserstoff in wenigen Minuten abgeschlossen. Das Laden der Batteriefahrzeuge dauert häufig sehr viel länger. Um ungefähr gleiche Befüllungszeiten zu erreichen, sind hohe elektrische Ladeleistungen erforderlich. Denkt man das Beispiel für batterieelektrische Fahrzeuge weiter, muss man für einen Schnellladevorgang in 15 Minuten an der Ladesäule im Minimum 360 kW Leistung bereitstellen. Für 1000 km Reichweite wären es bei gleichen Grundannahmen ein ca. 180 kWh großer Energiespeicher und 750 kW Ladeleistung. Geht man von einer Energiedichte heutiger Batteriesysteme im Fahrzeug von 150 Wh/kg aus, würde eine solche Batterie für 1000 km Reichweite rund 1,2 t wiegen!

Damit wird eine große Herausforderung für die Zukunft deutlich: die Erhöhung der Energiedichte der Batterien, von der Zelle bis zum System. So könnten auch konstruktive Optionen in der Fahrzeugarchitektur und positive Auswirkungen für den Ressourcenverbrauch während der Produktion erreicht wer-

Im Jahr 2030 kann es etwa **18 750 Schnelllade-punkte geben. Wenn sie bedarfsgerecht verteilt werden, wäre ein vergleichbar zügiges und flexibles Reisen möglich.**

den – für eine tatsächliche Klimaneutralität der E-Mobilität zwingende Voraussetzungen. Das Problem der notwendigen Ladeleistung bleibt damit aber ungelöst. Die zweite Herausforderung liegt deshalb in der Entwicklung der Mobilitätsinfrastruktur.

Während es in Deutschland ca. 14 000 Tankstellen für Diesel und Benzin gibt, sind es nur 750 Ladepunkte der Leistungsklasse > 250 kW und sogar nur 100 Tankstellen für Wasserstoff. Damit ist offensichtlich, dass nicht der Antrieb allein für die Reisegeschwindigkeit entscheidend ist, sondern vor allem die Infrastruktur. Heute wird für Wasserstoff- und batterieelektrische Fahrzeuge daher eine gute Streckenplanung benötigt, die nur mit exzellenten Kenntnissen der vielfältigen Apps und Zahlungsmodalitäten gelingt. Die gute Nachricht ist, dass in den Ausbau der Infrastruktur derzeit massiv investiert wird.

Wenn man annimmt, dass das Verhältnis von Schnellladepunkten zu der Gesamtanzahl der Ladepunkte konstant bleibt, gibt es im Jahr 2030 bei einer Million Ladepunkten (Ziel der Bundesregierung) etwa 18 750 Schnellladepunkte. In der Hoffnung, dass diese bedarfsgerecht verteilt werden, wäre dann auf alle Fälle ein vergleichbar zügiges und flexibles Reisen möglich. ■



Prof. Welf-Guntram Drossel,  
Leiter des Fraunhofer-Instituts  
für Werkzeugmaschinen und  
Umformtechnik IWU

**In der nächsten Ausgabe:**

**Wann kann es gelingen, den gesamten Primärenergiebedarf Deutschlands aus regenerativen Quellen zu gewinnen?**

## Technologische Souveränität

# Wie die Wirtschaft wehrhafter wird

**Corona, Cyberangriffe, Chipmangel –**  
die Verwundbarkeiten sind gerade sehr sichtbar geworden.  
Fraunhofer-Forschende arbeiten an den Lösungen.

Von Tim Schröder  
Fotografie: Stefan-Thomas Kröger

Bisher müsse der Kunde bei Elektronik häufig »blind vertrauen«, klagt Jörg Stephan von der Forschungsfabrik Mikroelektronik. Ein vernetzter Blick soll mehr Sicherheit schaffen – die Icons stehen für Design, geistiges Eigentum, Fertigung, Schnittstellen, Standards, Analyse und Test, Versand/Lieferketten und den Endkunden.



**E**s ist Anfang Oktober, als Opel in Eisenach sein Werk schließen muss. Erst 2022 sollen die 1300 Beschäftigten wieder an ihre Arbeitsplätze zurückgeholt werden.

Begründung des Autokonzerns: »Die globale Automobilindustrie befindet sich aufgrund der anhaltenden Pandemie und einem weltweiten Mangel an Halbleitern in einer Ausnahmesituation.« Die Ausnahmesituation misst sich in Zahlen. Die Unternehmensberatung Alix Partners geht davon aus, dass den Autoherstellern aufgrund des Mangels an Halbleiter-Chips Einnahmen in Höhe von 178,9 Milliarden Euro entgehen werden. Damit korrigiert die Beratungsfirma die eigenen Berechnungen von Mai, als sie noch von knapp 94 Milliarden Euro ausgegangen war. Die Lage ist dramatisch – nicht nur für die Autoindustrie.

Das Beispiel der winzigen Chips zeigt, wie leicht das engmaschige, auf Effizienz getrimmte Netz globaler Lieferketten außer Takt geraten kann, und legt die Abhängigkeit der europäischen Wirtschaft offen. Hinzu kommen Risiken, die die Digitalisierung mit sich bringt. Firmen und Produkte sind verwundbar – durch Hackerangriffe, manipulierte Chips, Datenlecks oder den Diebstahl von Produktionsdaten. Mit dem Ausbau des Internet of Things, in dem Millionen von Steuergeräten, Sensoren oder Kameras im Eigenheim und in der Industrie über das Internet miteinander verbunden sind, nimmt die Gefahr digitaler Angriffe zu. Die IT-Sicherheitslage in Deutschland sei angespannt, heißt es denn auch beim Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik.

### Doppelte Sicherheit im Blick

In dem vom Bundesforschungsministerium geförderten Verbundprojekt »Vertrauenswürdige Elektronik – Velektronik« arbeiten elf Fraunhofer- und zwei Leibniz-Institute zusammen mit dem Elektronik-Netzwerk edacentrum daran, elektronische Komponenten sicher zu machen – zum Beispiel durch intelligente Sensoren, aus denen Produktionsdaten nicht mehr so leicht ausgelesen werden können. Auch in der Elektronikindustrie sind Mikrochips unverzichtbar. Das Problem: Die Chips mit den Prozessoren werden von einigen wenigen großen Herstellern in den USA und in Asien produziert und dann von einer Vielzahl verschiedener Firmen zu Modulen integriert oder fertigen Elektronikbauteilen weiterverarbeitet. »Der Kunde muss quasi blind auf die Qualität und Zuverlässigkeit der Produzenten vertrauen«, sagt Jörg Stephan, Velektronik-Koordinator in der Geschäftsstelle der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland in Berlin. Doch nicht immer seien die Bauteile

»Kein Land könnte ganz allein vom Rohstoff Silizium bis zum Chip die komplette Kette abdecken.«

Jörg Stephan,  
Geschäftsstelle der  
Forschungsfabrik  
Mikroelektronik

auch vertrauenswürdig. Experten unterscheiden zwei Aspekte der Sicherheit – die Safety und die Security. Safety bedeutet, dass ein Bauteil zuverlässig arbeitet und seine Funktion erfüllt, sich zum Beispiel nicht überhitzt. Security bedeutet, dass ein Gerät nicht von außen angegriffen und gehackt werden kann. In der Vergangenheit gab es viele Beispiele, in denen Elektronikkomponenten aus dem Ausland versagten. Bekannt wurden Chips aus chinesischer Fertigung, die in USB-Sticks und Telefone eingebaut worden waren, um Daten abzugreifen. Andere Bauteile sind schlicht minderwertig und gehen früh kaputt.

Chips und Elektronikbauteile völlig autark in Europa herstellen zu wollen, wäre allerdings unrealistisch. »Der Elektronik-Markt hat sich in Jahrzehnten zu einem riesigen internationalen Netzwerk ausdifferenziert. Kein Land könnte ganz allein vom Rohstoff Silizium bis zum Chip die komplette Kette abdecken«, sagt Jörg Stephan. Mehr digitale Souveränität und Sicherheit müssen also anders erreicht werden.

Wie das gehen kann, zeigen Prof. Claudia Eckert und ihr Team. Die Informatikerin leitet das Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC in Garching und hat den Lehrstuhl für »Sicherheit in der Informatik« an der Technischen Universität München (TUM) inne. »Wichtig ist zunächst, dass man die Sicherheit von Softwaresystemen beurteilt, versteht, wo mögliche Schwachstellen und Sicherheitslücken bestehen, um diese dann zu schließen; die Software zu härten«, sagt sie. Oftmals sei es zu aufwendig, unsichere Softwaresysteme ganz neu zu designen, damit sie eine ausreichend hohe Sicherheit böten. »Dann gilt es, die Schwachstelle durch zusätzliche Maßnahmen so abzuschirmen, dass niemand sie ausnutzen kann.« Ein aktuelles Beispiel sind Dashcams für Autos. Bei einem Unfall liefern sie Versicherern und der Polizei wichtige Informationen zum Hergang. Wie viele andere Kameras können die Dashcams aber leicht gehackt und Daten manipuliert werden. »Eine unsichere Datenquelle wird dann für Rechtsstreitigkeiten genutzt, bei denen es um viel Geld gehen kann«, warnt Eckert. Mit ihrem Team hat sie deshalb ein Sicherheitskonzept entwickelt und in die Kamera integriert, sodass eine Datenverschlüsselung direkt auf dem Gerät erfolgt, unzulässige Datenzugriffe verlässlich verhindert werden und auch Angriffsversuche auf das System erkannt und abgewehrt werden; Angriffe laufen damit ins Leere. Eine Technologie, die sich auf viele andere Sensorsysteme in der Industrie und im Internet of Things übertragen lässt.

Die Informatikerin befasst sich auch mit ganz neuen Ansätzen für die sichere Übertragung, Speicherung und Verarbeitung von Daten – von vertraulichen ►

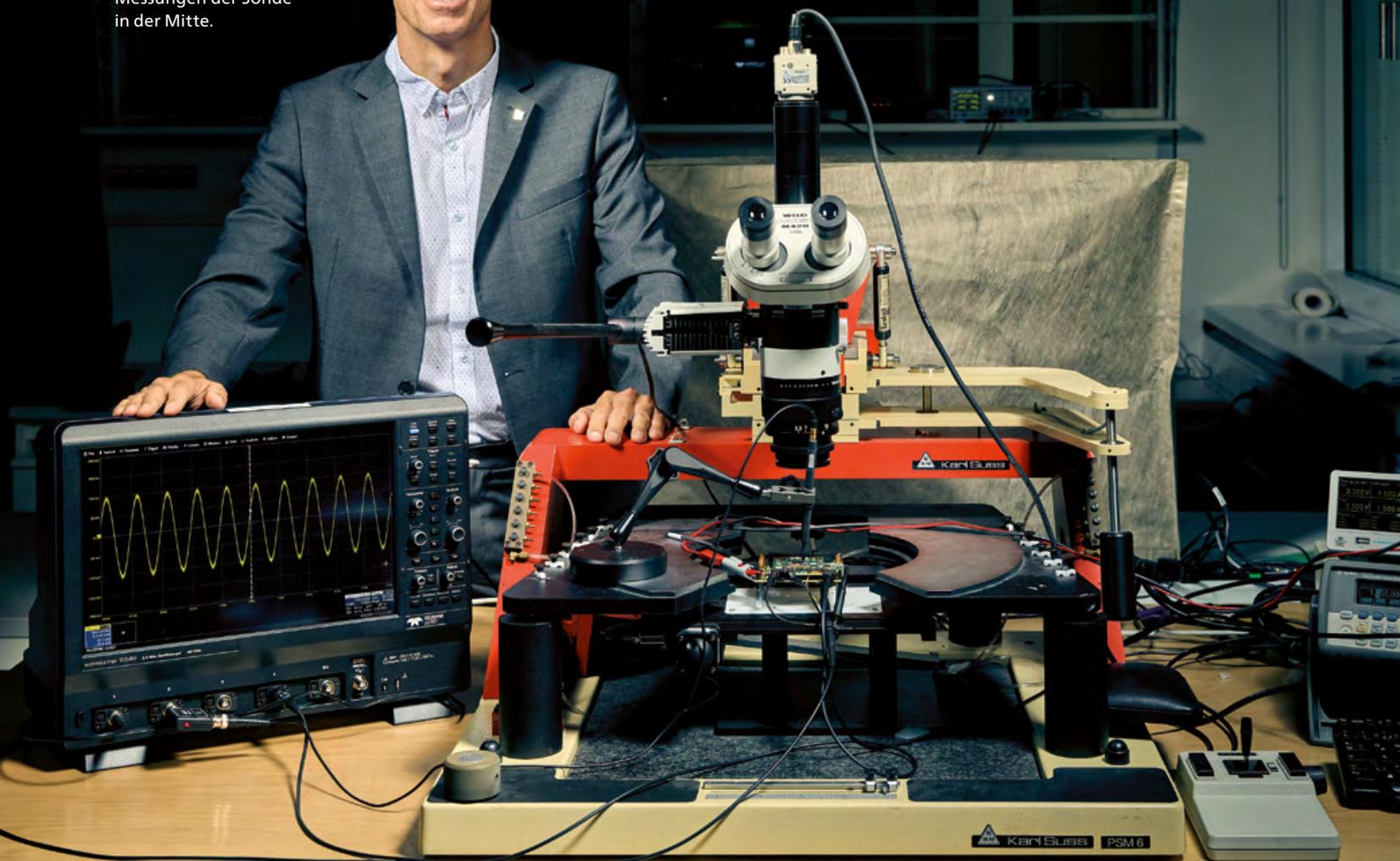


»Die Kunst besteht darin,  
mit nicht fälschbaren,  
informationstechnischen  
Mitteln nachvollziehbar zu  
machen, dass das System  
vertrauenswürdig ist.«

Prof. Claudia Eckert, Fraunhofer AISEC

Prof. Georg Sigl,  
Fraunhofer AISEC, mit  
einem Aufbau zur  
Messung der elektroma-  
gnetischen Abstrahlung  
eingebetteter Systeme.  
Das Oszilloskop (links)  
erfasst und zeigt die  
Messungen der Sonde  
in der Mitte.

»Die Herausforderung in unserem Forschungsgebiet liegt darin, dass durch die enge Verzahnung von Technologie, Architekturen und Algorithmen immer wieder neue Angriffe entdeckt werden – aber auch neue Ideen für Gegenmaßnahmen entwickelt werden können.«



Entwicklungs- und Produktionsdaten, Patientendaten und vielem mehr. Alle diese Informationen werden heutzutage auf Servern, in der Cloud, gespeichert. »In vielen Fällen muss der Nutzer dem Cloud-Provider blind vertrauen, der die Daten speichert. Er erfährt meist nicht, wie gut sie geschützt sind, wo sie verarbeitet werden oder wer im Einzelnen darauf Zugriff hat«, sagt Eckert. Um das zu ändern, arbeitet sie an Sicherheitslösungen, die unter dem Begriff Confidential Computing zusammengefasst werden. Damit werden auf Speicherplattformen kontrollierbare Bereiche geschaffen, in denen die Daten geschützt vor unberechtigten Zugriffen verarbeitet werden. Das System kontrolliert und garantiert zudem, dass die Regeln zur Datennutzung und Weitergabe eingehalten werden, die den zu verarbeitenden Daten vom Eigentümer mitgegeben werden. Confidential Computing kann das Vertrauen der Kunden erhöhen, wenn es darum geht, Daten aus der Hand zu geben. »Die Kunst besteht darin, mit nicht fälschbaren, informationstechnischen Mitteln nachvollziehbar nachzuweisen, dass das System vertrauenswürdig ist«, so Eckert.

### Mehr Sicherheit durch geteilte Fertigung

Wenn eine Firma Elektronik-Komponenten im Ausland herstellen lässt, kann es immer wieder vorkommen, dass irgendwo auf dem langen Fertigungsweg eines der beteiligten Unternehmen das Vertrauen missbraucht. Zum Beispiel lässt sich das Layout von Computerchips so manipulieren, dass eine Trojaner-Funktion gleich in die Struktur eingearbeitet wird. Auch besteht die Gefahr, dass wertvolle Chiplayouts abgekupfert werden und Chips von Raubkopierern gefertigt werden. Viele Firmen gehen daher dazu über, Chips, die in Dutzenden von Produktionsschritten entstehen, von mehreren Firmen teilweise aufbauen zu lassen – damit keine das komplette Chiplayout kennt. Split-Manufacturing – geteilte Fertigung – heißt diese Strategie.

Auf Schutz kommt es vor allem bei sicherheitsrelevanten Komponenten an, etwa für Medizingeräte oder für Banken. Um zu verhindern, dass Elektronikbauteile auf der langen Reise durch die Fertigung manipuliert werden, können diese fälschungssicher umhüllt werden. Wie man das macht, weiß Georg Sigl. Sigl ist ebenfalls Professor für Sicherheit in der Informationstechnik an der TUM und gehört der Leitung des Fraunhofer AISEC an. Eine seiner Spezialitäten sind PUFs, Physical Unclonable Functions, nicht kopierbare, physische Eigenschaften. Dabei geht es darum, die äußeren, die physischen Merkmale elektronischer Bauteile zu nutzen, um sie unfälschbar zu

»Damit können wir die Chips einfach anpassen und so auch vielfältige Sicherheitsfunktionen für die Verschlüsselung von Daten realisieren.«

Carsten Rolfes,  
Programmierer  
»Trusted Electronics«  
am Fraunhofer IMS

machen. Das Fraunhofer AISEC hat unter anderem eine Schutzfolie entwickelt, die sicherheitsrelevante Elektronikbauteile umhüllt. Sigl erklärt: »Die Folie enthält eine Doppelschicht feiner Drähte, zwischen denen kleine Kondensatoren mit messbaren Kapazitäten entstehen. Bei der Fertigung werden die Kapazitäten als charakteristisches Merkmal vermessen und im Bauteil als Sicherheitsschlüssel hinterlegt.« Schaltet man das Gerät später an, werden zunächst die Kapazitäten der Folie gemessen und daraus der Schlüssel abgeleitet, den das Gerät zum Entschlüsseln der Software für das Hochfahren benötigt. Sollte ein Angreifer während der Produktion die Folie beschädigt oder ausgetauscht haben, um das Innenleben zu manipulieren, stimmt der Schlüssel nicht mehr.

Zum Thema Sicherheit kam Sigl in den 90er-Jahren. »Es hatte für mich etwas Geheimes und Unbekanntes«, erzählt er. »Die Herausforderung in unserem Forschungsgebiet liegt darin, dass durch die enge Verzahnung von Technologie, Architekturen und Algorithmen immer wieder neue Angriffe entdeckt werden – aber auch neue Ideen für Gegenmaßnahmen entwickelt werden können.« Letztlich geht es den Firmen, Forscherinnen und Forschern aber nicht nur um Safety und Security, sondern auch darum, die Hoheit über die eigenen Daten und die Fertigung zu behalten. Dazu soll auch eine neue Technologie beitragen, mit der sich seit einigen Jahren gleich mehrere Fraunhofer-Institute befassen – die »RISC-V-Befehlsarchitektur«, mit der das Gehirn der Mikrokontroller in Form eines Rechenwerks definiert wird. Heute basiert die Funktionalität von Mikrocontrollern weltweit zum großen Teil auf ein- und demselben Verfahren, der Befehlsarchitektur der Firma ARM. Nutzt man sie, werden Lizenzgebühren fällig. Das ist wie bei einem Architekten, der zwar für den Grundriss, das Dach und die Innenausstattung verschiedene Elemente aus einem Baukasten auswählen und so verschiedene Versionen von Häusern bauen kann, aber der »Baukasten« kommt von ARM. Die einzelnen Elemente dürfen nicht verändert werden. Das schränkt die Freiheit der Entwicklerinnen und Entwickler ein.

Hinzu kommen die Lizenzgebühren. Daher haben Informatiker der University of California vor gut zehn Jahren eine Alternative entwickelt, die weltweit kostenlos verfügbar ist – RISC-V. »Damit können wir die Chips einfach anpassen und so auch vielfältige Sicherheitsfunktionen für die Verschlüsselung von Daten realisieren – insbesondere auch die Post-Quantum-Kryptographie«, sagt Carsten Rolfes, Programmierer »Trusted Electronics« am Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS. Dahinter steckt die Sorge, dass heutige Verschlüsse- ▶

»Die Anlagen werden exakt auf den Container zugeschnitten. Im Grunde ist der Container selbst der 3D-Drucker.«

Markus Heilemann, Fraunhofer IAPT

SVWU 916754-9

Fraunhofer  
IAPT



lungsverfahren künftig durch superschnelle Quantencomputer ausgehebelt werden könnten. Die Post-Quantum-Kryptografie soll diesen Rechnern Paroli bieten. Mithilfe von RISC-V ließen sich entsprechend sichere Prozessoren und Mikrokontroller herstellen – beispielsweise für Medizingeräte. Die könnten dann auch komplett in Deutschland und Europa gefertigt werden. Wenn die weltweiten Lieferketten wie zuletzt aufgrund der Pandemie ins Stocken geraten, bietet 3D-Druck einen möglichen Ausweg, die Produktion aufrechtzuhalten – zumindest von wichtigen Bauteilen.

### Bis zu 70 Prozent schneller produzieren

Am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU wurde in den vergangenen Jahren ein 3D-Druckverfahren entwickelt, das einen wesentlichen Nachteil der Technologie überwindet: Es ist deutlich schneller als herkömmliche Verfahren und ermöglicht so eine flexible Fertigung im Krisenfall. Die Idee: Die Fraunhofer IWU-Forschenden verknüpfen eine Kunststoff-Spritzeinheit mit dem 3D-Druck, was das Verfahren erheblich beschleunigt. Damit der flüssige Kunststoff in hohem Tempo zum 3D-Bauteil zusammengefügt werden kann, wurde die Anlage mit einem beweglichen Tisch versehen, der das Bauteil rasend schnell unter der Düse hin und her bewegt. Das Konzept mit dem Namen SEAM wird bereits von mehreren Herstellern eingesetzt. »Wir können damit pro Sekunde einen Materialstrang von einem Meter Länge fertigen«, sagt Entwickler Christopher Schlegel. Insgesamt verkürzt sich die Produktionszeit um bis zu 70 Prozent im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen.

Die SEAM-Technologie ist vor allem für große Kunststoff-Komponenten von bis zu zehn Metern Länge geeignet. So lassen sich beispielsweise große Strukturen für Fahrzeuge und Bahnen oder auch Werkzeuge und Spannvorrichtungen für die Fertigung von Kunststoffbauteilen schnell und kostengünstig herstellen. Das Fraunhofer IWU kooperiert mit zahlreichen Industriepartnern im Automobil- und Maschinenbau. Die Anlage ist so klein, dass sie sich im Krisenfall in einen Container verpacken und zum Einsatzort bringen lässt. Dort kann sie Kunststoffteile auf Wunsch herstellen.

An solchen 3D-Druck-Containern arbeitet Markus Heilemann von der Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT zusammen mit seinem Team. »Die Anlagen werden exakt auf den Container zugeschnitten. Im Grunde ist der Container selbst der 3D-Drucker«, sagt er. Dabei nutzen die Fraun-

»Wir können damit pro Sekunde einen Materialstrang von einem Meter Länge fertigen.«

Christopher Schlegel,  
Entwickler am  
Fraunhofer IWU

hofer IAPT-Experten ganz verschiedene Drucktechnologien – Kunststoffdruck oder auch Druck aus Metallpulver und -draht. Besonders interessant seien Anlagen, die Material aufschweißen, weil diese im Krisenfall auch Bauteile reparieren könnten. Das Ziel der Entwickler war es, Container zu realisieren, die, einmal konfektioniert und kalibriert, quasi auf Knopfdruck arbeiten. »Solche Container könnten zukünftig in Kraftwerken, auf Bohrinseln oder in schlecht erschlossenen Gebieten Ersatzteile für Antriebe und Turbinen herstellen«, sagt Heilemann. Damit würde man Produktionsausfälle vermeiden, die schnell in die Millionen Euro gingen. Ihre Feuertaufe im Krisenfall haben sie bereits bestanden. Als im vergangenen Jahr Beatmungsmasken knapp wurden, stellte das Fraunhofer IAPT-Team kurzerhand auf die Produktion von Adapterstücken aus Kunststoff um. »Damit konnten wir einfache Tauchermasken für Hobby-Schnorchler an die Beatmungsgeräte anschließen«, erzählt Heilemann. »MobiMed« haben sie ihren Container für die Produktion von Medizintechnikkomponenten getauft.

### Mehr Unabhängigkeit bei Rohstoffen

Vorsorgen für den Krisenfall, damit die Produktion weitergehen kann. Das ist auch ein Ziel des Fraunhofer-Innovationsprogramms »Resiliente Wertschöpfungsketten – Resyst«. Notwendig ist hierfür nicht zuletzt eine sichere Rohstoffversorgung. Da Deutschland über relativ wenige Rohstoffe verfügt, geht es dabei für die Zukunft vor allem um ein möglichst lückenloses, hochwertiges Recycling. Wie das für metallische Werkstoffe aussehen könnte, zeigt der neue Ansatz »reProd«. Die Abkürzung steht für »ressourcenautarke Produktion auf Basis von Sekundärhalbzeugen«. Dessen Ziel ist es, Altmetall-Teile nicht zu schreddern und mit hohem Energieaufwand einzuschmelzen, sondern die gebrauchten Komponenten als Sekundärhalbzeuge wiederzuverwenden und direkt in neue Bauteile zu verwandeln – zum Beispiel aus Antriebswellen hochfeste Schrauben zu fertigen. Andere denkbare Sekundärhalbzeuge wären Bleche, Platinen oder Rohre. »Wir wollen das Material auf dem höchstmöglichen Wertschöpfungsniveau wiederverwerten«, sagt Markus Werner vom Fraunhofer IWU. Noch steht der reProd-Ansatz am Anfang. Zunächst müssen die Reststoffströme in Deutschland digitalisiert werden, um das ganze Potenzial auszuschöpfen. Wo ist welches Sekundärhalbzeug verfügbar? In welchen Mengen? In welchem Zustand? All das soll jetzt über digitale Zwillinge erfasst werden, um die Produktion in Zukunft unabhängiger zu machen. ■

# Mathematik für alle Notfälle

Globale Lieferketten sind komplex vernetzt – und dadurch besonders verwundbar. Fraunhofer-Fachleute bieten Lösungen, die diese fein gewebten Netzwerke stabiler machen.

Von Franziska Sell

**O**b ein Erdbeben in Südamerika, Überschwemmungen in Deutschland oder politische Umbrüche in Asien: Als Gefahren für Lieferketten begegnen ihnen Dr. Heiner Ackermann und sein Team auf dieselbe Art und Weise. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickeln mathematische Methoden, mit deren Hilfe sich berechnen lässt, wie Risiken für Lieferketten minimiert werden können. »Mathematisch gesprochen«, erklärt der stellvertretende Abteilungsleiter »Optimierung – Operations Research« am Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, »schaffen diese disruptiven Ereignisse ein mehrdimensionales Entscheidungsproblem.«

Seine Fachleute analysieren die Eigenschaften von Lieferketten mithilfe mathematischer Modelle. Die darauf aufbauend simulierten Ausfallszenarien machen sichtbar, an welchen Punkten erhöhter Handlungsbedarf besteht. Im zweiten Schritt geht es den Forschenden darum, ganzheitlich zu optimieren – für eine robustere Lieferkette, die Risiken ohne großen Aufwand abfedern kann. »Wir verpacken alle Stellgrößen in ein multikriterielles Optimierungsproblem. So ermitteln wir die bestmögliche Lösung für das Dreigespann Resilienz – Kosten – Risiko.« Algorithmen errechnen die optimale Balance und damit verschiedene Optionen für Rohstoffe, Lie-

feranten und Lagerhaltung – auch der Einsatz alternativer Materialien wird berücksichtigt. Oberstes Gebot: Möglichst wenig Annahmen. »Damit haben wir bei Unternehmen, die sich zuvor auf Excel-Tabellen und ihr Bauchgefühl verlassen hatten, schon sehr fruchtbare Diskussionen angeregt«, so der Experte – und er fügt hinzu: »Ob Lieferkette oder Versorgungsnetzwerke – Mathematik ist ein universelles und sehr wirksames Werkzeug.«

## Wie sich Lieferengpässe früh erkennen lassen

Eine höchst wirkungsvolle Unterstützung bei der Überprüfung und Optimierung von Lieferketten bietet auch das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML mit seinem Order-To-Delivery-NETwork Simulator. Das Tool macht Planungs- und Materialflussprozesse von der Bestellung bis zur Auslieferung durchgängig bewertbar. »OTD-NET bildet selbst hochkomplexe Supply Chains komplett und mehrstufig inklusive der Planungs- und Informationsflussprozesse ab. Über verschiedene Parameter ist es möglich, unternehmensübergreifend und detailgetreu Zusammenarbeit im Rechner zu modellieren«, spezifiziert Marco Motta, Abteilungsleiter Supply Chain Engineering am Fraunhofer IML.

Das Instrumentarium prüft Netzwerke insbesondere im Hinblick auf Kundenver-

sprechen wie Liefertreue und Qualität, auf Kosten, ökologische Aspekte – und in der Bewertung alternativer Szenarien auch im Hinblick auf Resilienz. »Ich kann in der Simulation leicht mit Bedarfsspitzen, dem Einbruch eines Marktes oder mit Szenarien spielen, in denen die Produktion gestört ist«, erläutert der Fraunhofer IML-Experte. So lässt sich auch prognostizieren, wie eine Lieferkette im Ausnahmezustand reagiert.

Disponenten sehen in logistischen Assistenzsystemen, die einen Digitalen Zwilling der Supply Chain mit Simulation verbinden, welche Frachtschiffe welche Teile geladen haben, wo sich diese befinden und wann die Ladung am Bedarfsort verfügbar ist. So kann in globalen Netzwerken die Versorgung der kommenden 20 bis 30 Wochen dargestellt und untersucht werden. Damit lassen sich frühzeitig potenzielle Engpässe erkennen.

Im Bedarfs- und Kapazitätsmanagement ist insbesondere die Rückverfolgung ein Alleinstellungsmerkmal der Lösung. Planer bekommen nicht nur die Nummer eines betroffenen Teils ausgegeben, sondern sehen auch direkt die Auswirkungen auf die gesamte Produktion. Dieses »Vorwärts wie Rückwärts« von Produkt zu Teil trug bei einem deutschen Premiumhersteller der Automobilbranche zu einer deutlichen Harmonisierung des Programmplanungsprozesses bei. Der Konzern blickt mit der Methode fast zwei Jahre in die Zu-





Container-Stillstand vermeiden – das ist das Ziel der Fraunhofer-Experten.

kunft, um seine Lieferkette proaktiv einstellen zu können.

Aber nicht nur die Automobilbranche hatte gerade unter Lieferengpässen zu leiden. Besonders betroffen war auch die Versorgung mit medizinischen Gütern. Saskia Sardesai, Senior Scientist am Fraunhofer IML, leitet verschiedene Forschungsprojekte, in denen OTD-NET zur Steigerung der Resilienz in Wertschöpfungsnetzen für Medizinprodukte eingesetzt wird. »Gerade kleinere und mittelständische Unternehmen gingen dieses Problem mit vorhandenen Tabellenkalkulationstools an. Doch damit können sie keine Dynamik erkennen.« An diesem Punkt unterstützt OTD-NET. Die Simulation zeigt dynamisch über einen langen Zeitraum, ob sich alle Teile zur richtigen Zeit am richtigen Ort befinden. »Wenn alle Teile bis auf das meines transatlantischen Zulieferers zur Verfügung stehen und innerhalb Europas gibt es keine Lieferalternative, habe ich schnell einen Bruch von über einem Monat in meiner Kette«, skizziert die Spezialistin.

### Luftfracht hilft schnell – und wirkt wie eine Droge

An diesem Punkt setzen viele Unternehmen auf Luftfracht – ein probates kurzfristiges Mittel, das sich auf längere Sicht als durchaus problematisch erweisen kann. Die Expertin vergleicht es mit einer Droge:

Es wirkt schnell, macht schnell abhängig und man braucht lange, um den Entzug zu vollziehen. Saskia Sardesai: »Man hat den kurzfristigen Engpass beseitigt, aber die Reduktion in der Pipelinefüllung kommt mit einigen Wochen Verzögerung an und man ist ganz schnell versucht, wieder aufs Flugzeug zurückzugreifen. Es gilt den richtigen Moment abzapfen, um zur Seefracht zurückzukehren – und das bildet unsere Simulation sehr gut ab.«

Im europäischen Forschungsprojekt Co-Versatile, das Sardesai betreut, setzen die Beteiligten alles daran, die Resilienz der europäischen Fertigungsindustrie für künftige Pandemien zu steigern. Schnell und effektiv soll die Lieferkette auf eine plötzlich steigende Nachfrage im Bereich strategischer Medizinprodukte reagieren können. Hierzu entwickelten die Expertinnen und Experten des Fraunhofer IML ein Simulationsmodell, das Nachfragespitzen und -schwankungen sowie Lieferantenrisiken mitdenkt. Die Unternehmen erhalten umgehend einen Überblick, welche Effekte auf sie zukommen. »Wir haben sehr einfache Modelle hinterlegt, um ein schnelles Feedback und die Anwendung für eine Vielzahl von Unternehmen zu ermöglichen«, erläutert die Projektleiterin. Ein besonderes Augenmerk liegt auf den Kapazitäten, Vorlaufzeiten, Transportfrequenzen und möglichen Liefereinschränkungen. Die Nutzer sehen das Zusammenspiel der einzelnen Faktoren

»Bei Unternehmern, die sich auf Excel und Bauchgefühl verlassen hatten, haben wir schon sehr fruchtbare Diskussionen angeregt.«

Dr. Heiner Ackermann,  
Fraunhofer ITWM

– ein unschätzbare Vorteil im Vergleich zur altgedienten Excel-Lösung.

In einem weiteren Forschungsvorhaben mit dem Namen ResKriVer koppelt das Fraunhofer-Team sein Simulationstool mit Künstlicher Intelligenz (KI). Für mehr Resilienz in Lieferketten bewerten sie Krisensituationen und verschiedene Szenarien. Saskia Sardesai schildert das an einem aktuellen Beispiel: »Nehmen wir die Überflutung in Hagen, von der viele Unternehmen betroffen sind. Die Flut wird auf die Plattform gemeldet. Als Unternehmen kann ich prüfen: Sind in dieser Gegend Zulieferer, die in meiner Lieferkette verankert sind, und fehlen mir somit in Zukunft Teile? Danach kommt die Simulation zum Einsatz, gekoppelt mit KI-Algorithmen: Wir untersuchen, welche Parameter durch die KI geändert werden können. Anhand der KI soll die Stärke der Parameteranpassung bestimmt werden. Hieraus resultieren verschiedene Was-wenn-Szenarien, die automatisiert getestet werden. Im dritten Schritt werden die Alternativen bewertet, mit der KI rückgekoppelt und entschieden, welche umgesetzt werden soll. Wichtig ist auch hier, dass die Simulation immer den dynamischen Kontext mitnimmt.«

Abteilungsleiter Motta ist überzeugt: »Mittels solcher Instrumente kann durch Transparenz über die Wirkmechanismen Resilienz erzielt werden – und das bei gleich bleibender Effizienz.« ■



POLEN

## Hightech-Zähne und smarte Hüftgelenke aus dem Drucker

Ein deutsch-polnisches Leistungszentrum der Fraunhofer-Gesellschaft erforscht neue Technologien für den Einsatz von 3D-Druckverfahren, der sogenannten additiven Fertigung, in der Medizintechnik.

Patientinnen und Patienten werden künftig von individuell anpassbaren Produkten und Therapiemöglichkeiten profitieren. Durch die Kombination innovativer Werkstoffe soll etwa Zahnersatz in neuer Ästhetik und Komplexität entstehen. In additiv hergestellte Knie- und Hüftgelenke sollen Sensoren integriert werden, die Entzündungen feststellen, indem sie auf höhere Temperaturen oder veränderte Biomarker reagieren. Auch der 3D-Druck faserverstärkter Strukturen, beispielsweise für Schädelimplantate, wird erforscht.

Am Leistungszentrum »Additive Technologien für Medizin und Gesundheit« (ATeM) kooperieren die Fraunhofer-Institute für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden sowie für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz mit der Fakultät Maschinenbau und dem Center for Advanced Manufacturing Technologies (CAMT) der TU Breslau.



Die additiv hergestellten Hüftimplantate sollen mit einer Warnsensorik ausgestattet werden.

# Fraunhofer international



● Standorte der Fraunhofer Gesellschaft



GROSSBRITANNIEN

## Polypropylen: Aus Alt mach Neu

1,6 Millionen Tonnen Teppiche werden allein in der EU zu Abfall, Jahr für Jahr. Sie bestehen zu einem erheblichen Teil aus erdölbasiertem Polypropylen. Die Teppichwerkstoffe sind fest miteinander verwoben und daher bislang nicht recycelbar. Sie werden nahezu vollständig verbrannt oder deponiert.

Im EU-Projekt ISOPREP unter der Leitung der britischen Forschungsorganisation TWI ist es gelungen, ein Lösungsmittel zu entwickeln, mit dem der Kunststoff Polypropylen in höchster Qualität zurückgewonnen werden kann. Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP arbeitet nun daran, das



Teppiche waren bisher für konventionelles Recycling ungeeignet.

wertvolle ionische Liquid, der Preis liegt bei etwa 12 000 Euro pro Tonne, möglichst vollständig im Recyclingverfahren zu bewahren. Liegen die Verlusten bei einem Prozent oder darunter, hat der Prozess das Potenzial, hinsichtlich Kosten und Umweltbelastung mit der Neuherstellung von Polypropylen zu konkurrieren.

Mit dem neuen Verfahren lässt sich der Kunststoff nicht nur von anderen Materialien, sondern auch von Farb- und sonstigen Zusatzstoffen trennen. Die Forschenden gehen davon aus, dass es sich auch auf weitere Polypropylen-Abfallströme übertragen lässt.



## FRANKREICH

## Kostengünstiger in den Weltraum

2022 soll die neu entwickelte europäische Ariane-6-Trägerrakete Navigations- und Wettersatelliten ins All transportieren. Um auch zukünftig wettbewerbsfähig zu bleiben, müssen Fertigungskosten sinken und Produktionsverfahren optimiert werden. Daran arbeitet das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT in Aachen mit der Ariane Group, einem Gemeinschaftsunternehmen von Airbus und dessen französischem Partner Safran. Ziel ist es, die Herstellungsverfahren



Im Ariane 6 Tankcenter in Bremen wird die Stufe für den Transport vorbereitet.

für die Oberstufe der Rakete durch den Einsatz von Sensoren und selbstlernenden Systemen zu überwachen und zu verbessern. Das Fraunhofer IPT ist maßgeblich für die Datenanalyse und die Implementierung von KI-Algorithmen verantwortlich.

Der Name ist Programm: Medstraum bedeutet auf Norwegisch »mit Strom«. Der Katamaran entsteht im Rahmen des EU-Projekts TrAM.



## NORWEGEN

## High-Speed-Fähren: Gut für Umwelt und Klima

Im Frühjahr 2022 soll in Norwegen die vollelektrische Schnellfähre »Medstraum« den Betrieb aufnehmen. Der Katamaran, 31 Meter lang und neun Meter breit, soll bis zu 150 Passagiere von der Stadt Stavanger zu den umliegenden Inseln befördern – als erste Fähre dieser Art weltweit emissionsfrei. Der Schiffsverkehr ohne Schadstoffe ist auch ein Verdienst des Fraunhofer-Instituts für Entwurfstechnik Mechatronik IEM. Dort werden Anforderungen verschiedener Fährtypen in Beziehung zueinander gebracht und analysiert. Ein solches Systemmodell ist nicht nur flexibel einsetzbar, es reduziert auch die Entwicklungszeit

um 70 Prozent und die Herstellungskosten um 25 Prozent. Mit dieser ganzheitlichen Methodik auf Basis des Systems Engineerings sind Schiffsbauer in der Lage, elektrische Fähren modular zu entwickeln, effizient herzustellen und an Kundenwünsche anzupassen.

Damit wird der Grundstein für eine ganze Serie umweltfreundlicher Hochgeschwindigkeitsfähren gelegt – ein Zukunftsmarkt: Der Absatz für vollelektrische und hybride Schiffe wird weltweit wachsen, prophezeit das britische Marktforschungsunternehmen IDTechEx – im Jahr 2027 auf bis zu 20 Milliarden Dollar.

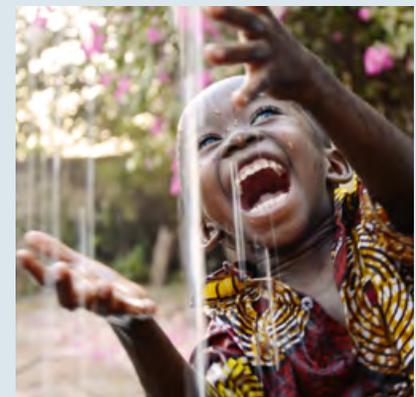


## AFRIKA

## Preis für Trinkwassertechnik

Südlich der Sahara haben 40 Prozent der Bevölkerung, mehr als 100 Millionen Menschen, keinen Zugang zu sauberem Wasser. Das Projekt SafeWater-Africa, koordiniert vom Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig, erzeugt mit zwei Demonstratoranlagen pro Tag 20 000 Liter Trinkwasser aus Flüssen in Südafrika und Mosambik. Die Aufbereitung basiert auf der Desinfektionstechnologie des Fraunhofer IST, die Keime besonders energieeffizient beseitigt. Der größte Teil der Projektpartner stammt aus Afrika: Konzeption, Aufbau und Betrieb der Anlagen erfolgt durch Unternehmen vor Ort. Das System ist so ausgereift, dass es in weiteren Ländern eingesetzt werden kann.

Für diesen Erfolg ist SafeWater-Africa nun mit dem »Solar Impulse Efficient Solution Label« ausgezeichnet worden. Die Schweizer Stiftung Solar Impulse honoriert effiziente, technische Lösungen, die den Klimawandel nachhaltig und wirtschaftlich bekämpfen.



Eine neue Desinfektionstechnologie garantiert sauberes Trinkwasser in rauen Mengen.



Kunst aus Plastikmüll,  
gesammelt an Stränden  
weltweit.

# Unsichtbar und überall

Plastik vermüllt die Weltmeere. Zwar zerfällt es mit der Zeit zu Mikroplastik. Doch damit verschwindet es nicht aus der Umwelt. Was es dort anrichtet und wie man es wieder los wird, wird am Fraunhofer IKTS erforscht.

Von Dr. Monika Offenberger

**M**illionen Tonnen Plastik gelangen jedes Jahr über Flüsse, Wind und Abwässer ins Meer und kosten Zehntausenden Tieren das Leben: Seevögel und Schildkröten verenden qualvoll, wenn sie sich in Tüten verheddern oder mit Seilresten strangulieren; Fische und Robben verwechseln Kunststoffteile mit Nahrung und verhungern. Selbst wenn sich der Müll in kleinste Bruchteile zersetzt hat, bleibt er als Mikroplastik in den Stoffkreisläufen der Ozeane und aller anderen Lebensräume der Erde. »Deshalb betrachten wir die Plastikverschmutzung als eine existenzielle Bedrohung, die den Planeten

an seine ökologischen Grenzen bringt und die Lebensgrundlagen der Menschheit gefährdet«, betont Dr. Annegret Potthoff. Ihr Team am Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS in Dresden ist Teil des Forschungsprojekts MICRO-FATE. Es untersucht das Schicksal und die Auswirkungen von Mikroplastik, um daraus Handlungsempfehlungen für den künftigen Umgang mit Kunststoffen abzuleiten.

**Eine fünfwöchige Expedition** mit dem Forschungsschiff SONNE markierte im Sommer 2019 den Start des Projekts. An Bord: Wissenschaftlerinnen und Wissen-

schaftler von sechs Forschungsinstituten aus Deutschland und Schweden. »Das war für uns alle ein 24-Stunden-Job, der am 30. Mai begann und am 5. Juli zu Ende ging«, erinnert sich Umweltverfahrenstechniker Markus Schneider, der fürs Fraunhofer IKTS mitgereist ist. Das Schiff fuhr von Vancouver über den Nordpazifik nach Singapur und passierte dabei den größten Müllstrudel der Welt, den Great Pacific Garbage Patch. Dort haben sich in einem Gebiet dreimal so groß wie Frankreich knapp 80 000 Tonnen Plastik angesammelt. Aber nicht nur dort: »Plastikmüll und anderer Abfall ist uns überall auf dem Meer begegnet«, sagt Markus



Schneider. Herkunft und Zustand dieses Treibguts zu bestimmen, gehört zu den vielen Aufgaben des MICRO-FATE-Projekts, das von Dr. Annika Jahnke vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig geleitet wird. Besonders begehrt sind Fundstücke, die sich eindeutig bestimmten Produkten zuordnen lassen – denn die kann man mit den unversehrten Ausgangsmaterialien vergleichen und daraus Rückschlüsse auf den Zerfallsprozess ziehen.

Obwohl Kunststoff leichter ist als Wasser, schwimmt nicht aller Plastikmüll an der Oberfläche. Denn mit der Zeit wird das Material spröde und zerbricht in immer kleinere Stücke. Sobald die Partikel weniger als fünf Millimeter groß sind, spricht man von Mikroplastik. »Wir vermuten, dass ein großer Teil des Materials absinkt und sich als Mikroplastik im Sediment ablagert«, sagt Annegret Potthoff. Deshalb hielt die Besatzung der SONNE auf ihrer Reise über den Pazifik auch unter Wasser nach Plastik Ausschau. Spezielle Flaschen zur Entnahme von Wasser- und Bodenproben wurden mit einer Seilwinde bis auf den Grund hinabgelassen. Tiefste Messstelle: 5700 Meter. »Beim Probenziehen musste jeder mal ran«, erzählt Markus Schneider, dessen eigentliche Aufgabe eine andere war: in einem Experiment die

Verwitterung von Plastik unter möglichst realitätsnahen Bedingungen nachzustellen. Dazu wurden zwei Edelstahlbehälter

»Deshalb betrachten wir die Plastikverschmutzung als eine existenzielle Bedrohung, die den Planeten an seine ökologischen Grenzen bringt.«

Dr. Annegret Potthoff

mit je einem Fassungsvermögen von 800 Litern permanent mit frischem Pazifikwasser durchströmt. Damit sollten quasi zwei Meere im Kleinen geschaffen werden, sogenannte Mesokosmen. Ein Behälter war abgedeckt und so vor der Sonne und ihrer aggressiven UV-Strahlung geschützt, der andere blieb offen.

In beide Mesokosmen wurden vier verschiedene Kunststoffsorten – als Granulat aus 5 cm großen Kügelchen und als 10 x 10 cm große Stücke – versenkt und nach Stunden, Tagen oder Wochen wieder herausgeholt. Markus Schneider: »Uns interessiert, wie sich diese Materialien mit und ohne UV-Einfluss verhalten. Wie genau verwittern sie? Verändert sich ihre Dichte? Was passiert an ihrer Oberfläche, wird sie angegriffen, was setzt sich darauf ab?« Diese Fragen lassen sich nicht an Bord beantworten. Daher wurde das Material aus den Mesokosmen, ebenso wie die Meerwasserproben, konserviert und von Singapur aus ins Fraunhofer IKTS nach Dresden gebracht. Dort nutzt das Fraunhofer-Team eine breite Palette an Techniken, um den Verwitterungsprozess zu untersuchen. Als entscheidender Schritt erwies sich, dass die anfangs wasserabstoßenden Oberflächen zusehends hydrophil werden. »Das können wir durch Kontaktwinkel-Messungen belegen«, erklärt Annegret Potthoff: »Je stärker ein Wassertropfen von der Oberfläche abgestoßen wird, umso steiler ist der Winkel zwischen beiden. Je mehr er sich anschmiegt, umso flacher ist der Winkel. Und wir sehen, dass der Winkel mit zunehmender Verweildauer im Meerwasser immer flacher wird.« ▶



Auslöser für diese Veränderungen sind im Meerwasser gelöste organische Substanzen. Sie heften sich an die Kunststoffoberflächen und lassen sich schon binnen Stunden als feine Schicht – im Fachjargon Ecocorona – nachweisen. »Woraus genau die Ecocorona besteht, wissen wir nicht. Denn sie ist so dünn, dass sich selbst mit empfindlichsten Methoden keine Einzelsubstanzen ermitteln lassen«, stellt Annegret Potthoff fest. Sicher sei dagegen, dass sie den Boden für Bakterien und weitere Mikroben bereite. Und dass diese sich zu einem Biofilm formieren, der den Kunststoff schwerer macht und zum Absinken bringt, erläutert die Chemikerin: »Dieser Biofilm schützt das Plastik vor UV-Licht und bremst die davon ausgelöste Fragmentierung. Andererseits trägt er selbst zur Verwitterung bei, weil Bakterien und Pilze zersetzende Säuren abgeben und so den Abbau beschleunigen.«

**Ecocorona und Biofilme bilden sich** nur in natürlichem Meerwasser. Bei Versuchen mit künstlich hergestelltem Meerwasser wird dieser biologische Faktor ausgegrenzt. »Deshalb ist es so wichtig, dass wir durch die Mesokosmen-Experimente gelernt haben, was in der Realität passiert – und das mit unseren Laborbeobachtun-

Das norwegische Künstlerpaar Kari Prestgaard und Astor Andersen arbeitet seit 2010 mit Plastikmüll, den sie an Stränden weltweit sammeln. In Workshops erstellen sie daraus zusammen mit Kindern Fische und Vögel. »Wir setzen Kunst als pädagogisches Mittel ein, um das Bewusstsein für die Verschmutzung der Meere durch Plastik zu schärfen«, sagt Prestgaard. Die Kunstwerke werden abfotografiert, die Bilder bearbeitet und anschließend in einer Ausstellung zum Kauf angeboten. Die Gewinne spenden die beiden.



gen abgleichen können. Da zeigt sich, dass die Verwitterung im Labor viel schneller geschieht als im Ozean, weil wir dort 24 Stunden die Sonne scheinen lassen und zudem noch der UV-Schutz durch den Biofilm wegfällt. Doch im Wesentlichen läuft der Abbauprozess ähnlich ab. Damit sind wir unserem Ziel, das Schicksal von Plastik im Meer aufzuklären, ein gutes Stück näher gekommen«, so die Wissenschaftlerin.

#### **Dennoch bleiben viele Fragen offen.**

Etwa, was mit all jenen Substanzen geschieht, die den Plastikprodukten als Weichmacher, Wärmestabilisatoren oder Lichtschutzmittel zugefügt werden. »Ich halte diese Zusatzstoffe für sehr bedeutend, denn sie bestimmen über das Abbauverhalten von Kunststoffen mit. Dabei werden sie ausgeschwemmt und gelangen ihrerseits in die Stoffkreisläufe der Ökosysteme«, betont Annegret Potthoff. Diese Zusammenhänge aufzuklären, sei ein weiteres wichtiges Ziel von MICRO-FATE, sagt die Chemikerin: »Nur wenn wir den Prozess der Plastikverwitterung in all seiner Komplexität verstehen, lässt sich einschätzen, wie kritisch die Störung des ökologischen Gleichgewichts schon ist – und wie wir gegensteuern können, um die globalen Auswirkungen abzumildern.« ■

Glasklar wirkt das Wasser im Auffangbecken Kreuzpullach, erbaut in den Jahren 1933 bis 1936, um die Stadt München mit Trinkwasser zu versorgen.

# Alle auf einen Streich

Arzneimittel passieren ungehindert Kläranlagen und breiten sich in der Umwelt aus – in Seen und Flüssen genauso wie im Grundwasser. Sie bereits frühzeitig abzufangen, ist eine große Herausforderung. Denn die Medikamente sind chemisch sehr unterschiedlich und müssen vollständig abgebaut werden.

Von Christine Broll

[zurück zu Seite 1](#)

**W**enn es darum geht, schwer belastetes Abwasser zu reinigen, findet Hans-Jürgen Friedrich immer eine passende Lösung. Der Diplom-Chemiker am Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS in Dresden hat Schwermetalle aus Grubenabwässern entfernt. Und er hat Industrieabwässer aus der Kunststoff- und Pflanzenschutzmittelproduktion gereinigt. Hans-Jürgen Friedrich ist sich sicher: »Mit der elektrochemischen Abwasserreinigung können wir Schadstoffe aller Art aus dem Abwasser entfernen.«

Mit einer seiner neuesten Entwicklungen zielt er auf die Beseitigung von Arzneimittelrückständen. Dazu hat er ein Verfahren konzipiert, bei dem er die Elektrolyse mit einer Ultraschallbehandlung kombiniert und so den Durchsatz erhöht. »Diese Technologie ist geeignet, das Abwasser von Kliniken und anderen medizinischen Versorgungseinrichtungen direkt vor Ort zu reinigen.« Und er fügt hinzu: »Auf Sicht ist auch der Einsatz als vierte Reinigungsstufe in Kläranlagen möglich.«

### Gesetzliche Grenzwerte für Arzneimittelrückstände fehlen

Mehr als 2500 verschiedene medizinische Wirkstoffe sind aktuell in Deutschland auf dem Markt. Pro Jahr konsumieren die Deutschen mehr als 30 000 Tonnen Arzneimittel. Ein großer Teil davon wird nach der Einnahme unverändert ausgeschieden und gelangt so ins Abwasser. Da die meisten Wirkstoffe in den Kläranlagen nicht abgebaut werden, gelangen sie in die Flüsse und auch ins Grundwasser. Gesetzliche Grenzwerte für die Konzentration von Arzneimittelrückständen im Kläranlagenabfluss gibt es nicht. Und somit auch keinen Druck auf die Kläranlagenbetreiber, die Rückstände aus dem Abwasser zu entfernen.

Bislang gibt es auch kein flächendeckendes Monitoring der Umweltbelastung durch Arzneimittel. Es existieren lediglich Ergebnisse aus Forschungsprojekten und Messprogrammen der Länderbehörden. Eine Zusammenstellung des Umweltbundesamtes zeigt, dass in Deutschland min-

## Drogenfahndung im Abwasser

Das größte europäische Projekt zur Abwasseranalyse hat den Drogenkonsum in 73 Städten in 20 europäischen Ländern erforscht. Die Abwasserproben wurden auf die Droge selbst und deren wichtigste Abbauprodukte untersucht. Die Ergebnisse für 2020 zeigen deutlich: In West- und Süddeutschland wird bevorzugt Kokain konsumiert, im Osten dagegen Crystal Meth.



Hamburg  
Kokain  
**459**

Crystal Meth 8



Dresden  
Kokain 42  
Crystal Meth  
**201**

Angaben in Milligramm pro 1000 Personen und Tag (mg/1000p/day)

destens 269 verschiedene Arzneimittelwirkstoffe und deren Abbauprodukte in Flüssen, Bächen und Seen nachgewiesen wurden. In den meisten Fällen liegen die Konzentrationen im Bereich von 0,1 bis 1 Mikrogramm pro Liter. Das Spektrum der Wirkstoffe ist groß. Die höchsten Konzentrationen wurden bei Schmerzmitteln, harntreibenden Medikamenten, Antidiabetika und iodierten Röntgenkontrastmitteln festgestellt. Häufig gefunden werden auch Antibiotika, Antiepileptika, Betablocker sowie hormonelle Wirkstoffe zur Schwangerschaftsverhütung.

Genau wie beim Menschen entfalten die biologisch hochaktiven Substanzen ihre Wirkung auch bei anderen Organismen. Ein Beispiel ist 17-Alpha-Ethinyles-tradiol, der Wirkstoff der Anti-Baby-Pille. Er beeinträchtigt bei männlichen Fischen bereits in äußerst niedrigen Konzentrationen die Fortpflanzungsfähigkeit. Die Männchen verweiblichen und produzieren im Extremfall in ihren Hoden auch Eizellen. Das Schmerzmittel Diclofenac, von dem in Deutschland pro Jahr rund 85 Tonnen konsumiert werden, schädigt bei vielen Tieren die Nieren. Eine große Gefahr geht von multiresistenten Keimen aus, die vermehrt im Bereich von Kläranlagenabflüssen isoliert werden, was dem verbreiteten Einsatz von Antibiotika geschuldet ist, die in Kläranlagen nur unzureichend entfernt werden.

### Eine vierte Reinigungsstufe wäre die Lösung

Um die Arzneimittelrückstände in den Kläranlagen zu eliminieren, bräuchte es – nach der mechanischen, der biologischen und der chemischen Klärung – noch eine zusätzliche vierte Reinigungsstufe. Zwei Verfahren werden dafür erprobt und sind in einigen Anlagen schon im Einsatz: die Ozonierung und Aktivkohlefilter. Beide haben Nachteile. »Bei der Ozonierung entstehen reaktive Zwischenprodukte, die toxisch überhaupt nicht charakterisiert sind«, betont Hans-Jürgen Friedrich. »Die Aktivkohlefilter haben den Nachteil, dass sie längst nicht alle pharmazeutischen Wirkstoffe erfassen.«

Mit der elektrochemischen Reinigung kann Hans-Jürgen Friedrich beide Nachteile umgehen. Denn in der Elektrolysezelle werden alle organischen Stoffe erfasst und komplett zerstört. Übrig bleiben CO<sub>2</sub>, Sauerstoff und geringe Mengen Wasserstoff.

Dass sich mit dieser Methode auch große Wassermengen reinigen lassen, hat das Fraunhofer IKTS-Team in Mecklenburg-Vorpommern bewiesen. Dort musste bei der Trinkwassergewinnung ein Tiefbrunnen stillgelegt werden, da der Grenzwert für das Unkrautvernichtungsmittel Bentazon überschritten war. In einem Pilotprojekt installierten die Wissenschaftler eine Anlage zur elektrochemischen Totaloxidation. Darin können die Elektrolysezellen modular angeordnet werden, sodass sich die Größe der Anlage problemlos an die anfallende Wassermenge anpassen lässt. »Wir konnten das Bentazon komplett zerstören. Die Gesamtkosten lagen bei rund 50 Cent pro Kubikmeter«, berichtet Friedrich.

Günstiger wird die Reinigung durch die Kombination von Elektrochemie und Ultraschall. Dass Ultraschall Moleküle zerstören kann, ist schon lange bekannt. Es gibt auch schon Verfahren, bei denen ein



München  
Kokain  
**191**

Crystal Meth 9



Chemnitz  
Kokain 27

Crystal Meth  
**329**

Ultraschall-Erzeuger in die Elektrolysekammer eingebracht ist. Hans-Jürgen Friedrich ist noch weiter gegangen. Er hat mit seinem Team die Ultraschallquelle direkt in die Elektrode der Elektrolysezelle integriert. Damit konnte er den Abbau der Spurenstoffe um den Faktor vier beschleunigen und damit den Durchsatz entsprechend steigern – mit nur einem bescheidenen Mehraufwand an Energie.

Friedrich schätzt die Kosten für den Betrieb einer solchen großtechnischen Anlage auf rund 30 Cent pro Kubikmeter Abwasser. Damit steht die Technologie bereit, wenn der Gesetzgeber die längst überfälligen Grenzwerte für den Gehalt von Spurenstoffen beschließt und Kläranlagenbetreiber nach einer geeigneten Lösung suchen. ■

Wie lassen sich Antibiotika, Betablocker oder hormonelle Wirkstoffe aus dem Abwasser entfernen? Hans-Jürgen Friedrich vom Fraunhofer IKTS im Interview:



Hier geht's zum Podcast



Spitzenreiter  
in Europa

Kokain  
**1175**  
Antwerpen,  
Belgien

Crystal Meth  
**703**  
Ostrava,  
Tschechien



## Sandra Ciesek

- ▶ ist 1978 geboren in Goslar.
- ▶ leitet seit 2019 das Institut für Medizinische Virologie am Universitätsklinikum Frankfurt.
- ▶ wurde für ihren NDR-Podcast Corona-Update zusammen mit Christian Drosten als »Hochschullehrer des Jahres 2021« ausgezeichnet.
- ▶ machte sich mit dem Fraunhofer ITMP auf die Suche nach einem Corona-Medikament.
- ▶ ist verheiratet und hat eine Tochter.

# Die Corona-Erklärerin

Sie war in Deutschland eine der Ersten, die das neue Virus unter dem Elektronenmikroskop sahen. Seit der Erreger mit dem Flieger in Frankfurt am Main landete, sucht Sandra Ciesek, Leiterin des virologischen Instituts der Universität Frankfurt, nach einem therapeutischen Wirkstoff gegen SARS-CoV-2.

Von Beate Strobel

**H**ier also sitzt die »Hochschullehrerin des Jahres 2021«, ausgezeichnet vom Deutschen Hochschulverband für ihren NDR-Podcast »Coronavirus-Update«, in dem sie abwechselnd mit dem Virologen Christian Drosten den Deutschen die Pandemie erklärt.

Sie sitzt im dritten Stock des virologischen Instituts des Universitätsklinikums Frankfurt. Und sie tut, was sie so oft getan hat in aufgeregten Zeiten: Sie erklärt unaufgeregt. Professorin Sandra Ciesek berichtet, was es Neues gibt vom Virus namens SARS-CoV-2. Und die 43-Jährige berichtet auch, warum es manchmal nichts Neues gibt. »Einen Impfstoff zu entwickeln war technisch eher einfach, nachdem früh bekannt war, dass Coronaviren sogenannte Spike-Proteine in ihrer Hülle tragen und eine Impfung die Bildung von dazu passenden Antikörpern bewirken muss.« Ein Medikament »gegen Corona« zu entwickeln dauere dagegen sehr viel länger. »Ein Großteil der Substanzen, die beim Einsatz in der Zellkultur vielversprechend aussehen, versagt beim Tier oder Menschen. Die Ausfallrate ist immens. Wenn eine Substanz von tausend Marktreife erlangt, ist das schon sehr gut.« Es ist, wie so oft in der Forschung, die Suche nach der Nadel im Heuhaufen.

Die habilitierte Medizinerin Ciesek, Direktorin des Instituts für Medizinische Virologie am Universitätsklinikum Frankfurt, gilt als eine der hierzulande führenden Forscherinnen am Coronavirus. Als Anfang Februar der erste Evakuierungsflieger mit 126 Rückkehrern aus dem chinesischen Wuhan, dem Epizentrum der Pandemie, in Frankfurt landete, stand Ciesek mit ihrem Team am Flughafen und testete sämtliche Ankömmlinge auf das neue SARS-Virus. Unter denen, die

sich für krank hielten, war kein einziger Virus-träger. Doch ausgerechnet zwei Personen, die keinerlei Symptome zeigten, wurden positiv auf SARS-CoV-2 getestet. »Da wurde uns klar: Dieses Virus könnte ein größeres Problem werden«, erinnert sich Ciesek.

Aus den Abstrichen der Wuhan-Rückkehrer konnte Cieseks Team das Virus erstmals in einer Darmzelllinie anzüchten und den neuen Feind unter dem Elektronenmikroskop betrachten. Kurz darauf entdeckten sie, inwiefern SARS-CoV-2 die Wirtszelle verändert: Während viele andere Viren die Proteinherstellung der Wirtszelle herunterfahren zugunsten der eigenen viralen Proteinproduktion, erhöht der neue Corona-Erreger die ursprüngliche Proteinsynthese. Öffnete sich hier ein Einfallstor für eine mögliche medikamentöse Therapie? Tatsächlich gelang es den Frankfurter Forschern um Ciesek, die Vermehrung des Virus innerhalb der Zellkultur zu stoppen durch Hemmung der Proteinproduktion innerhalb der Zellen. »Covid-19: Therapie-Durchbruch« titelten Medien optimistisch im Mai 2020.

## Den Impfstoff haben wir. Wann kommt das Heilmittel?

Mehr als ein Jahr später sind diverse Impfstoffe gegen das Coronavirus im Einsatz, doch auf einen überzeugenden Wirkstoff zur Behandlung des vielfältigen Krankheitsbildes namens Covid-19 wartet die Welt noch immer.

Angesichts des vielstufigen Zulassungsverfahrens für neue Medikamente wäre es schon eine echte Abkürzung, wenn sich ein bereits zugelassener Wirkstoff als erfolgreich gegen SARS-CoV-2 erweisen würde. Der Suche nach so einer ►

Einen Impfstoff entwickeln?  
»Technisch eher einfach.«

Ein Medikament entwickeln?  
»Das dauert sehr viel länger.«

erfreulichen Nebenwirkung – genannt »Drug Repurposing« – ging Ciesek im Schulterschluss mit dem Fraunhofer-Institut für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP nach. Gemeinsam arbeiten sich die Kooperationspartner durch eine sogenannte »Repurposing Bibliothek« des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME in Hamburg, in der mehr als 6000 Substanzen gespeichert sind. Sie testen die Wirkstoffe an den SARS-CoV-2-Zellkulturen aus Cieseks Sicherheitslaboren. Auch wenn es inzwischen einzelne Wirkstoffe aus dem Screen in präklinische Studien geschafft haben: »Bislang hat keine der Substanzen überzeugt«, bilanziert Ciesek nüchtern.

### Mehrere Fraunhofer-Institute arbeiten an neuen Strategien

Dabei wächst die Sehnsucht nach Medikamenten gegen Covid-19, da die Impfkampagne hierzulande ins Stocken gerät und die Inzidenzen wieder ansteigen. Entsprechend emsig wird nach neuen therapeutischen Mitteln gefahndet: nach Substanzen, die das Virus bereits in den oberen Atemwegen abfangen oder dessen Eindringen in Körperzellen verhindern sollen. Oder aber nach Wirkstoffen, die eine Vermehrung der Viren in den Zellen bremsen. Alternativ bleibt die Möglichkeit, die körpereigene Immunabwehr medikamentös so zu stärken, dass sie selbst mit dem Corona-Eindringling fertig wird. Zugelassen sind innerhalb der EU aktuell zwei Wirkstoffe (Remdesivir als antivirales Medikament und Dexamethason als immundämpfender Wirkstoff), doch beide haben bislang in der Praxis nicht komplett überzeugt; drei weitere Substanzen befinden sich im Zulassungsverfahren. Im Projekt BEAT-COVID, koordiniert vom Fraunhofer Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM, arbeiten mehrere Fraunhofer-Institute an neuartigen Therapiestrategien gegen SARS-CoV-2, aber auch gegen zukünftige, noch unbekannte Erreger.

Und wäre es nicht großartig, wenn nach einem der Impfstoffe auch eines der Heilmittel gegen Covid-19 aus Deutschland käme, einst gefeiert als »Apotheke der Welt«?

Ciesek hat da Zweifel: Gerade in der Pandemie habe man gesehen, wie Deutschland sich selbst ausgebrems habe mit seinen vielen Gesetzen und Richtlinien wie etwa der Medizinprodukteabgabeverordnung, an der beinahe die Ausgabe von

»Ich habe noch nie so viel gearbeitet wie seit Beginn der Pandemie«, sagt Sandra Ciesek, 43, Mutter einer Tochter.



Schnelltests in Laienhände verhindert worden wäre. Oder mit der Vorgabe, dass Ausschreibungen für größere Anschaffungen in der Forschung stets europaweit erfolgen müssen. »In einer Pandemie funktionieren bestimmte bürokratische Strukturen nicht gut, da müsste vieles anders laufen«, findet die Frankfurter Professorin.

Fast zwei Jahre Forschung an SARS-CoV-2 haben für Sandra Ciesek und ihre Institutsmitarbeitenden vor allem sehr, sehr viele Überstunden bedeutet, »ich habe noch nie so viel gearbeitet wie seit Ausbruch der Pandemie«, sagt die Mutter einer Tochter. Was sicher auch an ihrem Ehrenamt als Deutschlands Corona-Erklärerin liegt. Mit Corona sind Virologen landesweit gefragte Interviewpartner und dadurch zu den neuen Superstars geworden. Ciesek versucht, das Rampenlicht zu dimmen. »Ich war nie wirklich scharf darauf, in der Öffentlichkeit zu stehen«, versichert sie. Interview-Termine vergibt sie in homöopathischer Dosis, und anders als viele Vertreter ihrer Branche ist die Medizinerin nie in Talkshows zu sehen. »Das Format passt nicht zu mir«, findet sie: zu wenig Zeit für Erklärungen, zu viel Verknappung. Und zu viele Selbstdarsteller.

Sandra Ciesek ist nicht der Typ Mensch, der markante Sprüche macht und sich durch steile Thesen auf die Titelseiten bringt. Ihre Tätigkeit als Institutsleiterin hält sie für »wenig spektakulär«, schließlich sitze sie die meiste Zeit im Büro am Schreibtisch und steuere. Ihre Worte und Emotionen hat sie stets ebenso unter Kontrolle wie die im Nacken zum Zopf gebundenen langen blonden Haare. Als sie 2020 eine Studie veröffentlichte zur Infektionsgefahr in Kitas, wollte sie diese beispielsweise keinesfalls verstanden wissen als Aufforderung an die Politik, die Kitas geöffnet zu lassen: »Ich bin Wissenschaftlerin; politische Konsequenzen ziehen Politiker.«

### »Ich bin irritiert, mit welcher Aggressivität manche vorgehen.«

Im NDR-Podcast »Corona-Update« mit dem Berliner Virologen Christian Drosten als Experten dagegen sieht Ciesek die Chance, die Menschen relativ ausführlich zu informieren über das, was Wissenschaftler weltweit seit Beginn der Pandemie täglich machen: Wissen schaffen. »Entscheidend für meine Zusage war, dass ich mich äußern kann als jemand, der zum einen direkt am Virus arbeitet, zum anderen aber auch – wie ich als

Vorstandsmitglied der Gesellschaft für Virologie – die Meinung der Fachgesellschaft vertritt: keine Einzelmeinung, die eine falsche Gewichtung provoziert. Kein Gelaber.«

Forschung quasi in Echtzeit zu verfolgen ist allerdings nichts für Ungeduldige und alle anderen Menschen, die von Experten in weißen Kitteln eindeutige Antworten erwarten. »Leute mit wissenschaftlichem Background verstehen diese Unsicherheiten und Widersprüche, mit denen die Forschung lebt, andere Menschen allerdings nicht immer«, hat Ciesek in zwei Jahren Pandemie gelernt. Ob sie nicht manchmal verzweifelt an Querdenkern und Impfgegnern? »Ich verzweifle nicht«, sagt sie sanft. »Ich bin höchstens irritiert, mit welcher Aggressivität manche vorgehen.« Man müsse wohl akzeptieren, dass ein Teil der Menschen anders denkt. »Wir können nur ehrlich aufklären, auch über wissenschaftliche Unsicherheiten. Mehr können wir nicht machen.« ■

Sie nimmt den Mundschutz, aber als Podcasterin kein Blatt vor den Mund. Dafür wurde sie als »Hochschullehrerin des Jahres 2021« ausgezeichnet.



»Als Vorstandsmitglied der Gesellschaft für Virologie vertrete ich die Meinung der Fachgesellschaft – keine falsche Gewichtung. Kein Gelaber.«

Prof. Sandra Ciesek



Serie: **Gründen mit Fraunhofer**

# Sonnige Aussichten

Aus eins mach zwei – so einfach funktioniert das neue Verfahren zur Herstellung von Wafern für Photovoltaik-Anlagen. Ganz ohne Zauberei gelingt es dem Fraunhofer-Spin-off NexWafe, die Wafer-Produktion deutlich günstiger, effektiver und umweltfreundlicher zu machen – und damit die Energiewende zügig voranzubringen.

Von **Marina Babl**

Das Herzstück der NexWafe-Produktion: die Expitaxie-Anlage.

**F**ür die Solarindustrie sah es in Europa zwischenzeitlich eher düster aus. Wegen zu hoher Produktionskosten, zu geringem Innovationsgeist und eines zu freigiebigen Informationsaustauschs über Verarbeitungsprozesse schienen Wissen und Kapital unwiderruflich Richtung China abzuwandern. Genau in dieser Zeit, vor rund sechs Jahren, gründeten Dr. Frank Siebke und Dr. Stefan Reber das Fraunhofer-Spin-off NexWafe mit dem Ziel, bessere und billigere Silizium-Wafer für Photovoltaik-Anlagen herzustellen.

Reber hatte sich am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE viele Jahre intensiv mit Silizium und dessen Verarbeitung beschäftigt, Siebke brachte langjährige Wirtschaftserfahrung aus der Solarbranche mit. Eine starke Kombination. Europäische Geldgeber zu finden, sei trotzdem anfangs gar nicht so einfach gewesen, erinnert sich Siebke, der heute Finanzchef des Unternehmens ist: »Das Investoren Umfeld war damals recht pessimistisch eingestellt.« Doch die Gründer ließen sich davon nicht beirren. So ist NexWafe heute ein Unternehmen mit rund 30

Mitarbeitenden, das mit einem innovativen, patentgeschützten Verfahren die weltweite Silizium-Wafer-Produktion revolutionieren will.

Wafer sind dünne Scheiben aus Silizium, die einen zentralen Bestandteil jeder Photovoltaik-Zelle bilden. Bei herkömmlichen Produktionstechniken machen sie rund 70 Prozent der Kosten einer Zelle aus. Das liegt unter anderem an den vielen Schritten, die für ihre Herstellung notwendig sind: Aus der Chemikalie Chlorsilan fertigt man zunächst eine hochreine polykristalline Form von Silizium, die anschlie-



ßend geschmolzen wird. Aus der Schmelze werden große Einkristalle, sogenannte Ingots, gezogen. Diese lassen sich mit feinen Drahtsägen in die einzelnen Wafer zerteilen. Die Nachteile des Verfahrens: Die Fertigungsschritte verbrauchen eine Menge Energie. Während der Silizium-Schmelze werden die Ingots mit Sauerstoff verunreinigt, was sich später negativ auf die Effizienz der Photovoltaik-Zellen auswirkt. Beim Zersägen geht viel Silizium in Form von Staub verloren. Sind die Wafer zu dünn, gehen sie kaputt.

### Emissionsarm direkt zum Erfolg

NexWafe arbeitet dagegen mit einer Technologie, die ohne weitere Zwischenschritte die direkte Verarbeitung von Chlorsilan zu Wafern ermöglicht. Was ein bisschen wie Zauberei klingt, nennt sich Epitaxie. Man beginnt mit einem Ausgangswafer. Dieser wird mithilfe von Säure und Strom geätzt. Dadurch entsteht eine hochporöse dünne Schicht. Beim anschließenden Hochheizen schließt sich die Oberfläche wieder. »Diese Struktur kann man sich wie eine gotische Kathedrale vorstellen«, erklärt Siebke. »Sie hat ein stabiles Dach, wird dabei nur von wenigen Säulen gehalten und ist ansonsten offen.« In einem Hochtemperaturprozess wächst auf diesem Dach Schicht für Schicht Silizium und ein neuer Wafer entsteht, der eine perfekte Kopie des Ausgangswafers darstellt. Die beiden Wafer werden anschließend an den Säulen getrennt und der Ausgangswafer kann erneut verwendet werden. Am Fraunhofer ISE forscht man seit vielen Jahren an Silizium-Epitaxie und hat hier erfolgreich einen kontinuierlichen Prozess entwickeln können, auf den NexWafe zurückgreift. Alle produzierten Wafer sind identisch, können dünner sein als bei der herkömmlichen Produktion und enthalten weniger Verunreinigungen. Das Verfahren bringt eine große Kosten- und Zeitersparnis. Im Vergleich zur herkömmlichen Produktion werden rund 70 Prozent weniger CO<sub>2</sub> ausgestoßen.

Derzeit wird die Produktionstechnologie an einer Prototypenanlage in Freiburg, wo sich der Firmensitz von NexWafe

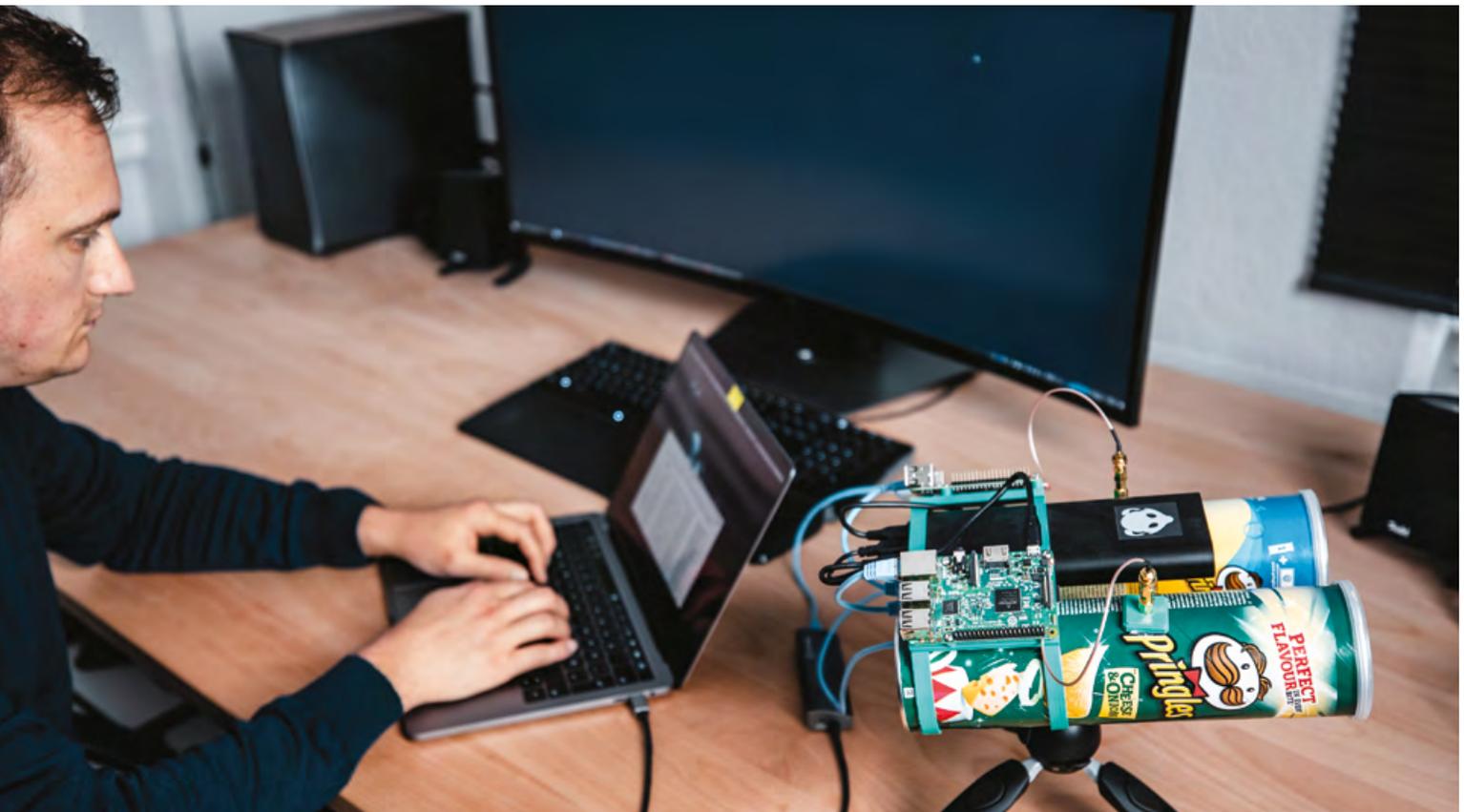
befindet, weiter getestet und optimiert. Hierbei arbeitet das Team von NexWafe weiterhin eng mit dem Fraunhofer ISE zusammen. 2024 soll dann in Bitterfeld die Massenproduktion beginnen. Um den Sprung vom Labor in die Wirtschaft erfolgreich zu meistern, hat sich das Unternehmen im letzten Jahr mit Dr. Davor Sutija zusätzliche wertvolle Expertise mit an Bord geholt. Sutija hat jahrelange Erfahrung in der Führung von Technologieunternehmen. Im Dezember konnte NexWafe unter seiner Leitung bereits zehn Millionen Euro an neuen Investorengeldern erwerben. Eine Million davon kam von der Fraunhofer-Gesellschaft.

Das Interesse von potenziellen Kunden und Investoren aus aller Welt ist groß. Inzwischen setzt auch die »Silicon Module Super League«, die Gruppe der größten Produzenten in der Solarbranche, klar auf hocheffiziente monokristalline Wafer des n-Typs, wie sie NexWafe herstellen will. »Das gibt uns die Bestätigung, an der richtigen Technologie zu arbeiten, und bietet uns die Gelegenheit, den Photovoltaikmarkt der Zukunft entscheidend mitzubestimmen. Jetzt gilt es, am Ball zu bleiben, Zukunftstrends zu erkennen und umzusetzen«, sagt Sutija. So gehe beispielsweise der Trend in der Industrie aktuell zu größeren Wafern. NexWafe werde daher innerhalb des nächsten Jahres einen Teil seiner Geräte entsprechend umrüsten.

Auch zwei US-amerikanische Unternehmen arbeiten an neuen Wegen in der Wafer-Produktion, die sich deutlich von dem herkömmlichen Einschmelz-Sägeprozess unterscheiden. Doch sind diese Technologien lange nicht so ausgereift wie die von NexWafe: »Die vielen Jahre intensiver Forschung am Fraunhofer ISE bilden ein unglaublich starkes wissenschaftliches Fundament für unser Unternehmen, das der Konkurrenz fehlt. Ohne die Unterstützung von Fraunhofer wären wir nicht da, wo wir heute stehen.« Sutija betont: »Ich bin sehr dankbar für die Zusammenarbeit. Vor allem, weil es nicht nur um den Erfolg unseres Unternehmens geht, sondern um etwas viel Größeres – das Gelingen der globalen Energiewende.« ■

»Die vielen Jahre intensiver Forschung am Fraunhofer ISE bilden ein unglaublich starkes wissenschaftliches Fundament für unser Unternehmen, das der Konkurrenz fehlt.«

Dr. Davor Sutija,  
Geschäftsführer NexWafe GmbH



Wenig Ausrüstung, viel Know-how: Christian Brandt vom Fraunhofer SIT hat die Sicherheitslücken im Bluetooth-Schloss mit zwei Chipsdosen aufgedeckt.

# Der Chipsdosen-Hack

Drahtlose Mäuse, Tastaturen oder Smartphones sind bequem – manchmal gefährlich bequem: Gerade haben Fraunhofer-Forschende eine neue Sicherheitslücke entdeckt – in einem Vorhängeschloss mit Bluetooth-Funktion.

Von Mehmet Toprak

**V**orhängeschlösser mit Bluetooth sind eine praktische Sache. Kein Schlüssel, der verlorengehen kann oder gerade nicht zur Hand ist. Geöffnet wird mit Fingerabdruck oder über eine Smartphone-App, die mit Bluetooth Low Energy (BLE) Verbindung zum Schloss

aufnimmt. Einfach bequem. Doch nicht immer sicher. Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Sichere Informationstechnologie SIT in Darmstadt ist es gelungen, die Bluetooth-Verbindung beim Schloss eines Herstellers zu knacken – mit zwei Kartoffelchips-Dosen und viel Know-how.

Christian Brandt und Matthias Cäsar, IT- und Krypto-Experten in der Abteilung Cyberphysical Systems Security, starteten zunächst eine Man-in-the-Middle-Attacke. Dabei schaltet sich der Angreifer zwischen das Smartphone des Nutzers und das Schloss. Alle Daten, die zwischen Schloss und Smartphone ausgetauscht werden, laufen unbemerkt über den Rechner des Angreifers. Wenn der Nutzer sich entfernt hat, bleibt die Verbindung erhalten – und der Angreifer kann das Schloss öffnen. Noch fataler war die zweite Schwachstelle. Bei einer sogenannten Replay-Attacke wird der Datenaustausch zwischen Smartphone und Schloss mitgeschnitten. Der Angreifer kann das Schloss mit den aufgezeichneten Daten beliebig oft öffnen. Möglich wurde dies durch einen schlecht implementierten Zufallszahlengenerator im verwendeten Sicherheitsprotokoll.

Für das Hacker-Equipment genügten zwei Kartoffelchips-Dosen, die mit einem Draht zur Richtantenne umfunktioniert wurden. Hinzu kamen zwei Minicomputer vom Typ Raspberry Pi, einer für die Verbindung zum Schloss, der andere für die Verbindung zum Smartphone des Opfers. »Ganz so einfach, wie das klingt, ist es natürlich nicht«, sagt Brandt. »Das Aufdecken der Schwachstellen war aufwendig und hat unsere Expertise gefordert.« So mussten die Forschenden beispielsweise das sogenannte Reverse Engineering anwenden, was Know-how in IT-Sicherheit, Informatik und Elektrotechnik voraussetzt.

Die Schwachstelle ist dabei kein Problem des Bluetooth-Standards. Vielmehr hatte es der Hersteller versäumt, die Bluetooth-Funktionalität korrekt umzusetzen. »Von dieser Firma wurde fürs Vorhängeschloss ein eigenes, proprietäres Protokoll auf der Anwendungsschicht von Bluetooth LE entwickelt, das einfach nicht sicher ist«, erklärt Brandt.

### Responsible Disclosure: Hersteller bekommen Zeit zur Nachbesserung

Das Fraunhofer SIT hatte dem Hersteller die Lücke gemeldet und mehrere Wochen Zeit gegeben, die Schwachstelle zu beheben. »Das ist die bewährte Vorgehensweise im Rahmen

Wer mehr Wert auf Sicherheit legt: Bei Notebooks, Smartphones oder Tablets sollte Bluetooth deaktiviert bleiben, wenn es nicht benötigt wird.



Christian Brandt, IT- und Krypto-Experte am Fraunhofer SIT

eines Responsible-Disclosure-Prozesses«, erklärt Andreas Fuchs, Leiter der Abteilung Cyberphysical Systems Security. Erst nachdem das Unternehmen in einem der zwei Modelle, bei denen das Problem aufgetaucht war, die Sicherheitslücke durch ein Update geschlossen hatte, ging das SIT-Team mit einem Warnhinweis an die Öffentlichkeit.

Vorsicht ist immer wieder geboten, denn Bluetooth-Vorhängeschlösser sind keineswegs das einzige Beispiel für IT-Geräte, die sich leicht knacken lassen. Gerade bei drahtlosen Geräten wie Mäusen, Tastaturen oder Präsentern deckt das Experten-Team vom Fraunhofer SIT häufig Sicherheitslücken auf, von denen ihre Besitzer nichts ahnen.

Die Forschenden werden nicht nur aktiv, wenn Hersteller sie beauftragen, die Sicherheit eines Produkts vor dem Marktstart zu evaluieren. Häufig kaufen sie Geräte, zerlegen sie, lesen Speicher aus, detektieren Signalwege und entschlüsseln Programmcodes, die in der Firmware implementiert sind. »Einigen Herstellern fehlt es an Bewusstsein für IT-Sicherheit, und manche arbeiten auch erschreckend schlampig«, bemerkt Christian Brandt.

### Riskante Bequemlichkeit

Ein weiteres Problem liegt in einer allzu menschlichen Eigenschaft. »Viele Menschen, übrigens auch die Mitarbeitenden in Unternehmen, sind zu bequem, um Verschlüsselungsverfahren einzusetzen oder als lästig empfundene Sicherheitsmaßnahmen zu beachten«, sagt Brandt. Riskant kann diese Bequemlichkeit besonders dann sein, wenn man in Bus oder Bahn das Diensthandy mit aktiviertem Bluetooth zückt und E-Mails liest, die unverschlüsselt gespeichert sind.

Wer mehr Wert auf Sicherheit legt: Bei Notebooks, Smartphones oder Tablets sollte Bluetooth deaktiviert bleiben, wenn es nicht benötigt wird. Damit wäre schon mal eine Gefahrenquelle ausgeschaltet. Und Kopfhörer zum Musikhören lassen sich auch über Kabel verbinden. Auch Tastaturen und Mäuse am Office-PC sind besser und sicherer übers Kabel angeschlossen, als drahtlos – auch wenn das nicht ganz so bequem ist. ■



Munition auf dem Meeresgrund wurde in der Vergangenheit häufig einfach gesprengt.

# Tickende Zeitbomben am Meeresgrund

Es ist ein Wettlauf gegen die Zeit. 1,6 Millionen Tonnen Munition aus dem Zweiten Weltkrieg rosten in Nord- und Ostsee vor sich hin. Je löcheriger die Metallschichten werden, desto mehr krebserregendes TNT entweicht ins Meer – und gefährdet die Gesundheit von Mensch und Tier.

Von Mandy Bartel

**D**as Ostseebad Nienhagen ist bekannt für seine Steilküste, den Gespensterwald – und seinen Erholungswert, der ihm schon im Jahr 1929 vom Mecklenburg-Schwerinschen Innenministerium bescheinigt wurde mit der »Konzession zur Ausübung des Seebadbetriebes«. Auch Peter Menzel genießt die Ruhe, zumindest für die kurze Zeit, wenn er mit seinem Boot zur Offshore-Forschungsplattform vor Nienhagen hinausfährt. Gelb leuchtet sie ihm entgegen. Die 2010 errichtete

Plattform, kooperativ betrieben von der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) und dem Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD Rostock, wurde gerade mit neuester Technik ausgerüstet: Windrad und Solaranlage, moderne Wetterstation und Strömungsmesser, allerlei Sensorik und Breitbandverbindung. So übermittelt sie Echtzeitdaten von Deutschlands erstem Unterwassertestfeld, dem Digital Ocean Lab. Im Sommer hat es den Betrieb auf-

genommen – und es wird eine besondere Bedeutung haben im Kampf gegen Altlasten des Zweiten Weltkriegs.

## Muscheln mit TNT

1,6 Millionen Tonnen Minen und Sprengkörper, zu einem großen Teil von den Alliierten nach Kriegsende im Meer entsorgt, sind tickende Zeitbomben in Nord- und Ostsee. Rosten sie, gelangen krebserregendes TNT, Nitroaromate und Quecksilber ins Wasser. Schon heute lassen sich

in vielen Muscheln und Fischen Spuren toxischer Explosivstoffe nachweisen. Der Mensch hat das Problem verschärft. Weil es keine geeigneten Bergungsverfahren für die Munition auf dem Meeresgrund gab, wurde in der Vergangenheit häufig einfach gesprengt, um vielbefahrene Seewege zu schützen oder den Bau von Windkraftanlagen nicht zu gefährden. Doch: Muscheln in der Nähe detonierter Sprengstoffkörper weisen die 50-fache Konzentration dieser gefährlichen Stoffe auf. Damit sind nicht nur das Ökosystem Meer, die Fisch- und Muschelbestände gefährdet, sondern über die Nahrungskette auch der Mensch.

Das Problem der Altlasten unter Wasser ist schon lange bekannt. Inzwischen beschäftigt sich auch der Deutsche Bundestag mit dem Thema, das sowohl ökologische als auch ökonomische Bedeutung hat. Vor dem Umweltausschuss forderten Experten einen Fonds von mindestens 100 Millionen Euro. Auch aus der EU kam angesichts der Dringlichkeit der Aufgabe bereits das Signal, sich finanziell am Auffinden und Entsorgen der Weltkriegsmunition zu beteiligen.

### Vom Unterwassergarten zum digitalen Riff

Die Herausforderung: Die fragilen wie gefährlichen Altlasten müssen zielsicher aufgespürt, klassifiziert und möglichst umweltschonend und sicher geborgen und zerlegt werden. Ideen für Technologien und Verfahren gibt es bereits viele, allein fehlt oft die Möglichkeit, sie unter realen Bedingungen – schlechte Sicht, starke Strömung, lockeres Sediment – ausgiebig zu testen. »Am künstlichen Riff des Unterwassertestfelds werden Unternehmen und Forschungsorganisationen neue Technik erproben können – und zwar ganz ohne Risiko an in unterschiedlichen Tiefen vergrabenen Munitionsattrappen. In unserem Munitionsgarten werden Bilderkenner- und Messsysteme genauso getestet werden können wie Crawler, Unterwasserroboter oder Transportverfahren«, erklärt Peter Menzel, der das Digital Ocean Lab leitet. Das sind jedoch nicht die einzigen Testszenarien: In weiteren Bereichen werden neue Materialien, Korrosions- oder Bewuchsschutzsysteme erprobt. Zudem

können Unterwasserkabel verlegt und gewartet oder autonome Unterwasserfahrzeuge getestet werden. »Die bisherigen Nachfragen sind vielfältig: Die einen wollen Bojen mit Sensorik testen, die anderen Kabel verlegen, die nächsten künstliche Korallenriffe aus dem 3D-Drucker ansiedeln. Aber die größte Rolle spielt in absehbarer Zeit die Bergung von Munitionsaltlasten (UXO)«, ist der Meeresforscher sicher. Das Digital Ocean Lab stellt Unternehmen nicht nur die Infrastruktur zur Verfügung: »Bei jedem Versuch kümmern wir uns zudem um die notwendigen Genehmigungen bei Behörden und liefern präzise Informationen zu den Gegebenheiten vor Ort«, so Menzel.

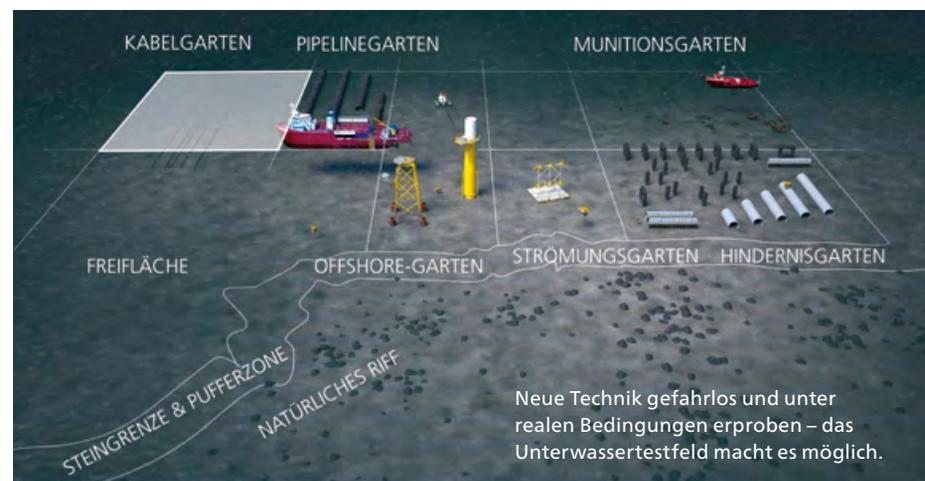
Diese präzisen Daten sind auch die Grundlage für das eigentliche Geschäftsmodell des Digital Ocean Lab: »Ziel ist es, in drei Jahren ein komplett digitales Modell mit Echtzeitdaten vom Riff zu haben – von Strömungen über Satzgehalt bis hin zur Sedimentstruktur und temporärem Schiffsverkehr. So ließen sich ortsunabhängig und ohne aufwendige Genehmigungen und Vorbereitungen Versuche vollständig virtuell simulieren. Und das Ganze wäre zudem skalierbar und für mehrere Unternehmen gleichzeitig nutzbar«, so Menzel. Das könnte auch der weltweiten Forschung an Lösungen für die Munitionsfrage weiter Auftrieb geben, denn das Problem ist keineswegs nur ein deutsches. Gefährliche Altlasten finden sich laut Naturschutzverbänden in nahezu allen Weltmeeren. ■

## Schutz von Tauchern

Bis unbemannte Alternativen technologisch ausgereift sind, müssen professionelle Taucher die gefährliche Aufgabe übernehmen, Sprengkörper zu bergen. Um sie zu schützen, hat das Fraunhofer IGD gemeinsam mit Forschungspartnern ein Sicherheitskonzept erarbeitet: Unterschiedliche Sensoren sollen die Taucher vor giftigen Stoffen warnen und ihnen helfen, in Echtzeit mit der Oberfläche zu kommunizieren – essentiell zur Bewertung von Gefahren und bei schlechten Sichtverhältnissen. Augmented-Reality-Taucherbrillen werden entwickelt, um sicherheitsrelevante Informationen wie aktuelle Messwerte anzuzeigen.

Forschungstaucher Florian Huber stößt bei seinen wissenschaftlichen Expeditionen immer wieder auf das bedrohliche Erbe der Weltkriege. Wir haben mit ihm gesprochen.

Hier geht's zum Podcast:



Einfach nicht zu stoppen? Dank miniaturisierter Funktechnik im Ball, in Schuhen und Trikots lassen sich im modernen Fußballtraining Laufwege optimieren. Damit Evan N'Dicka (2) und Djibril Sow (8) nicht nur zuschauen müssen beim Toreschießen.

## Foto & Fraunhofer

# Fraunhofer am Ball

Mit überragender Dynamik schon am ersten Wochenende ist die Fußball-Saison 2021/22 gestartet – vor allem dank Erlin Haaland im schwarzgelben Trikot. Das Spiel gegen Eintracht Frankfurt (5 : 2) machte der 21-Jährige zum Spektakel: Zwei Treffer für Borussia Dortmund erzielte er selbst, zu mindestens zwei Toren gab er die Vorlagen – Haaland immer am Ball.

Immer im Ball beim modernen Fußball: Fraunhofer-Technik. Seit mehr als 20 Jahren ist Hochfrequenztechnik eine Kernkompetenz des Fraunhofer IIS. Die Forschenden arbeiten mit Partnern auch an intelligenter Sensorik im Ball. Dazu wurde ein kleines und leichtes Sensorikmodul entwickelt, das die Flugeigenschaften nicht beeinträchtigt. Kicks, Pässe und Angaben zum Ballbesitz werden über statistische Verfahren bestimmt, die Schätzung der Spielergeschwindigkeiten mithilfe von Maschinellen Lernen – für eine Leistungs-optimierung im Training und in Spielen. Damit der Ball in Zukunft noch dynamischer rollt.





Foto: ddp images



# 5. Fraunhofer Alumni Summit 2021

---

»Zukunft der Logistik«  
mit dem Fraunhofer IML  
5. November 2021, digital

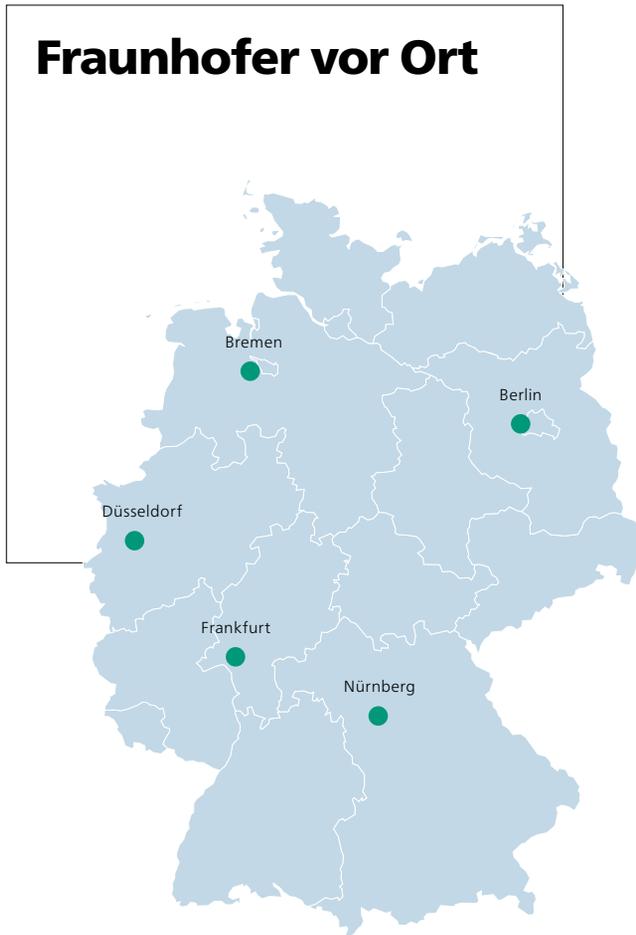


**Fraunhofer  
Abendprogramm**

**Charity Wein Tasting  
und Bier Tasting, digital**  
zugunsten der vom  
Hochwasser betroffenen  
Fraunhofer-Mitarbeitenden

[www.fraunhofer-alumni-summit.de](http://www.fraunhofer-alumni-summit.de)

## Fraunhofer vor Ort



**Stand: Anfang Oktober.** Aufgrund der Pandemie kann es zu Änderungen kommen. Bitte beachten Sie die Informationen der Veranstalter.

 **virtuell**  
**26.–27.10.2021**  
**Smart Country Convention**  
 Kongressmesse für E-Government und Smart City

 **Düsseldorf**  
**15.–18.11.2021**  
**Medica**  
 Internationale Fachmesse für Medizintechnik

 **Düsseldorf**  
**15.–18.11.2021**  
**Compamed**  
 Internationale Fachmesse für den Zuliefermarkt der medizinischen Fertigung

 **Bremen**  
**16.–18.11.2021**  
**Space Tech Expo**  
 Fachmesse und Konferenz für Technologien rund um die Raumfahrt

 **Frankfurt a. M.**  
**16.–19.11.2021**  
**Formnext**  
 Fachmesse für additive Fertigungstechnologien sowie deren vor- und nachgelagerte Prozesse

 **Nürnberg**  
**23.–25.11.2021**  
**SPS drives**  
 Fachmesse für elektrische Automatisierung, Systeme & Komponenten

 **Berlin**  
**23.–25.11.2021**  
**Futuras in Res**  
 Internationale Konferenzreihe der Fraunhofer-Gesellschaft für Wissenschaft und Technologie. Dieses Mal zum Thema »Quantentechnologien«

## Fraunhofer-Magazin

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

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



Wertvolles aus dem Schuttcontainer?

»Die Methode ist relativ einfach –  
und das Interesse groß!«

Dr. Volker Thome, Abteilungsleiter  
am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP,  
auf dem Sprung in die Zukunft.



Bauschutt